

Ecole Doctorale "Savoirs scientifiques" - ED 400
Laboratoire de Didactique André Revuz - EA 4434

Analyse des pratiques pédagogiques d'enseignant.e.s universitaires

Le cas de l'enseignement de la physique en premier cycle universitaire

Annexes

Par Adry Liliana MANRIQUE LAGOS

Thèse de doctorat de didactique des disciplines (option physique)

Présentée et soutenue publiquement à Paris le 27 mars 2017

Tabla de contenido

| | |
|--|------------|
| TRANSCRIPCIONES | 3 |
| PROFESOR 1F..... | 3 |
| PROFESOR 2F..... | 91 |
| PROFESOR 1C | 207 |
| PROFESOR 2C | 319 |
| MAPAS CONCEPTUALES..... | 389 |
| PROFESOR 1F..... | 389 |
| FIGURA 1. MAPA CONCEPTUAL LEYES DE NEWTON (INTRODUCCION)..... | 389 |
| FIGURA 2. MAPA CONCEPTUAL PRIMERA LEY DE NEWTON | 390 |
| FIGURA 3. MAPA CONCEPTUAL REFERENCIAL | 391 |
| FIGURA 4. MAPA CONCEPTUAL CANTIDAD DE MOVIMIENTO | 392 |
| FIGURA 5. MAPA CONCEPTUAL SEGUNDA LEY DE NEWTON..... | 393 |
| FIGURA 6. MAPA CONCEPTUAL TERCERA LEY DE NEWTON | 394 |
| FIGURA 7. MAPA CONCEPTUAL LEY DE LA GRAVITACION | 395 |
| FIGURA 8. MAPA CONCEPTUAL LEY DE COULOMB | 396 |
| FIGURA 9. MAPA CONCEPTUAL ROZAMIENTO..... | 397 |
| FIGURA 10. MAPA CONCEPTUAL FUERZAS DE RECUPERACION | 398 |
| PROFESOR 2F..... | 399 |
| FIGURA 1. MAPA CONCEPTUAL PRIMERA LEY DE NEWTON | 399 |
| FIGURA 2. MAPA CONCEPTUAL REFERENCIAL..... | 400 |
| FIGURA 3. MAPA CONCEPTUAL CANTIDAD DE MOVIMIENTO | 401 |
| FIGURA 4. MAPA CONCEPTUAL SEGUNDA LEY DE NEWTON | 402 |
| FIGURA 5. MAPA CONCEPTUAL TERCERA LEY DE NEWTON..... | 403 |
| FIGURA 6. MAPA CONCEPTUAL ROZAMIENTO..... | 404 |
| FIGURA 7. MAPA CONCEPTUAL FUERZAS DE RECUPERACION | 405 |
| LIBRO DE TEXTO | 406 |
| FIGURA 1. MAPA CONCEPTUAL LEYES DE NEWTON (INTRODUCCION) | 406 |
| FIGURA 2. MAPA CONCEPTUAL FUERZA..... | 407 |
| FIGURA 3. MAPA CONCEPTUAL PRIMERA LEY DE NEWTON | 408 |
| FIGURA 4. MAPA CONCEPTUAL SEGUNDA LEY DE NEWTON..... | 409 |
| FIGURA 5. MAPA CONCEPTUAL TERCERA LEY DE NEWTON | 410 |
| PROFESOR 1C | 411 |
| FIGURA 1. MAPA CONCEPTUAL PRIMERA LEY DE NEWTON | 411 |
| FIGURA 2. MAPA CONCEPTUAL SEGUNDA LEY DE NEWTON | 412 |
| FIGURA 3. MAPA CONCEPTUAL TERCERA LEY DE NEWTON..... | 413 |
| FIGURA 4. MAPA CONCEPTUAL ROZAMIENTO..... | 414 |
| PROFESOR 2C | 415 |
| FIGURA 1. MAPA CONCEPTUAL PRIMERA LEY DE NEWTON | 415 |
| FIGURA 2. MAPA CONCEPTUAL SEGUNDA LEY DE NEWTON | 416 |
| FIGURA 3. MAPA CONCEPTUAL TERCERA LEY DE NEWTON..... | 417 |

Transcripciones

Profesor 1F

1F

Bonjour. Je vais prendre trois minutes pour resituer où on en est par rapport aux semestres et même à l'année. Donc nous avons démarré par la description, nous avons démarré par l'analyse dimensionnelle, la définition de ce que sont les unités, choses qu'on a complétées la fois dernière par 0:01:19.1 dans la physique moderne.

De cette 0:01:26.0 il faudra même que vous reteniez trois ou quatre éléments qui sont importants les ordres de grandeurs de longueurs : échelle atomique, échelle de la lumière, échelle humaine, échelle de la terre, ça ce sont des choses importantes. Le reste aussi mais enfin la force de gravitation universelle on va évidemment la revoir dans le détail mais elle est apparue. La force électrique aussi. Ça ce sont des ingrédients importants.

Nous abordons le chapitre central le plus important. Pour le chapitre d'aujourd'hui ce sont les principes et il y a des difficultés de compréhension classiques sur le principe newtonien. Donc on établit le principe aujourd'hui suite à quoi pendant quatre séances on ne fera qu'appliquer à des situations de plus en plus difficiles conceptuellement ce qu'est le principe newtonien. Et donc à partir d'aujourd'hui nous introduisons les forces. No problème c'est ça qui fait la différence entre la dynamique et la cinématique qu'on a vue précédemment.

Les règles de la fois dernière sont encore valables c'est-à-dire je ne peux pas faire cours dans l'état de bruit qu'il y a en ce moment. Vous, vous ne pouvez pas comprendre quoi que ce soit dans l'état de bruit qu'il y a en ce moment.

Donc du point de vue des TD, la cinématique c'est l'objet des TD deux, trois, quatre. A partir du TD cinq la dynamique arrive et le cours de la fois dernière s'articule avec le premier TD sur les ordres de grandeurs donc c'est un peu décalé mais c'était maladroit de ne pas faire ça au début pour ne pas vous effrayer de totalement.

Donc il y a trois principes fondamentaux qui ont été établis par Newton qu'il les appelait des lois mais on verra un moment pourquoi on préfère l'appellation principe à

l'appellation lois mais ce n'est pas très important. Et, je vais repartir de ce qu'on a fait tout à la fin non pas de la séance précédente mais de la séance d'avant c'est-à-dire le changement de référentiel.

Qu'est-ce que c'est pour nous un référentiel ? Et bien si on le représente comme une origine, trois vecteurs directeurs et une origine des temps et une base des temps. Donc vous pouvez le figurer comme un personnage qui tient trois axes qui a un chronomètre à l'autre main. Et pour nous cet ensemble d'un point d'origine, d'une base de vecteur unitaire orthonormé, d'une base des temps, d'une origine des temps, ça représente ce qui va être pour nous un référentiel. On va voir bientôt le rôle très spécial que ça a par rapport au repère en mathématique.

Donc nous allons prendre des nouvelles notations qui vont être très importantes aussi pour suivre la suite. Je reprends l'exemple dont je suis parti la fois dernière pour le compléter. On va considérer deux repères attachés, correspondants à des référentiels R pour un référentiel mais attaché à la terre et à noter R_t un référentiel qui est rattaché à un TGV.

Puis on va noter M une abeille qui vole dans le TGV. Et bien, si je veux trouver la vitesse du point M par rapport au référentiel terrestre R, on va le noter \overrightarrow{v} parce que c'est un vecteur, M c'est le système - ça va jouer un rôle important, cette appellation de système pour le cours d'aujourd'hui - par rapport au référentiel R mais une barre de fraction R étant un référentiel, je veux trouver ça. Et moi ce que je connais c'est le mouvement du point M par rapport au TGV.

Par exemple par rapport au TGV, cette abeille fait ça. Le TGV, lui il est animé d'un mouvement de translation rectiligne uniforme. Ça veut dire qu'il va tout droit à vitesse constante, en langage non scientifique. Et cette vitesse on va dire que c'est la vitesse du référentiel R_t par rapport au référentiel R. J'attire votre attention sur un point subtile : tout ce que je vais dire ne concerne que le changement de référentiel dans lequel le référentiel R' par rapport au référentiel R, ses axes ne tournent pas. Le vecteur directeur reste dans la même direction, c'est juste l'origine qui bouge.

On dit que le référentiel soit en translation, il ne tourne pas comme ça. Dans ce cas-là et dans ce cas-là seulement, et *bien la loi dite de composition de vitesses* nous dit que la vitesse du point M par rapport au référentiel R qui est attaché à la terre, qui ne bouge pas avec le TGV, la vitesse du point M par rapport à R' plus la vitesse de R' par rapport

à R. Si l'abeille se déplace vers l'avant du train à 10km/h et que le train se déplace par rapport à la terre à 300km/h, et bien l'abeille se déplace à 310km à l'heure par rapport à la terre. Si elle recule par rapport au train, à 290km/h.

De cette loi de composition de vitesses, on va tirer une propriété qui est assez étonnante et qui fonde les trois principes de la mécanique qui est la notion de *système à l'équilibre*. Qu'est-ce que c'est qu'un système à l'équilibre ? Et bien ça tombe sous le sens c'est un système qui ne bouge pas. Par exemple cette masse marquée est de manière évidente à l'équilibre, ça signifie que sa vitesse est nulle. Oui mais voilà sa vitesse est nulle, ça n'a pas de sens dans l'absolue si je ne spécifie pas par rapport à quoi elle est à l'équilibre.

Donc pour spécifier, *on va dire qu'un système est à l'équilibre si sa vitesse par rapport à un référentiel R est nulle, à l'équilibre statique*. Pourquoi précise-je statique, Et bien parce que si je combine les deux informations, je vois que dans tout référentiel en translation rectiligne, uniforme c'est-à-dire qui bouge à vitesse constante par rapport à R, et bien la vitesse de ce même point M par rapport à un référentiel R', ça va être la vitesse de M par rapport à R' la vitesse la vitesse de R par rapport à R', et ça, ça vaut vecteur nul. Par conséquent on voit que ce même système à l'équilibre statique, si je la regarde depuis un train ou si moi je la regarde en passant et bien il n'est pas à vitesse nulle, il recule par rapport à moi. Je me mets comme ça il recule encore par rapport à moi.

Et donc ça signifie qu'un *système qui est à vitesse constante est à l'équilibre*. Et ça c'est très troublant, c'est un peu long de s'habituer à cette idée qu'un système qui est à vitesse constante est à l'équilibre mais c'est une conséquence directe de la loi de composition de vitesses avec la définition de l'équilibre statique. Donc par extension, on dira que si un système a une vitesse par rapport à un référentiel R' disons est constante, constante ça veut dire que le vecteur est constant, c'est constant en norme et en direction, et bien ce système est encore à l'équilibre mais je n'utiliserai pas le mot statique parce que il y a une vitesse quand même.

A partir de ce point, et bien on peut commencer à aborder le principe d'inertie si ce n'est qu'on a besoin d'un concept qui va amener vers un tout petit peu de philosophie mais pas trop. Un des enjeux de ce que j'ai fait la fois dernière et bien, ça a été de discuter différents types de force vraiment dans l'absolue et enfin de manière

générique, une force dans le langage de tous les jours avec les sensations de nos mains, on sent ce que c'est que d'appliquer une force à un objet, à une table. Ça ça parle.

On comprend aussi une fois qu'on a conceptualisé le fait que la craie qui tombe est attirée par la terre, que la terre exerce une force dessus. Et ces deux exemples vous donnent deux grandes catégories de forces les unes faciles à imaginer qui sont les *forces de contact*. Quand j'appuis sur un objet ou quand cette craie repose sur la table, la table exerce une force sur la craie. Et, les autres forces qui sont plus dures à imaginer, qui sont les forces qui s'exercent à distance.

Par exemple la terre sans toucher la craie, elle exerce une force dessus. Et ça c'est un effort conceptuel important que d'accepter cette idée qu'à distance il peut y avoir une force. Un autre exemple que vous avez ici, là j'ai mis des aimants sur les chariots Lego. Donc il y a deux aimants par chariot Lego. Les deux chariots sont strictement identiques comme ça il y a si j'approche l'aimant sans que ça se touche, et bien ils s'exercent une force dans le sens qui est que ça a mis en mouvement le second chariot. Pour ces forces à distance, une manière qui a été ... qui rend pratique l'idée que à distance on peut exercer une force, c'est l'idée *de champ* : un champ électrique, un champ magnétique, un champ de pesanteur qui vous dit que ce que fait la terre c'est de créer un champ ici, c'est-à-dire des vecteurs à tout point de l'espace G . Et ce que la craie sent ce n'est pas directement la terre, c'est le champ.

Bon ceci étant dit, on sent aussi que cette notion de force elle est un peu évanescence et vous allez voir qu'il y a une légère difficulté ici de comprendre ce qu'est une force d'arriver à la définir. Que dit le principe d'inertie ? Le principe d'inertie nous dit la chose suivante qui est : au premier abord très contre intuitive, elle nous dit que si je prends un objet et que j'arrive à le mettre loin de tout, loin de la terre, loin du soleil, loin de tout par fluence c'est-à-dire qu'il n'y ait plus aucune force qui s'exerce sur lui, et bien sur cet objet sur lequel s'exercerait aucune force se déplacerait dans le vide intersidéral à vitesse constante comme ceci.

Pourquoi est-ce que c'est contre-intuitif ? Parce que l'expérience courante nous dit en apparence le contraire et c'est une difficulté qui a mis des siècles à se résorber. Par conséquent c'est normal d'avoir une difficulté de compréhension. L'expérience courante dit que si j'essaye de pousser un mobile, le mobile il s'arrête. Alors pour qu'il

avance, il faut en apparence que je maintienne une force. Cette chose-là est une idée fausse. Elle est fausse parce que dans la vraie vie on a toujours des frottements qui arrivent qui sont des forces d'une autre nature.

Mais ce qui a convaincu Galilée que cette idée-là était fausse après des siècles de physique dominés par les idées d'Aristote disant que pour qu'un corps soit en mouvement il faut lui appliquer en permanence une force dessus - Qu'est-ce qui a convaincu Galilée que cette idée était fausse ? L'expérience suivante donc il a pris une balle qu'il a mise sur un plan incliné. Je n'ai pas ramené de plan incliné mais ça n'a pas d'importance, je vais le faire sans.

Et, il a fait l'expérience juste de faire rouler une balle sur une surface et il a fait remonter cette balle sur un autre plan de l'autre côté. Qu'a-t-il vu ? Il a fait le constat suivant : si je lance la balle d'ici, elle accélère à la descente et puis elle remonte sur un plan par exemple le premier que j'ai dessiné. Je n'aurais pas du dessiner les trois d'un coup, ce n'est pas grave. Jusqu'où remonte la balle ? Et bien un tout petit peu moins haut que là où elle est partie. Si maintenant on descend le plan et bien, la balle décélère ici et arrive en tout petit peu moins haut d'où elle est partie, un tout petit peu moins haut aussi que juste avant mais pas beaucoup.

Et si je baisse encore le plan comme ça, bien expérimentalement on voit que la balle elle monte légèrement moins à chaque fois ou surtout elle va beaucoup plus loin à chaque fois. Pour compléter cette expérience, il a commencé à faire des balles qu'il a polies progressivement, qu'il a rendues de plus en plus lisse, de moins en moins frottantes.

Et ce qu'il a vu c'est que cette balle de plus en plus lisse remontait de plus en plus proche de la hauteur d'où elle était partie. Donc on a eu cette idée qu'Aristote avait ratée et tous ses successeurs que si on a l'impression dans la vie courante que pour qu'il y a un mouvement permanent il faut mettre une force en permanence, c'est lié à ces frottements et que ces frottements sont liés à l'état de surface du mobile à le fait qu'on est bien poli ou pas. Mais si on arrivait par extrapolation à faire une balle parfaitement lisse et qu'ensuite on amène le plan parfaitement à l'horizontal, et bien le mouvement se continuerait à vitesse constante jusqu'à l'infini. Oui.

Etudiante

Mais combien qu'il y a une force qui s'est donnée au début qui est 0:19:35.4

1F

Alors ici il n'y a pas de ... la force qui est donnée pendant toute cette partie-là du mouvement c'est la gravité qui entraîne vers le bas. Ça oui bien sûr ça accélère donc il y a une force qui est donnée mais à nouveau ça n'est pas nécessaire, je répète, ce n'est pas parce que c'est en mouvement qu'il y a une force. Ici moi je me déplace, regarde l'objet, il bouge, et pourtant pouvez-vous convaincre que si je me mets là, là vous êtes convaincus qu'il n'y a pas de force horizontale, il n'y a rien qui appuie dessus. Pourtant il bouge dans un certain référentiel.

Donc il faut vraiment oublier cette question, cette idée qu'une vitesse signifie qu'il y a une force dessus c'est une idée la plus fondamentalement fausse. Et ce n'est pas de votre faute si vous l'avez en tête c'est que d'autres gens l'ont dans leur tête pendant des siècles. Donc moi ma meilleure approximation c'est ma balle de billard et quand elle est là, évidemment il y a des forces qui s'exercent dessus. La table exerce une force sur la balle, sinon elle tomberait.

Mais dans la direction horizontale, il n'y a rien d'autre que l'air. Et, je lance à vitesse, je lui donne une vitesse initiale, la table n'est pas totalement plate mais enfin, vous voyez que le mouvement se continue longtemps, plus longtemps que si la balle avait été rugueuse dont ... c'est la meilleure approximation qu'on puisse faire ici d'un système sur lequel il s'exerce aucune force dans une des directions.

Depuis évidemment, depuis Galilée, on a envoyé des objets dans l'espace dans lequel on a obtenu des approximations de mieux à mieux de systèmes qui sont soumis à aucune influence extérieure. Et ces systèmes dont quelque chose qui commence à ressembler au vide intersidéral avance en ligne droite.

Alors s'il y a un problème dans la manière dont je raconte la chose, le problème est le suivant : imaginez que ça soit dans l'espace intersidéral et avance à vitesse constante. Et moi maintenant je choisis comme référentiel donc, le référentiel c'est moi, j'ai mon chronomètre et j'ai mon repère. Et maintenant moi je choisis de faire ça. Donc la balle par rapport à moi elle va tourner en sens inverse donc elle ne va plus en ligne droite.

Donc ce que je raconte que un objet qui n'est soumis à aucune force va en ligne droite, on dira a une trajectoire rectiligne uniforme, avance à vitesse constante le long d'une droite et bien, ça ne peut pas être vrai dans tout référentiel puisque si c'est vrai dans un référentiel et que moi je choisis un autre qui tourne ce n'est plus vrai. Par

conséquent ça ne peut-être vrai que dans des référentiels particuliers. Ces référentiels particuliers on les appellera *Galiléen*.

On va pouvoir maintenant mettre ça en phrase : Il existe classe - il y a plein de mots qui sont obscures, je vais revenir sur chacun des mots obscures – *une classe de référentiels en translation rectiligne uniforme les uns par rapport aux autres tel qu'un système qui n'est soumis à aucune force extérieure soit animé d'un mouvement de translation rectiligne uniforme*.

Je vais m'éloigner du tableau pour vérifier ce que j'ai écrit.

Alors il existe une classe de référentiel en translation rectiligne uniforme les uns par rapport aux autres tel qu'un système tel que tout système, c'est mieux qui n'est soumis à aucune force extérieure soit animé d'un mouvement de translation rectiligne uniforme ou soit au repos. Donc cette chose-là qu'est-ce qu'elle dit ? Et bien elle dit que parmi tous les référentiels, je répète le référentiel c'est l'origine, le jeu d'axes, le chronomètre, c'est-à-dire l'origine des temps et les unités de temps.

Parmi tous les référentiels et il y en a plein qui sont des référentiels dans lequel le jeu d'axes fait ça. Bon, cela ne sont pas Galiléen mais il en existe tel que un système qui est soumis à aucune force extérieure va en ligne droite à vitesse constante. Et c'est vrai pour tout système.

Alors comment on sait que ces référentiels sont en translation rectiligne uniforme les uns par rapport aux autres ? Et bien je reprends la composition des vitesses qui est juste au dessus. Je considère un objet sur lequel n'agit aucune force extérieure. Dans un référentiel Galiléen, il va à vitesse constante. Je prends un autre référentiel R' en translation par rapport à R . Et bien la loi de composition des vitesses vous dit que la vitesse elle est encore constante.

C'est la somme des deux vitesses. Par conséquent, si j'ai identifié un référentiel Galiléen, je suis là avec mon chronomètre, et bien tout autre référentiel en translation rectiligne uniforme - pas forcément selon l'un des axes, ça peut-être comme ça, et bien - sera aussi Galiléen. Oui.

Etudiante

On ne peut pas dire aussi que toutes les forces sont égales à zéro si ... pour aucune force qui s'exerce sur le système ?

1F

Alors ça, ça va être une propriété qu'on peut étendre la chose à la somme des forces extérieures nulles mais c'est plus propre de poser le principe comme ça.

Bon, quels sont les bouts là-dedans qui sont du vocabulaire important.

- 1- *C'est un principe et pas une loi de physique.* Pourquoi est-ce que c'est un principe ? Mais c'est surtout parce que dedans vous voyez bien le mot force, le mot force je ne l'ai pas défini. Alors c'est un peu embêtant parce que du coup et ben ce n'est pas vérifiable. Ce n'est pas un principe qui est falsifiable. Imaginez-vous que je vois un objet dans l'espace intersidéral, il va en ligne droite par rapport à un certain référentiel.

Comment je sais s'il y a une force dessus ? Je ne sais pas, je n'ai pas défini ce que c'est une force si ce n'est que il y a différents types de force. Donc c'est un principe dans lequel je pose le vocabulaire plus que tout autre chose. Je dis voilà si un système va en ligne droite dans un certain référentiel, et bien je vais dire et que c'est vrai dans tous les référentiels en translation, je vais dire qu'il n'y a pas de force dessus. C'est presque un début de définition de la force.

C'est en ce sens que c'est difficilement démontrable, c'est même difficilement testable cette idée parce que c'est basé sur le fait que vous avez défini la force avant mais justement je ne l'ai pas définie. Donc on va dire que c'est vrai et tant que ça tient, on va construire dessus. C'est en ça que c'est un principe. Ce n'est pas tout à fait un postulat de mathématique parce qu'on parle de la vraie vie mais ce n'est pas non plus une loi physique dont on peut montrer qu'elle est vraie ou pas.

- 2- *Deuxièmement qu'est-ce que c'est qu'un système ?* Un système c'est un ensemble d'atomes qu'on va considérer du point de vue de la mécanique. Ce mot de système est extrêmement important, c'est sur lui qu'on va c'est à lui qu'on va appliquer les principes de la mécanique.
- 3- Qu'est-ce que ça veut dire extérieur ? Et bien vous voyez que à l'intérieur de ça si la boule elle tient ensemble, c'est parce que un bout de la boule attire l'autre bout de la boule sinon ça tomberait en morceau. Et ce n'est pas le cas. Donc ça il y a des forces de cohésion là-dedans qui agissent, qui s'exercent sur une partie sur l'autre partie. Mais si c'est à l'intérieur de la boule, c'est que ça s'exerce d'un sous-système sur l'autre sous-système. Mais sur le système

complet, ces forces ne s'exercent pas. Et puis on regarde ce qu'est exercé par le reste du monde sur lui.

Qu'est-ce qu'il y a d'autre ? Translation rectiligne uniforme, ça veut dire se déplacer sur droite à vitesse constante toujours dans le même sens.

Bon, j'insiste une dernière fois et après je considérerai que c'est bon dans votre tête. Si je vois qu'un système est à vitesse constante, il bouge, ce n'est pas pour ça qu'il y a une force dessus. Quand je lance une flèche dans l'air, une fois que la flèche a quitté l'arc, en première approximation - bien sûr il y a la gravité, il y a l'air autour mais en première approximation, la flèche va tout droit à vitesse constante - et bien pendant ce bout de trajectoire, pas parce qu'elle bouge qu'il y a une force dessus.

Donc il y a deux choses qu'il faut vous mettre dans la tête fermement : je peux avoir une vitesse nulle et des forces qui s'exercent sur un objet. Par exemple sur cet objet ici, j'ai la gravité qui s'exerce, j'ai une force exercée par la table sur le poids, donc je peux bien avoir des forces sans qu'il y ait du mouvement et réciproquement, je peux avoir un mouvement sans qu'il y ait de force. Ce mouvement c'est le mouvement de translation rectiligne uniforme par rapport à un référentiel Galiléen.

Dernier point puisque c'est un principe et pas une loi, ce principe il pose l'existence de référentiel particulier, est-ce qu'il en existe ? Est-ce que je peux le montrer ? Et bien, comme vous le savez, du moment que je mets un objet dans l'univers, il est soumis à la gravité des autres composants de l'univers donc un système isolé sur lequel il y a aucune force, ça n'existe pas dans l'absolu. Ça n'existe qu'à une certaine approximation.

On parlera donc de référentiel approximativement Galiléen. Qu'est-ce qu'on prendait comme *référentiel approximativement Galiléen* ? Et bien, on dira qu'un référentiel est approximativement Galiléen si pendant des durées raisonnablement courtes - les durées d'observation - et bien un objet sur lequel s'exerce une force extérieure nulle, va raisonnablement à vitesse constante.

Et donc approximativement il signifie que tout le système que je peux discuter, tous les référentiels que je peux discuter sont au mieux approximativement Galiléens et c'est une affaire de temps pendant lequel je regarde l'expérience. Donc selon le temps pendant lequel je regarde l'expérience je vais en choisir des plus ou moins compliqués.

Par exemple celui qui est ici attaché au sol, un référentiel dont les axes pointent ici, là vers le haut.

S'il vous plaît le bruit de fond est vraiment trop élevé pour qu'on puisse comprendre des choses de cette complexité. Vraiment trop.

Le référentiel donc attaché au sol ici on l'appelle le référentiel terrestre. Quand est-ce qu'il est raisonnablement Galiléen ? Il l'est si on fait des expériences qui se situent sur une taille plus petite que le rayon de la terre, petit devant le rayon de la terre - quelques mètres, quelques centaines de mètres, quelques kilomètres mais pas 1000km - et si la durée de l'expérience est petite devant le temps de rotation de la terre sur elle-même : 24h.

À ces deux conditions, et bien je fais n'importe quelle expérience dans lesquelles j'arrive à créer des conditions sous lesquelles la somme des forces est nulle, un mobile va en ligne droite à vitesse constante. Donc ce premier référentiel, terrestres, les conditions pour le rendre approximativement Galiléen c'est que ça taille soit petit devant le rayon de la terre. Je vous rappelle que c'est à peu près 6400km, et le temps petit devant 24h.

Si j'ai affaire à un système qui se déroule sur des temps un peu plus long, par exemple les pendules de Foucault qu'il faut que je regarde pendant quelques jours ou tout autre problème qui est à l'échelle de plusieurs journées, et bien ce référentiel terrestre ne suffit plus pour que je m'abstraite du fait que la terre tourne autour de son axe, et par conséquent je vais choisir de faire passer mon référentiel au centre de la terre et que ce référentiel ne tourne pas par rapport à un axe disons qui va du soleil et qui pointe vers trois étoiles distantes, fixes.

Ce *référentiel géocentrique*, quelle est sa limite ? Sa limite c'est que la terre en plus de tourner autour d'elle-même tourne autour du soleil, par conséquent, je peux l'utiliser dans des problèmes dans lesquels les distances sont petites devant la distance terre-soleil et dans lequel le temps de l'expérience dure moins qu'un an.

Mais si j'ai un problème qui se base au-delà d'un an et bien, il faut que je monte le référentiel et je monte le *référentiel de Kepler* qui est centré sur le soleil et dont les axes pointent vers trois étoiles distantes. Ça c'est pour fixer qu'est-ce qu'on appelle ne pas tourner, fixer les rotations. Et bien ça, l'expérience montre que c'est après bon ce référentiel approximativement Galiléen au sens de l'expérience.

Je fais l'expérience, j'envoie un objet, il n'y a pas de force dessus, il va tout droit. Et puis si ... ça, ça ne nous suffit pas parce que je vais commencer à regarder sur des temps tellement longs que le soleil tourne autour du centre de la galaxie, et bien je monte et je centre le référentiel sur le centre de masse, le centre de la galaxie et celui-là qui s'appelle *référentiel de Copernic*. Et il n'y a pas de raison de s'arrêter là. On peut monter en complexité.

Tout ça dépend juste de à quelle précision on a besoin de faire les prédictions, sur quelle durée on veut le faire. Et je répète, comme de toute façon réellement isoler un système on ne peut pas, on travaille sous l'hypothèse que ces référentiels existent en prenant la meilleure approximation qu'on trouve et on regarde jusqu'à temps que les prédictions ne marchent plus. Jusqu'à ce jour on n'a pas trouvé de faille à cet aspect-là. On en a trouvé d'autres mais pas celui-là.

Pour passer à la deuxième loi ou deuxième principe de la mécanique newtonienne, j'ai besoin de définir une grandeur qui s'appelle la *quantité du mouvement* et qui joue un rôle fondamental là-dedans. Et pour introduire ce que c'est que la quantité de mouvement, j'ai besoin de savoir, de vous expliquer ce qu'est une grandeur intensive par rapport à une grandeur extensive. Je vais mettre une barre de fraction là.

Donc intensive c'est le contraire d'extensive. On dit *qu'une grandeur est intensive* quand si je prends deux bouts pour lesquels deux systèmes sont caractérisés par la même grandeur intensive et avec ces deux systèmes, ces deux bouts de système, je fais un système en les réunissant. Si ce système qui réunit les deux bouts de système est caractérisé encore par la même grandeur, on dit que cette grandeur est intensive. Par exemple la température est une grandeur intensive. Je prends un bocal d'eau à 40°C, je prends un autre bocal d'eau à 40°C, je mélange les deux bocaux d'eau, ça me fait un gros système, le gros bocal d'eau est encore à 40°C, c'est une quantité intensive.

Qu'est-ce que c'est qu'une *quantité extensive* ? C'est une quantité dans laquelle quand je mélange les deux systèmes, la grandeur qui caractérise est la somme des deux grandeurs des deux sous-systèmes. Par exemple le volume si je prends un litre d'eau et un autre litre d'eau, ces deux systèmes je les mélange pour faire un gros système, et bien ils vont faire deux litre qui est un litre plus un litre.

Alors la question à laquelle vous allez répondre, ça vous changera de votre discussion c'est de savoir si la vitesse d'un système est une quantité intensive ou extensive ? Je prends un mobile, il va à 1km/h. Je prends un autre mobile qui va à 1km/h, il est juste à côté, je les réunis, ils vont encore à 1km/h. Par conséquent c'est une grandeur intensive. Moi je vais essayer de fonder le principe. Vous avez une question ?

Etudiant

On avait vu en cours de physique 0:43:26.9 les deux vitesses peuvent s'additionner pour faire 0:43:35.0 extensive.

1F

Donc ici c'est un point important c'est que ce que vous faites c'est vous considérez un seul système par rapport à deux référentiels. Effectivement la loi de composition des vitesses fait qu'on ajoute les deux vitesses pour ce même système. Vous voyez pendant que je parle des deux systèmes qui ont la même vitesse, ils sont en train d'aller l'un à côté de l'autre, deux voitures sur l'autoroute si je les raccorde mentalement ou en vrai pour en faire un seul système, ils continuent d'aller côte à côte sur l'autoroute, leur vitesse n'a pas changé. C'est juste ça que je dis. Vous voyez ? Je prends mes deux mobiles identiques, je les mets à vitesse constante, si je les relie, la vitesse de l'ensemble c'est la même vitesse que chacun des deux mobiles.

Si je veux utiliser je voudrais définir une loi de conservation de quelque chose pour la mécanique, cette loi de conservation fait que si je coupe un système en deux sous-systèmes, je voudrais que ma loi soit encore vraie. Parce que sinon je serai embêté dans la définition de ma loi. Et bien par contre ce principe-là, il faut que si je veux pouvoir cumuler les sous-systèmes pour faire des gros systèmes, il faut que je définisse une quantité qui caractérise le fait que ça bouge et qui soit extensive, que je puisse additionner les bouts quand je cumule deux sous-systèmes.

Alors, je vais définir comme quantité extensive le produit de la quantité extensive la plus simple que je sache faire, la masse. Puisque la masse on l'a discuté longuement, elle reflète la quantité de matière et même le nombre de nucléons pour l'essentiel, le nombre de protons et de neutrons qui composent les noyaux des atomes qui composent le système.

Si je multiplie ça par la vitesse, et bien je vais obtenir une quantité dans lequel si je coupe mon système en deux, c'est le même système je le coupe en deux, et bien la

quantité de mouvement P de l'ensemble si le deux vont de concert comme ça 0:46:33.1 c'est bien la somme de la quantité de mouvement d'un bout plus la quantité de mouvement de l'autre bout. Puisque les masses s'additionnent alors que les vitesses ne s'additionnent pas. A ne pas confondre avec cette histoire de changement de référentiel.

Donc nous allons travailler sur cette quantité la masse fois la vitesse qu'on appelle la quantité de mouvement par définition. Et nous allons voir qu'elle a des propriétés de conservation. Je vais juste faire ... si je prends deux systèmes qui ont une masse M1, une vitesse V1, une masse M2, une vitesse V2, la quantité de mouvement au total je vais l'écrire ce que c'est $M1V1 + M2V2$. A partir de ça nous allons faire une petite expérience qui va nous montrer avec les moyens du bord, c'est-à-dire en faisant abstraction mentalement des frottements, de ce qui se passe.

Etudiante

0:48:00.1

1F

Comment ? Une minute. Voici un mobile. Vous ne voyez rien du tout. Il faut acheter des jumelles ou il faut venir au premier rang. Alors je vais mettre au bureau pour que vous voyiez.

Etudiant

C'est si éloigné 0:48:24.4

1F

Hein ? Vous voyez les mobiles ? Donc ces mobiles ils ont quatre roues, deux aimants. Les aimants ont été mis de sorte qu'ils se repoussent. Evidemment je lance le mobile qui finit par s'arrêter. Ça c'est parce qu'il y a du frottement dans la vraie vie, qu'il y a une force qui va à l'envers et qui fait décélérer le mobile, ce n'est pas ça qu'il faut voir. Maintenant, je vais créer des conditions initiales dans lesquelles le système va être dans la meilleure approximation d'un système isolé aux frottements près. Alors je vais enlever mes mains, le système va bouger tout seul. Ma main n'ait plus de force sur le mobile. Il faut qu'ils acceptent d'aller droit, voilà. Ça c'était bien, voilà, ça c'était bien.

Donc ils se touchent jamais, ils ne se touchent jamais mais dans un monde idéal si j'abstrais les frottements, ce que je verrai c'est un mobile va à vitesse constante, il

interagit avec l'autre mobile à distance, il ne le touche pas, il exerce une force sur l'autre et l'autre, le premier s'arrête et le deuxième repart avec la vitesse du premier, il lui a donné sa quantité de mouvement. Maintenant, donc ça, c'est-ce que je constate approximativement. Pour vous montrer évidemment ce n'est pas parfaitement vrai mais ce n'est pas mal.

Maintenant je peux faire l'expérience et je vais changer la masse. Donc j'ajoute par exemple la masse sur celui qui se fait impacté. Ah raté. Le premier rebondit, le deuxième avance très très légèrement. Donc on voit bien que changer la masse alors que les forces qui sont liées aux aimants sont absolument les mêmes, change les vitesses après l'interaction.

Maintenant je vais faire une troisième expérience. Je mets la masse sur l'impacteur. Je vais les réaligner. Ce n'est pas tout à fait aligné. Qu'est-ce qu'on voit ? On voit que la vitesse après le choc est beaucoup plus grande que la vitesse d'impact. Dans ces trois configurations, c'est-à-dire $M_1=M_2$, une vitesse initiale, il est ce qu'elle est. Et bien, après le choc je trouve que la vitesse du deuxième chariot est sensiblement la vitesse du premier chariot après l'impact. Et par conséquent, ils ont échangé leur vitesse d'une certaine manière. Ils ont échangé leur quantité de mouvement.

Deuxième expérience. On lance le chariot avec une masse très petite devant l'autre contre celle-là. Et j'obtiens que le chariot léger recule pratiquement à moins la vitesse qu'il avait en arrivant pendant que l'autre avance avec une vitesse qui est très petite devant la vitesse d'impact.

Troisième expérience. Je vais écrire dessous pour que ça reste dans la même logique. La masse est grande devant M_1 . Et je vois que le chariot léger va beaucoup plus vite qu'avant.

Et bien dans ces trois configurations, si je regarde vraiment juste avant le choc et juste après, il apparaît que la quantité de mouvement total ... oui.

Etudiante

Monsieur ! C'est M_1 0:54:31.4

1F

Ah oui pardon. Dans ces trois cas, si je faisais la mesure, j'observerai qu'à des petits effets de frottement près, la quantité des mouvements, c'est-à-dire la somme des

masses fois les vitesses se conserve. On peut voir que ça prédit qualitativement la bonne chose par symétrie si j'ai deux systèmes qui sont identiques, tout se passe comme si je les ai envoyés l'un contre l'autre à vitesse $V/2$ si je me mettais dans un référentiel en translation. C'est trop dur à faire dans un endroit contre l'autre, et bien je vois que la quantité de mouvement après M_2V_2 c'est M_1V_1 , la quantité de mouvement avant.

Dans le deuxième cas, comme la masse que j'envoie est très petite, la quantité de mouvement est beaucoup plus ... est la même qu'avant si je vais impacter un chariot beaucoup plus lourd de sorte que même si le chariot reçoit une quantité de mouvement vers la droite il va aller beaucoup moins vite parce qu'il est plus lourd. J'inverse, j'envoie une quantité de mouvement beaucoup plus grande sur un chariot qui a la même masse, et ça fait un effet beaucoup plus grand.

Donc pour les mêmes forces qui sont les forces qui s'exercent entre les aimants, si la masse est plus grande, il y a moins d'effet, si la masse est plus petite il y a plus d'effet. Et globalement, la quantité qui semble se conserver dans ce système isolé au frottement près c'est la quantité de mouvement. Cette quantité de mouvement je la définis ici juste comme la masse fois la vitesse.

Je veux juste vous signaler en passant que pour des mobiles qui s'approchent de la vitesse de la lumière, et bien cette expression n'est plus valable, ça n'en est qu'une approximation et on est obligé d'en produire une correction relativiste. Cette correction, on la note γ , on l'appelle le facteur de Lorentz et qui vaut $(1/\sqrt{1 - (V^2/C^2)})$, C c'est la vitesse de la lumière – 3×10^8 m/s. vous voyez que quand V est petit devant C , (V^2/C^2) est petit devant 1, par conséquent on peut l'enlever par rapport au 1 qui est dessous et on retrouve $\gamma=1$.

On voit sur cet exemple particulier ce que ça signifie quand on travaille dans la limite classique, ça signifie que et bien pour que les lois qu'on va décrire soit valable de la même façon qu'il faut trouver un référentiel approximativement Galiléen au sens de l'expérience, il faut que V^2 soit petit devant C^2 pour qu'on puisse négliger ces corrections.

III – Le principe fondamental de la dynamique

Je vais envoyer ça là-haut. Je reprends le premier tableau. Que dit le principe fondamental de la dynamique ? D'abord il s'applique que dans un référentiel Galiléen,

et bien je vais d'abord le définir comme la manière dont j'ai défini la vitesse, l'accélération à partir de Δ de variation de quelque chose.

Si j'ai un mobile qui se déplace pendant sa trajectoire, il avait initialement une quantité de mouvement P_1 et à la fin il a une quantité de mouvement P_2 que j'attire votre attention sur le fait qu'ils sont tangents à la trajectoire puisque la quantité de mouvement est proportionnelle à la vitesse qui elle est tangente à la trajectoire. Je vais appeler impulsion la variation de la quantité de mouvement.

Cette variation de la quantité de mouvement et bien, vous pouvez voir qu'en vertu du premier principe que j'ai énoncé, et bien si la vitesse n'est pas constante le long de la trajectoire c'est qu'il y a une force. Puisque s'il n'y avait pas de force, la vitesse serait constante. J'appelle donc une force cette chose qui fait que la trajectoire n'est pas une ligne droite à vitesse constante. C'est ma définition. Et bien ça je vais dire que l'impulsion, je vais dire que c'est la force moyenne fois la durée. La variation de quantité de mouvement c'est la force moyenne et ça me définit ce que j'appelle la force.

Et maintenant le principe lui-même je fais passer la durée à zéro. Et dans la limite quand cette durée qui tend vers zéro, le rapport $(\Delta P / \Delta T)$ ça devient la dérivée, et bien ce que j'obtiens à droite la même façon que pour les autres quantités moyennes, c'est la force extérieure. Et quand il y en a plusieurs, elles s'additionnent donc je vais écrire somme des F_{ext} .

Voilà l'énoncé du principe fondamental de la dynamique dans un référentiel Galiléen, la dérivée temporelle de la quantité des mouvements est égale à la somme des forces extérieures. Vous allez me dire oui mais c'est quoi une force parce qu'on n'a pas réussi à en donner une définition autonome. Et bien pour cette raison-là c'est un principe et non pas une loi puisque cette relation qui fonde la mécanique est aussi la définition de ce qu'on appelle une force. La force c'est cette quantité qui fait changer la vitesse et plus exactement changer la quantité de mouvement au cours du temps tel que dans un référentiel Galiléen, et bien la dérivée de la quantité de mouvement par rapport au temps, ça soit la somme des forces extérieures.

Pour un système simple, c'est-à-dire qui n'est pas composé de différents morceaux, et bien comme la quantité de mouvement c'est MV , si M est constante parce que le système est toujours constitué des mêmes atomes, et bien $(\Delta P / \Delta T)$ c'est la

masse fois ($\Delta v/\Delta t$) et ça c'est la masse fois l'accélération. Donc pour un système simple, on déduit du principe fondamental de la dynamique que la somme des forces extérieures vaut la masse fois la dérivée de la vitesse par rapport au temps, la masse fois l'accélération.

Cette relation ne signifie pas que toute force est proportionnelle à la masse, ce n'est pas comme ça qu'on lit cette relation. Les forces, elles vivent leur vie pour la gravité elles sont proportionnelles à la masse mais pour d'autres forces, elles vont rien à avoir avec la masse auquel cas, ça veut dire que pour la même force, plus la masse est grande plus l'accélération est petite. Plus la masse est petite, plus l'accélération est grande.

Quelles sont les implications profondes de cette relation ? Cette relation c'est donc celle qui définit ce qu'est dit force que la force c'est par définition, ce qui fait changer la quantité de mouvement, ce qui fait changer la vitesse. La vitesse est constante, la somme des forces vaut vecteur nul. Et bien ce qu'elle dit c'est que dans tous les référentiels, la force va avoir la même valeur puisque quand je part d'un référentiel à un autre référentiel en translation rectiligne uniforme, l'accélération ne change pas, c'est donc que la force ne change pas. La force ne dépend pas du référentiel Galiléen.

Deuxièmement, vous voyez que c'est une équation différentielle qui porte sur la vitesse, sur la dérivée seconde de la position. Implicitement ça signifie que la force est une fonction des positions et des vitesses et d'elles seulement. Et ça c'est extrêmement troublant. Pourquoi est-ce que la nature aurait choisi de s'arrêter et que la dérivée seconde soit fonction des positions et des vitesses ? Pourquoi est-ce que ce n'est pas la dérivée quatrième qui est fonction, la dérivée troisième, la dérivée seconde, la dérivée première et la position.

Pourquoi pas la dérivée huitième ? Pourquoi pas la dérivée première qui était l'idée d'Aristote ? La vitesse est égale à une fonction de la position, c'était ça l'idée d'Aristote. Ben ça ne marche pas. On voit expérimentalement qu'on peut avoir les mêmes positions et avoir des vitesses différentes.

Donc les implications c'est que les forces sont des fonctions des positions et des vitesses des particules et sont indépendantes du référentiel Galiléen. Et ça c'est sympathique parce que c'est enfin testable. Enfin on peut regarder quelque chose sur

lequel on peut faire une expérience. Maintenant que je définis ce que c'était la force, je sais la mesurer puisque je sais mesurer la vitesse.

Donc je peux mesurer la force. Et comme je sais la mesurer, et bien je peux tester quelque chose, je peux tester que la force quand je change de référentiel Galiléen, elle reste la même, je peux faire trois fois la même expérience, déterminer la force et regarder si elle a la même valeur si oui dans la même situation, je reviens demain, je fais la même expérience et tout se passe pareil. Tout ça c'est testable et tout ça marche à ma connaissance jusqu'à aujourd'hui. Oui.

Etudiant

1:09:05.2

1F

La position, les forces ne dépendent que de la position et de la vitesse des particules et pas des dérivées supérieures.

Donc quand on veut traiter un problème de mécanique il faut donc choisir un référentiel, de préférence Galiléen ou approximativement Galiléen. Deuxièmement il faut choisir un système. Un système qui va quand il est fermé est composé toujours de mêmes atomes et c'est à lui qu'on va appliquer le principe fondamental.

On va reprendre les deux situations que vous connaissez bien maintenant. Celui-là vous connaissez bien, superbe, n'est-ce pas ? Et celui-là. Ces deux là vous les connaissez par cœur. Hein ? Donc nous allons choisir comme système le caillou. On ne va pas mettre la ficelle dedans. D'accord ? Je pourrai mettre la ficelle dedans si j'avais envie mais je n'ai pas envie. Le caillou, je choisis le battement c'est une seconde, je choisis donc le référentiel terrestre, ça me suffit. Pour une seconde c'est petit devant 24h, la taille c'est 20cm, ça va aller, c'est Galiléen, bien.

Mon système c'est le caillou. Quelles sont les forces qui s'appliquent dessus ? La pesanteur, on va l'appeler le poids, la force de traction. Alors on va toujours dire pour s'habituer mécaniquement la force exercée par le fil sur le caillou. Comme ça il y a toujours le mot « sur » qui dit qui est-ce qui exerce qui est-ce qui reçoit. Donc ça fait deux forces. La somme de ces deux forces c'est l'accélération. Question : Que vaut l'accélération quand le caillou passe par le point bas ? C'est la somme des deux forces. Comment ?

Alors voilà, je vous remercie, je vous remercie c'est bien, c'est bien parce que nous allons passer trois semaines à faire la cinématique, il n'y a aucune raison de changer de réponse. Maintenant vous connaissez le principe fondamental de la dynamique par rapport à ce qu'on a pris trois semaines à établir. C'est-à-dire que ça fait ça, à ... oui je fais exprès.

Quand le caillou passe ici, ce n'est pas parce que sa vitesse est nulle qu'il n'accélère pas, bon Dieu, il accélère tangentiellement. Ce n'est pas parce qu'il passe par la position basse qu'il n'accélère pas, il n'est pas à l'équilibre entre les forces, il est en train de changer de vecteur vitesse. Son accélération, elle est centripète, il accélère vers le haut. Quand il est à cette position là il accélère tangentiellement. Là quelles sont les forces ? Il n'y a pas de force centrifuge. Ça n'existe pas.

Les forces vous m'avez donné les deux, pourquoi vous faites exprès de tomber dans les pièges les plus élémentaires ? C'est bien, c'est bien, je vous remercie. Donc il n'y a pas de force centrifuge. Je raisonne dans le référentiel terrestre. Il y a deux forces et deux forces seulement : la force exercée par la corde sur le caillou et la gravité. Point, point, point. C'est tout. Comment est l'accélération qui est la somme de ces deux forces ? Constante en norme et elle pointe vers ma main. Merci. Donc ça n'est pas parce que j'additionne une réaction de la ficelle avec une gravité que ça change quoi que soit ce qu'on a dit avant.

Je vois le mouvement, je connais son accélération, je n'ai pas besoin de passer par les forces pour voir que ça tourne et donc il y a une accélération centripète et quand ça fait ça et bien quand je passe par la vitesse nulle il n'y a pas de partie centripète, il n'y a que l'accélération tangentielle. Quand je passe par ce point-là, il n'y a pas d'accélération tangentielle, il n'y a que de l'accélération centripète. Ce n'est pas à l'équilibre. Seul cas dans lequel la somme des forces est nulle c'est quand c'est soit au repos, soit à vitesse constante, c'est pareil. Bien, ne vous inquiétez pas, nous avons trois semaines d'exemple sur le principe fondamental de la dynamique. Mais enfin vous m'auriez fait plaisir à faire juste, je dois avouer, vous me faites plaisir à tomber dans les panneaux les plus ...

Dernier principe dans le quart d'heure qui nous reste : il s'appelle maintenant *le principe de l'action et de la réaction*. Il faut bien avouer que la dénomination qu'avait trouvée Newton pour ce principe qu'il appelait une loi était beaucoup mieux trouvée

que l'action et réaction qui est trompeur. Donc entre nous on ne va pas l'appeler comme ça mais comme tout le monde l'appelle comme ça vous retenez mais on va l'appeler principe des actions réciproques. 1:16:02.0 de manière symétrique l'action et la réaction.

Que dit le principe de l'action et de la réaction ? Il dit que si un système que nous appellerons 1 exerce une force sur un système que nous appellerons 2, et cette force nous allons l'écrire F_{2-1} sur 2 et le sur on va le mettre avec une petite flèche. Ça spécifie bien que c'est 1 qui exerce la force sur 2. Par conséquent cette force va arriver dans le principe fondamental de la dynamique de Monsieur 2 et pas de Monsieur 1. Et bien si 1 exerce une force sur 2 alors 2 exerce une force sur 1 qui vaut moins F_{1-2} . Elle est donc égale en norme mais opposé en direction. Donc lorsque j'appuie sur la table. Oui.

Etudiant

1:17:28.7

1F

Alors c'est parce que moi j'ai pris comme convention que direction ça voulait dire direction et sens en même temps. D'accord. Donc opposé en sens, porté par un même axe. Les vecteurs directeurs unitaires sont opposés. Si j'exerce une force sur la table avec ma main, cette force est orientée comment ? Vers le bas. La force exercée par la table sur ma main, vers le haut. C'est bien, nous avançons. Cette expérience elle est amusante mais ce n'est pas tellement si elle montre le principe de l'action et la réaction mais elle est amusante pour moi. C'est un chariot Lego. Ma fille est très fière que je lui vole ses Lego pour venir faire cours à l'université.

Le ballon est connecté à un corps d'une seringue de doliprane tout aussi volé à ma fille. Ensuite il faut incliner la table, encore une ficelle, ensuite donc je vais enlever mon doigt et lâcher le système de sorte qu'il soit sur la table qui est la meilleure approximation de système sans frottement que j'ai. De l'orienter mieux. Wouaoh ! Que constate-t-on ? Que le sol est dur, que Lego c'est une marque allemande, ça ne se casse pas. Non, non. On constate que lorsque la membrane élastique du ballon se rétracte en chassant l'air vers l'arrière, et bien en retour le chariot accélère dans la direction opposée. Comment ?

Etudiante

Du dégagement de l'air.

1F

Du fait du dégagement de l'air alors que moi je ne le touchais plus. Dans certain points de vue on pourrait dire que c'est une bonne illustration de principe de conservation de la quantité de mouvement qui dit que comme l'air qui est sortie avait de la quantité de mouvement dans une direction et que la quantité de mouvement totale se conserve et bien, le chariot est allé vers la droite. Et bien pour la prochaine fois vous allez faire un exercice mental.

S'il vous plaît ! Vous êtes tellement déconcentrés que vous n'arrivez même plus à entendre quand le niveau sonore atteint un niveau insupportable pour en faire quoi que ce soit.

Donc pour la prochaine fois, où j'en étais ? Vous allez réfléchir à la chose suivante : si cette expérience est supposée illustrée l'action et la réaction, action de quoi sur quoi ? Quel est le système qui exerce une force sur l'autre, quel est l'autre système qui exerce une force sur l'un ? Ou est-ce qu'elle est cette force ? De quelle nature ? Et bien j'y répondrai la fois prochaine mais d'ici là vous allez y réfléchir.

Ce que je vais faire dans les cinq minutes qui me restent, c'est de vous montrer la relation entre ce principe des actions réciproques quand un corps exerce une force sur un autre corps, l'autre corps exerce une force opposée. Ce qu'il a à voir avec la conservation de la quantité de mouvement de sorte que vous voyez bien l'interconnexion entre les deux qui s'opère. Si je prends un système composé. Qu'est-ce que c'est un système composé ? Je vais prendre un système 1 et un système 2.

Et donc il n'est pas composé d'un seul bout, il a deux bouts comme mes deux petits chariots Lego de tout à l'heure. Et l'ensemble de ces deux sous-systèmes, je vais l'appeler mon système il est composé de 1 et 2. Ça n'empêche que je peux prendre 1 comme sous système et écrivons le principe fondamental de la dynamique pour Monsieur 1 : $(\Delta P / \Delta T) = M_1 V_1 = \text{somme } F_{\text{ext}}$ qui s'appliquent sur 1. Les forces extérieures il y en a : vous devez la décomposer en deux parties c'est la force exercée par 2 sur 1 plus la force qui vient de l'extérieur du système S sur 1. Là de l'extérieur, j'ai deux bouts de force. Je dis que 2 exerce une force sur 1 mais aussi le reste du monde sur 1. Je vais écrire la même chose dans un référentiel approximativement Galiléen pour le système 2.

Et bien les forces qui s'exercent sur le système 2 c'est la force de 1 sur 2 plus la force de l'extérieur du système S sur 2. Maintenant qu'est-ce que je peux dire pour le système 1-2. Et bien je vais faire l'addition des deux équations et former $(\Delta P / \Delta T) = M_1 V_1 + M_2 V_2$ J'additionne et ça me fait F de 2 sur 1 plus F de 1 sur 2 plus les forces extérieures sur le système 1 plus les forces extérieures à S sur le système 2. Or F2 sur 1 plus F1 sur 2 ça vaut vecteur nul en vertu du principe des actions réciproques.

Par conséquent je constate que la dérivée de la quantité de mouvement totale par rapport au temps c'est la somme des forces extérieures. Et ça c'est le principe fondamental de la dynamique. Donc le principe fondamental de la dynamique il s'applique non seulement à un système simple à un seul composant mais puisque l'action et la réaction sont opposées et bien, ça s'applique encore à un système composé de sous-systèmes puisque les forces intérieures s'éliminent quand je les additionne.

Dans le cas particulier où les forces extérieures sont nulles, et bien je vois que dans un système composé sans force extérieure, j'ai la conservation de la quantité de mouvement. La conservation de la quantité de mouvement pour un système composé sans force extérieure apparaît donc comme une conséquence cumulée du principe fondamental de la dynamique et du principe des actions réciproques. C'est en ça que cette expérience est simultanément une illustration de la conservation de la quantité de mouvement et du principe des actions réciproques.

Est-ce que vous avez des questions ? Vous ne partez pas maintenant, j'ai une question à vous poser pour finir le cours. C'est le moment de grand désespoir pour moi. Déjà pendant le cours un grand désespoir de vous entendre aussi bruyant mais la question finale du cours est toujours un moment d'ultime désespoir. Alors voilà la question du jour : vous montez dans un ascenseur, vous montez dans un ascenseur.

Dans un premier temps, on ne va pas mettre de pèse personne dans l'ascenseur, vous êtes juste dans l'ascenseur. L'ascenseur vous appuyez sur le bouton 3, vous êtes au rez-de-chaussée et il commence à monter. Pendant le aller, la première seconde après que vous ayez appuyé sur le bouton, il se met en marche. Est-ce que vous êtes plus lourd qu'avant ? Je vous demande si vous êtes plus lourd qu'avant, je ne vous demande pas ...

Etudiant

En masse ou en quoi ?

1F

La masse elle ne change pas, on est d'accord. Le poids.

Etudiants

Il y a l'accélération de la 1:28:13.5

1F

Alors pourquoi on se sent si lourd ?

Etudiant

Parce que l'accélération baisse 1:28:31.8

1F

Donc un, l'ascenseur accélère, il accélère dans quelle direction ? Il accélère vers le haut. Et pourtant il y a la gravité. Il accélère vers le haut, c'est une blague hein ! Il accélère vers le haut, au début il a une vitesse nulle, après il a une vitesse vers le haut, il accélère vers le haut. Donc que dit le principe fondamental de la dynamique appliqué à vous ? Qu'est-ce que vous avez ? Quel est le système ? Quelles sont les forces ? Le système avant. C'est moi qui fais que ce système, le système c'est vous qui êtes dans l'ascenseur.

Etudiant

Il n'y a que l'ascenseur et nous, 1:29:27.8 le poids par rapport à l'ascenseur je pense ?

1F

Donc le poids il n'est pas par rapport à l'ascenseur. Le mouvement il peut être par rapport à l'ascenseur mais le poids c'est le poids. Donc le système c'est vous, le référentiel vous n'allez pas le prendre avec l'ascenseur parce qu'il est en train d'accélérer par rapport au référentiel terrestre, il n'est plus galiléen, vous n'êtes plus rien droit d'appliquer. Donc vous voyez le référentiel terrestre, il ne bouge pas par rapport au sol.

L'ascenseur bouge par rapport à ce référentiel. Quelles sont les forces sur le système qui est vous ? Le poids MG , il ne bouge pas le poids. Il n'a aucune raison de bouger,

c'est un poids G , le poids G il ne bouge pas. L'accélération elle est vers le haut. Alors quel est ce qui fait que d'un côté j'ai une masse fois accélération qui est vers le haut et à droite j'ai le poids, $1:30:21.5$ force. La force exercée par le plancher sur vos pieds, nous l'appellerons la réaction mais disons la force exercée par l'ascenseur sur vos pieds. C'est elle qui encaisse la différence entre la masse fois accélération et votre poids.

Question subsidiaire pour la fois prochaine : Je mets un pèse personne dans l'ascenseur, qu'est-ce que je lis ? Est-ce que ... et bien prenez une semaine pour réfléchir à cette question, nous reprendrons par là.

2 sesión

1F

Bon c'est l'heure. Donc ... s'il vous plaît, veuillez vous installer un tout petit peu vite. Donc vous avez dû voir comme moi au moins en grande partie ce qu'a donné le premier contrôle continu. Donc moi j'ai les résultats sur les quatre sections donc je n'ai pas une exception, malheureusement. Donc ce que ça donne c'est que pour l'instant on est sur une trajectoire absolument rectiligne qui reproduit les années précédentes et je vous donne le résultat à nouveau pour que ça s'imprègne.

Le résultat brut c'est (2/3) qui ne rend pas leur exam, qui n'aura pas leur moyenne non plus, il y a (1/3) qui va l'avoir. Donc je ne suis pas pessimiste, je pense quand même que monter de (1/3 à 2/3) ça me semble possible mais pas dans les conditions actuelles. Donc ça passe je le répète par le fait que l'amphi s'il n'y a pas de silence on ne peut pas travailler.

On est là, vous êtes là pour comprendre des choses. Si vous voulez prendre note un cours c'est dans les bouquins qu'il faut les trouver sinon vous sortez, ça simplifiera la vie de tout le monde. Et ensuite il faut un travail personnel pour les (2/3) qui sont déjà en phase de décrochage. Il faut un travail personnel qui représente au moins trois heures par jour. Ça ne veut pas dire forcément trois heures en plus des cours mais si vous écoutez en 0:07:57.0 pendant l'amphi c'est évident qu'on ne peut pas décompter ça dans trois heures de travail personnel. C'est un temps passif inutile. Ça c'est la première chose.

Deuxième chose c'est où on en est dans le semestre ? On en est à presque à la moitié du semestre. Il nous reste trois séances y compris aujourd'hui pour voir l'ensemble

des forces importantes. La séance d'aujourd'hui on va voir les forces de gravité, les forces de réaction, les forces de contact qui ne posent pas de problème mathématique d'intégration d'équation différentielle. La prochaine fois nous verrons les forces de frottements qui amènent une difficulté mathématique qui est l'intégration d'équation différentielle du premier ordre.

Ça ce n'est pas la semaine prochaine, c'est le deuxième cours de cette semaine. Et la semaine prochaine nous verrons les forces de rappel et les oscillations qui amènent une équation différentielle du deuxième ordre. Donc c'est classé par difficulté mathématique. Je vous rappelle les résultats des lois de la semaine dernière. Sans ces lois on ne peut strictement rien faire.

Première loi il existe des référentiels Galiléen dans lequel un système qui n'est soumis à aucune force, dont la somme des forces est nulle continue avec la même vitesse.

Deuxième loi qui est la troisième, la loi des actions réciproques. Si 1 exerce une force sur 2 alors 2 exerce une force opposée sur 1.

Troisième loi la dérivée de la quantité de mouvement par rapport au temps dans un référentiel Galiléen est égale à la somme des forces qu'on ait un système simple ou composé de plusieurs sous-systèmes.

Donc aujourd'hui et pendant trois séances, on ne va faire que appliquer les choses. Donc je vais rédiger un peu plus que d'habitude de sorte à faire de sorte de corrigé de la manière dont on présenterait les choses.

Etudiant

On avait une question la dernière fois sur l'ascenseur.

1F

Absolument, ça va arriver à un moment. D'accord ? Nous allons donc partir de la loi de la gravitation universelle. C'est elle qui a été sous-jacente à l'établissement du principe fondamental de la dynamique. Et à ce propos, j'ai fait une bref parenthèse, je vous ai sensibilisé au fait que par moment des notions simples étaient bouleversées par la physique. Vous avez vu l'annonce du Prix Nobel. Ce qu'il y a derrière c'est un bouleversement conceptuel sur ce qu'est la masse.

Donc c'est exactement de la classe des bouleversements dont on a pu évoquer. Mais donc la masse n'est pas une propriété intrinsèque des corps mais caractérise la

manière dont des particules interagissent avec leur environnement. Donc c'est une manière de penser les choses qui bouleverse ce que je vais raconter aujourd'hui qui est la physique classique.

Donc dans la physique classique la masse c'est simplement la donnée de quantité de matière qu'il y a entre deux corps. On a vu que ça se ramenait à la quantité de nucléons dans les noyaux des atomes qui composent les systèmes. Et dès que j'ai deux masses M_1 et M_2 dans l'espace qui seront suffisamment petites par rapport à la distance qui les sépare que je vais noter vecteur r .

Et ce vecteur r , je vais l'écrire comme une norme r qui est donc positive, un vecteur directeur e_r qui est de norme 1. Et bien, partout, en tout point de l'univers 2 exerce sur 1 une force qui est attractive et qui est proportionnelle aux deux masses. Et le fait qu'elles soient attractives, si je regarde mon dessin, c'est très important de savoir mettre des signes à posteriori. Et bien, si j'oriente r de 1 vers 2 pour faire un vecteur – alors 1 sur 2 pour que ça devient juste, non 2 sur 1 – pour faire un attractif, je dessine dans le bon sens. Ça c'est bien.

Et $F_{de1sur2} = (M_1 M_2 G / r e_r)$. Et G qui intervient une constante mesurée expérimentale qui vaut $6,67 \times 10^{-11} \text{Nm}^2 \text{kg}^{-2}$. Je peux faire un aparté sur ce qui est requis pour vous à l'examen. A l'examen, vous n'aurez pas de calculatrice, par conséquent vous devez avoir royalement cinq formules sur huit semaines de cours, peut-être six.

C'est impensable de ne pas savoir ça. Connaître des ordres de grandeur, ça va de soi aussi. Forcément pas tous les ordres de grandeur imaginable mais ne pas avoir de calculatrice ça signifie être capable de faire des calculs approximatifs c'est-à-dire au moins trouver la puissance de 10 et puis dans le nombre qui est devant entre 1 et dix savoir l'avoir quand même à 50% près, c'est la moindre des choses.

Cette loi, elle a quelque chose d'étrange c'est que quand on écrit le principe fondamental de la dynamique sur 1 ou sur 2 peu m'importe, mais disons sur 2, et bien, dans la mesure où c'est un système simple, la quantité de mouvement c'est la masse fois la vitesse je prends un référentiel Galiléen. Vous voyez que dans cette expression, la masse qui est la cause de l'interaction 0:15:58.4 disparaît de l'expression. Le M_2 qui est la masse du système que je considère arrive des deux côtés du coup elle s'en va qui est la même propriété que dans la chute sur terre. Et c'est de prime à bord

étonnant et c'est une source de plantage assez fréquente que ça qui n'est pas intuitif conduise à des inversions entre les masses 1 et 2, ce qu'il ne faut pas faire.

Une des applications très importantes de cette loi est le cas du mouvement circulaire uniforme. C'est un cas particulier d'un mouvement, vous verrez le cas général en second semestre. Si je considère une masse centrale M qui est extrêmement lourde par rapport à une petite masse m située à une distance r comme ceci, et bien ce qui peut se passer pour le mouvement de cette masse petite devant la grande ... oui.

Etudiant

0:17:33.5

1F

Le système c'est la masse 2. Je l'écris S pour système égal « et qui est le système » en mot. Moi je vais l'appeler 2 donc je mets 2.

Etudiant

Quand ça a un nom, on met son nom ?

1F

Oui, c'est son nom, je l'appelais système 2. J'aurais pu marquer la poulie et la corde si ça avait été une poulie et une corde. Donc dans cette situation, vous voyez que du moment que j'ai un déséquilibre entre les deux masses, et bien il se produit une énorme différence entre les propriétés des deux masses. Bien sûr la force de la petite masse sur la grande masse et la force de la grande masse sur la petite masse sont opposées : c'est le principe des actions réciproques mais, quand je vais écrire le principe fondamental de la dynamique sur la grande masse et sur la petite masse, et bien il va apparaître un effet très fort sur la petite masse et un effet très petit sur la grande masse.

Voyons ça. J'écris pour la grande masse, je vais l'écrire comme ça. Le système c'est M , je le place dans un référentiel approximativement Galiléen, je vais appeler la vitesse V_M pour la grande masse, je vais orienter r vers l'extérieur comme ceci. Et M , m , vous voyez dans cette expression M disparaît et l'accélération de la grande masse vaut donc MG/r^2 .

Si maintenant je l'écris l'autre système possible, m et bien le principe fondamental de la dynamique dans un référentiel approximativement Galiléen s'écrit comme ça et vous voyez que c'est la masse M qui reste. Donc l'accélération du corps qui est très lourd est très petite, l'accélération du corps qui est très léger et très grande relativement l'un à l'autre. Donc je vais pouvoir supposer que le corps qui est très lourd ne bouge pas par rapport au référentiel Galiléen que j'ai choisi et que l'autre et bien, il se déplace par rapport au premier.

Dans cette situation qu'est-ce qui arrive à la masse m ? Elle est attirée par la masse M, il lui arrive à priori une chose c'est que on dirait naïvement qu'elle tombe dessus. C'est vrai, et c'est vrai uniquement si elle n'a pas de vitesse initiale. Si elle a une vitesse initiale, par exemple une vitesse comme ça, et bien elle va tomber dessus mais de manière décalée. Si on l'envoie avec une vitesse finalement grande et bien, elle va faire une orbite elliptique autour du corps.

Si on l'envoie encore plus fort, elle va partir à l'infini mais parmi toutes cette gamme de trajectoires, la chute à la verticale, l'orbite elliptique et le fait de partir à l'infini, il y a une trajectoire très particulière qu'on peut calculer dès maintenant c'est la *trajectoire circulaire*. Pour obtenir cette trajectoire, il faut donner au corps une vitesse très précise. Si on donne tout autre vitesse ce n'est pas c'est le mouvement qu'on obtient.

Bon à quelles conditions est-ce que un corps peut tourner en suivant une trajectoire circulaire uniforme autour d'une grande masse ? Et bien il faut que le principe fondamental de la dynamique soit vérifié. Je choisis un référentiel. Donc évidemment je ne vais pas le faire tourner avec la masse M pour qu'il soit fixe ici. Donc si la masse m c'est le soleil et que ça c'est la terre, il faut que j'utilise un référentiel au moins centré sur le soleil qui pointe vers les étoiles.

Si ça c'est la terre et que ça c'est un satellite, j'utilise un référentiel centré sur la terre, la date. Je choisis un référentiel approximativement Galiléen. Je choisis comme système la petite masse, je recense les forces qui s'appliquent au système, les forces il n'y en a qu'une, c'est la gravitation. Donc tout va bien. J'écris le principe fondamental de la dynamique M fois l'accélération $M \frac{dV}{dt}$ égal $G \frac{M m}{r^2}$ dans lequel j'attire votre attention sur le fait que r c'est la distance au centre du corps attracteur par la surface.

Il y a quelque chose que j'ai omis de vous dire c'est les conditions sous lesquelles l'équation que j'écris en haut est vrai. Il y a deux situations dans lesquelles c'est vrai.

La première c'est si on des cordes de forme arbitraire, des patates, et bien il faut que la distance entre les deux patates soit grande devant la taille des patates. Mais si les corps sont des sphères parfaites, alors la loi s'applique sans condition y compris pour des corps qui sont proches. Si l'un des ... en occurrence ici c'est le corps central est sphérique, et bien la loi s'applique strictement. Je ne peux pas vous le démontrer maintenant, on n'a pas le 0:24:44.9.

Alors ici il faut que je mette le bon signe de sorte que les choses marchent. La force elle est attractive. Si elle est attractive, et bien ça signifie que m est attirée par M et donc la force est orientée vers le centre. Et je vous l'ai dit, à chaque fois qu'il y a des problèmes de signe, je les règle toujours, pour ma part à posteriori en regardant un dessin.

C'est très dur de régler ces signes de manière juste par le calcul purement alors que c'est assez simple de regarder le dessin, regarder comment on a orienté son vecteur de base et ça permet si j'ai une inversion de mon vecteur de base de revenir au juste. Dans un mouvement circulaire uniforme, voilà une des formules qu'il faut que vous sachiez quelle est l'accélération ? (v^2/r) Et elle est orientée dans quelle direction ?

Etudiante

Vers le centre.

1F

Elle est orientée vers le centre de rotation et ça tombe bien parce que sinon l'équation n'aurait pas pu être vérifiée. Et donc qu'est-ce qui retombe de ceci, une relation entre la vitesse et le rayon. Ça ça simplifie, ça, ça simplifie, il nous reste $v = \sqrt{r \omega^2}$ (racine de 2). Combien y a-t-il d'orbites circulaires autour de la terre par exemple ? Et bien, il y en a une infinité, il y en a autant que de distances à la terre. La courbe, plus r est grand, plus la vitesse est petite. Plus r est petit, plus la vitesse est grande.

Par conséquent, selon qu'on veut envoyer un satellite autour de la terre qui tourne vite ou qui tourne lentement ou qui tourne très lentement, et bien il faut le mettre à des altitudes différentes. Parmi tous les satellites qui tournent autour de la terre, il y a un seul rayon pour lequel le satellite va faire le tour de la terre en 24h. Et par conséquent il est toujours à la verticale du même point ce sont les satellites géostationnaires.

Si au contraire on veut des satellites d'observation du sol, satellites d'observation militaire en particulier, et bien, il faut qu'il fasse le tour de la terre en en faisant des photos en permanence. Donc il faut qu'ils tournent très vite et donc il faut les mettre très bas mais sans pour autant entrer dans l'atmosphère qui fait une dizaine de kilomètres. Donc on les envoie à quelques centaines de kilomètres pour cette raison-là.

En combien de temps est-ce que le corps fait le tour ? Et bien ce temps on l'appelle *la Période*. Cette période et bien c'est égal à la longueur parcourue divisée par la vitesse. La longueur parcourue c'est $2\pi r$, la vitesse c'est v . ce qui me fait $2\pi r / v$ racine (VM). On va prendre cette formule et on va vérifier qu'elle contient raisonnablement des éléments qu'on connaît. Et donc par exemple on va recalculer quelle est la période de la terre autour du soleil. La trajectoire de la terre autour du soleil n'est pas un cercle parfait mais enfin ce n'est pas si mal.

Et j'attire votre attention sur le fait que le fait qu'il y a un été et un hiver n'est pas lié au fait qu'on soit plus près ou plus loin du soleil mais il y a le fait que l'axe de la terre est incliné par rapport à l'orbite. Donc prenons le rayon de la distance terre – soleil. Je vais vous la donner avec une certaine précision. La masse du soleil 2×10^{30} Kg, la distance terre – soleil $1,5 \times 10^{11}$ mètre et G vaut ceci. On en tire la période de rotation de la terre autour du soleil. On pose le calcul. Et quand on pose le calcul et bien on réécrit les expressions directement en place de sorte que n'importe qui peut voir la correspondance entre l'expression analytique et les nombres qu'on a remplacés.

Je mets 2 fois π fois $1,5 \cdot 10^{11}$ et je laisse les unités, divisé par racine de G fois la masse avec les unités, Newton mètre carré kg carré fois $1,9915 \cdot 10^{30}$ Kg. Donc parmi les choses qui apparaissent dans le premier contrôle continu, je pense que le tiers qui va être sauvé, qui n'est pas sauvé pour le moment, l'essentiel c'est les fautes d'inattention, c'est-à-dire des fautes qui vont être dures à corriger parce que quand on ne fait pas attention et qu'on a pris l'habitude de jamais faire attention, enfin il y a des recettes et parmi les recettes et bien, je pense que se lister les choses qu'il faut ne pas faire, par exemple sans pour une fois pour toute que l'unité de masse est le Kg en système international et pas le gramme. Et ben ça évite de faire une fois sur deux un plantage. C'est l'exception.

Tous les autres il n'y a pas de cas devant mais celle-là oui. Le fait de recopier l'expression avec les unités, et bien ça permet de voir si on le recopie, en s'obligeant mentalement à recopier, et bien si j'avais des kilomètres dans l'énoncé. Ici il y avait marqué 10^8 , je trouve à la fin que ça ne fait pas un an. Il y a un problème, je remonte, je vois mon expression, ah oui j'ai laissé des kilomètres dans l'expression. Donc le fait de laisser les unités d'abord, il n'y a que comme ça que ça a un sens sinon les nombres n'ont aucun sens. Et ensuite c'est un moyen visuellement de voir les fautes d'inattention caractéristiques du tiers tangents.

Donc ici j'ai pris soin de mettre les unités du système international donc, je n'ai aucun souci. Et maintenant il faut que je calcule approximativement. La technique c'est lever les puissances de 10 et mettre les nombres de manière séparée. Donc je lève les puissances de 10. Le 10^{11} qui est là c'est plus simple si je mets 10^{12} fois 0,15. Ça va me simplifier la vie. Donc je vais séparer deux fois pi fois $0,15^{3/2}$. Et la puissance de 10 la plus proche est $10^{12 \cdot 3/2}$ $12/2$ ça fait 6, 3 fois 6 18. Vous me corrigez si je fais une erreur.

En dessous la puissance de 10 la plus proche si je fais $10^{30} \cdot 10^{-11}$. 30 moins 11 ça fait 19 mais il me reste un 6 devant. Donc c'est mieux si je mets 10^{20} , ça me permet de calculer la racine à la main. Ça fait 10^{10} et en échange de 3 je n'ai que 0.6 ici.

Etudiante

0:34:59.5

1F

10^{18} sur 10^{10} ça nous fait 10^8 . Ensuite il faut que je calcule les nombres. Alors c'est là que vous avez les excluses mais plus vous serez doués mieux ça sera. Deux fois π ça fait 6. $0,15^{3/2}$ à votre avis ça fait plus que 0,15 ou moins que 0,15 ?

Etudiant

Moins.

1F

Ça fait moins que 0,15 vous représentez dans la tête $x^{3/2}$, la tangente est plate à l'origine lorsque ça vaut 1 0,15, ça fait moins que 0,15. Donc 6 fois 0,1, aller 0,6, il y en a 2 fois 0,6 ça fait 1. Bon, allez, seconde. Donc ce faisant et bien j'ai un facteur 2

dans l'estimation mais ce n'est pas très grave pour ce que je vais en faire, je fais ce que je peux avec ce que j'ai ... Oui.

Etudiante

Pourquoi ici puissance $\frac{1}{2}$ vous 0:36:34.3

1F

Vous avez tout à fait raison, pardon. Je l'ai fait pour la puissance de 10 je l'ai oublié là. Ça ne change rien de ... 2 fois 0,6 ça fait toujours 1 et des poussières, racine de 1 et des poussières, ça fait 1. Oui. Donc la vraie valeur c'est 0,4. Je mets 0,6 ce n'est pas dramatique pour ce que je vais en faire. Donc maintenant ce nombre en seconde évidemment, ce n'est pas lui dont j'ai besoin, j'ai besoin de l'exprimer par rapport à quelque chose qui me permet de conclure dans ces années, le temps de rotation de la terre autour du soleil c'est un an, il fallait que je trouve un an.

Bon je vais calculer un an égal 365 jours fois 24h fois 60 minutes fois 60 secondes. Je tire les puissances de 10 de ça. Les puissances de 10, 60 fois 60 c'est 3600, ça me fait 10^3 , 10^4 , 10^5 , 10^6 . Je fais les facteurs 3,65 fois 2,4 fois 3,6. 3,65 fois 3,6 ça fait à peu près 3 fois 3 et ça fait 9 ça fait 10. 10 fois 2,4 et bien ça fait $3 \cdot 10^5$ secondes. Qu'est-ce qu'on voit ? Et bien on voit que ça fasse si je n'avais pas fait une erreur de calcul grossière ici je n'aurais pas trouvé 6 mais 4 mais c'est un bon résultat. Oui.

Donc maintenant vous pouvez prendre une calculatrice, vous mettez les nombres et vous regardez que ça fait 1.01 année si vous voulez. Mais disons dans les règles qui sont les nôtres, cette manière de faire nous suffirait.

Maintenant calculons la vitesse d'un satellite d'observation qu'on place à 300km de la surface.

Là c'est trop petit, alors c'est ça qui est trop petit.

Donc dans ce problème avec un satellite d'observation je mets une chance sur trois d'oublier d'ajouter le rayon de la terre dans r , c'est-ce qu'on appelle une faute d'inattention. Et, comment vous aidez à ne pas la faire ? Je peux vous le signaler exhaustivement mais enfin donc le rayon de la terre d'environ 6400km de sorte qu'en mètre ça me fait $6,7 \cdot 10^6$. Et je répète à quel point la leçon zéro est importante pour les tiers d'entre vous qui est tangents.

L'exemple type de la faute d'inattention ce n'est pas voir les unités et avoir oublié de copier un bout des choses contre lesquelles il m'est dur de lutter à votre place. La masse de la terre, on pourrait en trouver un ordre de grandeur à partir du rayon et de la masse volumique caractéristique. Je vous rappelle que la masse volumique d'une phase condensée comme l'eau, un caillou, ça n'est pas 1kg/m^3 mais 1000kg/m^3 . En occurrence pour des roches plutôt 3000 – 4000 ou 5000 quand il y a du fer au milieu. Donc celle-là, pitié, ne la faites pas. Je vais calculer la vitesse de ce satellite d'observation. Et bien, je pose le calcul formel, je remplace les valeurs. Le calcul c'est racine du (GM/r) .

La masse ce n'est pas la masse du système qui est en train de tourner, c'est la masse du système qui attire. Enfin par conséquent ici la terre et le rayon c'est bien 0:42:52.2. Je veux calculer ça. Je tire les puissances de 10, je laisse les nombres. Ici j'ai 10^{24} et 10^{-11} , j'ai tout intérêt à faire apparaître $0,6 \cdot 10^{-10}$, ça fait 24 moins 10 ça fait 14. Et donc je vais le recopier. $0,667 \times 5,97$ en bas je vais laisser le 6,7 et la puissance de 10 qui sort, je répète 24 moins 10 ça fait 14. 14 sur 16 ça fait 8 qui reste en haut, racine de 8, racine de 10^8 ça fait 4. Vous voyez ? Ensuite il faut que je mette le nombre qui est devant mais là c'est simple parce que j'ai 5,97 sur 6,7 ça fait royalement 1. 0,9 si j'ai envie. 0,9 fois 0,66 ça fait 0,6. Racine 0,6 c'est plus grand que 0,6 ou plus petit que 0,6 ? Plus grand parce que c'est un nombre entre 0 et 1 et la racine elle passe au dessus de la droite.

Donc racine de 0,6 ça doit faire 0,7 ou 0,8. Donc ça devait me faire 8000m/s. est-ce que j'ai une intuition là-dessus ou peut-être moi je n'en ai pas tellement donc je n'ai pas intérêt à le mettre 1km/h parce que ça ne va pas me parler beaucoup plus qu'en m/s. simplement on voit bien que 8000m/s c'est plus qu'une voiture, qu'un train. Que vaut la période ? Je pose le calcul $(2\pi \text{ racine } r^3) / VM$, après

Etudiant

Monsieur !

1F

Oui

Etudiant

Pourriez-vous réexpliquer quand même ce que sur votre 0:46:04.1 on a 10^{14} , ensuite on a dit 10, 6 en bas et on trouve après 10^4 ?

1F

Alors on y va.

Etudiant

Vous voulez 0:46:24.8

1F

Non, non c'est bon, c'est bon. Je comprends mais ça m'arrive de tromper hein ! On voit après tranquillement. Donc j'ai une racine donc si je veux calculer simplement il faut que j'arrondisse vers une puissance de 10 qui soit multiple de 2 sinon j'aurai du mal à prendre la racine. D'accord. Donc je prends c'est celui là qui a un paire. Par conséquent je le bascule au paire le plus proche et le paire le plus proche c'est 10^{-10} . Donc je recopie 0,667 je recopie 5,97 et il me reste et je recopie le 6,7. Qu'est-ce qui me reste comme puissance de 10 ? 10^{-10} fois 10^{24} divisé par 10^6 . Ça fait 24 moins 10 = 14. $14 - 6 = 8$, racine de 10^8 ça fait $10^{8/2}$ ça fait 10^4 .

Etudiant

Ok.

1F

Ça marche ? Donc ça c'est une gymnastique. Si je fais 10^x fois 10^y ça fait 10^{x+y} . Quand je prends $(10^x)^y$ ça fait 10^{xy} . C'est bien ça ?

Etudiant

Ok.

1F

Je recopie mon G et r. alors vous avez une occasion de vous refaire sous la racine on veut voir apparaître une puissance de 10 qui soit paire de sorte de pouvoir passer la racine facilement. Donc je sépare mon expression avec un bout qui va contenir les nombres d'ordre 1 et un bout qui contient les puissances de 10. Donc en haut 10^6 , tout va bien, je laisse comme ça. J'ai 2pi racine $6,7^3$. En bas celui-là est paire ça va, celui-là est impaire. Je vais le basculer à 10^{-10} . Oui.

Etudiante

0:49:03.8, le M il est au carré non ?

1F

Le M il est à la puissance $3/2$ donc j'ai mis $(r^3)^{1/2}$. Vous voyez il y a puissance $3/2$. Ça c'est un 3. Alors ça, ça nous fait 0,667 fois 5,97. Je sors la puissance de 10. J'en ai 18 en haut, j'en ai 10^{-10} fois 10^{24} en bas. En bas je mets 10^{14} et 10^{18} en haut. 10^{18} divisé par 10^{14} ça fait 4. Racine de 10^4 ça fait 10^2 . 10^2 seconde. Maintenant il faut calculer le nombre qui est devant. 2 fois pi ça fait 6. Le nombre qui est dans l'intégrale, le 0,667, je vais le mettre à 1 6, 7, 6 donc ça fait 1. Je vais mettre un nombre de l'ordre de 7, un peu plus de 7 parce que j'ai mis ça 1, ça va faire un 8. 6 fois 8 = 48. Ça, ça me fait.

Je vous le refais une deuxième fois. A l'intérieur de la racine, comment je m'en arrange ? Ça c'est à peu près 6 fois 6 fois 6 j'ai un autre 6 en bas. Donc je garde 6 fois 6 en haut. J'ai 6 fois 6 sur 0,6. 6 fois 6 c'est facile d'en prendre la racine, ça va me faire 6. J'ai un facteur 0,6 donc au lieu de me faire 6 ça va un peu plus que 6. 7 ou 8 fois 6 ça fait 50. Donc 5000 secondes c'est-à-dire cette fois j'ai une référence mentale 5000 secondes, 3600 secondes c'est 1h. Donc ça, ça fait à peu près deux heures. Vous voyez, je n'ai pas marqué 2 virgule zéro hein ! Par prétentieux, j'ai mis 2 ça veut dire c'est 2 plus ou moins 1.

Etudiant

0:51:53.4

1F

Ah oui, c'est ça que j'ai marqué. Donc c'est vrai. Le vrai résultat je pense que je l'ai à ... est-ce que deux heures c'est bien pour un satellite d'observation ? Oui, c'est bien vous savez qu'il fait 12 fois le tour de la terre en 24h donc il a le temps de voir chaque point du globe, pas chaque point mais les points qu'il survole. Il peut les voir 12 fois dans la journée, ça fait un rafraîchissement. Il suffit d'en avoir 10 des comme ça et on peut survoler n'importe quel point de la terre dans le quart d'heure.

Etudiant

Est-ce que c'est possible d'avoir un échange de 0:52:33.6

1F

Absolument. Comment faut-il faire pour faire changer l'orbite de direction ? Il faut changer la vitesse. Et comment on change la vitesse ? En mettant une force. Donc du moment qu'il y a une source d'énergie qui permet d'avoir des moteurs, et bien il suffit d'accélérer perpendiculairement à sa vitesse et on peut faire tourner la vitesse sans changer son module et donc sans changer le rayon d'orbite.

Je reviens ensuite sur le schéma qui est en haut à gauche. On vient de calculer longuement cette orbite-là. Mais ne retenez surtout pas que dès qu'on met deux corps en présence ils tournent l'un autour de l'autre selon une trajectoire circulaire. Ça n'est pas vrai. Ils peuvent tomber l'un sur l'autre, ils peuvent tourner l'un autour de l'autre selon il a envie de faire.

Petit trois l'accélération de la gravité. Si je considère un petit objet qui est près de la surface de la terre, sa masse vaut m . Ce petit objet bien sûr la force qui s'exerce sur lui, une force attractive de ce type. Qu'est-ce qui se passe si l'objet est à la surface de la terre et se promène sur des distances qui sont petites devant le rayon de la terre ? Et bien, le r qui est dans cette expression pour l'essentiel devient le rayon de la terre.

Donc du moment que r - rayon de la terre est petit devant le rayon de la terre, et bien la force devient à peu près $-GM/r^2$ pour la masse de l'objet fois e_r . Tout ça, alors je vais écrire M fois le vecteur G , le vecteur G 0:55:59.5 GM sur le rayon de la terre au carré. Par conséquent, qu'est-ce que c'est que l'accélération de la gravité, l'expression $P=MG$ que l'on utilise à la surface de la terre ? Et bien ça n'est rien d'autre que la loi de la gravitation universelle que l'on applique pas trop loin de la surface de la terre.

Ou bien c'est le G ou bien vous gardez dans votre cours comme exercice quatre lignes de trou, vous mettez $G M$ de la terre, rayon de la terre au carré, vous allez trouver 9.8ms^{-2} la valeur de la gravité. On voit ici ce que ça signifie qu'un champ puisqu'au lieu de dire que deux objets interagissent, ce qu'on écrit c'est que le premier objet, la terre induit un champ de gravité G et ensuite ce que sent la masse M c'est le champ. Le champ c'est ce vecteur G qui en tout point de la surface pointe vers le centre. Donc vous voyez que quand on utilise le poids égal MG , et bien ça ne peut avoir un sens avec un G constant que si on travaille sur des tailles de systèmes qui sont petits devant la taille de la terre. Si j'ai besoin de comparer ce qui se passe à l'équateur et aux pôles, et bien le G n'est pas un vecteur constant puisqu'il pointe toujours vers le centre de la terre comme on le voit.

Je vous rappelle ce que je vous ai déjà dit une fois, il y a une autre force qui joue un rôle très important et qui a une analogie extrêmement forte avec la gravité c'est la *force électrique* qui est donnée par la loi de Coulomb qui remplace la loi de la gravitation universelle. Que dit la loi de Coulomb ? Elle dit que si j'ai deux objets sur lesquels j'ai des charges électriques q_1 et q_2 , unité du système international de q c'est le Coulomb, et bien il s'exerce une force de 1 sur 2 qui a exactement la même forme que celle qu'on a déjà écrite à une nuance près c'est que cette force est répulsive si q_1 et q_2 ont même signe, qu'ils soient tous les deux positifs ou tous les deux négatifs et elle est attractive si q_1 et q_2 sont de signes opposés.

Epsilon zero j'ai déjà eu l'occasion de vous donner sa valeur. Ça vaut $8,85 \times 10^{-12}$ Faraday par mètre. Voilà donc comment interagissent deux charges. J'ai assisté longuement il y a deux semaines sur la raison pour laquelle il y avait une différence entre les deux qui venaient du fait qu'ici la charge totale d'un objet isolé est en général zéro de sorte que loin on n'a plus d'effets. La chose que je veux souligner maintenant c'est que de la même façon pour la gravité on peut définir le champ petit g comme étant le résultat de ce que je fais une distribution de masse, une autre masse étant sous l'influence de ce champ, et bien de la même façon, on peut dire que ce que font les charges c'est de créer un champ électrique de sorte que la force qui s'exerce du champ E sur une charge q soit égal à q fois E .

On voit la symétrie des expressions dans un cas la masse fois petit g , dans l'autre cas la charge fois grand E , le champ. L'unité de champ électrique c'est le Volt/mètre. Et par conséquent si vous rencontrez un problème dans lequel on vous demande quel est le mouvement d'une particule chargée, par exemple un électron dans un champ électrique uniforme E ? Et bien la réponse est strictement la même que le mouvement d'une particule de masse M dans un champ de gravité uniforme, c'est un mouvement uniformément accéléré. On va le voir dans un instant.

De plus de temps que nous retrouvons, nous allons faire une application fondamentale qui est l'application à la balistique, le mouvement parabolique d'une masse dans un champ de gravité constant. Alors le problème repose de la manière suivante : on envoie un objet de masse m avec une vitesse initiale V_0 selon un angle θ . Et on veut savoir à quelle distance l'objet va atterrir sur le sol.

Si on le pose ça comme problème, le problème peut avoir un enrobage qui est très compliqué mais ce qu'il faut que je fasse, la première chose que je dois faire pour reposer le problème c'est un dessin qui fasse toute la taille de la page. Et ce dessin, il faut mentionner dessus toutes les quantités qui vont intervenir dans le calcul de sorte que je résume un énoncé qui est écrit en français, en anglais le cas échéant, je le résume dans un schéma qui me donne tous ce que je dois savoir. Je mathématise par le dessin.

Qu'est-ce qu'il faut que je rajoute ? Et bien pour calculer ce mouvement parabolique, bien il faut que je choisisse des axes, toujours le choix de la manière dont ils devraient être posés. Et je choisis x à l'horizontale, z à la verticale, on peut toujours prendre z vers le haut ou vers le bas. Je vais le prendre vers le haut, voilà. Quand je dessinais ça, je n'ai pas dit où était l'origine, je me laisse ça pour plus tard. Alors il y a toujours les trois mêmes étapes dans le problème de mécanique :

- 1- Qu'est-ce que je choisis comme référentiel
- 2- Qu'est-ce que je choisis comme système
- 3- Qu'est-ce que je choisis comme force
- 4- Principe fondamental de la dynamique
- 5- Je résous l'équation

Bien, pour ce problème-là si je lance l'objet et que la trajectoire est de petite taille, et bien le référentiel terrestre doit convenir. Il est approximativement Galiléen sur le temps de l'expérience. Cette phrase là suffit à dire oui, oui à la personne qui lit, oui, oui, ne vous inquiétez pas moi je sais qu'il y a des subtilités avec les référentiels. Ce qui compte c'est le temps pendant lequel ça dure et la taille sur laquelle se fait l'expérience. Et le terrestre est bien pour ça.

Deuxièmement je choisis un système. C'est la masse. Oui.

Etudiant

1:07:23.0

1F

Non.

Etudiant

1:07:28.5

1F

Quoi ?

Etudiant

1:07:33.6

1F

F du champ E sur q c'est-à-dire on a un ensemble de charge, elle crée le champ. Quelles sont les forces sur le système ? Et bien le poids et lui seulement. Et le poids je le projette immédiatement sur la verticale selon ma convention. J'applique le principe fondamental de la dynamique et je projette. L'opération qui consiste à projeter c'est prendre le produit scalaire avec le vecteur unitaire. Si je projette sur x, je prends le produit scalaire avec x de l'équation.

Ça me donne : dv_x/dt et la projection du vecteur G sur l'horizontale ça vaut zéro. Je projette sur z. Ça c'est le cas opération. E_z produit scalaire de mon équation, la projection de l'accélération sur la verticale c'est dv_x/dt . Et maintenant pour ajuster mes signes, je regarde si la gravité pointe vers le haut ou vers le bas par rapport à z. J'ai choisi z vers le haut, la gravité va vers le bas, ça fait donc $-G$.

Ensuite je résous les équations ici qui sont deux équations simples. Elles ne sont pas différentielles, la complexité va arriver quand on va passer aux équations différentielles, pour l'instant la première équation s'intègre directement. $V_x =$ Une constante. Que vaut cette constante ? Et bien elle est donnée par les conditions à l'origine. J'ai b_0 et un angle teta il faut que je projette, ça va faire un cosinus ou un sinus. Je mets mentalement teta vers zéro, je projette sur l'horizontale, c'est un cosinus qui apparaît.

Maintenant deuxième équation, je l'intègre. La primitive d'une constante c'est constante fois t. C'est-à-dire que j'ai $-Gt$ plus une constante d'intégration. Cette constante d'intégration, je la fixe à $t=0$, je regarde sur le schéma que vaut la vitesse à $t=0$ selon la verticale ? Elle est vers el haut. C'est-à-dire comment est l'angle teta, c'est un sinus et côté opposé. Ça fait donc $V_0 \sin teta$. Et j'encadre parce que c'est des résultats intermédiaires pour lesquels je veux attirer l'attention. J'intègre une deuxième fois. $V_0 \cosinus teta + cons \tan te$, Je l'intègre ça fait $V_0 \sinus teta t + une constante$

d'intégration. Cette constante d'intégration je choisis $x=0$ à $t=0$ et ça me permet de 1:13:16.8. J'intègre $-Gt$ ça s'intègre en $-1/2 Gt^2$ l'intégrale de t c'est $t^2/2$. Plus une constante que j'appelle z_0 . A nouveau je peux choisir z_0 de sorte que à $t=0$, $z=0$. Si j'ai envie.

A partir de ces deux équations temporelles ... le niveau sonore ne permet pas de faire cours honnêtement. On est très au-delà du raisonnable. J'ai deux mouvements horaires si je veux trouver la forme géométrique il faut que j'élimine le temps entre les deux équations pour exprimer $z(x)$. Pour faire ça ben il y a un moyen simple : la première équation, elle me dit juste que x est linéaire en temps selon la direction horizontale la vitesse est constante, c'est normale, il n'y a pas de force dans cette direction-là, la vitesse reste la vitesse initiale. Je peux récupérer t en fonction de x et l'injecter dans la deuxième équation ça va me faire $z(x)$. Ça je l'appelle la trajectoire. Je remplace $G/(V_0^2 \cos^2 \alpha)$ fois $X^2 + x \tan \theta + z_0$. A nouveau j'ai un résultat marquant le long de 1:16:03.1.

Dernier morceau je veux savoir quelle est la longueur de la trajectoire en fonction des données.

Etudiant

Monsieur !

1F

Ouais

Etudiant

1:16:18.5

1F

$V_0 \cos^2 \alpha$, j'ai oublié un 2

Etudiant

Pourquoi il y a un angle α ?

1F

Ah ce n'est pas ... θ normalement. Il y a un moins. Donc je veux trouver la longueur de la trajectoire. Je vais choisir $z_0=0$ et résoudre le problème particulier où le point de départ et le point d'arrivée sont à la même hauteur. Evidemment la formule que je vais

déduire, elle ne s'applique pas si ce n'est pas la même hauteur entre le début et la fin. A ce moment-là je dois résoudre $-GL^2V^2\cos^2\theta + L \tan\theta = 0$. De ça j'en tire L égal je peux éliminer un L, cette solution là ne m'intéresse pas où $L = \tan\theta / G2V^2\cos^2\theta$ d'où je tire le résultat $\cos^2\theta \tan\theta = \frac{v_0^2 \sin\theta}{g}$ c'est sinus sur cosinus. \cos^2 fois sinus sur cosinus ça fait cosinus fois sinus. Et deux fois sinus fois cosinus c'est $\sin^2\theta$. Donc ça, ça me fait $V^2/G\sin^2\theta$.

Ici j'ai un résultat qualitatif à tirer. Bien sûr je peux mettre un ordre de grandeur dans v_0 et dans G, je peux vérifier que dimensionnellement c'est correcte vu que v_0 c'est Lt^{-1} , ça fait $V^2=L^2t^{-2}$ en dessous j'ai Lt^{-2} ça me fait bien L, ça va. Ici j'ai $\sin^2\theta$, ça, ça vaut la peine de le tracer de sorte à voir quand est-ce qu'on atteint la longueur la plus grande à v_0 donnée. Je me mets donc à v_0 et G constants, je vais passer L en fonction de θ et pour faire un graphique qui est plus parlant je vais tracer GL/V^2 en fonction de θ c'est-à-dire $\sin^2\theta$. Quand θ fait zéro, ça vaut zéro. Quand θ vaut π ça vaut $\sin^2\pi$ ça fait encore zéro. Quand θ vaut $\pi/2$ ça vaut un. Donc ça ressemble au sinus. Je me suis trompé d'un cran, je reprends. Quand θ vaut $\pi/2$, 2 fois $\pi/2$ ça vaut π , sinus vaut zéro. Quand θ vaut $\pi/4$, sinus 2 fois $\pi/4$ vaut $\pi/2$, ça fait donc 1. Donc le maximum est atteint lorsqu'on tire à 45° . Oui.

Etudiante

Le maximum de la hauteur 1:21:13.3

1F

L c'est la longueur de la trajectoire. Si on veut trouver le maximum de la hauteur et bien il faut commencer par prendre l'équation horaire et voir où elle est extrême c'est-à-dire calculer l'endroit où v_z s'annule. Ça on a l'expression ça fait $t = v_0 \sin\theta / g$ et remplacer.

Nous avons donc vu une première force la gravité et même une seconde la force électrique.

Etudiante

Ouais

1F

C'est terrifiant, j'ai l'impression d'avoir été dégradé, on va me retirer mon poste de prof et on m'a mis au collège, c'est assez terrifiant. Non (rires). Alors je ne veux pas aller voir à quoi ça ressemble au collège.

Etudiante

C'est très bel au collège Monsieur.

1F

C'est mieux vous voulez dire ?

Etudiante

C'était très bien.

1F

Donc nous avons vu une première force, la force de gravité pour aller un cran plus loin il nous faut définir ce que sont les forces dites de réaction. Les forces de réaction on les définit quand d'un système sur un autre. Par exemple ma main sur cette table en bois, au lieu de dire quelle est la loi de la force qu'exerce l'un sur l'autre, on va dire que les atomes de ma main ne traversent pas les atomes de la table et qu'en plus ma main essentiellement ne se déforme pas et la table non plus.

Donc dans la réalité ma main se déforme parce qu'elle est élastique, oui elle ne se pénètre pas parce que il y a le principe de Paoli qui interdit aux nuages électronique de s'interpénétrer mais ensuite quand même les atomes s'écrasent les uns sur les autres. On a dans la réalité un peu d'élasticité. Mais quand je n'ai pas envie de décrire ces petits effets élastiques d'écrasement mais juste dire que l'un ne rentre pas dans l'autre, et bien le contact entre des objets indéformables. On va tirer du fait que ces objets soient indéformables, les valeurs des forces qui s'exercent l'un sur l'autre juste par cette condition de non pénétrabilité de l'un dans l'autre.

Nous allons donc sur cette base régler le problème de l'ascenseur avec un bonhomme de masse M sur un pèse personne dans un ascenseur qui accélère vers le haut. La question étant qu'est-ce qu'on lit sur le pèse personne ? Pour ça il faut avoir une notion de ce qu'est un pèse personne c'est quelque chose qui mesure une force et cette force qui s'exerce sur le pèse personne. Et bien ce qui est marqué sur l'afficheur c'est la force qui s'exerce de Monsieur M sur le pèse personne divisé par G . Voilà ce qu'affiche

un pèse personne. Non ce n'est pas une pression c'est absolument insensible à la surface de vos pieds dessus.

Vous pouvez avoir des pieds deux fois plus grande, deux fois plus petits, ça ne change rien. Ça mesure une force mais l'affichage cette force est donnée en unité spéciale en divisant par 9,8. Donc la question c'est que va montrer l'afficheur du pèse personne dans cette situation ? Pour résoudre ce problème, et bien comme tous les problèmes il faut un référentiel et, vu le temps que ça va durer de monter en ascenseur je prends le référentiel terrestre. Il ira très bien comme référentiel galiléen.

Deuxièmement je prends un système. Et ce système j'ai le choix soit le bonhomme et le pèse personne soit le bonhomme et le pèse personne et l'ascenseur, soit que l'ascenseur, soit que le pèse personne. Mais dans la mesure où il faut que j'utilise la force exercée par le bonhomme sur le pèse personne, il y a deux choix qui sont à peu près corrects : le pèse personne ou le bonhomme. Le bonhomme c'est plus simple. Monsieur M. Ensuite je liste les forces qui s'exercent sur ce système. Ces forces il y en a deux. Oui.

Etudiant

Et à propos de M 1:29:01.6

1F

Il n'y a pas de 1:29:12.6, il n'y a pas de 1:29:14.3 dedans, moi j'en suis là. Donc des forces il y en a deux. Le poids et ce qu'on va appeler la réaction de la balance qui est la force exercée par le pèse personne sur M. Dans la mesure où j'ai choisi mon référentiel comme ne suivant pas l'ascenseur, et bien vous pouvez écrire que la masse fois accélération vaut MG plus la force du pèse personne sur M. L'accélération c'est l'accélération de qui ? C'est l'accélération de Monsieur M. par conséquent ici j'ai la subtilité ce qu'il faut que j'exprime le fait que Monsieur M n'est pas en train de bouger dans l'ascenseur, il est au repos dans l'ascenseur par conséquent son accélération c'est l'accélération de l'ascenseur.

Etudiante

Monsieur !

1F

Oui.

Etudiante

Le poids est 1:31:14.6 donc c'est $-GM$.

1F

Pour l'instant je ne l'ai pas à projeter. Ce que j'appelle G c'est le vecteur qui va vers le bas. Quand je vais projeter il y aura des moins. Quand j'aurai écrit $MG e_z$ avec e_z vers le haut j'écrirai $-MGe_z$.

Conclusion

La force exercée par M sur le pèse personne c'est égal à moins ce F là en vertu de la loi de l'action et de la réaction. Moins F ça vaut MG moins aM . Et par ailleurs si la personne est statique dans l'ascenseur, et bien on en déduit que l'accélération de la personne c'est l'accélération de l'ascenseur. Et donc si l'ascenseur accélère vers le haut, et bien la force qui s'exerce de la personne sur le pèse personne apparaît comme étant plus petit puisque G et a sont de directions opposées. Si l'ascenseur est en train de s'arrêter à son étage alors qu'il montait, alors les deux se cumulent, vous lisez une valeur plus grande.

L'autre chose très spectaculaire et je conclurai là-dessus c'est que vous voyez que si je laisse l'ascenseur tomber en chute libre, quand l'accélération est égale à G , et bien la réaction s'annule. Tout se passe comme si l'objet par rapport à la cabine était en gravité nulle, était en apesanteur et il n'a aucun moyen de savoir que la raison pour laquelle il est en apesanteur est simplement qu'il est embarqué dans un ascenseur qui tombe.

Ceci est utilisé en pratique au centre de Toulouse tous les jours pour faire des états d'apesanteur qui dure une dizaine de secondes pour des expériences scientifiques en faisant des vols paraboliques de caravelle d'avion. Pendant les vols paraboliques il suffit que la parabole suive l'équation qu'on a dérivée plus haut et pendant tout le vol, et bien par rapport à la cabine tout se passe comme si le système était en état d'apesanteur. Nous nous voyons dans deux jours pour parler des forces de frottement.

Etudiant

Monsieur

1F

Oui.

Etudiant

Pourquoi nous dans l'ascenseur on a l'impression d'être plus lourd ?

1F

Parce que l'impression elle caractérise juste le fait qu'on sent avec ses pieds.

Etudiant

Oui. Non mais la force du pèse personne elle est plus grande. Ça 1:35:47.7

1F

Alors ça vous avez raison. Il accélère vers le haut -a vers le bas donc on lit un nombre plus grand.

3 sesión

1F

Vous sortez de cours ou vous venez de dehors ?

Etudiant

On sort du cours, on prend 0 :06 :04 quoi.

1F

Bon, allons-y. bonjour ! Il nous reste 2 séances ensemble 0 :08 :59, avant de vous laisser entre les mains de Paul 0 :09 :02.

Etudiant

0 :09 :10 ?

1F

Comment ? Un des collègues va prendre le relai pour faire l'autre moitié du semestre. Donc ces trois cours, pour passer celui-ci et le suivant, portent sur les différentes forces répertoriées avec lesquels vous travaillez... On donne le livre. La dernière fois, vous avez vu les forces du frottement, les forces de contact entre celui d'impenétrable. Et donc ce que nous allons voir aujourd'hui, ce sont les 3 grandes forces de frottement : les frottements aéro ou hydrodynamique, qui soient visqueux ou turbulent. Et les forces de frottement solide.

1F

Donc la technique sous-jacente, la technique mathématique, la difficulté pour vous c'est qu'on aborde les équations différentielles du premier ordre. Et vous allez voir que pour celle que vous allez être amené à rencontrer cette difficulté, finalement, se ramène à la difficulté précédente puisqu'on va ramener les équations différentielles à des intégrales pour les résoudre. La prochaine fois, nous verrons les forces de rappel, on va monter dans l'ordre de difficulté. Oui ?

Etudiant

On suit le cours ou c'est un aparté ?

1F

non, c'est la suite du cours, regarde : ce n'est pas un aparté, c'est le droit fil, le droit fil en droit, et les 3 grandes places de forces, organisées par difficulté successive, la forces du gravité du compact données, à l'exemple de force qui ne dépend que de l'espace. On va voir aujourd'hui les forces qui dépendent de la vitesse, et on va voir les 3 prochaines... les forces de rappel et leur conséquence. Donc c'est un fil logique, ce n'est pas un aparté du tout.

Donc, imaginez, c'est un dessin plus dimensionnel, si je le dessine en coupe, ça ressemble à ça. Imaginez que vous aillez 2 plaques parallèles, et entre les 2 plaques, que vous aillez un liquide. Et bien, si on fait bouger une plaque par rapport à l'autre, une plaque exerce via le liquide une force sur l'autre plaque. Ou pour dire les choses de manière plus juste, une plaque exerce une force sur le liquide qui est transmise au travers du liquide, et qui va s'exercer sur l'autre plaque de l'autre côté.

Etudiant

Monsieur !

1F

Oui ?

Etudiant

0 :13 :00 ?

1F

C'est une étape. Je vais essayer de 0 :13 :08 plus jolie 0 :13 :10. Donc, je vais par exemple imposer une vitesse U à la plaque qui est dessus. Je vais appeler petit h la distance entre les 2 plaques. 0 :13 :26 petit h est là plus la vitesse de cette plaque là, et bien au sein de l'écoulement, bon le fluide, les particules du fluide vont avoir un vecteur vitesse, qui vaut U tout en haut sur la plaque du haut, 0 tout en bas sur la plaque qui est fixe. Et entre les 2, la vitesse va ressembler à ce champ de vecteur que j'ai dessiné. Imaginons que la surface de la plaque soit S , alors il va s'exercer du fait qu'il y a du fluide ici, et une plaque mobile en bas.

Une force exercée par le fluide sur la plaque du haut qui vaut moins la surface de la plaque, fois un coefficient qu'on appelle la viscosité, fois la vitesse divisé par la distance entre les plaques. Ça c'est la définition de la viscosité du fluide, qu'on a mis entre les plaques. Cette force, elle est exercée par le fluide sur les plaques.

Et pourquoi est-ce qu'on dit que c'est une force comme résistive ? Parce qu'elle s'oppose au mouvement. Elle est opposée en direction à la vitesse, ce qui est signalé par le signe moins. Elle est proportionnelle à la surface, ça signifie que si on met une longueur plus grande, en contact avec le fluide, il y a la force d'être plus grande. Si on la rend plus petite, elle va être plus petite, mais elle est inversement proportionnelle à la distance entre les plaques, de sorte que si on envoie les plaques très loin, et bien on commence à ne plus sentir la présence du fluide.

Il y a un autre sens au mot frottement, que vous verrez dans la deuxième partie du semestre, qui est une notion associée à l'énergie, et une notion qui est imparfaite. Mais en général, les forces de frottement dissipent de l'énergie, ça signifie que l'énergie mécanique est transformée en chaleur, en énergie thermique. Et pour nous, frottement, une force qui est opposée au mouvement. Donc, où est-ce qu'on rencontre ce type de force ? Et bien ces forces seront très utiles, contrairement à ce que leur nom laisse penser.

Par exemple, dans les roulements à bille, qui permettent de faire tourner toutes les choses qu'on veut faire tourner, les moteurs quoi, les axes de roues que siège. Et bien entre les billes du roulement et la cage du roulement, on met de la graisse, et ce film de graisse, si je zoome sur le petit espace entre la bille du roulement et sa cage, et bien il y a un écoulement de ce type. Ça permet de lubrifier les mouvements, et supprimer les frottements de celui de solide, on verra plus tard. Donc, il ne faut pas...

il faut s'enlever de la tête si par hasard, vous aviez cet image, car frottement c'est quelque chose qui va rendre les problèmes difficile, et contre lequel il faut lutter, non pas forcément. Ça peut être très utile.

Un autre exemple amusant, vous avez exactement ça, quand on fait du ski, et bien à priori, le ski sur la neige, qui est solide devrait... un skieur devrait subir un frottement solide. Mais comme on appuie sur la neige, elle fond. Il y a un léger film liquide sous les skis, qui permet de lubrifier le ski, et qui fait que la force de frottement, sous le ski est reliée à la viscosité de l'eau, la surface du ski, et épaisseur du film que vous créez en faisant fondre la neige sous votre voie. Donc, un exemple différent pour lequel on a un frottement visqueux, c'est lorsqu'on a des objets qui sont en mouvement par rapport à un écoulement.

Par exemple, si je mets des petites particules solides dans de l'eau, ces particules solides vont couler, et elles ne vont pas subir le mouvement uniformément accéléré, qu'on a décrit précédemment. Elles vont descendre très lentement, et à une vitesse quasiment constante. Pour que vous voyiez quelque chose d'où vous êtes, je pense que c'est mieux de faire l'expérience, avec des bulles qui remontent, des bulles, elles remontent du fait de la gravité.

Aussi bizarre que ça puisse paraître 0 :19 :15, donc voilà un cachet d'aspirine. Pour le coup, alors je n'en ai pas besoin pour l'instant, il n'y a pas de 0 :19 :21, donc on peut le gâcher. Et donc, que voit-on ? Et bien par rapport au mouvement de chute libre que vous pouvez avoir en l'œil, on voit que les bulles remontent relativement lentement. Et l'autre chose qui va même être visible depuis le bout, c'est que les grosses bulles remontent vite, et que les petites bulles remontent lentement. Donc vous avez déjà vu ça dans vos verres de coca ou de champagne, selon vos affinités. De nombreuses fois, donc c'est une expérience familière, mais bon.

La seule chose que je veux pointer, c'est d'une part, que c'est vraiment évident quand on regarde les grosses bulles montent plus vite que les petites, ça c'est qualitativement facile à observer. Et d'autre part, si l'on regarde les bulles millimétriques, et bien, elles montent la colonne de 20 centimètres en... une fois qu'elles pèseront disons, donc elles remontent vers 10 centimètres par seconde. Ça nous donne une norme de grandeur de la vraie vie, sur laquelle se caler pour calculer les choses.

Quelle est la force ? Il s'exerce sur un autre 0 :21 :01, lorsque cet objet stérique se déplace à une vitesse plus, par rapport à un écoulement. Et bien, si j'étais capable de mettre des filets de colonne, d'injecter du colorant autour de ça, et vous le montrer, ce n'est pas tellement possible, c'est trop petit. Et bien ce qu'on verrait c'est que l'écoulement, autour de la sphère de manière gentille, sans avoir de fluctuation, sans avoir de remue. Et on dit alors que l'écoulement autour de la sphère et 0 :21 :49, ça signifie qu'il n'y a pas de fluctuation, qu'il est lisse, tranquille, calme.

La force exercée par l'écoulement sur la sphère. Le fait que cette sphère bouge, et bien, il va falloir encore 3 ans pour que vous sachiez la calculer. Donc ce qui est possible de faire pour nous, c'est de regarder dimensionnellement ce qui va se passer. Dimensionnellement, et bien, on voit que cette force exercée par le fluide sur la sphère, elle va comme la viscosité, comme la vitesse de la sphère, et S sur H qui est là, à la dimension d'une longueur. Quelle est la seule dimension homogène et de longueur dans une sphère ? C'est son rayon.

Donc dimensionnellement, une force qui est résistible, elle s'oppose au R ici. Elle s'oppose au mouvement, 0 :23 :00 moins, et devant pour une raison que je ne sais pas vous l'expliquer, il y a un cipie dans cette sphère. Pour une raison encore plus difficile à vous expliquer, si on fait l'expérience avec une bulle dans de l'eau très propre, comme de l'eau de Paris du robinet. Vous savez qu'une eau trop, c'est presque une eau minérale, c'est scandaleux de mettre ça dans les toilettes. Et bien, le pré facteur vaut 4 pies. Si on fait ça, dans une eau qui est sale, qui a des petits polluants, les petits polluants vont être sur... la surface des gouttes rendent, à la surface des bulles rendent les bulles rigides, et ça devient cipique. Mais bon pour une sphère rigide, voilà, encore mieux qu'il donne la force de frottement sur les sphères. Dimensionnellement c'est parfait.

Que signifie microscopiquement ce frottement ? Et bien, ça dépend quelle est la nature du fluide qu'on a autour du solide ? Si on a un gaz, donc par exemple, une sphère qui se déplace dans l'air, très lentement. Et bien ce qui se passe c'est que les molécules de l'air viennent tambouriner sur le solide. Et quand il tambourine sur le solide, et bien, il y a un échange de quantité de mouvement entre la sphère et le solide. La sphère entraîne en mouvement l'air et de proche en proche, l'air tambourine les autres molécules d'air, transmettent la quantité de mouvement de molécule d'air à molécule d'air. Et donner de la quantité de mouvement, c'est exercer une force. C'est pareil.

Donc ça c'est l'image dans l'air. Dans un liquide c'est encore un cran plus compliqué, les molécules sont au touche à touche, ce n'est pas réellement les collisions qui transmettent la quantité de mouvement.

Donc garder l'image du gaz comme ça. Donc cette force proportionnelle à la vitesse, que peut-on en faire ? Et qu'est-ce qu'elle a comme conséquence ? On peut corriger l'image de la chute dans un liquide, de sorte à en donner une description qui est meilleure que la chute libre, quand on a un environnement, et un liquide. De voir donc dans quelle limite ? Et bien la chute libre reste une approximation de quelque chose. Donc on considère un grain de sable dans une rivière, petit, étant sans micron, c'est 0 :25 :44. Et ce grain de sable, il tombe au fond de l'eau lentement. On dit que sédimente, au fond de l'eau, donc vous avez ici les restes de l'aspirine qui sont en train de sédimenter au fond, mais vous ne le voyez pas d'où vous êtes. Et vous pouvez imaginer, vous avez déjà vu dans votre expérience courante des grains tombés lentement dans l'eau.

Donc on appelle, R au rayon, rayon R ici, je n'ai pas mis les notations, ce n'est pas bien. Ça c'est $2R$. Et je prends un référentiel terrestre, je n'ai pas le besoin de m'accouper de plus. Vue les temps de sédimentation qui vont être de l'ordre, de la minute, de l'heure, et bien c'est petit devant la rotation de la terre, ou le frottement de cette rotation pour référentiel, et approximativement à linnéen, et tout va bien. Je choisis un système, c'est évidemment le grain stérique. Je liste les forces, et des forces, et bien il y en a 2, il y en a même 3.

Mais on va décomposer la force exercée par le liquide sur la sphère en 2 bouts. Le poids, il vaut MG , et M pour la sphère, vous allez écrire que c'est une masse volumique, enfin un volume, le volume de la sphère c'est 0 :27 :38. La base de limite de la sphère, qu'on appelle R_0 , mais ρ ils n'ont jamais été beau de ma vie. Ils ont toujours ressemblé à DL , même si je faisais un effort infini, il ressemblerait à ça. Donc ça c'est négro. Pour la masse volumique, j'ai comme ça. Et puis c'est tout ce dont j'ai besoin.

Donc la force exercée par le liquide sur la sphère, elle se décompose en 2 parties : une partie qui vient de la pression, c'est-à-dire du fait que le liquide exerce une force qui pousse sur la sphère, comme ceci. En chaque endroit de la sphère, et dont je peux calculer sans, avec un raisonnement très jolie, ce qu'on appelle la résultante, c'est-à-

dire la somme de tous les petits vecteurs force qui s'exercent autour de la sphère. Et puis il y a un deuxième groupe qu'on vient de discuter c'est la force visqueuse. C'est un 0 :25 :58 visqueux, on vient d'en donner l'expression. On peut donc récupérer le F et la NCP étape RU 0 :29 :01. La force de pression donc... Oui ?

2F :

le système ne change pas de masse ?

1F

le système est-ce qu'il change la masse ?

Etudiante

oui.

1F

Mais je ne comprends pas si votre question est simple ou très évoluée. Donc non, mon système c'est le grain. Le grain, il tombe mais il ne change pas de masse. Evidemment si je prends de l'aspirine qui se dissout, il se passe des choses, de l'ordre de la chimie mais je ne prends pas ça, je prends juste un grain qui tombe. Donc, il ne change pas de masse. Donc ce qu'on va voir, donc je pense que votre question a 2 choses sous jacentes. Une qui est la poussée d'Archimède que je vais évoquer dans un instant, mais qui n'est certainement pas un changement de masse. Et l'autre, dont, si c'était ça dans votre tête, on se fait totalement épaté sur le fait qu'il peut y avoir des effets dit de massalité, du fait que, quand le grain bouge, il met en mouvement l'eau autour, et donc il y a une sorte de masse apparent, mais c'est... je ne pense pas que ça soit... on n'en est pas à ce niveau de subtilité.

Donc la poussée d'Archimède arrive, la poussée d'Archimède c'est la résultante des forces de pression. Et vous avez vu dans le premier 0 :31 :05, une formule dont je ne vous demande pas ni de la retenir, ni de savoir la démontrer, ni de la comprendre. Qui est que la variation de la pression. S'ils aident à orienter vers le haut, la pression augmente quand je vais vers le bas. Et ce RO qui est là, c'est le RO du liquide, ou le RO d'indice RO_l , contrairement au p indice S qui est là. Donc dans un liquide, la pression, cette force par unité de surface qui pousse sur la sphère, elle est d'autant plus grande qu'on va en bas.

Quand on va au fond d'une piscine, on sent la pression sur ses oreilles, et sur son corps plus forte. Que dit cette formule ? Que la pression varie avec l'espace, et du fait que la pression varie avec l'espace, et bien les petites flèches que je mets ici, elles sont plus fortes en bas qu'en haut. Mais je n'ai pas besoin de passer par là pour faire un raisonnement qui est celui d'Archimède, qui est de dire : pour calculer la résultante...

...Mais je n'ai pas besoin de passer par là pour faire un raisonnement qui est celui d'Archimède, qui est de dire : pour calculer la résultante des forces de pression, je peux mentalement me dire : ces forces ignorent totalement si ma sphère est composée de solide ou de liquide, ou d'autre chose. Donc, je peux mentalement la remplacer par du liquide. Et la résultante des forces de pression sera la même si je mets du liquide à la place du solide. Pour quel cas ? Et bien cette force de pression va être là pour s'opposer... cette force va être là, pour s'opposer au poids de l'eau, si je remplace le solide par de l'eau. Cette résultante, cette force de pression, elle vaut donc : $F = -\frac{4}{3} \pi r^3 \rho \text{ et le volume d'eau déplacé, fois la masse volumique du liquide, fois } G$.

Donc, je pense que c'était ça que vous aviez dans la tête. Si je prends le poids qui est ici, je peux construire un faux poids en additionnant le poids et la résultante des forces de pression. C'est-à-dire, le poids plus la poussée d'Archimède, et ce poids plus la poussée d'Archimède, va donc valoir : $F = -\frac{4}{3} \pi r^3 \rho \text{ et le volume d'eau déplacé, fois la masse volumique du liquide, fois } G$. Alors, on voit du coup à quelle condition est-ce qu'un objet coule ou flotte ?

Et bien si sa masse volumique est plus grande ou plus petite que celle du fluide environnant, par conséquent, les bulles remontent parce que si je prend ρ très petit devant ρ , et bien la somme du poids de la poussée d'Archimède est vers le haut. C'est pour ça que les bulles montent, mais c'est un pur effet de gravité comme on peut le voir. Donc, voilà la force motrice.

Et maintenant, il nous faut ajouter d'autre principe fondamental de la dynamique, l'ensemble des forces. Et bien j'écris la masse comme $\frac{4}{3} \pi r^3 \rho$, fois d plus arrêté, sciemment je ne vais plus au milieu de B, pour que vous habituez à savoir changer de notation selon le contexte. Et bien c'est égal au poids, et je vais enlever les effets de flottaison. C'est-à-dire le poids plus la poussée d'Archimède. Cet effet de poussée d'Archimède, on l'appelle aussi « force de flottaison », d'où le fait qu'on appelle ce terme : le poids des OG de flottaison, moins la force de frottement. U étant

porté sur la verticale, et bien, je peux projeter l'équation de sorte à enlever les vecteurs, plus...

Et bien c'est par définition, dz sur dt , je vais... ici j'ai pris le z vers le haut, mais c'était plus malin de prendre z vers le bas, pour ces problèmes là, de sorte que la vitesse soit positive, si c'est un grain qui est en train de couler. A ce moment-là, l'équation devient : $du/dt=g$ vers le bas, donc dans le sens que j'ai appelé plus. Et voilà donc, ici manque un ES. Voilà donc le résultat du principe fondamental de la dynamique. Et ensuite, les étapes en sont connues, il me faut intégrer cette équation, et avant, il me faut savoir la discuter. Une équation qui s'écrit, la dérivée d'une certaine variable égale une fonction de cette variable, nous l'appellerons équation différentielle.

Ça s'oppose à une équation du type x^2+Px , a_{xy} , ou $d_{xc} = 0$, qui est l'équation ordinaire, celle-là est différentielle parce que c'est une dérivée, se couple avec... Ici, cette équation est linéaire. Ça signifie que la variable, à chaque fois qu'elle apparait, elle apparait à la puissance 1, ici pour la dérivée, puis ici pour le deuxième cas où elle apparait. Les coefficients qui sont devant, les u , et les termes constants qui est là, sont tous les 3 des constants. On dit donc : c'est l'équation différentielle linéaire, un coefficient constant.

Et enfin, le fait qu'il y a un terme constant que tous les termes ne soient pas proportionnels à U , et bien, on dit qu'elle a un second membre, c'est donc une équation différentielle linéaire à coefficient constant, avec un second membre. Et ensuite, la dérivée la plus haute de l'équation, c'est $\int du/dt$

On dit donc qu'elle est en plus du premier ordre. C'est donc une équation différentielle linéaire de premier ordre à coefficient constant avec un second membre. Alors dans cette équations, il y a 2 méthodes pour l'intégrer : la première est de prendre des notations pour simplifier d'abord la forme de l'équation avant d'intégrer, et l'autre, d'y aller brutalement. Je recommande la face non brutale.

Je vais nous mettre dessous, dans le tableau. Et je vais donc d'abord réarranger l'équation en divisant par ce terme ici. C'est la première chose que je vais faire. Et la deuxième chose, c'est de calculer si cette solution, si cette équation différentielle admet une solution particulière qui serait assez simple. Donc, je le fais $6\pi eul r / (4/3 \pi r^3 ROs) u$.

Alors dans ce cas-là, et bien une solution particulière qui soit assez simple, elle tombe sous le sens quand on regarde l'expérience, c'est que nous, ce qu'on voit c'est que la vitesse, elle a l'air d'être constante. Et donc, on peut chercher une solution constante là-dedans, c'est-à-dire un mouvement translation avec uniforme. Et effectivement, si je cherche une solution particulière de ce type, et bien le $\text{integral du/dt}=0$, et j'équilibre ces 2 termes et je trouve le u , je vais le noter u infini. Et ce u infini que j'obtiens en balançant les 2 termes : Donc, 3 fois 6, ça fait 18, 18 quart, ça fait 9 et demi.

Quand je vais le basculer, ça va faire $2/9$, et un ROs moins ROI sur OS , et un r carré, g et un a . Et puis, ça va donner à peu près tout ce que j'ai. J'ai donc trouvé la vitesse asymptotique. Asymptotique, ça veut dire à temps long. La vitesse de chute du grain dans le liquide est proportionnelle à l'écart de densité rapporté à la densité. Elle est proportionnelle au rayon au carré, donc on voit que plus le grain est gros, plus il tombe vite comme le rayon au carré. Elle est proportionnelle à la gravité, sans quoi il ne tomberait pas, c'est normal. Et inversement proportionnelle à la viscosité, c'est normal que la viscosité est grande, plus ça frotte, moins ça va vite.

Donc, du point de vue élitatif, tout va bien. La deuxième chose que je vais faire apparaître dans l'équation c'est qu'on voit ici, on a integral du/dt . L'équation est donc homogène avec de l'accélération, c'est-à-dire une vitesse divisée par un temps. Ici, j'ai une vitesse, par conséquent, ce que j'ai là, c'est l'inverse dans le temps. Alors, il va m'être agréable de faire apparaître ce temps et de lui donner un nom. Donc, je vais écrire : 1 sur le temps égale 6π sigma... alors ça fait le 9 et demi dont je parlais, un r^2 en dessous, et un ROs en dessous. C'est-à-dire le temps est égale : $T=2ROsr^2/9\pi$
0 :42 :37. Qu'est-ce que c'est que ce temps ? Et bien on va voir ce qu'il vaut dans un instant.

C'est ce qu'on va voir, c'est ce qu'on appelle **le temps de relaxation**, c'est-à-dire le *temps que met le grain pour atteindre sa vitesse asymptotique*. Maintenant qu'on a fait apparaître ça, et bien, on peut réécrire l'équation sous la forme d'une constante qu'on va réécrire $-u/t$. C'est normal puisque je viens de construire t de sorte, ça soit u sur un temps. Qu'est-ce que c'est que cette constante ? Eh bien, je sais que j'ai une solution particulière, c'est u égale u infini, c'est la solution de l'équation.

Par conséquent, c'est aussi : $(-u(\text{infini})-u/t)u(\text{infini})$. Cette équation qu'on a, donc c'est l'équation différentielle, linéaire, du premier ordre, à coefficient constant, avec un grand

nombre constant, et bien on l'appelle une équation de relaxation, et sa solution est à connaître, et à connaître, et à connaître.

Comment on la trouve ? Au cas 0 :44 :09, et bien il y a une méthode d'intégration de beaucoup d'équation du premier ordre, qui consiste à séparer les variables. Ça signifie qu'on va faire des manipulations de tous les u à gauche, tous les t à droite. On y va. $du/u(\text{infini})-u=dt/t$. C'est ce qu'on appelle *l'écriture différentielle*.

Vous voyez que c'est pour cette raison-là, précisément qu'en physique, contrairement à la mathématique, on n'utilise pas $f(\text{prima}(x))$ c'est de sorte à pouvoir écrire, à manipuler les d indépendamment, pour comprendre comme les limites de sigma 0 :44 :59 zéro. Et comme j'écris ça, j'ai le droit de l'écrire comme ça. Ça a un sens très précis, et bien je peux mettre le signe intégral devant. Et quand je mets ce signe intégral, il y a ce que je mets en plus, c'est qu'il faut qu'il y ait des conditions limites. Bon, explicité que valait u à t égale à 0.

Donc ici, je vais intégrer le 0 à t , et moi, ça ne me dérange absolument pas qu'il y ait la même variable dans l'intégral et dans la forme de l'intégral. Ça n'a pas d'incidence pour moi. Donc, je préfère que vous habituez à ce qu'on fasse ça, plutôt qu'à mettre le dt' ici. 0 :45 :50. Quand t vaut 0 que vaut u ? Et bien, ça dépend des problèmes qu'on se pose, on pourrait mettre U_0 , mais on va poser un problème simple dans lequel u vaut 0 à t égal 0. Donc, je vais mettre 0 ici, ça pourrait changer dans un autre contexte. Et quand t vaut t , u vaut u , ça va de soi. Donc voilà comment je pose. Vous voyez que j'ai ramené l'équation différentielle à un problème d'intégration.

Evidemment, le problème d'intégration, il n'y a pas de miracle, si on ne connaît pas cette primitive, on ne sait rien faire. Donc il faut prendre la liste des 20 primitives visuelles, et les apprendre à l'endroit, à l'envers, en désordre, les yeux fermés. Je vois, je n'ai rien d'autre à faire que ça, puis enfin $du/u(\text{infini}) - u U$, c'est comme je dirais un dx/x , ça s'intègre comme un logarithme. Et comme j'ai un moins devant la variable, et bien ça s'intègre en un LOG. Le u infini moins u , pris entre 0, et u est égale à t sur t . Pris entre t et 0, ça fait t sur t . Ça vaut donc LOG, je le prends en u , ça fait moins LOG de u infini moins u . Si je le prends en 0, ça fait 0 :47 :38 Voilà.

Il me reste à prendre l'exponentiel de part et de l'autre. Je m'excuse mais mon tableau va aller à l'envers, j'espérais avoir assez de place. $U(\text{infini})/U(\text{infini})-u = e^{\wedge}t /t$. Ce qui nous fait, je prends l'inverse. $U(\text{infini})-U/U(\text{infini}) = e^{\wedge}t /t$. U infini moins U sur U infini

égal exponentiel moins T sur T . 1 sur exponentiel, c'est exponentiel moins argument. Et ça j'en tire u , ça me fait. $U = U(\text{infini}) (1 - e^{-t/T})$. Là, je viens de faire une opération qui en général fait décrocher l'assistance qui consiste à faire 2 opérations, d'un coup, basculées dans un membre, quelque chose divisée, et on ne voit plus comment on a pu passer d'une ligne à l'autre.

Quand vous relisez votre cours, vous mettez les 2 lignes intermédiaires. Moi ce n'est pas mon rôle de faire les calculs, qui pour moi, sont des réflexes, de les détailler, c'est bien pour vous de faire ces manipulations intermédiaires pour passer de là à là. Si ça vous pose problème, de là à là, si ça vous pose problème, vous reréfléchissez jusqu'à temps que ça soit rapide pour vous. Ça je peux le passer.

Vous pouvez passer U ici, le mettre en unité de U infini. Et là, je mets t . Quand t tend à l'infini, et bien on l'a dit, u tend à $u(\text{infini})$ parce que $e^{-t/T}$ tend à 0. Il y a du moins ici. Et si je prends un temps très court, et bien un temps très court, je peux vous ramener à cette équation-là, je vois que la forme de la courbe que j'ai envie de tracer c'est $u(\text{infini})/t$. Qu'est-ce que c'était ce $u(\text{infini})/t$? Et bien c'est quand j'expose ce terme-là. Donc la dérivée existe à l'origine. Voilà une équation de relaxation. On dit que u tend à $u(\text{infini})$, avec un temps de relaxation t . Je résous un peu, la solution d'une équation différentielle ordinaire de premier ordre à coefficient constant. C'est une constante plus une exponentielle.

Pourquoi ça ? Parce qu'une propriété particulière de l'exponentiel, c'est que sa dérivée est proportionnelle à elle-même. Donc on voit bien, quand tu regardes la structure de l'équation, et quand je vais dériver ce bout-là, ça va me faire de l'exponentiel, il va encore compenser l'autre exponentiel qui est là. Donc c'est important de retenir ces aspects. La dernière chose c'est qu'on a déjà rencontré cette solution. C'est la course d'Usain Bolt qui pour lequel on pouvait faire passer les points par cette formule que je vous ai débarqué en disant : pour moi, c'est absolument logique, je vois cette courbe, j'ai une équation de relaxation.

Pourquoi j'ai une équation de relaxation? Parce que, et bien pour moi, c'est tout à fait naturel s'il y a une vitesse asymptotique de quelque chose, et qu'elle ne s'établit pas immédiatement, et bien la forme la plus simple pour capturer le fait qu'il y a un transitoire, qu'on aille pas immédiatement à la vitesse finale, c'est de faire apparaître ça. Donc on voit que, si je veux maintenant mettre du sens sous l'équation que j'ai

mise, et bien j'écrirais que la masse pour la dérivée de la vitesse d'Usain Bolt, c'est sa force motrice moins une force de frottement, une force qui s'oppose au mouvement, qui est proportionnelle à la vitesse.

Alors, cette force, est-ce que c'est le frottement dans l'air ? Non. Quand on court, on n'est pas limité par le frottement dans l'air, on est limité par le mécanisme des muscles, on est limité par la vitesse des moteurs moléculaires. Les moteurs moléculaires qui actionnent les muscles. Ça ne peut pas aller à très grande vitesse, donc la force de frottement, elle vient de là.

Etudiant

Monsieur!

1F

Oui ?

Etudiant

0 :52 :33 à 0 :52 :45, et on ne pouvait pas directement intégrer à partir de à ?

1F

Absolument. On peut directement l'intégrer, et à ce moment-là, la solution, on pouvait directement la faire apparaître sous la forme $u = \frac{2}{9} (R_0 - R_0 I) r^2 (g / \sigma_1 - e^{-t}) (9 \epsilon \sin^2 t / 2 R_0 r^2)$. Imaginons qu'on ait fait ça, et c'est tout à fait légitime.

Etudiant

Est-ce que ça va plus vite ?

1F

Aucun problème. Est-ce que ça va plus vite ? Donc ça, c'est la bonne question. Ça dépend de ce qu'on veut faire du résultat, et d'une, ça dépend si on veut minimiser ses chances de faute et deux. Qu'est-ce qu'on va faire du résultat ? On va lui donner un sens sur un calcul à résultat dont on se moque éperdument. Ça n'en a pas de sens, donc il faut bien arriver à un commentaire. Quel va être le sens que je donne ? Et bien, il faut que je ré-extrahis de la formule, les quantités qui ont un sens. Quelles sont-elles ? Et bien, il y en a 2 : il y a la vitesse limite, il y a le temps qu'il faut.

Donc, si j'avais calculé directement, à la fin j'aurais eu dans un énoncé, une question: mettez votre résultat sous la forme $u(\infty)(1 - e^{-t/t})$. Je préfère vous le montrer dans

l'autre sens, que c'est naturel quand on fait ça : de d'abord poser les constantes, et ensuite j'ai une équation différentielle qui est simple, et qui fait que le résultat que je vais donner, il va être juste. Si je me suis trompé, j'ai le 2 neuvième et le 4 neuvième. Ce n'est pas si dramatique parce que tout mon commentaire est juste, l'intégration est juste, et c'est juste dans la constante qu'il y a quelque chose.

Donc, je sais par expérience que se trainer des gros termes comme ça, de ligne en ligne, il y a les Pi qui disparaissent, les 4 qui disparaissent, le r^2 vient. Ça ne concerne pas tout le monde, mais bon. C'est légitime, je n'ai rien à dire d'autre que ça. Il n'y a pas de raison de ne pas le faire directement si c'est ça votre méthode privilégiée. Alors est-ce qu'on peut se recalcr sur quelque chose de connue ? Et bien, ça se fait à la moindre des choses de vérifier qu'on a le bon ordre de grandeur, par rapport au problème qu'on s'est posé. Donc on va mettre des nombre. Et ce que vous allez faire, la dernière fois, je vous l'ai fait 2 fois. Ce que vous allez faire, c'est que vous allez prendre 4 minutes pour mettre des nombres et calculer. Alors, il vous en manque un que vous ne pouvez pas inventer.

C'est la viscosité de l'eau qui vaut 10 moins 3, le tonne, 4 moins 2, second, si je lis bien la formule là-haut. Donc allez-y. vous faites, vous avez 4 minutes pour trouver un nombre de grandeur de R pour une bulle. Qu'est-ce qu'il faut mettre pour Ros, pour ROI, pour G, tirez la puissance de 10. Et il faut trouver que ce n'est pas trop loin de 10 centimètres par seconde, sinon c'est qu'il y a un problème.

Cette démarche, elle est importante même du point de vue scolaire pour comprendre comment on construit un énoncé. Idéalement, dans une vie parfaite, on n'écrit pas question dans les énoncés. Parce que ça tomberait sous le sens que si votre problème c'est de laisser un grain tomber dans l'eau, et bien vous allez choisir le référentiel, choisir le système, écrire dans les forces, faire la DMT. Quand vous trouvez la DMT, intégrer l'équation différentielle, 0 :57 :15. Parce que c'est ça la démarche scientifique. Donc, c'est important de voir sous cet ordre de question UA, parce que c'est comme ça qu'on résout le problème de science qu'on 0 :57 :29.

Allez-y, mettez des noms dans T et dans u (infini), pour voir l'ordre de grandeur, pour les bulles qui remontent. Les bulles d'air, les bulles de... J'imagine que c'est... on va dire l'air qui est... Quand j'ai mis, le cachet effervescent, j'imagine que c'est de l'air, ou ce n'est peut-être pas de l'air, c'est peut-être du CO₂, que sais-je. Mais enfin, ça

ne change rien à votre problème. Une bulle, à quelle vitesse elle remonte ? Et quel est le temps qu'il faut pour qu'elle atteigne sa vitesse limite ? 0 :58 :21 pour voir l'aspect de l'expérience.

Etudiant

0 :58 :24

1F

t c'est le temps caractéristique, ce n'est pas dessiné dans mon dessin. C'est une erreur de ma part. t, je le construis comme ça, si j'extrapole la tangente de cette courbe, et je regarde à quel moment on arriverait à E infini, t c'est ça. La propriété de l'exponentiel, si je dessine l'exponentiel qui ressemble à ça. Je prends la tangente en n'importe quel point. Ça c'est t. Pourquoi ? Parce que la dérivée de l'exponentiel, c'est elle-même.

Donc on a 2 équations : $u(\infty) = t =$. Il y en a un qui est le temps qu'il faut pour atteindre la vitesse limite, l'autre qui est la vitesse limite. On veut vérifier si ça a du sens par rapport à l'expérience. On met des RO, et on regarde si ça a du sens, ou si ça n'a pas de sens. Pas du tout. La vitesse limite... Ça c'est un graphique qui vous montre U en fonction du temps, la pente dans la courbe U plus en fonction du temps, c'est l'accélération. Donc ça c'est l'accélération initiale. D'accord ?

Donc on prend une bulle. La bulle, et bien, il faut lui donner un ordre de grandeur, si je ne veux pas trop compliquer mes calculs. J'aurais aimé qu'elles fassent 500 microns. Elle est bien petite, mais enfin voilà, R égal 1 millimètre, ça va aller. Et immédiatement, je le mets en unité SI, la viscosité, 10 moins 3 pour l'eau. Ensuite, la masse volumique de la phase S, la phase qui est en train de remonter, dans ce cas-là. Ce qu'aurait été le solide si c'était un grain qui coule, mais non, c'est de l'air, donc ça monte. La masse volumique de l'air... vous ne la connaissez pas par cœur mais c'est un tort.

Etudiant

1 :01 :30 ?

1F

Comment ?

Etudiant

1 :01 :32 ?

1F

Un kilogramme par mètre cube, c'est pourtant simple. C'est 1,5 mais vous reprenez 1, 1 kilogramme par mètre cube. Le RO du liquide, 1000 kilogrammes par mètre cube. G, 10 moins 2... Qu'est-ce qu'il nous reste ? Rien. C'est parti, je pose le calcul, quand je le pose, je laisse les noms moi. ROS moins ROL, ça fait 10 moins 3, moins 10,3 ça fait moins 10,3. Le U est négatif, c'est normal, il remonte. Parce que j'ai fait 1 :02 :45 vers le bas. 10^3 kg et je mets les unités.

En bas, je retrouve mon 10^3 . Non pardon, en haut j'ai mon 10^3 , en bas, j'ai un 1 kilogramme par mètre cube. Ensuite, R carré 10 moins 3², ensuite G, 10 moins X moins 2. Et ensuite en bas, j'ai éta qui vaut donc 10 moins 3. Qu'est-ce que c'est que les Newton ? C'est une force. Une force est comme une masse pour une accélération. Donc ça, ça fait 10 moins 3 kilogrammes, mètre moins 1, seconde moins 1.

Avec un peu de chance, c'est dimensionnellement correct. C'est là que ce n'est pas dimensionnellement correct. Il me manque un ROs ici, donc là, il n'y en a pas. Donc, ça sert à ça de faire les applications numériques parce que c'est là qu'on voit si on s'est trompé ou pas. Les oublis arrivent à tout le monde, par contre, il faut les corriger. Alors maintenant, est-ce que c'est dimensionnellement correct ? Les kilogrammes sont bons, mètre moins 3, mètre carré, mètre. Ça me fait, le tout moins 1, mètre, ça fait 0 en haut, moins 1 en bas. Il y a encore un problème, et les secondes moins 2, les secondes moins 2, seconde moins 1, il y a encore un problème. Mais non, parce qu'à gauche, tout va bien, c'est une vitesse. Ce n'est pas sa dimension.

Bien, on tire les puissances de 10, on réécrit les nombres d'un côté, et les puissances de 10 de l'autre. Le moins 2/9, on va écrire que c'est à peu près moins 1/10. Si vous en êtes d'accord. Donc, ça fait 10, 3 - 10 moins 6, 3 moins 6, ça fait moins 3 plus 1, moins 2. Donc j'ai 10 moins 2 en haut, en bas le 10, fois 10 moins 3, ça fait 10 moins 2. Ça fait à peu près 10 mètres par seconde. Je recommence pour voir si je ne me suis pas trompé. 10, 3 - ça fait 3 moins 6 plus 1, 3 moins 6 moins 3 plus 1 moins 2, et bien 10 fois 10 moins 3, 10 moins 2. Moins 1 mètre par seconde, j'avais dit 10cm/s. Ce n'est pas mal, il y a un facteur 10, ce n'est pas mal.

Surtout que moi je n'avais pas envie de prendre $r = 1\text{mm}$ qui me fait des bulles de 2 millimètres qui remontent. Mais j'avais pris, vau mieux prendre 500 microns. Or le U va comme r^2 donc si je divise le r par 4, et bien ce résultat est divisé par 16, et je trouve

mes 10 centimètres par seconde. Donc, je tombe vraiment sur mes pieds, tout va bien. Maintenant, quel est le temps qu'il faut pour atteindre la vitesse limite ? Et bien, donnez les nombres. Je pose ça, ça me fait 2 fois ROS, le ROS vaut 1. 1 kilogramme par mètre cube, fois R^2 au carré fois 3 mètres au carré. Je divise par 9, fois 10 moins 3 kilogrammes, 9 moins 1, qui vaut moins 1.

Les kilogrammes s'en vont, les mètres s'en vont, il me reste les secondes, tout va bien. Le $2/9$, ça va faire $1/10$, je compte en haut les puissances de 10, j'en ai 10 moins 6 en haut. En bas, j'en ai 10 moins 2. Ça me fait 10 moins 4 secondes. 10 moins 4 secondes. N'est-il pas ? Donc, on voit que c'est tout à fait normal que moi j'ai vu l'ascension à vitesse constante. La phase d'accélération dure 10 moins 4 secondes. Donc, maintenant que j'ai vu ça, comment je peux déjà commencer à réinterpréter le fait que nous on a fait la chute libre en étant droit dans nos bottes, comme disait l'autre, en se souciant très peu de la force exercée par l'air sur la craie.

Et bien d'une part, on voit qu'aux instants très courts, et bien ce terme-là, il est négligeable puisque la vitesse au début est nulle. Donc au début, on ne mesure que l'accélération constante, c'est la phase pendant laquelle on suit la tangente. Si je prends une bulle, cette phase d'accélération, elle est presque invisible, du point de vue expérimental, il faudrait que je prenne une caméra rapide pour la voir. Par contre, si je prends une craie dans l'air, et bien cette phase, elle dure longtemps. Et par conséquent j'ai tout à fait le temps, non seulement de la voir, mais de pouvoir négliger le terme de correction.

Question ? Alors je vais faire les choses avec un léger décalage subtile, c'est que je vais faire le frottement turbulent en troisième, moralement, il est juste après ça. Mais ça me semble plus important de vous montrer dès maintenant le contraste avec le frottement solide. Et je vais vous le faire, ça va vous servir de pause. Comme vous êtes arrivé 10 en retard. Ça va faire nous la pause de faire l'expérience. Comment ? Donc vous allez voir une chose qui est très surprenante, c'est que votre intuition sur ce que c'est que le frottement entre 2 solides. Elle correspond au frottement visqueux. Et la réalité, et bien, elle n'a strictement rien à avoir avec le frottement visqueux, vous allez voir toutes les différences qui apparaissent.

Bon, l'expérience primordiale, qui avait déjà été faite par Léonard de Vinci en son temps, du moins c'est ce qu'on raconte. Vous savez que Léonard de Vinci joue un rôle

très particulier dans la mythologie scientifique, c'est qu'on attribue à Léonard de Vinci absolument l'intégralité des découvertes. Or qu'y avait-il juste avant la renaissance Européenne ? Il y avait toute la science Arabe qui a été totalement occultée, donc Léonard de Vinci, c'est l'occulteur de la science Arabe. On le met en paravent pour faire oublier le fait qu'avant, la science était plus au Sud que plus à l'Est.

Donc, l'expérience va consister à mettre un patin solide sur un plan incliné. Sous la gravité G , le patin va avoir une masse M , une surface de frottement S comme précédemment. Et je vais considérer une première chose : c'est que contrairement à un liquide qui coule dès qu'on incline la chose spectaculaire avec un solide, c'est que vous pouvez incliner. Donc, ça c'est mon patin, je le pose, je mets un angle, il tient, alors qu'un liquide coule. Donc, ça c'est une chose remarquable. Par conséquent, je vais pouvoir calculer une situation d'équilibre, c'est-à-dire lorsque la vitesse est nulle, comme référentiel terrestre, et à ce moment-là, et bien je vais prendre comme système, le patin. Le disque des forces s'exercent sur le patin.

Quelles sont ces forces ? Et bien il y en a 2, et 2 seulement : son poids, et il est convenu d'appeler la réaction du support, c'est-à-dire la force exercée par le plan sur le patin. Et je vais le décomposer en 2 bouts : une force de réaction normale, et une force de frottement. Celle-là, je vais l'appeler N , celle-là, je vais l'appeler T . Le plan pousse sur le patin, et par conséquent, la force de réaction normale, je vais la dessiner comme ça, et la force qui s'oppose à ce qui sera le mouvement si c'était en mouvement, et bien, elle ressemble à ça. Comme je considère un système à l'équilibre statique, et bien je peux appliquer le PFD, il est particulièrement simple, puisqu'il s'écrit MVB sur DT , qui vaut, vecteur nul puisque c'est un problème statique, égal MG plus N plus T .

Je donne un exemple. On a la somme des forces qui vaut vecteur D . Je vais projeter ça sur les axes habiles. Qu'est-ce que c'est que les axes habiles ? Et bien, je vais mettre l'axe Z comme ça, et l'axe X comme ça. Parce que c'est mon fois comme dit l'autre. Je me projette donc d'abord sur Z . N est-ce qu'il pointe vers le Z positif ou le Z négatif ? Positif, très clairement, donc ça fait plus N , où N quand je marque ça, ce N est positif, c'est la norme du vecteur. J'aurais dû marquer 2 barres et une flèche pour bien dire qu'il est positif mais... plus N comme ça. Maintenant, la gravité, il faut qu'elle se projette sur l'axe Z et il y a un angle.

Donc, il y a toujours 2 choses à régler, soit c'est un cosinus, soit c'est un sinus, soit c'est un plus soit c'est un moins. Ça nous fait 3 erreurs possibles, pour une réponse juste. Alors, comment je fais dans ma tête, j'envoie teta très près de 0, et je regarde si G il se projette beaucoup, ou s'il ne se projette pas beaucoup sur Z. Donc quand j'envoie teta à 0, le G se projette beaucoup sur Z. Il est essentiellement sur mon Z. Donc c'est un cosinus, le cosinus 0, ça vaut 1. Est-ce qu'il pointe vers le haut ou vers le bas ? Il pointe clairement vers le bas. Vers les Z négatifs, donc moi j'écris : $-mg \cos teta$. Et c'est ça qui se passe dans ma tête, je ne fais pas ça pour vous, c'est ça que je fais réellement.

Je regarde est-ce qu'il se projette beaucoup ou pas beaucoup, et vers où il pointe. Et ça, ça vaut 0. Et puis, je fais la même chose pour T, alors T est-ce qu'il pointe vers les X croissants ou vers les X décroissants ? Clairement vers les X décroissants, il est aligné donc il n'y a pas d'enjeu. g, comment il va se projeter sur X ? Je le fais entre un sinus et un cosinus. J'envoie teta à 0, et je vois que si j'envoie teta à 0, le g ne se projette pas beaucoup sur X, pour ne pas dire pas du tout. Par conséquent, c'est un sinus. Est-ce qu'il pousse vers les X positifs ? Oui, on pourrait bien le 1 :16 :38 de g, elle pointe dans les X positifs, donc ça fait plus $mg \sin teta$. Je résous et le 1 :16 :50 N égal $mg \cos teta$, $T = mg \sin teta$ de sorte que le rapport T sur N, il tend vers teta. C'est vrai tant que c'est à l'équilibre.

Alors maintenant, on pourra faire une mesure ensemble, je vais incliner, et on va voir quelle est la première fois, ou ça n'est plus vrai. Ça se met à glisser, je m'arrête, je mesure l'angle, je vais mesurer le rapport T sur N, la dernière fois que ça a pu être à l'équilibre. Je refais pour voir que ça fait la même chose, on fait plusieurs fois le même, je pose à mon patin. Je monte, oui ça fait le même angle. Cet angle, combien, il vaut à peu près ? Oui 30 degré. Ça fait une tangente de combien. Ça fait racine... ça fait $1/2$ sur racine de 3 sur 2, ça fait un sur racine de 3. Bon, mais sinon si c'était 45, ça une tangente de 1 donc ça fait moins de 1 :0,5 ou 0,4 quelque chose comme ça. D'accord ? Donc là, ce que je viens de mesurer, c'est que le dernier rapport T sur N, sur lequel j'ai l'équilibre.

Maintenant, on va se dire, tout le monde sait bien que le frottement, plus il y a de surface qui frotte, plus ça frotte. C'est absolument évident. Quand je prends le même patin, il a la même masse, et je le retourne pour que la surface qui frotte soit 4 fois plus petite. Prédiction, et c'est normal, ça va frotter 4 fois moins, je vais mesurer un angle

4 fois plus faible. On y va ? On mesure strictement le même angle. Le coefficient de frottement, solide-solide ne dépend pas de la surface de frottement. Alors, on va dire : bon d'accord. Mais au moins, il y a un truc qui est clair, c'est que plus c'est lourd, plus ça frotte.

Alors, on prend la même surface de frottement, on augmente la masse du patin, je rajoute une masse dessus. Je double la masse, ça va frotter plus, c'est évident. Non, ça frotte pareil; ce frottement solide-solide ne dépend ni de la masse, le coefficient de frottement pendant θ , ni de la masse, ni de la surface de frontal. Donc qu'a-t-on vu expérimentalement ? Et bien on a vu que la condition, et ça va être mon b, loi de 1 :20 :30. Oui ?

Etudiant

Le truc avec $-T+mg \sin$, c'est une projection sur X ?

1F

Absolument. La condition de rupture d'équilibre, vers le glissement, c'est que le rapport T sur N devient supérieur ou égal à un certain coefficient. On le note en général U, et d'autre le note s. Ce U, c'est ce qu'on vient de mesurer pour la plupart des matériaux, il est de l'ordre de 0,5. Pour des matériaux exceptionnels, fait exprès, par exemple le téflon, il peut baisser vers 0,2 – 0,1, si on téflonne comme dans vos poêles antiadhésives. Mais de manière très général, ce nombre est extrêmement robuste. Et on l'appelle le coefficient de frottement statique.

Ce qui est extrêmement important, c'est qu'il ne dépend ni de la surface du contact, ni de N, la force normale avec laquelle on appuie. Donc qu'est-ce que dit cette loi ? Que je peux faire bouger cette table, peu importe qu'elle soit branlante, et qu'elle touche sur 3 points : la force résistive ne va dépendre du tout de combien de point elle touche. Et plus, elle va être lourde, plus ça va être dur de tirer là-dessus. Vous voyez, ça tombe sous le sens. Que se passe-t-il, une fois que le patin s'est mis en mouvement ? Et bien, quand je vais le lancer d'ici, je ne sais pas si vous avez dans l'œil maintenant le mouvement uniformément accéléré, mais enfin, on ne voit pas de vitesse limite apparaître.

Ce qu'on voit c'est que ça accélère, ce qui signifie que, et même si je vais 1 :23 :21 point de rupture, ça accélère moins évidemment. Et bien, pendant le mouvement, le glissement, cette force se maintient. Et elle se maintient avec un coefficient de

frottement qui est légèrement inférieur au coefficient statique. Si ça glisse, alors le rapport T sur N , au module, devient égal à un coefficient de frottement $1 : 24 : 16$. Vous allez me dire : c'est un peu embêtant parce que le coefficient de frottement, vous avez donné son module, mais je ne vous ai pas donné sa direction.

Et bien, la direction de T , c'est moins la direction de la vitesse. Le frottement s'oppose, donc je peux écrire fermement une équation : T sur T , c'est-à-dire le vecteur directeur unitaire dans lequel point T est égal à moins U sur U . Est-ce que ça vous parle cette équation, de fait que si je divise un vecteur par sa norme, ça fait vecteur directeur unitaire ? Donc ça, ça dit juste que : si le patin va comme ça, et bien T va dans l'autre sens. Schématiquement, c'est ça que je dis par une équation. Je peux donc traiter du mouvement d'un patin sur un plan incliné.

J'applique le principe fondamental de la dynamique, et j'obtiens N , D , de V , et de U sur DT . Je le projette sur l'axe X qui est la seule direction dans laquelle je peux avoir un mouvement et j'obtiens $N \cos \theta$ plus $UD \sin \theta$ moins $MG \cos \theta$. Et ça, je peux recouper les mg , je peux faire ça : $mg \sin \theta (1 - \mu / \tan \theta)$ $MG \sin \theta$ facteur de 1 moins $UD \sin \theta$ sur $1 - \mu / \tan \theta$. Et je trouve donc que le mouvement est uniformément accéléré, et l'accélération du patin sur le point incliné, et bien, c'est la projection de la gravité moins un terme, qui vient du frottement solide.

Donc, vous voyez que le mouvement de chute sous l'échelle à frottement solide, il reste uniformément accéléré. Par opposition, le mouvement de frottement liquide, et bien, il conduit à une vitesse limite. Deuxième différence : ici, le mouvement est uniformément accéléré, mais dès les vitesses nulles, il y a du frottement. Dans le cas du frottement liquide, à vitesse nulle, le frottement est négligeable. C'est pour cette raison-là que le frottement liquide peut être favorable par rapport au frottement solide, puisque tant que ça ne glisse pas beaucoup, et bien, on n'a pas beaucoup de force résistive. Donc c'est pour ça qu'on lubrifie le mouvement avec de l'huile.

Quelle conséquence a le fait que le coefficient du frottement statique n'est pas égal au coefficient du frottement dynamique ? Ce UD qui est là, mais en général, inférieur à US , dans la réalité des choses, ce UD dépend du logarithme de la vitesse. Mais peu importe, disons qu'il est à peu près, à une certaine échelle, où on le voit à peu près constant. Et bien, ça a 2 conséquences intéressantes que je veux vous montrer. La

conséquence 1, cette chaise fera tout à fait l'affaire. Je tire sur la chaise, je poursuis dans certains seuil, elle bouge, et elle grince.

Pourquoi est-ce qu'elle grince ? Elle grince exactement par le fait que le coefficient de frottement dynamique n'est pas égal au coefficient de frottement statique. Quand ça se met en mouvement, et bien, brutalement, le coefficient de friction sur s'abaisse, et donc elle se met à accélérer, mais du coup, elle rattrape le coin avec lequel je tire dessus. Et comme ses jambes ici sont l'effet d'un ressort, et bien, elle se rarrête, et elle se rarrête jusqu'à temps que je tire assez fort, pour qu'elle relâche mais alors elle accélère parce que le coefficient de frottement s'abaisse.

Et du coup, elle rattrape le poids avec lequel je tire, et elle se rarrête. C'est un mouvement dit « de collé-glissé », c'est le mouvement par lequel les tremblements de terre se forment. On a les roches encaissantes qui sont au contact l'une de l'autre. Le fait que la tectonique des plaques vient faire bouger les roches l'une par rapport à l'autre. Et ça accroche, ça lâche. Ça accroche, ça lâche. Et on a ces mouvements de rupture qui sont les tremblements de terre. Ici, on voit que la fréquence, plus je vais vite, on ne l'entend pas très bien, plus je vais vite, mais sur une porte on l'entend beaucoup mieux. Quand une porte grince, plus je vais vite, plus la fréquence est élevée, plus je vais lentement, plus la fréquence est lente pour ça.

L'autre endroit intéressant, où on a ce phénomène de collé-glissé qui est lié à la différence entre le frottement dynamique et le frottement solide, c'est le violon. Quand on joue du violon, et bien on a l'archet qui vient flotter sur les cordes, il frotte, il se met à glisser. Mais comme la corde, c'est une sorte de ressort, et bien la corde vient par son mouvement, rarrêter l'archet par rapport au violon et puis ça relâche, et puis ça recolle, ça relâche, ça recolle. Et c'est ça la source du son du violon, et aussi surtout la raison pour laquelle c'est tellement pénible à entendre, pour les gens qui ne jouent pas bien.

Dernier point, le frottement turbulent. Est-ce que j'ai la place de... Je ne pourrais pas le décrire sur ce tableau-là, il 1 :31 :20. De quoi s'agit-il ? Et bien si je considère un objet qui est en déplacement par rapport à un fluide, mais que cet objet a une taille et une vitesse qui sont grandes. Grandes par rapport à quoi ? On va le voir dans un instant. Disons grandes pour l'instant. Par exemple, une voiture qui va à vitesse U sur la route.

Et bien, il suffit d'avoir été sur le bord d'une autoroute pendant 5 secondes pour le savoir, l'écoulement d'air qui est induit par des voitures présentent des turbulences. On entend par turbulences les mouvements aléatoires, désordonnés de l'air, de fluctuation. Et ça se traduit schématiquement par le fait, que si j'étais capable de mettre du colorant dans l'air, on est capable 1 :33 :21 de faire ça. Et bien, les particules d'air ici seraient animées par les mouvements assez lisses, comme sur le dessin qui est resté ici à droite. Mais par contre, dans le sillage, elle serait animée de mouvement désordonné, turbulent.

On peut très facilement se faire une image de la turbulence, mais je n'ai pas amené de quoi vous faire ça. La prochaine fois que vous traversez la scène, vous vous mettez au milieu de la scène, et vous regardez les écoulements derrière une pile de pont. Et vous voyez ce que c'est qu'un sillage turbulent, en un sens très pragmatique. Mais si vous prenez du chocolat au lait, ou du café au lait, et que vous passez votre cuillère dedans, et bien, vous allez avoir du colorant, et vous allez voir cet effet du côté de la cuillère, et bien ça reste lisse, et que derrière, c'est animé de mouvement désordonné.

Alors, dans cette situation dans laquelle les tailles sont grandes, et les vitesses sont grandes, et bien la force de frottement exercée en moyenne par l'air sur le truc qui bouge ne dépend plus de la viscosité. C'est un constat expérimental, c'est toujours la viscosité qui vient dissiper l'énergie mais enfin, la force elle, ne dépend plus fonctionnellement de la viscosité. De quoi peut-elle dépendre ? Et bien de la taille de la voiture, de la vitesse de la voiture, de la masse volumique du fluide, évidemment pas de la masse volumique de la voiture. Puisque l'air ignore ce qu'il y a dans la voiture.

Alors déjà, si je regarde vue de l'écoulement, la voiture, je vais la dessiner de face, voilà. Le pilote est à droite. Le volant est là. Si mes souvenirs sont bons, la plaque d'immatriculation, les phares, les roues. Et bien, vue de face, je vais appeler S la surface que je vois quand je regarde l'écoulement. D'accord ? S dimensionnellement, il est homogène à une longueur de carré. De quoi peut dépendre la force ? Et bien, je vais écrire déjà la dimension de la force, LT moins 2, ça je le sais avec le principe fondamental de la dynamique : une masse, c'est une accélération, et une accélération, c'est LT moins 2. Donc la force doit s'écrire comme ça.

Les variables, et bien, elles sont au tableau, j'ai ρ , j'ai U , j'ai S et c'est tout. D'où peut venir la masse en l'expression ? Et bien, il y a un seul endroit où j'ai une masse,

c'est dans RO. Par conséquent, la force, je vais l'écrire RO fluide fois quelque chose. Donc j'ai absorbé le L, et du coup j'ai un $L^4 T^{-2}$ à faire apparaître. Où est-ce que j'ai du temps ? Et bien, dans la surface je n'en ai pas, dans la vitesse... Et les loulous, d'ici, vous couvrez ma voix, vous n'entendez même pas, c'est... Vous avez la politesse de sortir si vous en avez marre. Donc le seul endroit où il y a du temps, c'est dans la vitesse.

Je mets un temps au carré, il me faut un U au carré ici. Alors j'en suis à M, L moins 3 fois L², T moins 2. Donc le T moins 2, c'est bon, il me manque un L². Et bien, la surface me fait un L², donc cette équation-là est la seule qui soit dimensionnellement possible, du moment que la viscosité ne compte pas. Donc cette équation, elle est en norme, elle est dérivée sur l'analyse dimensionnelle. Il faut que je la mette en vecteur. Je vais mettre le petit comme ça, qui veut dire proportionnel a, et maintenant, je vais l'écrire en vecteur, si la force qui est opposée à la vitesse, donc je vais mettre un moins qui est le vecteur vitesse ici, et U², je vais écrire une fois U.

Et ensuite, et bien j'ai un nombre que je ne peux pas deviner par l'analyse dimensionnelle. Et ce nombre, je vais l'appeler CX. Et puis, il y a un facteur 2 de ce nombre que je vais appeler CX sur 2. Dans la réalité, on aurait quelque chose. Qu'est-ce que c'est le CX ? Et bien, c'est le nombre qui me reste une fois que j'ai fait l'analyse dimensionnelle de mon problème, dans le régime dans lequel la viscosité ne compte plus, qu'on appelle le 1 :39 :28 turbulent. Le CX d'une voiture, c'est donc le coefficient de frottement, à vitesse constante, surface constante.

Mais on voit déjà que, et bien, si vous avez un Porche Cayenne, qui est 2 fois plus gros qu'une Twingo, et qu'en plus vous allez à 180 sur l'autoroute au lieu d'aller à 90 sur route. Et bien, du point de vue des forces de frottement que vous avez à vaincre, un véhicule 2 fois plus gros, ça coûte 4 fois plus en force, que d'aller 2 fois plus vite, ça coûte encore 4 fois plus en force, donc ça fait 16 fois plus pour la force. Et pour l'énergie, il y a encore un facteur vitesse, et donc ça coûte 64 fois plus en essence. Donc cette loi, elle montre les effets de taille, et elle montre les effets liés à la vitesse, la force, comme la vitesse au carré, du moment que ça va vite.

Alors, vous allez me dire comment on sait si on doit appliquer une formule plutôt qu'une autre ? Et bien, d'abord on regarde, si on fait l'expérience, ça se voit immédiatement si le sillage est laminaire, ou si le sillage est turbulent. Et même si vous êtes dans un

véhicule en mouvement, vous sentez bien si le véhicule vibre ou pas. C'est une première chose.

Et deuxièmement, et bien il doit y avoir des conditions pour lesquelles que je calcule par une méthode ou par l'autre, les 2 soient du même ordre de grandeur. Quand est-ce que les 2 formules vont être du même ordre de grandeur ? Et bien, elles vont être du même ordre de grandeur, si teta, teta fois la longueur, fois la vitesse devient au nombre de grandeur de CX, je l'enlève, $\frac{1}{2}$ je l'enlève. Je travaille au nombre de grandeur, la surface, je veux dire, c'est la longueur au carré, U^2 .

Et le 6π , j'enlève aussi. Donc, quand ces 2 choses-là sont du même ordre de grandeur, et bien ça signifie que, quand je fais une estimation ou l'autre, ça va donner à peu près le même résultat. Je réarrange un peu ça, je divise par N plus, je divise par teta, et j'obtiens un nombre Ros, L, U sur éta, nombre 1. Ce nombre RO_S , L, U sur éta, c'est un nombre sans dimension. Et on a vu dans la séance, dans cette salle même, la dernière fois, la séance olé olé, que les nombres sans dimensions jouent un rôle très important en physique.

C'est eux qui portent le sens profond des choses. Ce nombre, on appelle : le nombre de Reynolds. Et si ce nombre est petit 1, et bien, la force de frottement va être de type visqueux. Si le nombre de Reynolds est d'ordre 1, disons entre 1 et 100, ou 400 ou 500, ça dépend et bien, vous êtes dans une situation problématique dans laquelle vous êtes ni dans un régime, ni dans l'autre mais au milieu. Et au milieu, la vie, des fois, est difficile, et en particulier ça dépend si le corps est bien en aérodynamique ou pas. Ça dépend s'il est très carré, très au blanc. Ça dépend à tout.

Mais ce qu'on peut dire de manière générale, c'est que dans la mesure où j'ai un seul nombre sans dimension, et bien le CX qui est le seul nombre sans dimension de cette formule, doit être une fonction du nombre de Reynolds qui est le seul nombre sans dimension de l'autre côté, et ça je peux le mesurer. Et qu'est-ce qui se passe si je mesure ça ? Alors, je vais le mettre en... je vais le faire un axe LOG ici, et un axe Log ici. Je vais mettre 1 ici, 10 moins 2, 10 moins 4, et là, 10^2 , 10^4 etc. Ici, j'ai le régime visqueux, et 1 :44 :51, le nombre de Reynolds est petit. Ici il y a le régime RO turbulent, dans lequel on prédit que CX qui doit être d'ordre 1 constant, et pour un grain qui se dimmente, le CX vaut 1 à 10% près, donc c'est dire que ça marche bien.

Et puis, à un endroit de cette courbe, il y a un accident dans la vraie vie : crise de traînée, ce n'est pas une insulte misogyne, c'est le nom de cet accident qui arrive là. Et voyez que cet accident est extrêmement intéressant, parce qu'il permet de réduire le frottement. Donc, si on fait exprès d'induire, si on fait expert de créer cette crise de traînée, et bien pour une même force, on peut aller plus vite.

Alors, à quoi ressemble l'écoulement de part et d'autre de ça ? Et comment on utilise ça ? Et bien, si j'ai un obstacle, juste avant, la crise de traînée, l'écoulement ressemble à ça. Mais sur la face amont de la sphère, c'est bien lisse l'écoulement, juste après la crise de traînée, ça ressemble à ça. Ça devient un turbulent partout. Et le fait qu'elle est un peu turbulente partout, et bien ça gagne du point de vue de la dissipation. Où est-ce qu'on utilise ça ? On utilise ça partout donc le cas le plus facile à voir, c'est les petits trous sur la balle de golf, ou les coutures sur les ballons de foot.

Et bien, ça permet de devancer la crise de traînée, de créer des petites perturbations qui sont favorables, et d'avancer le point où on a ça. Sur la peau des requins et des grands mammifères marins, vous avez les petites écailles qui sont des petites rugosités qui font qu'on rend l'écoulement légèrement turbulent à la surface, et ça devance la crise de traînée, et ça été imité dans les tenues Speedo de natation dans laquelle la tenue Speedo vous contracte le ventre pour vous donner une forme aérodynamique.

Elle a ses petites écailles de surface qui permettent d'enduire la crise de traînée, et diminuer le frottement dans l'eau. Et elle a des effets déperlant donc elle ne mouille pas. Ça permet de ne pas perdre d'énergie quand le bras sort de l'eau. Vous avez ça sur les ailes des oiseaux, ou sur des ailes des avions. Sur les ailes des avions, si vous regardez, vous avez des volets de traînée qui sont à l'entrée de l'aile, qui sont comme ça, qui sont faits pour générer les petites turbulences, qui permettent de se positionner à un endroit habile là-dessus. Maintenant, sur la plupart des bagnoles, vous avez aussi des « vortex generator » comme on dit, les générateurs de vortex. Mais enfin, vous savez les communicants, ils aiment bien utiliser les anglicismes.

Donc des petits... ça ressemble à des petits champignons comme ça, qu'on met, et qui permettent de devancer sur le toit, et de gagner du frottement. Donc, chez les oiseaux, souvent, c'est le pouce, ce qui était chez les oiseaux, ce qui était chez les dinosaures volants, le pouce de l'oiseau qui est devenu... qui reste le pouce dans

l'aile, ce qui reste après les mains, dans l'évolution. Les oiseaux ont un pouce qui s'appelle : la loula. Et il lève le pouce comme ça. Si vous regardez des photos d'oiseau, des grands oiseaux volants, ils lèvent le pouce pour générer de la turbulence dans le sillage, devancer la crise de traînée, et se mettre au bon endroit.

Donc cette courbe, elle ne s'invente pas, on la mesure expérimentalement. Elle est la réalité du frottement hydrodynamique sur un objet. Donc elle, c'est la vraie vie, ce qu'on a établi avant, ce sont des limites de cette courbe dans des zones intéressantes. C'est-à-dire pour le régime visqueux ici, pour le régime turbulent ici, ou là, mais pas au milieu. La prochaine fois, nous verrons les forces de rappel, les oscillations, et l'équation différentielle du deuxième ordre. Ce qui vous faut travailler impérativement, impérativement. Ce sont les primitives, les équations différentielles du premier ordre. Si vous ne savez pas faire ça, vous allez dans le mur. Si vous ne savez pas reconnaître une équation de relaxation, et savoir que ça va faire une solution exponentielle, vous y allez aussi.

4 sesión

1F :

Bonjour ! Donc c'est aujourd'hui la dernière fois que nous nous voyons. La semaine prochaine, vous n'avez pas de cours de physique. Mais pour certains d'entre vous, la séance sera utilisée pour faire un TD de rattrapage par avance des lundis fériés. Donc, les séances de la semaine prochaine seront remises en milieu de semaine à la fin du semestre. Mais comme on est en avance sur les TD, c'était logique de...

Etudiant :

Du coup, il n'y a pas de cours de physique la semaine prochaine ?

1F :

Donc, la semaine prochaine il n'y a pas de cours de physique, mais les TD mans, les chargés de TD, vous avertiront, si vous avez une séance de rattrapage. Seulement en physique, dans les autres matières vous avez cours. Allez, on démarre. S'il vous plait. Je voudrais un silence intégral pour démarrer. Donc, je vous rappelle où nous en sommes, nous avons vu il y a 3 séances, le principe fondamental de la dynamique. Après, une longue introduction sur la cinématique.

Nous avons vu les forces arrivées par ordre de difficulté, la force de gravité, la fois dernière ; les forces de frottement, et les équations différentielles du premier ordre. Nous en arrivons aux forces de rappel, et aux équations différentielles du deuxième ordre. On ne peut pas démarrer dans ce jeu-là. Je ne veux pas avoir à vous quitter dès maintenant, faute de pouvoir faire cours donc je voudrais un calme.

Donc pour introduire la notion d'oscillation libre, je pars d'un exemple qu'on a déjà vu longuement, qui n'est pas proprement parlé, une oscillation mais qui me permet d'établir la solution de l'équation différentielle linéaire, du deuxième ordre calmement. Donc, considérons le système particulier dans lequel, on prend un matériel dans un référentiel quelconque, tourne à vitesse constante, le long d'un cercle et de rayon R . Et bien, dans ces circonstances, il est intéressant de définir plutôt, que les coordonnées XY du mouvement, de décrire le mouvement par un angle.

Par exemple : l'angle par rapport à l'axe X . Il aurait fallu qu'on aille quand même, au bon endroit. Et donc, je vais le numéroter positivement, quand l'angle tourne dans le sens contraire des aiguilles d'une montre, selon la convention habituelle. Qu'est-ce que ça signifie que la vitesse est constante ? Et bien, ça signifie que pendant un temps, une durée dt , et bien, la longueur parcourue vaut $2\pi R dt$, et cette longueur parcourue, elle vaut aussi $2\pi R dt$, ou $2\pi R dt$ est la longueur le long du cercle parcouru quand le système décrit un angle dt .

Et de cette équation, on tire immédiatement que la variation de l'angle par unité de temps, est constante, et vaut $\frac{1}{2\pi R}$. Par conséquent, je vous la prends dans la limite : dt tend vers 0, et je construis la dérivée de l'angle par rapport au temps : sigma qu'on va appeler dorénavant la pulsation, et aussi la vitesse angulaire, en 2 dénominations selon le contexte.

Et pour ce mouvement particulier, ω est constant. Par conséquent, on peut écrire que l'angle vaut ω fois le temps, plus une constante initiale, qui est l'angle que faisait le système par rapport à $X=0$ à la date $t=0$. A partir de ça, et bien si je veux trouver les composantes X et Y du mouvement, il faut que je me projette sur l'horizontale, et sur la verticale de mouvement : la formule de projection sur l'horizontale c'est $X=R \cos t$.

Et t , ça vaut ceci : $\cos \omega t + t_0$. Y ça vaut $R \sin \omega t + t_0$, ça fait $R \sin \omega t + t_0$. Et bien, si je regarde une seule des coordonnées du système, que ça soit X ou Y ,

et bien, je vois que cette coordonnée varie sinusoidalement au cours du temps, avec soit un sinus, soit un cosinus, selon la direction que je regarde. Donc si je représente graphiquement X , et bien ça démarre, je prends $t_{0}=0$ pour mon dessin.

Ça démarre comme ceci, pour X en fonction du temps, qui vaut cosinus comme cela. La durée où laquelle le mouvement se répète, identique à lui-même, je l'appelle la période du mouvement. Je le lis graphiquement, ici par exemple, grand T . Et donc quand est-ce que le cosinus se répète identique à lui-même? Je pense qu'il y a à l'intérieur, la variée de 2π . Donc quand w grand T vaut 2π , donc la période vaut 2π de w , voilà la relation entre période de pulsation.

Et si maintenant, je veux définir la fréquence, et bien la fréquence est, par définition, l'inverse de la période. Et l'inverse de la période, ça fait $\frac{1}{2\pi}$. Ou je peux le dire autrement, w vaut 2π sur la fréquence. Donc entre la fréquence qui est le nombre de tour par unité de temps et la pulsation, il y a un 2π , parce que ce 2π c'est l'angle total parcouru en un tour. La période c'est un sur la fréquence, ou 2π sur la pulsation.

Bien. À partir de ceci, je voudrais déterminer la vitesse de l'accélération du mouvement. Pour déterminer, c'est sûrement incroyable, l'incapacité de s'arrêter à parler en toute circonstance, que vous pouvez avoir au niveau d'incontinence verbale. J'obtiens la vitesse en dérivant la position par rapport au temps.

Et donc ici, on a 2 célèbres difficultés des mathématiques : dériver le cosinus, dériver le sinus, et dériver une fonction composée. Et bien, si je dérive par rapport au temps, il faut que je dérive par rapport à l'intérieur de la parenthèse, et je multiplie par la dérivée de l'intérieur de la parenthèse par rapport au temps. Et par conséquent, la dérivée de l'intérieur de la parenthèse par rapport au temps, c'est w .

Et ensuite, il faut que je dérive la fonction, la dérivée de cosinus c'est moins sinus. Si je dérive maintenant le sinus, je dérive l'intérieur de la parenthèse, ça me fait ω , que je multiplie par R qui est le pré-facteur. Je dérive le sinus qui me fait plus cosinus. Et donc, je ne sais pas bien comment vous aidez à retenir ces 2 lignes de calcul qui viennent d'arriver, la seule chose que je peux vous dire, c'est que le nombre de chute qui arrive à ces 2 lignes de calcul est énorme.

Par conséquent, il faut que vous sachiez ça sans aucune difficulté, quand vous sachiez calculer ces 2 dérivées, sans oublier w , sans oublier le moins. Si maintenant, je passe à l'accélération, je dérive ici, j'ai un deuxième w qui sort. La dérivée de sinus c'est

cosinus. Et ici, la dérivée de cosinus c'est moins sinus, d'où je vois une propriété particulière. C'est que si je regarde l'accélération selon X, et X lui-même, et bien je reconnais le R cosinus comme $w T$ plus θ_0 qui est X, et ça, ça vaut donc : moins θ carré X.

Et ça, ça vaut : moins θ carré Y. Et bien, cette équation, que je peux résumer à droite et encadrer, 0 :20 :53 en Y. Cette équation est l'une des équations les plus importantes de la physique. Vous allez me dire : vous avez déjà dit la dernière fois avec l'équation de relaxation que c'était une des plus importantes de la physique, et bien, ça en fait 2. Celle-là, c'est l'équation de l'oscillateur harmonique.

Et s'il fallait identifier, une chose va être et rester importante, pendant les 3 ans et demi d'apprentissage de la physique, pour l'ensemble de la licence, l'oscillateur harmonique c'est le cœur de la physique classique. Ça intervient partout, c'est la base pour les ondes, c'est la base pour la mécanique quantique, c'est la base pour la mécanique. Donc, cette chose là qu'on découvre aujourd'hui, va revenir en permanence pour l'électromagnétisme, comme étant une base très importante.

Donc, on dira d'un système qui vérifie cette équation, que c'est un oscillateur harmonique, et on reconnaît dans l'équation ce que vaut la pulsation. Et de manière très importante, il faut qu'il y ait un moins ici, s'il y a un plus ici, et bien les solutions ne sont pas des oscillations. Donc, un mouvement d'oscillation sinusoïdale est associé à une équation de ce type.

Deuxièmement, j'espère ne pas faire de faute d'orthographe à Hooke, je crois que ça s'écrit comme ça. Hooke est un personnage très important de l'histoire des sciences. Alors ce n'est pas le capitaine crochet de Peter Pan, monsieur Hooke était chargé de monter les expériences. Toute sa vie, il a monté des expériences quotidiennement pour faire des démonstrations académies des sciences. Et il était un contemporain de Newton, et on dit que lui aussi a inventé les lois du mouvement, simultanément à Newton mais dans une forme graphique et expérimentale.

Donc évidemment, c'est le théoricien qui a mis en mot, puisqu'on n'avait pas les équations différentielles à ce moment-là. Qui a mis un mot, qui a apporté le nom, mais le fait qu'il y a eu un expérimentateur en parallèle qui faisait énormément l'expérience avec des boules polymériques où bougeait sur des profils. Qui reproduisait des mouvements pseudo planétaires, a constitué un moment très important. Et il revient

en grâce ses dernières années, on redécouvre le travail de Hooke, et sa contribution d'expérimentateur là-dessus.

Parmi la loi qui porte son nom, c'est la loi sur les ressorts. Et le ressort joue un rôle important dans la physique, en particulier pour les systèmes aussi longs. Et le ressort générique, qu'on étudie en physique n'est pas celui qu'on utilise au laboratoire comme ressort. C'est le ressort à spire non jointive. On schématise comme ça. A quoi sert un ressort ? Et bien, ça sert par exemple, dans la suspension des voitures, vous avez des ressorts a spire jointive, qui permettent à la voiture de rebondir.

Vous en avez dans tout un tas de système, au stylo Bic, si vous en avez, vous avez des ressorts à spire non jointive et l'exemple type de la force de rappel, c'est-à-dire une force qui tend à ramener ce qu'on accroche dessus, le mobile que cette force applique, vers une position d'équilibre. Donc, un ressort est un objet remarquablement habile dans la mesure où c'est fait d'acier qui est extrêmement rigide. Et le fait de le mettre en spire rend l'objet extrêmement mou.

On peut l'allonger avec des forces faibles, alors qu'une barre d'acier, on ne peut pas. Il existe d'autres choses qui s'apparentent à des ressorts. Donc ceux que j'ai amenés, ce sont des élastiques. Donc, on peut dire que ça, ça se comporte comme un ressort, quand je tire dessus, et bien ça rappelle vers sa position d'équilibre. La différence entre un élastique et un ressort, c'est qu'un ressort ça peut travailler en extension, ou en compression. Un élastique, ça ne peut travailler qu'en extension. En compression, et bien il n'y a pas de rappel dans l'autre sens. Et puis, ce qu'on utilise.

Donc les élastiques sont fabriqués avec une classe de matériau particulier, qu'on appelle : « les élastomères » qui sont des longues molécules polymériques enchevêtrées qui donne leur propriété de mollesse aux matériaux. Et donc, c'est intrinsèquement très mou un élastomère. Dans la même famille de matériaux, on a les gels. Vous avez déjà sans doute déjà vu de la « jelly anglaise », ce dessert affreux, qui est tout mou, ou de la gélatine de bœuf avec lequel on met autour des œufs en gelés, ou les additifs qu'on met dans les confitures pour faire des gelés.

Et bien, tout ça est composé aussi de molécule très longue, mais avec beaucoup d'eau qui est encagée au milieu. Et la rigidité est liée à ces longues chaînes polymériques dedans. Tout ça a des propriétés de mollesse intrinsèque, avec de la cire, donc obliger de jouer sur la géométrie pour donner de la mollesse. La manière dont on fait un

ressort de laboratoire, c'est avec des lames de ressort, donc ça c'est du bon acier de lame de scie. Ça revient vers l'équilibre. Et le fait que ça soit fin, ça permet de le tordre ça facilement, avec des forces faibles. Et donc ça constitue un ressort, et il suffit d'en mettre 2. Comme ceci, assemblé au bout de pièces métalliques pour contraindre le ressort à travailler.

En gardant des lames parallèles, et ça fait vraiment un excellent ressort comme on en met dans les balances, qu'on met dans tous les montages de physique quand on voit un ressort, c'est ça construction. La propriété des ressorts est que si je l'accroche à un mur, le mur se schématise par 3 petits traits sur une barre. Ça sera aussi la notation utilisée en électricité pour la mise à la terre. Et bien, si je considère la masse M accrochée au ressort, qui peut glisser sans frottement sur un plan horizontal, la force exercée par le ressort sur la masse est proportionnelle à la longueur du ressort moins une longueur à l'équilibre.

Donc K moins L moins L_0 . L est cette longueur, L_0 est par définition la longueur pour laquelle le ressort n'exerce pas de force sur la masse. C'est une force qui est portée le long de l'axe du ressort. Et si le ressort est allongé, il est donc, il est tiré comme ça, il exerce sur la masse, une force vers la gauche. Il y a donc un moins ici. K est appelé la raideur du ressort. L_0 est appelé la longueur à vide du ressort. Et évidemment, rien ne m'empêche d'appeler $X=L-L_0$. Si je pose $X=L-L_0$, ce qui signifie que je prends $X=0$ à la longueur à vide. Et bien, cette même force devient $-kx e^x$.

Par conséquent, si je prends le principe fondamental de la dynamique, dans un référentiel approximativement égalisé 1, et bien il s'écrit : la masse fois l'accélération égal la force proportionnelle à X , équation qui se réduit à la dérivée seconde de la position égal moins k sur M , X . C'est donc l'équation de l'oscillateur harmonique, un système masse ressort, dans lequel le ressort est linéaire, est un oscillateur harmonique. Si j'identifie la relation avec celle que j'ai écrite juste en haut, et bien j'obtiens l'expression de la pulsation de cet oscillateur qui vaut racine de K sur M , ce racine de K sur M c'est pareil que le reste, ça fait w partie des 10 équations qu'il faut avoir en tête.

Alors K , quelle est sa dimension ? Et bien, je vois que K , c'est une force rapportée à une longueur, et une force en vertu du principe fondamental de la dynamique, c'est une masse fois une accélération. Ça fait donc $M L^2, ML T$ moins 2 sur L , et ça, ça fait

ML T moins 2. Mais, on utilisera comme unité du système international le Newton par mètre.

Etudiant :

Ce n'est pas 0 :35 :16 ?

1F :

Comment ?

Etudiant :

Le couple, ce n'est pas en Newton par mètre ?

1F :

Le couple, c'est en Newton fois mètre.

Etudiant :

D'accord.

1F :

Un couple, c'est une force fois un bras de levier.

Etudiant :

Donc on retrouve bien le T moins 1, pour...

1F :

Par conséquent, si on divise par la masse, on obtient bien du T moins 1 pour w . Alors que se passe-t-il si on met 2 ressorts l'un à côté de l'autre qui tirent sur le même objet ? Et bien, si je prends... comment je vais faire ça ? Je vais faire comme ça. Et bien, si j'allonge, je suppose que les longueurs à vide sont les mêmes. Si je considère que la longueur vaut petit l , et bien la force exercée par le ressort un sur la masse vaut moins $k_1 l$, et la force exercée par le ressort 2 sur la masse vaut moins $k_2 l$.

Par conséquent, la force totale vaut moins $k_1 + k_2$, l moins 0 EX. Qu'est-ce que ça signifie ? Ça signifie que si je mets 2 ressorts en parallèle, et bien ce que j'obtiens c'est l'équivalent d'un ressort qui est 2 fois plus raide, si j'ai un ressort que j'étends avec une force. Je vais essayer de garder la même force unitaire comme ça. Je l'allonge,

disons de 3 centimètres, j'en mets 2 en parallèle de même longueur, je mets la même force, et bien, je tire 2 fois moins.

Etudiant :

Mais si les 2 ressorts ne sont pas de même raideur, la masse va se mettre à osciller... à tomber ?

1F :

Non, si je couple, c'est exactement... même si les longueurs à vides ne sont pas les mêmes, bien sûr si je perturbe la masse, elle va osciller avec une pulsation propre, racine de k_1 plus k_2 sur M .

Etudiant :

Mais parce que s'ils n'ont pas la même raideur, chaque ressort aura une pulsation différente, et du coup si c'est attaché suffisamment, c'est éloigné sur la masse, ça ne va pas être en phase. Je veux dire ça va se décaler, et...

1F :

Non. C'est important, c'est que ce n'est pas le ressort qui a une pulsation propre. C'est le système masse ressort. Donc l'inertie est portée par la masse, la force de rappel est associée à l'élastique. Si je tire, donc là j'ai 2 ressorts en parallèles.

Etudiant :

Les points, ils sont accrochés très proche donc... ?

1F :

Si je ne les accroche pas très proche, ça devient un problème de longueurs à vide, il faut rééquilibrer les longueurs à vide. Et qu'est-ce que vous voulez dire ? Que si je tire comme ça, ça ne va plus marcher ?

Etudiant :

Non. Si.

1F :

Regardez, je tire dessus, ça oscille encore, ce n'est pas le problème, ça retrouve une position à vide.

Etudiant :

0 :40 :11 point de fixation si jamais, j'aurais dit que...

1F :

Oui mais je vous montre. Les points de fixation, c'est accroché à la masse. Je change le point de fixation de celui là, vous voyez je le prends là, l'élastique je le tire. Et bien il oscille encore.

Etudiant :

Sur la masse, c'est toujours au même endroit. Par exemple, je prends mon stylo, on met 2 élastiques d'un côté, un élastique de l'autre, du coup, du côté droit, il y aura plus...

1F :

D'accord.

Etudiant :

La raideur sera plus élevée. Si on fait rebondir le stylo, il va se mettre à danser, je ne sais pas à osciller.

1F :

J'assujettis la masse à glisser sans frottement sur un plan. D'accord ? Comme ça, il ne peut pas se mettre en travers, et le fait que je les ai accrochés là, à une certaine distance qui n'influe pas. Vous avez raison que ça peut faire tourner. Mais du moment que j'assujettis à glisser sur un plan. Tout se passe comme si j'avais un ressort, qui avait la somme de raideur.

Vous retrouverez ça en électricité, pour l'association des résistances. On a des lois de ce type pour l'association des condensateurs, pour l'association des bobines. Là en tout cas, naïvement j'ai 2 ressorts, c'est 2 fois plus raide. 2 ressorts identiques. Si maintenant, je les mets en série, ce montage s'appelle en parallèle, celui-là s'appelle en série. Et bien, implicitement, mon ressort, je l'ai définie comme n'ayant pas de masse.

Par conséquent, la force exercée par le premier ressort c'est le second, et la force exercée par le second sur la masse sont les mêmes. Pour simplifier, je les prends, de même raideur, j'ai pris les valeurs absolues, bon je vais mettre les signes devant, c'est une façon un peu plus juste.

Ça c'est L_1 , ça c'est L_2 . Et moi ce que je cherche c'est le ressort équivalent à l'ensemble de ces 2 ressorts. Donc je vais l'exprimer en fonction de $L=L_1+L_2$ et la longueur totale. Donc comment est-ce que je construis la longueur totale ? Et bien, je vais construire que X au K_1 qui vaut moins L_1 moins 0 plus L sur K_2 vaut moins L_1 moins L_0 moins L_2 moins 0, ce qui nous fait moins L moins $2L_0$ qui est la nouvelle longueur à vide du système, du système total. Par conséquent, je peux réécrire que la forme qui vaut 1 sur K_1 plus 1 sur K_2 , L moins L prime 0 et bien moins comme d'habitude.

Donc quand je mets 2 ressorts en série, et bien tout se passe comme si j'avais mis un seul ressort dans l'inverse sur la somme des inverses. Dans le cas particulier, ces 2 raideurs sont les mêmes. Et bien, si K_1 dans K_2 ça, ça me fait 2 sur K_1 , ça signifie qu'en mettant 2 ressorts en série identique, j'obtiens un ressort qui est 2 fois plus mou. Est-ce que c'est vrai ? Et bien, je prends un élastique, je tire dessus avec une force, et je vais essayer de maintenir la force, j'obtiens une certaine elongation, je mets la même force sur 2 ressorts.

Je mets la même force sur 3 ressorts, et avec la même force j'obtiens une elongation qui est proportionnelle à la longueur du ressort, et donc plus mou puisque j'obtiens pour une même force qu'une plus grande elongation. Elongation est le terme technique pour appeler $L-L_0$. Si maintenant je veux partir de cette loi, l'association des ressorts en série et en parallèle, et je veux en déduire les lois concernant l'élasticité des corps.

Par exemple, je prends cette gomme, qui est molle, et je veux tirer la loi qui me donne la relation entre la force que j'applique et le déplacement du bout de la gomme, c'est elongation. Et bien, pour résoudre ce problème de déformation d'un corps élastique, il suffit que je dise que cette gomme est constituée de petits ressorts élémentaires. Donc ces ressorts, si je parle de matériau qui est comme l'acier cristallin, et bien c'est directement les molécules qui se repoussent, ou s'attirent les unes des autres. Si je parle d'un matériau élastomérique comme ça, ça veut dire constitué de bobines polymériques.

Et bien, ce sont plutôt les bobines polymériques elles-mêmes, les longues molécules qu'on étend qui se rétractent, qui constituent les petits ressorts élémentaires. Mais je me donne ces petits ressorts élémentaires, et maintenant pour faire une gomme, et

bien, plus la gomme est longue, et plus elle est molle. Et plus la gomme a de surface, plus j'ajoute de petit ressort en parallèle, et plus, elle est raide.

Par conséquent, on tire la loi de Hooke pour l'élasticité, qui, pour un matériau, qui est laissé à l'air libre sur les côtés, et dont j'appelle la surface ici S , la longueur O , et je n'ai pas besoin que ça soit spécialement un carré de la section, ça peut être n'importe quelle forme. Ça n'a aucune importance. Et bien, la relation de la force qu'on applique sur les 2 côtés de l'échantillon F - F et l'élongation, cette force, nous avons donc déduit une modèle de petit ressort en série, ou bien en parallèle.

Si cette force est proportionnelle à la surface, inversement proportionnelle à la longueur, proportionnelle à l'élongation puisque les ressorts élémentaires qui vérifient ceci. Et il me manque une constante devant pour que ça soit dimensionnellement correct. Et ce ressort, cette constance, on l'appelle E , et E s'appelle le module d'Young du matériau. Et la dimension de E est homogène à une pression, la dimension de E c'est M moins 1, T moins 2, ça se mesure en Pa comme toutes les pressions. Mais en général, on utilise comme unité le GPa dans la mesure où la plupart des matériaux, sauf les matériaux polymériques, ont des modules élastiques le long de son GPa, c'est-à-dire 1 Pa.

Ça signifie quoi ? Et bien ça signifie que cette pression étant beaucoup plus petite que la pression atmosphérique, si vous appuyiez sur une gomme comme ceci, ou sur un morceau d'acier a fortiori, avec la pression atmosphérique, ça ne va pas beaucoup le déformer. La pression atmosphérique est beaucoup plus petite que ça, qui est un ordre de grandeur de pression très grande devant de pression de gaz. Donc, un gaz ne peut pas déformer massivement un corps de ce type.

Monsieur Young qui a donné son nom à ce module, est un nom de science particulier, puisqu'il a inventé dans sa vie la figure de diffraction qui fait que si on met de la lumière à travers la fonte, et bien on n'obtient pas l'image de 2 fontes mais des interférences. Il a donc inventé la partie la plus importante des propriétés de la lumière. Il a inventé la loi qui donne l'angle que fait une goutte quand on la pose sur un support. Il a inventé la loi de raideur des matériaux.

Qu'a-t-il encore inventé d'autre ? D'autre chose de ce type, et ce monsieur est mort totalement dépressif, en ayant une carrière de scientifique absolument hors du commun, pour la raison suivante : sa passion réelle, c'était déchiffrer les hiéroglyphes

Egyptiens. Et il parlait 11 langues, mais parmi les 11 langues, il n'y avait pas le Copte, et Champollion qui est passé, savait parler Copte. Et grâce au Copte, il a grillé la priorité à Young qui avait largement dégrossi le problème de déchiffrement des hiéroglyphes Egyptiens.

Champollion a remporté la notoriété publique pour ce problème-là, et ça a affecté Young toute la fin de sa vie malgré le brio de tout ce qu'il avait pu trouver. Par soucis d'exhaustivité, donc pour les matériaux cristallins, on a donc cet ordre de grandeur pour les raideurs, ça on peut l'exprimer dans les unités atomiques. C'est directement lié au fait que les atomes se repoussent avec l'énergie de répulsion électronique.

Etudiant :

Sur le dessin, il y a 2 R, mais pas dans le même sens 0 :55 :37

1F :

Alors, je vais faire ça pour vous pour voir ce que j'ai fait. Ce que j'ai fait c'est supposer que mon ressort est sans masse, donc il est toujours à l'équilibre des forces. Donc, si je ne veux pas qu'il accélère à l'infini dans un sens ou dans l'autre, et bien il faut que j'applique plus F et moins F de chaque côté en vertu de l'action et de la réaction. Donc, c'est normal que les flèches soient opposées, ce que j'ai dessiné, c'est quand on tire dessus. Parce que j'avais mis la norme et la flèche à côté.

Donc, pour les matériaux élastomériques, les gels et tout ça, on peut faire descendre cette valeur beaucoup, on peut faire maintenant des gels qui sont autour du kilo Pa assez facilement. Donc un kilo, c'est 10^3 puissances 3, ça c'est 10^{11} . Donc on sait fabriquer, et toute l'industrie de la silicone est basée sur cette possibilité de faire des matériaux robustes mais extrêmement mous.

1F :

Donc, nous en arrivons à mettre une étape supplémentaire de difficulté dans la description des oscillations. Et pour ça, je vais, au lieu de supposer comme je l'ai fait, qu'on connaît la solution à l'avance, et que toute équation qui s'écrit de la forme : d^2X à dt^2 égal moins ω carré, X est l'équation d'un oscillateur harmonique dont la solution est sinusoïdale en temps, et bien je vais la construire autrement.

Donc, ce qu'on vient de voir, c'est que DMT pour un système, qui est une masse soumise à un ressort, s'écrit comme ceci : une force qui est proportionnelle au

déplacement comme ça, n'importe quelle force fait revenir le système vers une position d'équilibre, ça fait une force de rappel. Et quand elle est linéaire, et bien on l'appelle : une force de rappel linéaire.

Et donc, je vais résoudre l'équation différentielle qu'on a devant nos yeux, c'est une équation différentielle puisque c'est une équation dont laquelle la dérivée et même la dérivée seconde intervient. Je vais la résoudre par une autre méthode que, connaître la solution à l'avance, en l'ayant construite. Mais je vais d'abord, attendre un silence raisonnable, vue la difficulté de ce qui nous attend. Voilà. Donc je regarde cette équation, et je vais déjà essayer de la décrire en mot.

C'est une équation différentielle. Elle est du deuxième ordre, ça signifie que la dérivée d'ordre la plus élevée est la dérivée seconde. Elle est à coefficient constant et linéaire, ça signifie qu'ici je n'ai pas du X au carré, ni du $1 :00 :53$ au carré, et là pas de X carré non plus. Je peux même la réécrire comme ça. Et elle n'a pas de second membre, ça signifie que tous les termes sont proportionnels à X . Une équation qui n'a pas de second membre, on l'appelle : une équation homogène.

Que signifie le mot homogène ? Ça veut dire qu'à chaque valeur de T , quel que soit la valeur du temps t , il ne se passe rien de spécial dans l'équation. Le temps n'intervient pas explicitement, on dit donc que l'équation est homogène en temps. Si j'avais $\sin wt$ à droite, elle ne serait plus homogène en temps, parce que le temps interviendrait explicitement. Ici, le temps intervient mais seulement dans la variable de dérivée. Par conséquent, comme l'équation est linéaire et homogène, et bien pour construire la solution, je sais que je vais trouver des solutions qui sont exponentielles. Parce que la propriété de l'exponentielle est que sa dérivée c'est elle-même.

Et comme sa dérivée est elle-même, je vais pouvoir compenser ce terme-là et ce terme-là, facilement, puisque les 2 s'écrivent sous la même forme. Alors, je vais chercher une solution sous la forme : X égal $1 T$ puissance Rt . Pourquoi je cherche sous cette forme-là ? Parce que l'équation est homogène et par conséquent, cette forme va fonctionner. Je remplace dans l'équation, il faut que je dérive d'abord une première fois $A r$ puissance Rt . Je dérive une seconde fois, ça nous fait $A r^2$ carré puissance Rt . Je remplace dans l'équation.

Ça me fait aussi R fois X . Ça me fait r^2 fois X . Je remplace dans l'équation et j'obtiens R carré fois X plus K sur M fois X égal 0 . D'où je tire qu'il y a 2 solutions à cette

équation ? Soit j'ai une solution statique pas très intéressant, soit je peux simplifier par X. Pour quel cas, r^2 vaut moins K sur M ? Quelle est la solution de l'équation ordinaire R^2 égal moins K sur M ? Et bien cette solution s'écrit R égal plus ou moins I racine de K sur M, et défini par I^2 égal moins un. Pourquoi est-ce que je trouve 2 solutions à cette équation ? Oui ?

Etudiant :

On n'utilise I ou J ?

1F :

On utilise I ou J, ça n'a pas d'importance. Si vous préférez J, vous écrivez J partout, vraiment ça... On utilise J essentiellement en l'électricité parce que I, c'est l'intensité. Mais, en mécanique dans lequel I n'a pas de sens, on utilise I assez classiquement.

Etudiant :

C'est pour les quaternions... ?

1F :

Comment ?

Etudiant :

C'est pour les quaternions J non ?

1F :

J non. On utilise I ou J, ça dépend des circonstances si I a un autre sens enfin... Pourquoi est-ce qu'ici on a une équation ? Pourquoi ici est-ce qu'ici, on a 2 solutions ? R égal plus ou R égal moins. Et bien parce qu'ici, on a une équation du second degré. Pourquoi est-ce qu'on a une équation de second degré ? Parce que l'équation différentielle était du second degré.

Chacune de ces 2 valeurs de R correspond à ce qu'on appelle : un mode d'oscillation. Et on va regarder, c'est-à-dire, une solution homogène de ce système, la solution totale étant la somme d'une solution de type R égal I racine de K sur M, et d'une solution dont la forme R égal moins I racine de K sur M. La solution générale s'écrit donc : X égal A exponentiel $i\omega t$ avec ω égal racine de K sur M. Oui. Donc le I est le nombre qui définit les imaginaires pures, il est défini par la solution de l'équation I^2 égal moins 1.

Si je cherche la solution de l'équation $X^2 = -1$, la solution, c'est $X = \pm i$. Donc, si j'ai le carré d'un nombre qui est négatif, quand je travaille dans les réels, ça n'a pas de solution, mais je vais définir les complexes, et dans les complexes, et bien la solution : $X^2 = -1$, a 2 solutions comme dans les réels. Cette solution, je la note i et $-i$, alors voilà, la forme de la solution générale de l'équation, écrite sous la forme de complexe. Vous allez me dire : c'est très étrange parce qu'on a cette formule barbare avec exponentielle $e^{i\omega t}$, et on était partie de l'idée que les solutions étaient sinusoïdales. Et bien, il y a une relation entre les 2.

Donc e^{iX} , et bien, vaut $\cos X + i \sin X$. Par conséquent, cette formule ici, et bien je peux la réécrire avec des notations plus usuelles. Je n'aurais pas dû sauter des étapes mais je peux me perdre. $A \cos \omega t + B \sin \omega t$ plus $C \cos \omega t + D \sin \omega t$. Et par conséquent, ça me fait $A + B \cos \omega t + C \sin \omega t$ plus $D \cos \omega t + E \sin \omega t$. Et ça, je vais appeler $A + B$, un autre nom, je vais appeler : α . Et $C \sin \omega t + D \cos \omega t$, je vais appeler : β . Et on retrouve la forme générale de la solution, pour que ça soit en sinus et cosinus, et de manière tout à fait équivalente.

Je peux réécrire cette formule en faisant apparaître $\alpha \cos \omega t + \beta \sin \omega t$ plus une constante dans la parenthèse. Cette constante étant appelée : la phase. Mais pour nous, ce qui importe, c'est cette formulation-là, et le fait qu'on puisse y arriver, à travers la notation complexe, facilite énormément les calculs. Comment est-ce qu'on trouve A et B ou α et β ? Le principe fondamental de la dynamique est une équation du deuxième ordre, ça signifie que pour décrire le mouvement, il faut se donner à $T=0$ position et vitesse.

Et donc, je trouve les valeurs de l' α et β , en me donnant à la date initiale la position et la vitesse de la masse. De ce point-là, on va pouvoir progresser d'un cran en prenant en compte les frottements, c'est ce qu'on appelle les oscillations amorties. Et pour faire les oscillations amorties, il vaut mieux être passé par les complexes
1 :12 :45.

Et je finirais par les quelques systèmes masses ressorts que j'ai ramenés. On considère donc une masse conduit au bout d'un ressort, et qui frotte dans un fluide très visqueux. Si je rajoute la gravité dans le problème, ça ne m'apporte rien, ça va allonger le ressort initialement. Donc, je ne vais pas écrire la gravité. Mon problème,

le système, c'est la masse. Les forces sont : la force de rappel du ressort, et une force de frottement visqueuse.

Le principe fondamental de la dynamique s'écrit : la masse pour l'accélération égal la force de rappel moins KX où j'ai pris l'axe des X , de sorte que $X=0$ soit la position repos de la masse. Et je vais écrire la force visqueuse, comme une constante α fois la vitesse. Donc α , on l'a vu pour la sphère la dernière fois, ça vaut $6\pi\epsilon R$, mais l'expression peut être différente si la forme est différente.

Quelle est la différence par rapport à l'équation précédente ? On a ajouté un terme proportionnel à la vitesse, à droite. Si on n'avait eu que ce terme, ici on aurait trouvé une relaxation exponentielle. Si on ne veut que ce terme dans un des oscillations sinusoïdales, et bien que se passe-t-il quand on met tout ? Alors, on regarde l'équation et on l'analyse. C'est une équation différentielle linéaire, parce qu'elle n'en n'a pas de terme en X carré, $\cos X$, ou que sais-je.

Du deuxième ordre parce qu'elle est en dX^2 en dt^2 à coefficient constant, et il n'y a pas de second membre, donc c'est une équation qui est homogène. Par conséquent, et bien les solutions sont des exponentiels de quelque chose. Pourquoi ? Et bien parce que la dérivée de l'exponentielle, c'est elle-même et donc on va pouvoir compenser tous les termes. Je cherche donc une solution de la forme $X = ae^{rt}$, où je remplace... Maintenant, on sait que dériver 2 fois, ça revient à multiplier 2 fois par R . Je prends la solution qui n'est pas trivialement $X=0$, et bien $Mr^2 + \alpha R + k = 0$.

On se ramène donc d'une équation qui est différentielle, à une équation qui est ordinaire, et qui porte sur la variable petit r . Cette équation a génériquement 2 solutions, puisque je ne vais pas travailler dans les réels mais dans les complexes. Quelles sont ces solutions ? Donc, j'ai, où $X=0$, donc je résous ça pour trouver R . Et pour ça, je vais calculer le discriminant de l'équation : σ égal α^2 moins $4KM$, et je vais discuter selon les signes de ce discriminant, la nature des solutions. Oui ?

Etudiant :

Vous avez marqué $X=0$, là $X=1$?

1F :

Je résous cette équation, équivalent à $X=0$ qui ne m'intéresse pas. La solution qui m'intéresse est la solution de forme : e^{rt} . Si ce discriminant est négatif, alors la racine

du discriminant vaut 1 fois racine de moins discriminant. C'est une autre manière de dire les choses, puisque si je lève cette équation au carré, le i^2 vaut moins 1, elle reste à vérifier. Par conséquent, on a alors R égal moins la valeur qui est là, plus ou moins 1 racine de $4KM$ moins α carré sur $2R$. Et on voit donc que r a maintenant une partie réelle et une partie imaginaire.

La partie réelle dépend de l'amortissement alpha. La partie imaginaire dépend de l'ensemble de KM et alpha. Mais, on voit que si α est petit, et bien, je retrouve essentiellement la racine de K sur M que j'avais précédemment. Je vais donc poser σ égal racine de K sur M moins α carré sur $4M$. Et je vais poser : un sur τ égal α sur $2M$. Tau est le temps de relaxation. Ça c'est la pulsation. Comment s'écrivent les solutions ? Elles s'écrivent A exponentielle $i\omega t$ moins T sur Tau plus B exponentielle moins $i\omega t$ -t. Oui ?

Etudiante :

En fait, la partie imaginaire, 1 :23 :43 ?

1F :

La partie imaginaire de R ?

Etudiante :

C'est 1 :23 :47 ?

1F :

La partie imaginaire de R est la pulsation, et on va comprendre pourquoi dans un instant. Je peux factoriser exponentielle moins T sur Tau, qui est la partie qu'on a vu la dernière fois, de relaxation exponentielle. Et je retrouve dans la parenthèse la même expression que précédemment. A l puissance ωt plus B puissance moins $i\omega t$. Par conséquent, je peux réécrire la solution sous la forme d'une expression sinusoïdale en sinus ou en cosinus fois une décroissance exponentielle.

A quoi ressemble cette courbe ? Elle ressemble à une sinusoïde, dont l'enveloppe est une exponentielle. C'est ce qu'on appelle : une oscillation amortie. Et c'est la solution générique de tout système qui a des oscillations propres dans lequel on ne rajoute pas d'énergie. Si telle part est positive, et bien, on a deux solutions réelles R1 et R2, de sorte que la solution est juste une superposition de deux décroissances exponentielles

que l'état positif. Ça signifie que l'amortissement est extrêmement efficace, et ça ne cite même plus sa relaxe exponentiellement.

Entre les deux, on a sigma égal zéro, c'est le moment où le temps caractéristique d'amortissement est le même que le temps caractéristique d'oscillation. Ça signifie qu'on atténue les oscillations sur une période. On est dans les conditions dites d'amortissement critique. Et c'est le choix qu'on prend quand on veut faire des amortisseurs. On ne veut ni que, ça n'oscille pas du tout, parce que sinon on n'a plus besoin d'avoir mis des ressorts, ni que ça oscille beaucoup parce que sinon c'est trop suspendu.

Le choix de l'amortissement critique... et je ne vais pas vous donner la solution aujourd'hui, on a déjà vue assez de complexité mathématique. Moralité : lorsqu'on a une force de rappel vers l'équilibre, c'est-à-dire une force qui tend à ramener vers l'équilibre, et bien, comme le principe fondamental de la dynamique, équilibre l'inertie avec la force de rappel conduit à des oscillations. Si j'ai très peu de frottement, et bien je vais obtenir des solutions sinusoïdales. Et dans la limite où il n'y a pas de frottement, on obtient l'oscillateur harmonique.

La formule centrale est : racine de K sur M pour la pulsation, qui se traduit pour la fréquence en 1 sur 2π racine de K sur M , pour la période 2π racine de M sur K . Deuxièmement, s'il y a un peu des frottements, et bien on obtient une oscillation qui s'atténue exponentiellement. Troisièmement, s'il y a beaucoup de frottements, on a juste une décroissance exponentielle.

Alors, quelques visualisations d'oscillateur harmonique : voilà un système masse-ressort. Si je ne triche pas du tout, je le lâche, vous voyez qu'il s'atténue sur 3 oscillations. Mais, si je veux vous le montrer, il suffit de que je redonne un tout petit peu d'énergie de temps en temps, et j'arrive à entretenir l'oscillation. Et vous avez maintenant dans l'œil, la période. Je vais maintenant retourner le pendule, le ressort va donc être le même, mais la masse est deux fois plus petite, c'est 100 grammes au lieu d'être 200 grammes.

Ça s'atténue encore plus vite. Ça n'a même pas le temps de faire une oscillation, mais si j'entretiens, on peut visualiser la fréquence propre qu'on appelle : la fréquence de résonance du système. Et on voit qu'elle est plus rapide, un facteur racine de 2 n'est pas visuel, mais si on faisait les mesures, on trouverait cette racine de 2 exacte. Ça

où je n'ai pas... ça c'est un meilleur ressort pour les raisons que je vous ai expliqués. Par conséquent, on peut faire osciller, je vous le montre en profil, sinon vous ne voyez rien. Voilà, un bon oscillateur.

Ça signifie qu'avant de s'amortir, ça dure longtemps. Et dans cet oscillateur, je peux varier la raideur du ressort. Là, je viens de varier la masse. Pour varier la raideur du ressort, c'est très facile : je change la longueur, et la loi de Hooke nous dit qu'à même surface, si je mets une longueur double, j'obtiens un système qui est plus mou. Et comme il est plus mou, il rappelle moins, et donc la période est plus lente. Si je divise par 2, et bien, le système est plus raide. Et comme le système est plus raide, et bien, la pulsation est plus grande, la période est plus courte. Oui ?

Etudiant :

1 :32 :08 ?

1F :

La fois prochaine, c'est-à-dire pas dans une semaine, mais dans 2, vous ferez les oscillations forcées, c'est-à-dire ce qui ce passe, si on ait un moteur qui entretient des oscillations. D'ici là, je pense que c'est le chapitre le plus difficile du semestre, non pas conceptuellement, mais pour la mathématique. Et ensuite, vous aurez l'énergie qui va courir, qui posse des difficultés conceptuelles mais pas mathématiques.

Profesor 2F

2F

C'est un nouveau chapitre. Nous avons fini l'accélération, nous entrons enfin à la force et la dynamique. Oui c'est un nouveau chapitre. Donc jusqu'ici nous avons fait de la cinématique, c'est-à-dire qu'on se donnait un arsenal mathématique pour pouvoir traiter des problèmes qui ont trait à l'étude du mouvement d'un corps. Ce qu'on va faire maintenant c'est qu'on va relier l'étude de ce mouvement de corps à ce qu'on considère être la cause du mouvement, la cause du mouvement des objets. C'est-à-dire ce qu'on appelle les *forces*.

Donc une force, ça va agir sur l'objet considéré et changer sa vitesse. C'est pour ça qu'avant d'aborder la notion de force on s'est intéressé à la vitesse et à l'accélération,

c'est qu'il faut savoir caractériser tout ça d'une façon à les bien comprendre ce dont il s'agit quand on parle de force.

En fait la relation entre une force et une accélération, ça a été compris quand même il y a un petit bouton par Newton à la fin du XVIIème siècle. Et, on va voir aujourd'hui les trois lois fondamentales qu'il a établies pour la mécanique qu'on appelle *Newtoniens*. Tout simplement, ça a pris son nom.

Donc tout d'abord on va s'intéresser à la première loi de Newton. Alors, avant que Newton établit ses théories, on pensait que quelque chose était nécessaire pour assurer le mouvement d'un objet, pour maintenir un objet en mouvement rectiligne et uniforme et que son état de repos naturel, donc quelque chose qui ne nécessite rien, était cet objet posé au sol tout simplement et au repos. Donc ça c'était la pensée d'Aristote et beaucoup plus en amont que Newton.

Donc il paraissait naturel en fait que quand on propulse un objet par exemple qu'il retourne à son état naturel ou qu'il retombe à un état de repos au niveau du sol. Alors ces idées paraissaient raisonnable quand même à priori puisque vue notre expérience quotidienne, si on envoie un objet glisser, ben il finit effectivement par ralentir et s'arrêter.

Si j'envoie un objet glisser sur mon bureau, là un bureau en bois, il va finir par ralentir et s'arrêter. Donc effectivement il pourrait avoir tendance à penser que la position naturelle de l'objet c'est-à-dire qu'il nécessite aucune force serait un état de repos naturel, posé au sol.

Alors en fait, on peut se détacher un petit peu de ça parce que si vous faites la même expérience, donc là je vous disais que je lance un objet sur mon bureau mais si je lance ce même objet sur un lac gelé, sur un lac gelé par exemple, vous regardez les épreuves de curling, vous lancez un objet sur une patinoire, déjà l'objet va aller beaucoup beaucoup plus loin.

Et si vous le faites sur quelque chose qui a de moins en moins de ce qu'on appelle frottement, donc de moins en moins de chose qui l'arrête petit à petit, l'objet pourrait continuer indéfiniment.

Donc en fait l'expérience de l'arrêt naturel de l'objet c'est assez trompeur, c'est assez faux. C'est-ce qu'on voit parce qu'on ne peut pas se détacher des frottements dans le monde tel qu'on le touche au quotidien.

Mais si on fait cette expérience de pensée donc de se placer sur une surface qui offre le moins de friction possible, le moins de frottement possible, on va donc atteindre le cas limite d'une surface qui est totalement sans frottement, et à ce moment-là, on aurait un objet qui lancé avec une certaine vitesse initiale, ne s'arrêterait jamais.

Donc de cette expérience de pensée-là, Newton en déduit qu'un objet restera en mouvement rectiligne et uniforme si aucune force n'agit sur lui. Donc là on change un petit peu le point de vue sur l'état, je dirais sans force naturelle d'un mouvement puisque donc lorsqu'on applique aucune force, pour Newton l'objet restera en mouvement rectiligne uniforme. Donc ça correspond à la première loi de Newton que je vous note au tableau et qu'on peut énoncer ainsi :

« Si aucune force n'est appliqué à un objet, la vitesse de cette objet ne change pas ». C'est-à-dire qu'il y a aucune accélération.

Donc dans ce contexte, je vous ai dit, on a commencé un petit peu à entrer dans le sujet, j'ai dit oui alors du coup mais qu'est-ce que ça va être une force ? Qu'est-ce que ça va être une force dans ce contexte ? Si on peut avoir un mouvement rectiligne uniforme qui ne change pas si aucune force n'est appliquée à un objet, qu'est-ce que c'est qu'une Force ?

Alors en fait pour comprendre un petit peu la notion de force, on va la voir de plusieurs façons différentes cette notion de force. Mais on peut la comprendre dans un premier temps en s'appuyant sur ce qu'on a fait les semaines précédentes. La notion de force, on peut la définir de façon à être mesurée par l'accélération qu'elle produit sur un objet.

C'est-à-dire que pour un objet de masse 1Kg, si on arrive à tirer l'objet de façon à mesurer une accélération de 1m/s, on peut affirmer ou plutôt même définir qu'on est en train d'appliquer à l'objet une force de 1Newton. Avec une accélération de 2m/s, on applique une force de 2Newton, etc., etc.

Donc on relie directement, ici dans une première approche, la force et l'accélération. Donc la force c'est elle se définit de façon à être mesurée par l'accélération qu'elle produit. Donc je disais un objet de 1Kg accéléré à 1ms^{-2} c'est qu'on lui applique une force de 1Newton.

Etudiant

C'est la force qui produit l'accélération ?

2F

Alors qu'est-ce que tu entends par là ?

Etudiant

Vous avez marqué la force est définie par l'accélération qu'elle produit.

2F

C'est une façon de définir la force. Si on définit une force, une force c'est un petit peu difficile en fait de conceptualiser ce que c'est. On ne peut pas toucher une force, même pas se représenter géométriquement ce qu'est une force, en tout cas pas tant qu'on ne fait pas des petits dessins.

Donc on a vraiment une idée difficile de ce qu'est une force et une interaction. Une façon de voir, en fait apparaitre une force physiquement de voir ce que c'est serait de connaître la masse d'un objet et de voir quand tu lui appliques quelque chose, ce quelque chose étant la force, de combien il est accéléré.

Etudiant

En ce moment-là on peut dire c'est l'accélération qui produit la force 0:11:24.3, c'est ça ?

2F

Alors les deux concepts sont liés parce que ta force c'est-ce qui produit en fait ton changement de vitesse. Et ce qu'on a dit le changement de vitesse, on a défini ça en cinématique comme étant l'accélération. Effectivement c'est très très liés les deux.

Etudiant

C'est proportionnel.

2F

Voilà c'est proportionnel les deux.

On va voir comment tout de suite mais je pense que tu sais déjà. Vous avez déjà vu ça. Donc si on part sur cette définition de la force en disant *la force c'est-ce qui crée le changement de vitesse d'un objet, donc changement de vitesse en module ou changement de vitesse en direction, on relie force et accélération*. Si l'accélération est une quantité vectorielle, la force va être une quantité vectorielle également.

Là c'est juste dans une idée d'essayer de se dire comment est-ce que je ... qu'est-ce que c'est une force en fait. Vraiment essayons de conceptualiser ce que c'est. Et donc pour une force, vous ferez attention, on doit considérer sû *la magnitude* et *l'orientation de la force*, objet vectoriel. Donc vous ferez bien attention à ça lorsque vous intéressez à un problème de dynamique.

Alors autre chose intéressante, on peut essayer encore une fois de se raccrocher un peu à l'expérience pour voir qu'est-ce qu'on met derrière tout ça. Lorsqu'on applique deux forces sur un système, par exemple, je tire de ce côté-là, je tire vers ma droite et je tire vers la gauche en même temps. Qu'est-ce qui se passe lorsque deux forces ou plus agissent sur un système ?

Etudiant

Il y a une compensation.

2F

Alors il peut y avoir une compensation, qu'est-ce que tu entends par compensation ?

Etudiant

C'est-à-dire que s'il y a deux forces qui sont égales, elles sont appliquées dans la même direction et de sens opposés, l'objet reste immobile.

2F

Tout à fait, alors il y a même une généralisation de ça. C'est-à-dire on va faire, on va pouvoir faire la résultante des forces. Donc ça c'est-ce qu'on appelle le *principe de superposition des forces*.

Ce qui se passe lorsque vous avez plusieurs forces, comme les forces sont des quantités vectorielles, vous pouvez ajouter vectoriellement ces forces. Et ça va vous donner une résultante de forces, qu'on l'appelle une *résultante de force*. *Donc vectoriellement 2 forces ou plus qui s'appliquent à quelque chose, qui s'appliquent à un système, c'est ça c'est-ce qu'on appelle la résultante*.

Alors attention, j'ai bien dit « vectoriellement », on met en plus l'orientation de vos forces quand vous ajoutez. Un petit peu comme on a vu il y a quelques semaines, quand on revoyait le calcul vectoriel, en fait des petites nuances à priori.

Ce qui est intéressant à propos de cette résultante de force c'est que je ne peux pas savoir si je ressens une force d'une certaine intensité, mettons 40Newton. Si alors ... mettons que je sois de dos, quelqu'un m'attache une corde dans le dos et je ressens une force de 40Newton.

Je ne peux regarder ce qui se passe derrière. Je suis incapable de savoir si derrière moi j'ai une seule personne qui m'impose une force de 40Newton ou si j'en ai trois disposées de façon à ce que je ressente une force qui part vers l'arrière de 40Newton. C'est ça le principe superposition des forces. Et vous ne pouvez pas voir la différence entre votre résultante des forces et une force unique qui est la somme vectorielle de vos forces.

Alors avec cette notion de force, un autre actif est le principe de superposition, on pourrait réécrire la première loi de Newton. On pourrait dire si la résultante des forces qui agit sur un système est nulle, c'est-à-dire somme vectorielle des forces = 0, celle-là il vaut le coût d'être écrite, du coup je vais être obligée d'effacer vos nombres complexes en mon grand désespoir.

Etudiant

C'est que l'objet est immobile.

2F

Excusez-moi ?

Etudiant

L'objet est immobile ?

2F

Pas forcément. Justement qu'est-ce qu'on a de différent? Donc reprenons cette ... c'est une très bonne remarque. Ton objet évidemment il peut-être immobile s'il était immobile au départ. Déclinons juste ce qu'on disait. On disait maintenant on a la notion de force, on sait que c'est-ce qui créerait la variation de vitesse, donne de l'accélération.

Et on sait également qu'on peut ajouter vectoriellement deux forces, ce qui vous donne une résultante de forces dont on ne veut pas identifier si c'est une force ou plusieurs forces mises ensembles.

Donc on peut reformuler la première loi de Newton qui nous dit que « si à ce moment-là la résultante des forces appliquées à un objet est nulle, et on va tout 0:17:59.6 tous ensemble, il y aura toujours, c'est-à-dire que quand je dis ça je dis somme $F_{\text{ext}} = 0$, si la somme des forces que j'applique à un objet est égale à zéro, c'est-à-dire comme je disais tout à l'heure s'il y a une compensation par exemple, si je compense exactement mes forces que ce soit horizontalement, verticalement, tout ce que je veux, qu'est-ce qui se passe ?

S'il y a 4 forces on a dit que si aucune force n'est appliquée à un objet, la vitesse de cet objet ne change pas, il n'y a pas d'accélération. Donc si je le reformule comme ça, si la résultante des forces appliquées à un objet est nulle, encore une fois la vitesse de cet objet tout simplement ne change pas. Ça veut dire que soit je suis immobile, soit je suis en mouvement rectiligne uniforme. Je ne change pas la vitesse de l'objet.

Ne pas changer de la direction de l'objet ça veut dire que je reste en mouvement rectiligne, ne pas changer le module de la vitesse, ça veut dire que je reste en mouvement uniforme. Donc je suis soit immobile, soit en mouvement rectiligne uniforme.

Etudiante

0:19:27.5

2F

Je suis en train de dire exactement la même chose. Je me suis 0:19:36.0 simplement à un objet donc je pourrai 0:19:39.7 mon raisonnement. Là j'ai écrit exactement une reformulation, je dis la même chose. C'est-à-dire tout à l'heure je disais si aucune force n'est appliquée à un objet, ce qu'on pourrait considérer en premier lieu. Ensuite je me dis ah oui mais une force c'est un objet vectoriel, je peux les ajouter les uns aux autres.

Et en particulier, je pourrai être dans un cas où j'ai une force comme ça et une autre comme ça, une est orientée comme ça et une orientée comme ça ou une orientée comme ça et une orientée comme ça, ou une orientée comme ça et une orientée comme ça. Et, la résultante de mes forces puisque j'ai le principe de superposition des forces maintenant à mon actif, là je tombe dans mes forces émises.

Ça revient exactement au même, ce que disais quand je disais je ne peux pas identifier si quelqu'un me tire dans l'arrière avec une force de 40Newton ou si j'ai 4 personnes

derrière qui me tirent de façon à ce que je ressente la même chose, si un objet ressent la même chose, il ressent 4 forces, il ressent la résultante des forces. Donc je peux reformuler exactement ce qui a écrit ici en disant si la résultante des forces appliquées à un objet est nulle, sa vitesse ne change pas.

Etudiant

Quand vous dites la vitesse ne change pas c'est le module et la direction ?

2F

Quand je dis vitesse je veux dire vecteur vitesse. Parce que finalement c'est 0:20:50.5 on parle vecteur. Donc la vitesse de l'objet ne change pas et c'est... je le précise du coup, ça veut dire que sa direction ne change pas, son module ne change pas.

Donc comme je disais à l'instant et je le répète, *si sa direction en change pas ça veut dire que votre mouvement reste sur une dimension, reste rectiligne et, si son module ne change pas, ça veut dire que votre mouvement reste à la même vitesse on appelle ça un mouvement uniforme*. Ça c'est le cas général.

Maintenant pour revenir à la remarque 0:22:12.0 effectivement si ton objet il est immobile au départ, si sa vitesse elle est nulle, ton objet n'a pas bougé que ce soit cette force ou que ce soit une résultante de forces. Donc il va être soit en mouvement rectiligne uniforme soit moitié rectiligne uniforme et il y reste. Soit il reste immobile s'il était immobile au départ.

2 sesión

0 :02 :15

Je vais vous faire juste un petit résumé de ce qu'on a terminé vendredi dernier. Donc ce que nous avons évoqué la semaine dernière on s'intéresse aux différentes lois de Newton qui régissent ce qu'on appelle la mécanique Newtonienne donc la mécanique des objets qui nous entourent.

Et, nous avons parlé de plusieurs choses mais 0:02:52.1 qui nous dit si la résultante des forces sur un objet est nulle dans un référentiel galiléen, cet objet reste à vitesse constante, donc l'accélération est nulle.

Et, on avait commencé à s'attaquer à la deuxième loi de Newton 0:03:11.4 qui nous dit que la résultante des forces 0:03:14.9 sur un objet, sur un système est produit de

la masse inertielle de cet objet par son accélération, ce qu'on appelle également le principe fondamentale de la dynamique.

Donc on va 0:03:26.9 vraiment extensivement. Vous avez dit notamment en terminant la dernière fois que quand j'écris ça, je l'écris j'ai écrit la somme vectorielle, donc on pourrait dire si vous êtes à deux dimensions, vous pouvez projeter notre principe fondamentale de la dynamique.

Vous avez ça normalement dans vos notes à savoir que on pourrait 1.2.2 écrire la composante de x des forces extérieures que je peux relier à la masse inertielle ou à l'accélération 0:04:02.2 x . ça vous l'avez déjà donc 0:04:09.9 là-dessus.

Alors et ensuite verticalement si je projette ça la somme des forces extérieures, la résultante des forces extérieures, composante verticale peut-être relier à la masse, à l'accélération composante verticale. Ça vous allez l'utiliser énormément dans les déviations.

Donc on peut pour un petit peu se mettre ça en place, il y a une petite application de tout ça. Et on va regarder par exemple un bloc sur lequel on va appliquer des forces. Ce bloc est sur une surface sans frottement. On va principalement réfléchir à ce qui se passe horizontalement pour ce bloc. Vous allez comprendre tout de suite pourquoi.

Autre précision avant le démarrage comme ça on n'aura pas à le dire à chaque fois. J'aime bien être sûre à chaque fois 0:05:59.6 dans le référentiel terrestre que je suppose galiléen pour la durée de mon expérience. Le système que je vais regarder à chaque fois sera un système bloc. Alors on va regarder un petit peu différents cas. Toujours avec le même système, toujours avec le même référentiel.

Premier cas. Je vais simplement appliquer une force F_1 sur mon bloc comme ça. Je me choisis également un axe des x dans ce sens-là. Donc on applique une force F_1 , quelle est l'accélération du bloc ? 0:07:16.5 cette question-là, première réaction on a défini notre système, on a défini notre référentiel, on a également défini un axe x , tout va bien, on peut démarrer. Quel est le bilan des forces sur le bloc ? Alors on va voir son poids, on va avoir la réaction normale de la surface que je vais appeler R pour le moment. C'est sans frottement.

Et effectivement on va avoir la force F_1 que j'applique. Donc si je calcule la résultante des forces. Donc quand je calcule la résultante de mes forces je rappelle on fait la somme vectorielle des différentes forces. Donc somme Forces extérieures au système

là on a vu que P, R et F1 sont les forces extérieures au système, ce n'est pas interne au système. Le système qui est le bloc. Donc ça va être mon 0:08:15.5 $P+R+F1$. Qu'est-ce que je peux dire de $P+R$ à votre avis ? On va le causer aujourd'hui mais effectivement elles s'annulent.

On va 0:08:30.8 ça tout à l'heure, je vais vous expliquer précisément pourquoi mais je pense que vous avez un bon sentiment de pourquoi ? On peut s'avoir qu'elles s'annulent de toute façon parce que si on regarde le bloc ne s'enfonce pas dans la table. Il n'y a pas de mouvement vertical, il est posé sur la table. Donc horizontalement il n'y a pas d'accélération. Donc les forces elles se récompensent. Alors il nous reste F1.

Et donc on peut écrire que F1 qui est la résultante de ma somme de forces extérieures va être égale à $M \cdot a$ tout simplement. Si je cherche l'accélération de mon bloc, je sais que $a = F1/M$. Alors pour l'instant on est parti sur un cas assez simple qui est que tout se passe dans un, sur un plan horizontale.

Si je projette ça, pour connaître a_x , pour connaître la composante horizontale de l'accélération qui est dans ce cas 0:09:42.7 d'ailleurs égale à la norme de l'accélération ce serait donc, F1 est horizontale, quand je la projette, ça me donne la norme de F1. Et il est dans le bon sens, il est dans le sens positive de x $F1/F$. Donc si je fais un petit calcul pour terminer tout ça, si je suppose que F1 vaut 4Newton, la norme de F1 et la masse, je ne sais plus combien j'ai pris, 200g je crois. La masse du bloc.

Etudiant

C'est quoi comme force quelconque ?

2F

Pardon ? Ça peut être n'importe quoi, pour l'instant, juste une force, c'est-à-dire que tu appliques quelque chose sur ce bloc qui va lui donner une accélération tel qu'on la voit ici. Pour l'instant je me fiche de savoir la nature de la force. Ça pourrait-être n'importe quoi, ça pourrait-être on tire avec une corde, ça pourrait-être je le pousse par derrière, ça pourrait être ... Voilà, ce que je veux. Ça pourrait-être un bloc en fer que je tire avec un aimant, ça peut-être n'importe quoi. Juste force, donc force résulte en une accélération, c'est sur quoi on se concentre pour l'instant.

Donc si on veut faire le calcul, si on prend F_1 à 4Newton et une masse de 200g, si on veut calculer a_x , ça va donc me donner $4/0,2\text{kg}$ - c'est pour passer la masse en kg pour pouvoir faire le calcul - Et donc ça va me donner 20m/s^2 .

Deuxième cas. Très bien, alors maintenant on prend le même bloc, on continue et on va ajouter une deuxième force. On va ajouter une deuxième force qui va aller dans l'autre sens et qui est un peu petite. On ajoute une deuxième force F_2 , donc de sens opposé à F_1 et, on prend la norme de F_2 à 2Newton. Même question, quelle est l'accélération du bloc ? Donc là maintenant on a deux forces horizontales.

Et bien on prend notre système bloc, on est toujours dans la référentiel terrestre Galiléen, on fait la somme de forces extérieures sur notre bloc et ensuite on va appliquer le principe fondamental de la dynamique. Donc de la même façon que tout à l'heure, si on fait les bilans des forces auxquels est soumis le bloc, on a encore une fois son poids, la réaction, F_1 et F_2 , c'est évident.

Donc si j'équilibre la somme de forces extérieures qui s'appliquent sur mon système bloc, c'est $P+R+F_1+F_2$. De la même façon que tout à l'heure, la surface et son frottement etc.,...le poids et la réaction du support se compensent exactement.

Il me reste F_1+F_2 . Si je fais appel à mon principe fondamental de la dynamique donc la seconde loi de Newton ? Ça, ça va me dire une accélération du bloc c'est F_1+F_2 fois l'inverse de la masse du bloc. Le PFD nous donne, $\sum \text{Forces extérieures} = F_1+F_2$ ici qui vaut donc masse fois accélération du bloc. Donc si je cherche l'accélération du bloc, ça va être F_1+F_2/M , en vecteur toujours.

Maintenant si on projette, il faut connaître a_x , F_1 il est dans le sens de x et il est horizontale quand je le projette, ça me donne plus la norme de F_1 . Pour l'autre force F_2 , elle est également horizontale mais elle est dans l'autre sens, elle est dans le sens opposé de l'axe positif de l'axe x que j'ai choisi, c'est moins la norme de F_2 , le tout divisé par la masse du bloc $(F_1-F_2)/M$.

Bon, ça y est, on a résolu le problème et il n'y a plus qu'à faire le petit calcul qui nous permettra de conclure. Là, donc on avait une force F_2 qui avait pour norme 2Newton, notre force F_1 qui est toujours 4Newton, $(4-2)/200\text{g}$ la masse du bloc, $0,2\text{kg}$.

Et ce là nous donne $2/0,2$, 10m/s^2 . Alors là il y a quelque chose d'intéressant quand même à voir, à savoir que quand vous appliquez F_1 dans un sens et F_2 dans l'autre, donc si $F_1 = 4\text{Newton}$ et $F_2 = 2\text{Newton}$ dans l'autre sens, il n'y a pas un moyen de

savoir quand j'observe l'accélération obtenue dans ce cas là, si j'ai ces deux forces qui s'opposent ou si j'en ai une seule qui serait 2Newton dans le sens positive des x. Vous faites votre résultante des forces et ça résulte en une accélération qui est la seule chose 0:16:40.8 même mesure.

Donc c'est ce que je vous disais la semaine dernière, donc ça c'est le principe de superposition des forces. Si je ressens une certaine force derrière moi et je ne vois pas ce qui se passe, je ne peux pas savoir si juste quelqu'un est en train de me tirer avec une corde et je ressens une force de 40Newton ou si il y a plusieurs personnes qui s'arrangent pour que je ressente une force horizontale de 40Newton derrière mon dos.

Donc en appliquant la somme vectorielle des forces, 0:17:07.7 faire la superposition ce que j'ai appelé la superposition des forces.

Troisième cas. Alors en même cas, on a F_1 et F_2 et on maintenant on va essayer d'ajouter une force F_3 . On va se demander quelle force F_3 horizontale je vais pouvoir ajouter pour que le bloc soit à l'équilibre. Donc on est toujours sur le système bloc et si on réfléchit aux forces extérieures qui s'appliquent au système, on va donc avoir P , R , F_1 , F_2 et F_3 . Si je veux que le bloc soit à l'équilibre, qu'est-ce que ça veut dire ?

Etudiante

Ça veut dire que l'accélération 0:18:35.7.

2F

Ouais pourquoi ?

Etudiante

Si on se réfère au deuxième comme principe, le principe fondamental de la dynamique.

2F

Quelque chose qui est à l'équilibre, ça veut dire quoi ? Ça veut dire qu'il est immobile. S'il est immobile on va dire son accélération est nulle. Donc on peut le retrouver soit effectivement en disant les forces se compensent, certes ça mais également le truc fondamental c'est votre objet ne bouge pas. Mon sac là, il est à l'équilibre. Ce qui se passe c'est donc que son accélération puisqu'il est à l'équilibre et ne bouge pas, pas

de variation de position, pas de variation de vitesse. Pas de variation de vitesse, accélération = 0.

Etudiant

Si l'accélération est nulle ça veut dire qu'on est immobile forcément ?

2F

Exactement. On verra après. Donc dans ce cas-là on est à l'équilibre, ça veut dire mais également somme des forces égale 0, et ce n'est pas un principe de la dynamique. Donc équilibre, je vous disais c'est immobile et en particulier $a = 0$. Donc ça veut dire effectivement que la somme des forces est égale à 0 si je me réfère au PFD. Donc on reprend notre somme des forces, on avait donc $P + \text{la Réaction} + F_1 + F_2 + F_3 = 0$

Etudiant

On est immobile ?

2F

Immobile ouais.

Etudiant

0:20:50.7

2F

Moi, je dis soit à l'équilibre. A l'équilibre ou immobile par sens, effectivement quand la somme des forces est égale à zéro, ce n'est pas forcément immobile.

Etudiant

0:21:06.8

2F

Je veux qu'il soit immobile.

Etudiant

0:21:12.7.

2F

A l'équilibre, je dis immobile. On va voir le cas d'après. On se termine celui-là comme ça on finit et on aborde justement quelque chose d'autre, pas celui-là, celui-là. Donc

on peut retrouver F_3 vectoriellement qui va être égale $-F_1-F_2$. Et si on regarde ça, donc on pourrait s'amuser à le faire vectoriellement, on peut prendre nos petits vecteurs et puis dire bon je vais prendre $-F_1$ donc $-F_1$ je le retourne, je la prends dans le sens opposé.

$-F_2$ je les somme en mettant l'arrière de la flèche de F_2 sur le bout de la flèche de F_1 , etc. ça me donnera la force vectorielle F_3 . On peut aussi regarder la projection qui va nous donner exactement la même information. Donc je projette sur x . F_{3x} , donc ça va être F_1 si je la projette, ça me donne la norme de F_1 , mais là j'ai $-F_1$ donc ça me donne moins la norme de F_1 . $-F_2$ vecteur, F_2 projetée ça me donnais moins la norme de F_2 .

Donc là du coup ça me donne moins moins la norme de F_2 , soit plus la norme de F_2 . Et donc je tombe sur la composante F_{3x} qui est norme de F_1 , moins normes de F_1 plus norme de F_2 . Si je la calcule j'avais 4Newton pour F_1 et 2Newton pour F_2 en norme, ça me donne -2Newton.

Donc ça veut dire que pour que mon corps reste immobile soit à l'équilibre dans ce cas précis, vous avez donc une force F_3 qui vient se rajouter à F_2 , alors je ne peux pas redescendre, le tableau ça va m'obliger 0:23:19.3, mais c'est la même que F_3 et F_2 appliquées ensemble.

Quatrième cas. Alors maintenant justement, si je veux, alors cette fois ci si je reprends le cas où j'ai F_1 et F_2 simplement et mon bloc est en mouvement et je veux savoir quelle force F_4 appliquée pour que mon bloc se meuve à vitesse constante 5m/s vers la droite. A votre avis, justement, regarde bien les conditions, justement ce qu'il faut interpeler aussi.

Etudiant

0:25:13.1

2F

Mais que tu appliques dessus se compensent exactement, il va rester immobile, soit il est déjà en mouvement et, qu'est ce qu'on peut dire justement ? Là il est déjà en mouvement et je voudrais qu'il reste en faite à vitesse constante 5m/s vers la droite. Quelle est la force F_4 qu'il faudrait que j'ajoute ici depuis F_3 ?

Etudiant

La même qu'ici.

2F

La même qu'ici, effectivement. Là on va ajouter exactement la même force. Pourquoi? Parce que si on ajoute exactement la même force de la même façon donc F_4 doit être la même que F_3 qu'on a calculé avant, parce que dans ce cas là, effectivement vous aurez somme des forces extérieures = 0.

Votre accélération est nulle et votre bloc va rester en mouvement à vitesse constante que se soit vers la gauche ou vers la droite, je m'en fiche. $a = 0$, ça veut dire que je n'ai pas de variation de vitesse.

Pas de variation de vitesse, je reste à vitesse constante. Donc effectivement $a = 0$, vous avez eu une très bonne remarque ça peut correspondre à deux cas, *ça peut correspondre à un cas statique, cas d'équilibre statique* et un cas où vos forces se compensent pardon, et vous restez à vitesse constante.

Cinquième cas. Alors, quel est le cas suivant que je voulais vous soumettre ? Maintenant on va encore revenir à notre cas où on a $F_1 + F_2$ et on va rajouter une force qui, cette fois est inclinée. Si on ajoute maintenant une force F_5 qui soit inclinée et qui aille vers le sol vers la droite. Si je reprends mon petit dessin de départ j'ai F_1 , F_2 et je rajoute F_5 comme ça, qui est inclinée d'un angle θ avec l'horizontal. Même question, oui excuse-moi, je ne vois pas qui, oui !

Etudiant

2F, vous pouvez descendre un petit peu parce qu'on ne voit rien.

2F

Ça va comme ça ? Tu vois ce qui se passe ou pas ce n'est que je n'arrive pas à voir à partir d'ici. C'est bon ? Donc on rajoute une force F_5 qui est inclinée vers la droite. Quelle est l'accélération du bloc ? Même question. Donc si je fais le bilan des forces de mon bloc, donc si je fais le bilan des forces sur mon bloque, la loi P, R, F_1 , F_2 et F_5 .

Tout va bien, du coup je fais appel à mon PFD. On sait que somme des forces extérieures sur mon système doit être égale à la masse fois l'accélération. Si je fais la somme de forces extérieures pour la chose vers la droite, $P + R + F_1 + F_2 + F_5$ en vecteur.

Qu'est ce qui se passe là ? Ouais on va projeter directement parce que là alors le poids il ne va pas changer mais la réaction, c'est-à-dire la façon dont vous appuyez sur la table, ça va changer un petit peu parce que vous allez avoir une partie de F_5 qui va venir vous embêter. Comme je vous disais, on va se concentrer surtout sur ce qui est horizontal.

C'est juste une petite application du PFD après on fera un petit peu des choses avec des forces un peu plus compliquées. Je voulais juste vous dire que vectoriellement ça ne change rien du tout. Maintenant, on s'intéresse à la projection. S'il vous plait, si on projette on va avoir $Ma_x = F_1 - F_2$ comme tout à l'heure, qu'est ce que je vais avoir pour la résultante de F_5 sur l'horizontal.

Etudiant

$F_5 \cos \theta$

2F

$F_5 \cos \theta$, donc j'ai F_5 qui est inclinée comme ça par rapport à l'horizontal, si je veux savoir la composante de F_5 sur l'horizontal, je prends cosinus de l'angle fois la norme de la chose. C'est la projection sur l'horizontal de ma force. Et il se trouve qu'il va dans le sens des x positif, donc c'est bien $F_5 \cos \theta$.

Si je regardais Ma_y donc on aurait, alors on va garder le poids, ouais va mettre $-M.g$ pourquoi pas plus la réaction. Et qu'est ce qu'on a encore de plus ? Quand je fais ça, c'est qu'implicitement je choisirai l'axe des Y comme ça $-F_5 \sin \theta$ effectivement. Donc je projette mon vecteur F_5 cette fois sur la verticale.

Et par rapport à ce que j'avais tout à l'heure, là je regarde ce qui se passe verticalement. C'est un petit peu 0:33:27.3. Donc j'essaye de faire F_5 sur la verticale si j'étais inclinée d'un angle θ , je retrouve $F_5 \sin \theta$. Il se trouve que F_5 doit être en train de descendre par rapport à l'axe y , donc c'est du $-F_5 \sin \theta$ que j'ai comme composante sur y .

Qu'est-ce que nous dit l'équilibre statique vertical de mon bloc, c'est-à-dire que mon bloc ne bouge pas verticalement individuellement. Je vous disais tout à l'heure sur le PFD, non je vous l'ai dit la semaine dernière « quand on fait PFD, on peut traiter séparément ce qui se passe horizontalement et verticalement, ceux qui se projettent sur chacun des axes, c'est-à-dire qu'on va pouvoir avoir une réaction sur y , une

réaction sur x et tirer des conclusions sur ce qu'on voit verticalement et horizontalement.

Qu'est ce qui se passe horizontalement pour mon bloc ? Est ce qu'il bouge verticalement ? Non il ne bouge pas verticalement, il est à l'équilibre statique justement. Donc si j'avais envie de travailler en particulier sur la réaction du support je pourrais alors la retrouver, parce que là si je connais F_5 et bien, j'aurais des moyen d'aller retrouver R .

Etudiant

Dès qu'on a l'équilibre statique vertical ?

2F

Verticale, pardon, verticale du bloc, il ne s'enfonce pas dans la table, il ne remonte pas, il ne bouge pas. Par contre, horizontalement, et c'est là que cela va nous intéresser, là il bouge, il a une certaine accélération, on doit rechercher a_x . Donc on peut retrouver le composant a_x de l'accélération horizontale qui va être du coup $(F_1 - F_2 + F_3 + F_5 \cos \theta) / M$. Si on prend $\theta = 30^\circ$ par exemple, on peut faire le calcul comme on l'a fait précédemment. Il comprend j'ai besoin comme norme de force et la norme de F_5 à 1 Newton.

On peut aller calculer a_x , a_x ce serait donc 4 fois pour F_1 $4 - 2 + 1 \cos 30^\circ / 0.2 \text{ kg}$. $\cos 30^\circ$ c'est racine $3/2$ c'est à peu près racine $3 = 1.7$ donc $\sqrt{3}/2 = 0.8$. Donc j'ai $(4 - 2 + 0.8) / 0.2$, a_x c'est 14.3 m/s^2 pardon. Donc voilà, ça c'étaient justes des petites applications de ça. On va maintenant voir la troisième loi de Newton, voir ce qui concerne les interactions et ensuite on reviendra là-dessus en prenant des exemples de forces bien précis.

C'est le petit je en sais pas quoi. Donc passons à la troisième loi de Newton. S'il vous plaît qu'est-ce qui se passe ? Vous avez des soucis, vous avez des questions sur la deuxième loi de Newton ? Il y a quelque chose qui ne va pas. Il a l'air d'avoir un débat là. Non ? Bon, on va passer à la troisième alors.

Donc la troisième loi de Newton, on l'a fait intervenir justement en réfléchissant à l'interaction entre deux corps. C'est quoi l'interaction entre deux corps ? Quand deux corps interagissent c'est-à-dire qu'ils se poussent ou ils se tirent l'un l'autre. L'un applique une force sur l'autre et l'autre applique une force sur l'un.

Par exemple si je me mets assis sur le bureau, si je me mets à pousser sur le bureau, moi j'applique une certaine force sur le bureau. Mais en retour le bureau applique également une force sur moi. Et c'est-ce que nous dit exactement la troisième loi de Newton. *C'est-à-dire que lorsque deux corps sont en interaction, les forces d'un corps sur l'autre sont égales en normes, ils sont opposés en sens.*

C'est-à-dire que si vous avez un corps 1 et un corps 2 qui sont en interaction, il y a un échange de force. Ça veut dire que les forces qui s'appliquent entre 1 et 2 sont égales en norme et opposées. *C'est-à-dire que quand si je vais l'écrire vectoriellement, ça veut dire que la force que ressent 1 due à la présence de 2 c'est moins la force que ressent 2 due à la présence de 1.*

Si je vais mettre sur mon petit schéma, force que ressent due à la présence de 2 quelque soit cette force, que ce soit la gravitation, l'électromagnétique, n'importe quoi ou du contact comme j'avais ici avec mon bureau.

Ça veut dire que si j'applique ici 2 fait sentir à 1 une force 1 par 2, ça veut dire que ce que ressent 2 c'est la même force en norme, opposée. F2 ressent 2 due à la présence de 1, c'est la même force mais opposée.

C'est à dire que vectoriellement pour mon exemple tout à l'heure sur le bureau, si je mets une force horizontale comme ça sur mon bureau, que j'applique dessus, je mets une force moi sur le bureau, je ressens une force bureau sur moi qui est exactement dans la même direction mais dans le sens opposé à ce que j'applique sur le bureau.

Etudiante

Ils se retirent ou ils se poussent ?

2F

Les deux. Ça peut être les deux, ils s'attirent ou ils se repoussent. Là dans le cas précis où je le dessine, ils s'attirent. Mais si j'avais un cas où ils se repoussent par exemple deux charge de même signe, une bonne question tu as raison, j'aime plus le cas où ils s'attirent. S'ils se repoussent et que j'ai F1 donc F qui s'applique sur 1 due à la présence de 2 comme ça, on va mettre de la colle et on essaie de le faire s'éloigner, ils repoussent, ça veut dire que l'autre F1 sur 2 également F2 sur 2. J'ai la même en sens opposé de l'autre côté.

Etudiante

0:42:35.6

2F

Ben là aussi ils sont opposés. Regarde, si je prends un vecteur a , je le mets là et je le prends. Là la flèche elle pointait par ici, là, elle prenait l'autre côté. Alors que là ils sont opposés, c'est le même vecteur opposé. Je prends l'opposé du vecteur et je retourne le vecteur.

Etudiante

0:43:06.7

2F

Tout à fait c'est ça.

Etudiant

Donc ils s'attirent 0:43:10.0

2F

Qu'ils s'attirent ou qu'ils se repoussent, c'est vrai quelque soit la nature de ta force que se soit une force à distance ou une force de contact que ça s'attirent ou que ça se repoussent quand tu as une interaction, *deux corps qui interagissent, deux corps qui se tirent ou qui se repoussent, tu as à chaque fois un couple de force tel que F senti par 1 due à la présence de 2 est égale à moins la force sentie par 2 due à la présence de 1*. Ça c'est la troisième loi de Newton, où est la question ?

Etudiant

0:43:56.4

2F

C'est la force que ressent 1 appliquée à 1 que va ressentir 1 due à la présence de 2. Si je veux dire avec des mots c'est peut-être comme ça que je le dirais le plus. D'ailleurs par exemple si tu as deux charges positives ou négatives, on s'en fiche, deux charges, tu as F_1 qui va ressentir une force due à la présence de l'autre charge n°2. Donc F_1 , alors pas sur 2, F_{1-2} , c'est ce que j'ai choisit comme... Donc la force ressentie par 1 due à la présence de 2.

Donc ça c'est vrai je vous disais que c'est vrai que ça s'attirent ou que ça se repoussent, c'est vrai aussi si je suis statique ou si je suis en mouvement. Maintenant c'est peut-être pas facile à conceptualiser ces trucs de paires de forces F_1 , c'est un peut bizarre lorsque je vous dis qu'à chaque fois qu'il y a une interaction en faite, on n'a pas une force mais une paire de forces, une attraction et une pulsion.

Du coup, regardons un petit peu pour essayer de voir ce qu'il ne faut pas confondre, se clarifier les idées, quelles sont les forces par exemples qui agissent sur mon sac à main ? Ça vois qui interagit avec quoi et qu'est ce que c'est les paires de forces au sens de la troisième loi de Newton ?

Donc mon sac il est sur la table et ce qui va m'intéresser c'est de savoir qui interagit avec qui et quelles sont les paires de force au sens de la troisième loi de Newton ? Quelles les couples de forces ou bien les paires de forces ? Donc mon système, c'est le sac à main et, je suis dans le référentiel terrestre que je suppose Galiléen pour la durée de mon expérience. Alors quelles sont les forces que subit le sac ?

Etudiant

Poids.

2F

Effectivement le poids, son propre poids. La réaction du support. Alors quand je parle du poids, à quoi ça correspond le poids ?

Etudiant

A l'attraction gravitationnelle.

2F

A l'attraction gravitationnelle, c'est-à-dire que c'est la terre qui interagit avec mon sac. Donc la force que je vois, donc effectivement le poids c'est l'interaction gravitationnelle entre la terre et le sac. Donc je vois ici un poids qui est la force sur le sac due à la terre. Vue de noter force sur le sac F_s due à la terre le symbole de la terre.

On a également la réaction du support, qu'est ce que c'est ? C'est une force de contact, quand vous êtes en contact avec quelque chose et que vous poussez dessus et bien il y a une réaction du support pour éviter, sans pouvoir vous enfoncer dans la terre. Donc c'est une interaction de contact entre le sac et la table. Donc la réaction qu'on

voit ici c'est la force ressentie par le sac due à la présence de la table. Est-ce que les forces F ... oui ?

Etudiant

0:50:06.6

2F

Sur terre, ce petit symbole ça veut dire terre. Alors ce n'est pas sur terre, ce n'est pas le sac sur la terre, c'est ce que ressent mon sac due à la terre. C'est dans cet endroit que j'ai choisi mon indice. Je n'ai pas mis par, et je n'ai pas écrit ça, c'est la même question que vous avez tout à l'heure. Je n'ai pas écrit par, j'ai écrit la force que ressent le sac due à la présence de la terre. C'est dans son sac qu'il fallait les indices pour l'instant. C'est le poids, c'est la même chose.

C'est juste pour faire apparaître le fait que c'est l'interaction gravitationnelle, je l'aurais écrit parce qu'on voit par là. Je fais juste apparaître le fait que la force que ressent le sac due à la présence de la terre, c'est ce que j'appelle ordinairement le poids. Mais je vais faire apparaître les acteurs en présence pour l'interaction, parce que ce qui m'intéresse ici c'est qui interagit avec qui.

Justement, tout à l'heure on disait, on considérait le poids et la réaction et, on disait que mon corps, mon sac à main il ne bouge pas verticalement, donc il a l'équilibre statique, donc les forces se compensent.

On l'a vu plusieurs fois tout à l'heure avec notre exemple du palet. Est-ce que du coup je peux considérer la force que ressent le sac due à la terre et la force que ressent le sac due à la terre comme une paire de forces au sens de la troisième loi de Newton.

Non, j'ai gravé trop vite donc effectivement on se dit les forces se compensent. J'en ai bien une dans ce sens-là, une dans ce sens-là, si on a la même norme tout va bien. Mais attention, quand on considère la troisième loi de Newton, c'est les deux corps qui sont en interaction.

Là vous voyez j'ai trois acteurs, le sac, la table et la terre. Le sac interagit d'une part avec la terre, la terre interagit avec le sac, d'une part. Le sac interagit avec la table, la table interagit avec le sac, d'autre part. Mais l'interaction table/sac, pas la force table/sac et la force terre/sac ne sont pas des paires au sens de la troisième loi de Newton.

Je t'ai convaincu ou pas ? Mais tu me regardais d'un air ... elle m'enfume. Tu n'a pas le droit de te laisser enfumer par tes profs, il faut intervenir dans ces cas là (rires). Donc c'est sur quoi je tiens à insister c'est qu'effectivement ce que je vois là, la force ressentie par le sac due à la terre et la force ressentie par le sac due à la table qui serait ici, je l'ai écrit P qui serait ici ce qu'on appelle la réaction de la table ne sont pas des paires au sens de la troisième loi de Newton.

Pourquoi ? La troisième loi de Newton, elle met en jeu deux corps en interaction. Oui.

Etudiante

0:53:18.8

2F

Justement, écrivons-le pour ça. Donc là si j'ai la force du sac par rapport à ... la force ce que ressent le sac due à la présence de la terre, je pourrais écrire ma paire de forces vraiment au sens de la loi de Newton pour cette interaction qui serait - je suis obligée de changer de tableau ou alors je vais le mettre dans un coin, qu'on évite de changer de tableau je préfère - donc la paire de forces considérée pour l'interaction sac/terre, c'est l'interaction qu'on regarde ici.

Et bien, je vais pouvoir dire avec la troisième loi de Newton, que la force ressentie par le sac due à la terre c'est moins la force ressentie par la terre due au sac. Ça veut dire que mon sac attire la terre. Une balaise 0:54:34.4. A votre avis, qu'est ce qui fait que c'est mon sac qui tombe mais pas la terre qui remonte sur le sac ? Bon ben si on regarde d'un point de vue extérieur ? Voilà, on a une petite masse de sac puis une toute petite inertie, une toute petite opposition à la force qui est appliquée pour le sac et on a une énorme inertie pour la terre.

Etudiant

Pourquoi 0:54:57.6

2F

Là je t'ai parlé d'accélération, j'ai dis là j'ai des forces, je les ai. Je sais que la force ressentie par le sac due à la présence de la terre c'est moins la force ce que ressent la terre due à la présence du sac.

Etudiant

C'est-à-dire que la masse fois l'accélération elle est dans les deux sens ?

2F

Non, non. Si je réfléchis, qu'est ce que ça donne, pourquoi ? Il y en a un qui a l'air de bouger quand je regarde, je me mets dans l'espace, je regarde ce qui se passe, je vois le sac qui se rapproche de la terre mais pas la terre qui se rapproche du sac. En tout cas, voilà en choisissant les origines comme ça va bien etc., je reste dans le flou exprès parce que sinon cela va nous prendre une demi-heure.

Qu'est ce qui fait la différence entre les deux ? Effectivement c'est que l'accélération qu'on a observée pour mon sac et bien s'il a une toute petite inertie, il a une toute petite masse donc l'accélération qu'on observe beaucoup plus grand pour le sac que celle qu'on observerais pour la terre $M \cdot a$ avec la masse de la terre. Par contre, si on regarde deux objets de masse comparable, si on regarde deux planètes qu'on va en parler tout à l'heure, là vous avez quelque chose où on voit bien l'interaction.

Etudiant

0:56:06.7 l'accélération il y a le M fois l'accélération, ou bien 0:56:12.5.

2F

Là justement ce que tu dis c'est vraiment... donc là on s'est posée la question de savoir le lien entre la force et le mouvement. Si je me demandais mais comment ça se fait quand on observe les mouvements en l'air très intuitif, le sac tombe si je le retire de la table. Donc ce que je vous dis c'est qu'il y a un lien entre force et mouvement. Le lien entre force et mouvement, c'est ce qui vous est donné par la deuxième loi de Newton justement.

Et, ça vous dit que force = masse fois accélération. Si vous voulez parler de mouvement au moment où vous parlez de mouvement, vous cherchez à connaître l'accélération, qui vous permet ensuite de connaître la vitesse, position, etc. Donc, c'est accélération, c'est F/M . M masse de l'objet qu'on considère.

Etudiant

Et là dans ce cas l'accélération sera plus grande en...

2F

C'est une accélération qui est le poids de ton sac divisé par $M \cdot g$ sur ton sac.

Etudiant

Ça va faire F divisé M ?

2F

On va en parler après si tu veux. On va revenir à l'interaction gravitationnelle. Juste pour terminer là-dessus je ne voulais pas trop y passer trop trop de temps mais on va recauser l'interaction gravitationnelle dans deux minutes d'ailleurs, c'est le prochain point. Ouais.

Etudiant

Vous avez dit que le sac attire la terre et la table.

2F

Oui ! Les deux, c'est-ce que dit la troisième loi de Newton. La troisième loi de Newton te dit les deux. La troisième loi de Newton te dit s'il y a 1 qui ressent une force due à la présence de 2. Si mon sac ressent une force due à la présence de la terre, la terre reçoit une force due à la présence de mon sac et elles sont égales en norme et opposées en direction, opposées en sens, même direction, de sens opposé.

Alors pour revenir à mon cas du sac puisque là on a regardé on s'est un petit peu étendu sur l'interaction terre/sac mais on avait aussi interaction sac/table. Donc on a également ici une deuxième interaction, donc une deuxième paire de force au sens de la troisième loi de Newton : Sac/table, et la troisième loi de Newton nous dit que la force qui est ressentie par le sac due à la table est égale à moins la force que ressent la table due au sac.

Là c'est tout ce que peut me dire la troisième loi de Newton, je veux dire tous ce qu'elle voulait. C'est-à-dire que si mon sac pousse sur la table, la table pousse sur le sac.

Etudiant

Ça parce qu'ils ont une accélération différente ?

2F

Non ! Là, on parle de force. Après l'interaction, c'est si tu t'intéresses au mouvement. On pourrait en parler.

Etudiant

Tout à l'heure c'est tu disais le sac 0:59:17.8?

2F

Non c'est l'inverse.

2F

Force d'abord, accélération ensuite. Je regarde les forces, t'en déduits le mouvement. Là je regarde les forces, après on pourrait effectivement s'intéresser au mouvement pourquoi pas ! C'est d'ailleurs ce qu'on veut faire.

Alors, un point intéressant c'est que tout à l'heure vous avez eu envie de me dire tout de suite « ben oui, celle là elle se contrebalance, donc c'est une paire au sens de la deuxième loi de Newton. Qui contrebalance qui et qui vient de quoi ? La force que ressent la table due à la présence du sac : c'est quoi cette force-là ? La façon dont le sac appuie sur ma table. C'est effectivement le poids.

Donc ce n'est pas une paire au sens de la troisième loi de Newton, mais on peut égaliser la force que met le sac sur la table donc la force que table ressent due à la présence du sac au poids qui est la force que ressent le sac due à la présence de la terre. Et c'est pour ça qu'on a envie de confondre les deux. C'est un point un peu perturbant la troisième loi de Newton. C'est facile comme ça mais en fait ça c'est perturbant.

Etudiant

On ne peut pas considérer la table et la terre 1:00:46.6 ?

2F

Alors si je prenais mon système table, là j'ai pris le système sac depuis tout à l'heure. Ne change pas de système en cours de route. On ne change pas de système au cours de route, je ne te donne pas un impératif. Donc il faut se concentrer quand on fait de la mécanique, toujours tu définies ton système au début et tu restes avec ça. Si non on ne s'en sort plus. Toutes les forces qui s'appliquent au sac. Voilà donc première chose, le sac il interagit avec qui, il interagit avec quoi.

Alors juste avant de répondre à votre question, je vous donne un petit exemple sur lequel vous pouvez réfléchir, on en recausera puis vous recauserez en TD, je pense que ce n'est pas mal. Là je viens de vous dire quand j'applique une force sur quelque

chose, ce quelque chose en gros applique une force sur moi de même direction et de sens opposé.

Imaginez ma voiture tombe en panne et que je pousse ma voiture. Si je pousse ma voiture, donc j'applique une force sur ma voiture, ma voiture applique sur moi une force d'intensité égale et de sens opposé. Comment ça se fait que ma voiture avance ? Bonne réflexion.

Terre/sac, c'est deux choses qu'on avait ici, notre système ici c'est le sac. Je définis c'est sur quoi je vais regarder les interactions, on ne change pas en cours de route, on ne va pas y arriver. Si je regarde le système table, j'aurais un autre jeu d'interaction à regarder effectivement. J'aurais terre/table et j'aurais sac/table. Mon système serait la table. Alors ça vous inspire l'exemple de la voiture ? Pourquoi la voiture avance à votre avis ?

Etudiant

Parce que l'accélération s'annule.

2F

Ça c'est juste une conséquence. Si on regarde juste les forces qui s'appliquent et les réactions. Réfléchissez et faites-vous un petit schéma. Vous savez exactement cette question-là en TD. J'en parlerai au prof de TD.

Etudiant

1:03:03.1

2F

Non ! Ta force et ton poids admettons que je la pousse vraiment horizontalement, le poids, il est uniquement vertical. Il y a un autre truc qu'il va falloir interpeller, on va en parler un peu plus tard. Vous savez que tous les éléments que vous avez aujourd'hui, vous allez pouvoir réfléchir un tout petit peut sur ce qui se passe pourquoi la voiture avance 1:03:24.1.

Etudiant

C'est l'adhérence.

2F

Non ! C'est 1:03:29.0 mécanique, ça veut dire que la voiture allait déjà en mouvement ou elle reste immobile.

Etudiant

C'est l'adhérence des roues.

2F

Oui, et alors tu lui l'expliquerais comment ? Bien vue l'adhérence des roues. Effectivement c'est l'adhérence des roues si on regarde toutes les forces en éclatant la chose, ouh là ! J'ai généré un débat absolument... je ne sais pas si c'est l'heure de la pause café ou si c'est moi, j'espère que c'est moi.

Etudiant

Parce que chez moi il y a des 1:03:57.7 au niveau des roues et qui ...

2F

Alors voilà ce que je vous propose, c'est que vous réfléchissez à l'heure du déjeuner, on se retrouve à 14h quand on se revoit tout à l'heure.

Etudiant

D'accord.

2F

On reprend dans deux minutes justes pour répondre à ce paradoxe. Oui.

Etudiante

1:04:30.5 à 1:04:55.9

2F

Alors, donc bonne réflexion sur le sujet de la voiture, on en recause tout à l'heure à 16 heures. Je vous explique avec un petit dessin si ... ou même l'un d'entre vous pourra venir nous aider à expliquer ça si vous arriver à conclure au cours du déjeuner.

On va regarder un petit peu maintenant comment on va appliquer ces différentes loi de Newton. En particulier on va s'intéresser à différents types d'interaction. On va arrêter d'appeler les forces F1 et F2, on va considérer vraiment ce qui se passe entre les corps.

Donc on appelle donc on va passer donc **cours IV : application de formule de Newton – Forces et Mouvement**. Ah, je ne devrais pas lancer le débat parce qu'on n'y arrive plus. Je crois que c'est ... Alors pour arriver à réfléchir à tout ça, appliquer nos trois lois de Newton pour voir ce qui se passe 1:06:50.0. On va d'abord faire une partie qui est peut-être un petit peu catalogue où on va recenser les différentes interactions d'après leur forces etc. et voir comment ça se passe.

La première, interaction gravitationnelle. Alors l'interaction gravitationnelle c'est l'interaction qui arrive quand on a deux objets de masse M_1 et M_2 qui sont dans la même zone. Donc l'interaction gravitationnelle entre deux objets de masse M_1 et M_2 - alors on va se faire un petit schéma avant pour arriver à situer tout ça. Donc on a un objet 1 de masse M_1 , un objet 2 de masse M_2 . Je peux me définir, alors vous avez deux points pour définir une ligne droite, ça 1:08:39.4 je crois. Donc ça vous définit la direction de l'interaction.

Et, je vais me prendre pour pouvoir écrire ma loi, un vecteur unitaire donc quelque chose de norme 1 qui va de 1 vers 2 et peut-être u_{1-2} . Donc vecteur unitaire, ça veut dire que norme $u_{1-2}=1$. Si je vais écrire maintenant, maintenant que j'ai défini un petit peu le cadre, si je vais écrire l'interaction gravitationnelle entre deux objets de masse M_1 et M_2 , F que va ressentir 2 due à la présence de 1, donc ça on mettra $u_{1-2-2-1}$ ça va être $-g.M_1.M_2/d_{12}^2$ j'en viens u_{1-2} .

Puisque je viens de dire que je veux une certaine norme, j'ai M_1M_2 sur d_{1-2} , g c'est la constante de gravitation universelle, Universelle de gravitation $6.67 \cdot 10^{-11}$ Newtonm²/kg². M_1 c'est la masse de 1, M_2 c'est la masse de 2, d_{1-2} c'est la distance entre 1 et 2.

Très bien, comme je me suis bien intéressée à la norme, maintenant je vais m'intéresser à comment je vais la présenter sur mon schéma. Je vous dis que la force subite par 2 à cause de 1, ressentie par 2 à cause de 1. C'est moins celui que je 1:11:10.6. Donc $-u_{1-2}$, ça veut dire que la force elle va comme ça. C'est celle-là que j'en définie.

Etudiant

C'est-à-dire qu'on 1:11:35.0 ?

2F

On y vient. Donc faite attention, voilà il y a une nouvelle constante que vous ne connaissez certaine pas qui est la constante universelle de la gravitation qui vous donne en gros comment comme vous avez deux masse M_1 et M_2 la force va être intense en fraction de seconde.

Si je me rappelle bien la troisième loi de Newton qu'on vient d'évoquer il y a deux minutes, je sais que la forces que va ressentir 1 liée à la présence de 2, ça va être $-F_{2-1}$. Et donc si je cherche à la mettre sur mon schéma, je vais la mettre en vert puisque le jaune on ne voit strictement rien. F_{1-2} c'est $-F_{2-1}$ donc up c'est une force, on essaye de s'arranger à ce qu'elles aient à peu près la même norme même au tableau qui est comme ça.

Dans ce cas précis, M_1 et M_2 toujours positif, d_{1-2}^2 toujours positif, g positif, on a donné sa valeur, c'est une constante avec une certaine dimension au passage vous voyez. Donc une constante avec des dimensions, ça existe. Et, vous voyez donc c'est selon $-u_{1-2}$ tout chaud.

Donc l'interaction de gravitation, la force gravitationnelle, elle est toujours attractive. Justement je me disais mais alors, c'est quoi le poids dans tout ça ? Et bien on pourrait reprendre, on pourrait reprendre notre exemple du sac ou autre chose d'ailleurs. Si on a l'interaction gravitationnelle à la surface de la terre, proche de la surface de la terre.

Etudiant

1:14:03.0

2F

On va voir effectivement le rayon de la terre, tout ça, machin. Alors, prenons un cas particulier de ce qui se passe à la surface de la terre. Donc, là on voit bien ce qui se passe entre un objet que j'appelle 2 qui peut-être mon sac et la terre. Donc interaction entre la terre et un objet 2. Si j'écris l'interaction gravitationnelle, la force que ressent mon objet n°2, sac due à la présence de la terre, ce serait donc $-g M$ (M de la terre) M du sac sur la distance terre/sac au carré.

Etudiant

1:16:09.3

2F

Non, non, c'est une petite étoile, il est toujours dans le III, je n'ai pas effacé parce qu'on est toujours dans III mais on n'a pas changé de partie. On est toujours dans la troisième loi de Newton en interaction. C'est la première, on en a plein (rires). Donc J'ai M1 et M2 sur la distance terre/sac au carré. On est dans le grand trois et je ne sais plus 1:16:36.2 mais on est dans le III c'est sûr et certain. III-1-*. Ah, pardon IV-1-*. (rires).

Etudiant

Voilà !

2F

Ouf, excusez moi je perds le compte de mon plan. Vous savez tenir compte du plan, moi j'oublie ou je pose. Alors donc masse de la terre, masse de l'objet sur (la distance terre/sac)² fois un vecteur unitaire qui va faire vers 2. Quelle était l'opposition ? Si je veux connaître la distance terre/sac, là on est entrain de faire...

Etudiant

Terre/objet ou terre/sac ?

2F

Oui terre/objet ou terre/sac, et évite de dire objet tout le temps, je trouve ça triste. Donc, mon objet 2, c'est le sac, et si je regarde, voilà. C'est pour mettre 2 au lieu de S, ça peut être n'importe quoi, le sac ça peut-être lui, ça peut-être moi.

Mais ce qui est important c'est que 1:17:43.1. Dans ce cas précis, la distance terre/sac donc, qui nous embête un petit peu ici par rapport à quoi va-t-on prendre la distance. L'interaction gravitationnelle entre les deux objets effectivement c'est savoir quelle est la distance entre 1 et 2.

Quand on a une planète, qu'est ce qu'on fait ? Alors ce qu'on fait, c'est comme apprendre, qu'on a un grand objet, on va prendre le centre de masse de l'objet, qui va être définir la position de l'objet donc centre de masse.

Donc le centre de gravité de l'objet et ça va être là où vous allez considérer que toute la masse est concentrée. Donc là, on va faire la distance entre le centre de la terre et le sac. La distance terre/sac ça va être le rayon de la terre plus la hauteur H où se trouve donc mon deuxième objet à mon sac.

Etudiant

Et si le sac est sous la table ?

2F

A bien $H = 0$. H c'est l'altitude du sac, l'élévation du sac. *Altitude de l'objet et quand on dit qu'on est en surface de la terre, ça veut dire que H est très petit devant le rayon terrestre.* Alors je vais réécrire ça. Du coup, on pourrait écrire donc la force que ressent n'importe quel objet due à la force de la terre, se serait donc $(-g \cdot \text{Masse de la terre} \cdot \text{Masse de mon objet}) / (\text{le rayon de la terre} + \text{l'altitude de l'objet})^2$, $u_{\text{terre-2}}$.

Si je m'amuse à faire un petit schéma en exagérant la distance du sac, il y a quelque chose qui est ici surface de la terre donc H c'est cette distance là, c'est l'élévation du sac. Ici je retrouve le rayon de la terre et le $u_{\text{terre-2}}$, c'est le u qui va du centre de la terre vers l'objet 2.

Alors première remarque vis-à-vis de ça, vous voyez que votre interaction, elle va être $-u_{\text{terre-2}}$ en direction. Ça veut dire que l'interaction gravitationnelle elle entraîne votre objet 2 vers le sol. Quand je dis vers sol, ça veut dire vers le centre de la terre. C'est-à-dire que si je fais l'expérience ici et je fais l'expérience en Australie, mon sac tombe toujours vers le sol.

Autre petite chose, maintenant on pourrait s'amuser à calculer tout ça et à faire le lien avec si on connaît bien. Qu'est-ce qui reste-là ? Il me reste, bon j'ai dit c'était vers le sol et il nous reste tout ça. Il me reste tout donc je pourrai réécrire éventuellement F_2 que ressent 2 due à la terre, donc $(-g \cdot M \text{ de la terre}) / (\text{rayon de la terre} + H)^2 \cdot M_2 \cdot u_{\text{terre-2}}$. S'il m'amuse à calculer cette bête-là, le premier facteur là, $(g \cdot \text{Masse de la terre}) / (\text{rayon} + H)^2$.

Première chose, tout à l'heure j'ai dit que H était extrêmement petit devant le rayon de la terre. Si H est extrêmement petit devant le rayon de la terre je pourrais dire pour faire mon calcul, on va le mettre sur un autre tableau même si ça m'ennuie. On va donc dire, on s'intéresse donc au calcul de $(g \cdot M \text{ de la terre}) / (\text{rayon de la terre} + H)^2$.

Ce que je vous dis déjà, c'est que H est très petit devant le rayon de la terre, du coup je pourrais dire que ça c'est à peu près égale $(g \cdot \text{Masse de la terre}) / (\text{rayon de la terre})^2$.

1:23:49.0.

La valeur de g , je la connais c'est $6.67 \cdot 10^{-11}$. La valeur de la masse de la terre. Donc la valeur de la constante de la gravitation, je le connais tout à l'heure, c'est $6.67 \times 10^{-11} \text{Newton.m}^2\text{kg}^{-2}$. La masse de la terre c'est combien 1:24:34.0 ?

Etudiant

1:24:36.8

2F

Alors on va mettre $6 \cdot 10^{24} \text{kg}$, alors c'est $5.97 \cdot 10^{24} \text{Kg}$. Rayon de la terre, ouais c'est à peu près, 6400. Si je le passe en mètre de façon à bien faire le calcul après. Ça veut dire, en mètre, tout à fait $6.4 \times 10^6 \text{m}$. Donc je vais me retrouver à faire le calcul de $(g \cdot M \text{ de la terre}) / (r \text{ de la terre})^2$, ça me fait à peu près du $6 \cdot 10^{-11} \cdot 6 \cdot 10^{24}$.

C'est un calcul approximatif parce que je n'ai pas de calculatrice. Et vous voyez quelques ordres de grandeurs on s'en sort. $(r \text{ de la terre})^2$, je prends 6 aussi comme ça, ça m'évitera de m'embêter avec le 0.4. $(6 \times 10^6)^2$

Etudiant

1:26:22.4

2F

Ça nous donne 24^{-11} . Ouais, 13, il faut mettre les additions, $6 \times 2 = 12$. On a 6^2 ici et 6^2 en dessous et un 10^{13} en dessous, 10^{12} en dessous. Notre objet, quoi ?

Etudiant

1:26:55.4

2F

$6 \times 6 = 6^2$, on retrouve la valeur de g . Donc en fait quand on a l'interaction gravitationnelle entre la terre et un objet 2, et bien simplement on peut résumer ça en ayant surtout fait ce calcul là, et faire apparaître simplement l'accélération ce qu'on appelle la pesanteur.

Bon, vous voyez que vous avez ici une force qui s'applique à votre objet, qui lui applique une force dirigée vers le sol de façon à ce que l'accélération soit égale à cette bête-là pour l'objet 2 et cette bête-là quand on le calcule c'est le g qu'on retrouve. Donc on retrouve ici exactement le poids. F_2 par la terre, c'est simplement $(M_2 \text{ fois le vecteur}$

g) qu'on connaît bien. Bon je rappelle g verticale, orientée vers le sol ce qu'on a vue ici, donc ça c'est la même chose, c'est-ce qu'on a vu pour la chute libre.

Donc là vous voyez que la force qui s'applique à mon sac quand il tombe par terre et à la lune qui tourne autour de la terre et la terre qui tourne autour du soleil etc., etc., c'est la même. C'est l'interaction gravitationnelle. Je vous laisse aller déjeuner et on fait la suite tout à l'heure, 16h.

3 sesión

2F :

Donc, ce que me dit la troisième 00:00:25, c'est ... Est-ce que tu veux... Je finis ça et puis je te laisse te présenter ? Pour que tu puisses les prévenir pour la fin. Donne-moi 2 minutes pour terminer le petit problème que je posais ce matin, à moins de faire bouger une voiture.

Donc, ce que nous dit Newton, c'est que si j'applique une force F sur la voiture, la voiture va appliquer sur moi une force « moins F ». Comment est-ce que je vais arriver à faire bouger cette damnée voiture en fait. Donc, on a parlé de frottement, tu m'as dit les frottements.

Comment est-ce qu'on s'en sortirait avec le frottement et qu'est-ce qui permettrait de dire « du coup, si j'ai des frottements, je vais pouvoir faire avancer ma voiture ». Tu m'as dit : il va y avoir du frottement là-dedans. Je t'ai dit : je suis tout à fait d'accord. Si on le glisse, on n'arrivera pas à pousser la voiture, à faire avancer la voiture. Pourquoi tu dis le frottement, comment il interviendra ici.

Etudiant:

00:01:43

2F :

Oui, parce que le cas que tu mentionnais tout à l'heure, je te dis, par exemple, si j'ai de la glace sous mes pieds, j'essaie de pousser ma voiture, je tombe. Tu vois bien que j'ai besoin de frottement sous mes pieds pour arriver à pousser quelque chose. Effectivement, il va y avoir les deux.

Etudiant:

C'est-à-dire qu'en fait, le vecteur force de frottement qui est sous la voiture, il est plus petit que le vecteur force de frottement que 00:02:12.

2F :

Bien vu. Alors, le tout là-dedans pour arriver à s'en sortir, puisqu'on a l'air un petit peu coincé là parce qu'on reste en fait avec simplement le type et la voiture. Il faudrait essayer de regarder un petit peu ce qui se passe pour le personnage et pour la voiture, d'une part et d'autre part. Si le personnage ressent une force en admettant que j'essaie de pousser ma voiture et on va simplifier la vie, je reste statique.

Juste pour arriver à y penser plus facilement. Je pourrais arriver aussi, mais comme j'avance et j'ai besoin 00:02:51 c'est difficile. Donc qu'est-ce qui se passe si je suis statique et que je ressens une force « moins F » que j'ai dessiné en orange.

Comment vont se passer les frottements par rapport au sol pour que je reste immobile et que j'arrive à pousser ma voiture ?... Oui, exactement, ils s'opposent en mouvement et vont être de telle façon, ils s'opposent aux mouvements voulus par la force « moins F ». Et donc, ils vont être dans l'autre sens, je vais les mettre 00:03:26 ici.

Etudiant:

Il y a une force de frottement sous chaque pied ?

2F :

Il y a une force de frottement qui va faire, sur chaque pied. Donc je m'accroche au sol. Puisque là, ça va être de telle façon que si je reste immobile, les forces de frottement compensent la force orange « moins F ». C'est en tout cas ce qu'on peut constater. Je resterais au même endroit.

Qu'est-ce qui se passe pour la voiture ? La voiture va aussi subir un frottement. Si je regarde, je pense uniquement à la voiture maintenant, j'oublie le personnage. J'ai une voiture, j'ai une force « F » qui est sur la voiture.

Mon système est maintenant la voiture. La voiture subit également des frottements au niveau du sol dont on va parler par la suite, qui vont être du coup, je vais mettre en violet parce qu'on ne voit rien, qui vont donc s'opposer aux mouvements voulus. Il va y avoir du « F prime » ici. On n'a pas le même parce qu'on n'a pas forcément le même coefficient de frottement 00:04:46 dans une minute.

Mais là, on se rend compte que si on arrive à faire que la force rouge « grand F » soit supérieure à la force du frottement au sol de ma voiture, pour ma caisse 00:04:58, on va arriver à faire accélérer la voiture. Donc, si la norme de « grand F » est supérieure, on va avoir une accélération pour la voiture. La voiture avance.

Etudiant:

Et nous, ce qui nous garde en équilibre par rapport 00:05:28 nous sommes en équilibre statique, et que la force de frottement... Ce qui fait que la personne est en équilibre statique avec le sol, c'est que la force de frottement sur nos pieds compense la force ?

2F :

Va compenser. Alors, ce n'est pas une couleur au sens 00:05:52. Mais là, c'est comme tout à l'heure, je disais, la réaction de la table compense le poids de mon sac, les forces de frottement. Alors, si on considère que je n'avance pas, je suis statique sur mon pied, c'est, les forces de frottement qui vont compenser la « moins F ».

Donc, réfléchissez-y encore un petit peu si vous voulez, vous en creusez en TD, vous aurez eu l'occasion de le refaire. Donc voilà. Mais, il y a moyen de pousser des choses dans la vie et de faire... On ne va pas réinventer la roue, mais on a au moins le moyen de faire avancer une caisse, c'est déjà pas mal. Oui ?

Etudiante:

Mais la 00:06:29

2F :

Alors, après il y a 00:06:37. Alors, nous en étions ce matin, nous avons évoqué, pour terminer, la force gravitationnelle. Et on avait retrouvé donc... quelque chose que je n'avais pas précisée que j'ai reprécisée après, à toi d'ailleurs puisque tu arrives juste au bon moment. Donc, on avait calculé la force d'interaction gravitationnelle entre un objet quelconque que vous avez appelé 00:07:14 et la terre.

Et on avait fait le calcul notamment, je vous avais dit, juste pour compléter vos notes, parce que je pense que c'est 00:07:22 comme ça. Donc, on avait dit à la surface de la Terre, la force entre un objet ressenti par un objet quelconque dû à la terre, je vous avais dit que c'était « moins G M de la Terre », « M 2 sur »..., on simplifie directement, histoire qu'on 00:07:46 vous l'avez ; « Rayon de la Terre au carré vu du centre du centre de la Terre vers l'objet ».

Et on s'était mis à calculer, je vous avais dit : si on calcule cette partie-là, on retrouve la valeur de « grand G », de « petit g » pardon. 00:08:14. Ce que j'ai omis de vous préciser parce que j'étais dans mon idée, c'est que quand je calcule « F2 sur Terre », encore une fois pour compléter l'analogie, « F ressentie par 2 dû à la Terre divisé par la masse de l'objet 2 ». Qui est-ce que je fais ici si je calcule ce qui est entouré ? Je suis en train de calculer l'accélération de l'objet.

C'est ce que me dit le principe fondamental de la dynamique puisque si mon objet n'est soumis qu'à l'interaction gravitationnelle, « $M_2 A_2$ égal F ressentie par 2 à cause de la Terre ». Donc, si je fais F sur M, je me retrouve à 2. On est d'accord. Donc en calculant cette chose-là, je suis effectivement en train de calculer l'accélération de la pesanteur. Donc, tout à l'heure, on a bien calculé l'accélération de la pesanteur quand on a montré que c'était égal au vecteur G.

Vous pouvez éventuellement compléter vos notes quand je faisais ce calcul-là. C'est « F 2 », alors si vous ne faites que ce calcul-là, c'est F2 en norme sur M2, qui correspond à la norme de l'accélération de l'objet. Et on retrouve l'accélération de la pesanteur. Est-ce qu'il y a des questions là-dessus ? Parce que comme il manque un petit bout. C'est les questions qui m'ont faite réaliser que ce serait clair de vos préciser ça.

Etudiant:

g, c'est la norme de l'accélération 00:10:08

2F :

« petit g » ?

Etudiant:

« petit g », c'est la norme ?

2F :

« petit g » est la norme de l'accélération de la pesanteur. Donc que tu peux bien reculer comme ça si tu veux le relier à l'interaction gravitationnelle générale. Donc, on a parlé de quoi ? On a parlé d'interaction gravitationnelle, on va maintenant parler de force électrostatique. Je vous avais dit c'est un petit peu le catalogue des forces.

C'est le numéro 2. Force électrostatique ou on appelle également force électrique ou Volt Coulomb pour les fans. Alors cette force-là, c'est la force qui va nous régir l'interaction entre deux particules chargées.

Donc entre deux particules chargées de charges Q_1 Q_2 , qui peuvent être de signe positive ou négative. Je ne m'en préoccupe pas. C'est algébrique Q_1 Q_2 . Je vais avoir une force qui va s'écrire tel que je vais vous la donner tout de suite.

Deux charges Q_1 et Q_2 , quand je vous dis Q_1 et Q_2 , positifs ou négatifs. On va avoir donc Q_1 Q_2 et on va les placer sur un petit schéma. On a l'objet 1, charge Q_1 , ici objet 2, charge Q_2 ici, et la force. Donc je me définis comme tout à l'heure « deux points » ça me définit la direction de la force.

Et je me définis au passage un petit vecteur unitaire, donc un vecteur de norme 1 qui va de 1 vers 2 de façon à écrire la force sous forme vectorielle. Je vais l'appeler « U_{12} ». Donc de la même façon que tout à l'heure. Et la force que ressent 2 due à la présence de 1.

Ça va être « $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} U_{12}$ ». Donc là-dedans, « D_{12} », c'est la distance entre 1 et 2. Qu'est-ce qui vous manque également ? « π » vous le connaissez ? Ceci est un π . « ϵ_0 », c'est ce qu'on appelle la permittivité du vide. Ou de l'air si vous préférez. ϵ_0 , ça va être $8,85 \cdot 10^{-12}$ Farad 00:14:19.

D'ailleurs, on pourrait définir simplement comme on avait tout à l'heure la constante « grand G », simplement une constante qui englobe tout ça. Et écrire « $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = k_c$ » où « k_c » donc c'est la constante qui vous permet de relier le produit des charges sur la distance au carré à la force. k_c , ce serait « $9 \cdot 10^9$ Newton. Newton par mètre carré moins 2.

Etudiant:

00:15:19

2F :

Farad par mètre. Et en fait, pour nous, pour l'instant, en tout cas jusqu'à votre deuxième année où vous ferez de l'électrostatique, vous aurez juste besoin de casser éventuellement, pour savoir simplement quelle est la valeur de cette constante ici que vous pouvez retenir. Que voulais-je dire d'autre ? Ah oui, important. Donc, on peut

aller dessiner sur notre petit schéma la force de 2, la force sentie par 2 due à la présence de 1. Elle va être dans quel sens ?

Etudiant:

ça dépend du signe ?

2F :

ça dépend, effectivement. Alors, regardons un premier cas où Q1 est positif, Q2 positif. Si Q1 est positif et Q2 est positif, Q1 Q2 est positif. Donc, je vais être selon U 1 2, « plus U 1 2 ». Donc ma force sentie par 2 due à la présence de 1, elle serait comme ça. On est d'accord ? De la même façon, enfin si je vais chercher ma troisième loi Newton pour avoir la force ressentie par 1 dû à la présence de 2, ça va être « moins F » ressenti par 2 lié à la présence de 1.

Donc, si je veux la dessiner ici, à l'endroit de la charge Q1, à l'endroit 1, je vais avoir une force qui est comme ça. Mes normes ne sont pas rigoureusement égales au tableau, ce n'est jamais facile. Là, vos deux charges sont de même signe, vous êtes répulsifs. 00:17:51. Si maintenant, je prends un autre cas où, tiens, 1...1...2...2... et tu prends Q1 négatif, Q2 négatif, un électron, un électron par exemple.

Comment se met ma force ? Je connais la direction 00:18:37. Vous allez regarder l'expression de votre force. L'expression de votre force, elle vous dit j'ai le produit Q1 Q2. Q1 négatif, Q2 négatif. Le produit des deux est positif. Si le produit des deux est positif, je suis sur « plus U 1 2 », encore une fois. Et de la même façon, troisième loi de Newton, ça marche, je peux retrouver la force ressentie par 1 liée à la présence de 2, deux charges négatives se repoussent. Répulsif encore.

Enfin, dernier cas, j'en ai une positive et négative.

Etudiant:

Quelle serait la formule « F de 1 vers 2 » ?

2F :

Oui ?

Etudiant:

- ça va être 0 :19 :41 il n'a pas changé.

2F :

de F. C'est juste que, soit tu va mettre un « moins » devant, soit tu va définir un autre vecteur unitaire, comme tu veux. Là, je me choisis une convention de départ et après je développe. Mais, on ne change pas en cours de route, sinon ça devient pénible. Encore une fois, Q1 Q2, cette fois on a un proton et un électron par exemple. Positif pour 1, négatif pour la deuxième charge.

Si je regarde le produit des charges Q1 Q2, c'est donc avoir un truc positif avec un truc négatif, ça me donne quelque chose qui est négatif. Donc je vais avoir quelque chose qui va être selon « moins U 1 2 », quelque chose de négatif fois U 1 2. Donc ma force que ressent 2 lié à la présence de 1, elle va pointer vers 1. Je garde toujours le même vecteur unitaire. Je ne l'ai pas écrit ici pour ne pas surcharger les dessins, j'ai toujours un vecteur unitaire qui va de 1 vers 2. Sinon, vous faites les calculs.

La troisième loi de Newton me dit ce que va ressentir 1 lié à la présence de 2, ça va être exactement l'opposé de ce que ressent 2 lié à la présence de 1. La force que ressent 1 lié à la présence de 2 est comme ça. C'est attractif. Donc le sens de l'interaction électrique, la force électrostatique vous est donnée, faites bien attention, par le produit des charges Q1 Q2. L'expression de la force elle-même, elle ne change pas.

Vous faites bien attention à ça parce qu'en fait au début on a tendance à s'emmêler avec les vecteurs et tout ça, les signes. Donc, entraînez-vous un petit peu. C'est cette même force qui était, qui nous donne, soit attraction, soit répulsion suivant le signe des charges en présence.

Autre façon d'exprimer cette force-là, si on veut faire un petit peu plus court, et c'est celle, c'est la version croisée entre les deux. On pourrait introduire, on pourrait rentrer dans une quantique. Oui, c'est vrai, j'avais oublié. On va encore s'amuser.

Vous pourrez rentrer à l'intérieur d'une quantité tout ce qui est compris dans la force à part Q2. Et mettre donc « $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} Q_1 Q_2 \frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}^3}$ ». Tout rentre là-dedans. Et dire que ça, ce serait Q2 fois une quantité vectorielle avec laquelle vous aurez le plaisir de jouer beaucoup quand vous ferez de l'électrostatique.

C'est le champ E qui est créé par la particule 1 à la distance D 1 2, champ électrique, à la distance D 1 2 créé par la particule 1. Donc à la distance D 1 2, ça veut dire à l'endroit où se trouve la charge Q1. Qu'est ce que je vais raconter d'autre sur le champ. Donc la charge Q1 en fait, ce que je dis ici, mais vous le reverrez encore une fois

00:24:28. La charge 1 que j'avais dessiné là-bas, elle crée en tout point de l'espace cette quantité-là, qui est un champ électrique.

Elle crée un champ électrique de forme 1 donc de cette forme-là qui fait que la charge Q2 subit l'effet du champ. Donc voilà, on peut aussi écrire donc la force comme simplement le produit de la charge par le champ électrique. Et, que voulais-je ajouter, ah oui, si vous avez un ensemble de charges par exemple 00:25:11, ça va sommer, mais ça va sommer vectoriellement. Il faudra faire bien attention comme le veut l'électrostatique.

Etudiant: 00:25:19

2F :

Ça dépend comment tu as changé ton truc, ce que tu regardes. Mais effectivement souvent, on va s'intéresser à des distributions de charges uniformes sur des volumes, des spires, des câbles, des ... voilà. Je ne redescends pas le tableau. Notez tous F, c'est ce qu'on appelle un Farad. C'est une unité en électrostatique.

Alors, ces deux interactions à distance, ça va être celles avec lesquelles principalement on va jouer ce semestre. Je n'en rajoute pas. Oui, je n'en rajoute pas parce qu'après, ça va devenir un petit peu compliqué. On va maintenant regarder un petit peu certaines forces de contact. Donc tout d'abord, une qu'on connaît bien puisqu'on en parle depuis tout à l'heure, c'est la réaction normale d'un support.

Alors qu'est-ce qui se passe ? Qu'est-ce que c'est que cette réaction normale du support ? Je l'ai vaguement dit ce matin. C'est simplement le fait que quand vous avez quelque chose qui est posé sur, voilà, sur une table, sur un plan, sur le sol. Ce quelque chose, quand c'est posé sur une surface, je pousse un peu la surface, donc je la déforme légèrement. D'une certaine façon même, si cette surface est très rigide.

Au final, du coup pour, parce que je presse sur cette surface, la surface va m'opposer une force de réaction, une réaction normale qui est perpendiculaire qui est perpendiculaire à la surface, qui repousse l'objet qui presse dessus. Donc si on regarde par exemple, donc lorsqu'un corps presse, presse sur une surface. Qu'on écrive au moins une fois la définition si je me lance après, je ne l'aurai jamais.

Quand un corps presse sur une surface, cette surface se déforme, enfin rigide ou non, cette surface se déforme un peu. Et pousse le corps avec une réaction normale R ou

FN, Force normale, qui est perpendiculaire à cette surface, qui est normale. Normale ou perpendiculaire, c'est la même chose.

Par exemple, enfin je vais prendre un truc un peu plus gros juste pour qu'on le voie, le sac sur la table comme ce matin. Le sac presse sur la table à cause de la force de gravitation qui attire le sac. C'est-à-dire que s'il n'y avait pas la table, mon sac tomberait. Donc le poids de l'objet, le poids de mon sac appuie sur la table. En retour, la table oppose une réaction à ça. Réaction à ça ou force normale.

Et comme notre PRD nous dit... donc le sac est sur la table. Comme notre PRD nous dit que le sac est à l'équilibre, donc comme la table sent quelque chose qui presse dessus, elle pousse le corps. Elle oppose donc une réaction normale au sac.

Et si on veut connaître la valeur de cette réaction, ce qu'on peut regarder donc c'est regarder ce que nous dit le principe fondamental de la dynamique. Alors je vais finir juste ici. C'est un peu en bas, mais bon. Qui nous dit, là mon sac, il est à l'équilibre statique. Donc somme des forces, il y a les 00:31:36 et il y a le 0. 00:31:43 système sac, du coup, je vais avoir P plus la réaction qui valent 0.

Du coup, je pourrais aller déterminer la réaction connaissant le poids de mon sac. Voilà. 00:32:19 je vais mettre au même endroit. Ça serait valable bien sûr si mon objet était en mouvement. Là, on a considéré un cas statique. Mais si mon objet était en mouvement, que par exemple j'ai mon sac qui repose sur le plancher d'un ascenseur qui accélère, il accélère aussi.

Etudiant:

Qu'est-ce qui accélère ?

2F :

Le sac. Il repose sur le plancher d'un ascenseur qui accélère.

Etudiant:

Qui accélère ?

2F :

Qui est en train de démarrer, dans un sens ou dans l'autre. Je pourrais également, donc c'est valable aussi si on est en mouvement, sauf que l'expression n'est pas la

même puisque si vous êtes en mouvement par exemple, le sac sur le plancher d'un ascenseur... le sac et le plancher sont bien en contact.

Etudiant:

00:33:59.

2F :

Oui, ça marcherait. Oui ça marche 00:34:06. Là, pour se simplifier la vie, on va juste prendre un ascenseur qui bouge verticalement, sinon il faut considérer 00:34:31 etc., c'est un peu pénible. Donc on va le faire après pour des choses un petit peu plus simples.

Donc là, l'ascenseur monte, descend, comme vous voulez, et votre sac est en contact avec le plancher de l'ascenseur. Votre sac est également accéléré avec l'accélération A . À ce moment-là, donc le sac presse d'une certaine façon sur le plancher de l'ascenseur.

Le plancher de l'ascenseur lui oppose une réaction normale. Mais à ce moment-là, nous sommes dans le cas où le sac est accéléré. Et donc on n'a pas la somme des forces est égal à 0. Donc là, par exemple, si vous voulez retrouver la force normale qu'applique, que ressent mon sac lié au plancher de l'ascenseur, ça nous donnerait 00:35:26.

Donc, tout ça pour vous dire que votre réaction normale, déjà, elle n'est pas toujours égale au poids. Deuxio, deuxième petit exemple pour vous dire une autre façon 00:35:53. Oui ?

Etudiant:

Et si l'ascenseur... Ah oui, là c'est plus facile. Si l'accélération de l'ascenseur est égale à g 00:36:03

2F :

Tout à fait 00:36:05 à 00 :36 :23. Oui effectivement, j'aurais dû préciser mon référentiel parce que ça peut prêter à confusion, très bonne remarque. Là, j'ai fait ça dans le référentiel du sol 00:36:29. À force de me mettre dans ce référentiel, j'oublie de le préciser.

Autre chose, si vous avez par exemple quelque chose qui presse sur le côté, sur votre surface verticale, est-ce que j'ai une réaction ou pas ? Est-ce que j'ai une force normale 00:37:05. On est bien d'accord ? Donc là, dans ce cas précis, la force normale va être horizontale. Elle va s'opposer à la force où je suis en train 00:37:16. Je pourrais faire encore une fois l'équilibre du tampon, mais horizontalement et retrouver ma force normale.

Donc, votre réaction de support, ce n'est pas toujours l'opposé du poids. Faites bien attention. C'est vraiment votre surface qui réagit à quelque chose qui presse dessus. Autre petite note 00:37:36 à 00 :37 :52. Donc là, je tiens à préciser encore une fois, une deuxième question qui me fait penser que je ne vous ai pas écrit ça au tableau. Quand j'écris cette équation-là, je suis en train de regarder le système du sac, ce qui m'intéresse à ce que ressort du sac.

Le reste... Alors, ce qu'on peut avoir d'autre comme force de contact qu'on croise énormément, c'est la tension d'un fil inélastique. Alors, c'est quoi son petit numéro ? B. Tension d'un fil inélastique. Alors, lorsque vous avez un fil qui est attaché à un objet et qu'on tire sur le fil, on tire cet objet avec une force qui s'éloigne de l'objet et qui suit la direction du fil.

Etudiant:

00:39:55.

2F :

C'est un bloc avec un fil. Donc, ça suit la direction du fil, donc je finis mon dessin qui n'aura plus l'air d'une casserole du coup, enfin j'espère. Donc si je veux faire apparaître la force sur ce dessin-là, c'est une force comme ça et elle est souvent notée T , tension du fil. Alors, le plus souvent, en tout cas pour démarrer, si on ne parle que de tension de fil, le plus souvent on prendra un fil qui est inélastique et de masse négligeable. En tout cas de masse négligeable devant la masse de l'objet.

Donc ce qu'on appelle la tension du fil si on me demande quelle est la tension du fil, c'est qu'on cherche la norme de 00:41:41. Alors, si on prend un fil qui est inélastique et de masse négligeable devant celle de l'objet, donc un fil sans masse, le fil ça va être juste une connexion entre deux corps, enfin de moi par exemple et ce que j'essaie de tirer, qui va transmettre intégralement la force. Et alors, il n'y aura pas de déperdition sur le fil.

C'est-à-dire si je tire d'un côté sur le fil, action réaction, je retrouve la tension du fil et je vais pouvoir retrouver tout de suite la tension qui est appliquée à l'objet, la tension du fil qui est appliquée à l'objet. Je dirai pour être plus clair, ça transmet intégralement la force avec laquelle on tire sur le fil.

Donc, si je tire sur un fil. Alors là, ça fait peur. Je crois que c'est mort. Et puis, ce n'est pas de la mécanique, je ne sais pas faire. Est-ce que vous êtes capables de suivre dans ces conditions ou pas ?

Classe :

Non.

2F :

Vous n'êtes pas capables d'écrire. Oui, on va se mettre des chandelles, ça va être super. Non, mais décidément on n'a pas de chance dans cet amphi-là. Donc, comment on va s'en sortir ? On ne va pas quand même faire cours en nocturne. Je voudrais bien voir les 00:44:04 au passage.

Etudiant:

Vous pouvez bien expliquer les choses et de mettre 00:44:06

2F :

00:44:09 les choses, mais on peut en causer. On en cause ensemble au moins. Alors ce qui est dommage... remarque, vous voyez au moins au moins si fais quelques petits dessins ?

Etudiant:

Il reste quoi à faire là ?

2F :

Alors là, j'avais quand même pas mal de choses à vous raconter parce qu'on a deux heures, donc il me restait encore une heure pour vous parler de frottements, de frottement solide, de frottement fluide.

Etudiant:

D'accord.

2F :

00:44:27 comme ça. Ce n'est pas facile sans vous écrire les choses. 00:44:33, au moins pour finir sur la tension T, est-ce que vous pouvez voir que je fais un petit schéma parce que ce n'est pas facile à comprendre ?

Etudiant:

Descendez de tableau alors.

2F :

Je vais vous descendre, oui. Alors. Ça m'apprendra à balancer les tableaux. Là, ça fait... Alors, juste, si vous arrivez au moins à me voir, il y en a un qui 00:45:16 à 00:45:54 Alors, c'est tricher. On commençait à se mettre dans des situations sportives assez marrantes. Ça fonctionne quand même. On n'a pas de lumière du tout. Oui, on a perdu les lumières. Ça va ? Tu arrives à voir ce que tu voulais voir maintenant au moins ?

Donc on parlait de tension de fil. J'aimerais bien quand même vous en parler un petit peu et en discuter un petit peu des choses dont je voulais discuter avec vous, de façon à ce que vous puissiez avoir des TD. Il y a un exemple que je vous retaperais ensuite, je vous le remettrais sur 00:46:54, même deux. Ça, il n'y a pas de problème. Et pour les forces de frottement, on va en parler ensemble et je vais vous donner les références du bouquin.

Comme ça, il n'y a pas besoin de prendre de notes en aveugle. Et c'est un petit peu pénible quand même. Donc, en tout cas, vous pouvez toujours essayer dans la pénombre. Je ne ferais pas confiance à mes facultés dans la pénombre. Ça fait très conférence. Dans les conférences, il n'y a pas de lumière dans la salle. Et ça fait vraiment 00:47:28. Pardon ?

Etudiant:

0:47:35

Etudiante :

Alors, ça on s'en fiche. On a déjà vu. Décidément je n'ai pas de chance entre l'alerte incendie et coupure de courant. Je pense que tu verras encore moins que, le contraste sera moins bon que blanc sur noir. On va faire des essais.

Donc, je vous disais tension d'un fil. Alors, on parle souvent de tension de fil et on prend des fils donc inélastique et de masse négligeable, donc sans masse. Dans un tel cas, je vous disais que le fil transmet intégralement la force avec laquelle on tire sur le fil. Qu'est-ce que ça veut dire ce truc-là ? Ça veut dire. Je reste à droite. Ça veut dire. Je vais avoir du mal à écrire de droite à gauche. Je vous fais quand même le cours en Français, mais pas en arabe. Et je serai bien incapable de le faire malheureusement.

Ça veut dire que si je suis de ce côté-là du fil et que j'impose une tension T au fil, alors l'orange je ne suis pas sûre que ce soit 00:49:35. Si j'impose une tension T au fil, je vais retrouver intégralement cette tension pour tirer mon objet. Que d'aventure, que d'aventure.

Alors, on retrouve... si effectivement, là je devrais dire « moins T », je suis en train de tirer sur le fil, comme ça. Je tire sur le fil, je lui applique la force T , il y a une réaction « moins T ». Et j'ai au niveau de mon objet, la force T qui est la même que la force en rouge, si vous arrivez à voir le rouge au niveau de l'objet. Donc, je transmets intégralement cette force au niveau de l'objet. Je le tire vers moi, il vient vers moi. Ça marche également, et c'est pour ça que je tiens à continuer un peu ce que vous en avez dans les TD.

Ça marche également si vous avez une poulie qui transmet la force. Si vous avez une poulie sans frottement sans masse qui fait glisser votre fil, vous devez être capable d'avoir au niveau de l'objet une force qui est transmise. C'est-à-dire que si je tire au bout avec une force T , mon fil va transmettre intégralement la tension du fil que j'ai appliqué ici au niveau de l'objet.

Et la poulie sans masse sans frottement va me permettre d'avoir un changement de direction sur la force appliquée. Donc ça transmet même si on change de direction à l'aide d'une poulie si celle-ci n'a pas de masse, sans frottement.

Alors il reste une heure encore. C'est pénible dans ces conditions. Donc là, je voulais représenter en mettant un objet sur une table, par exemple, et on tire avec une poulie pour faire avancer l'objet sur la table. On pourrait également simplement avoir une poulie et essayer de faire remonter un objet. Donc, j'essaierais d'appliquer une force T , et tendre mon fil ici, ma poulie transmettrait intégralement T qu'on retrouve là.

Si je veux le faire remonter, il faudrait que T soit plus gros que le poids là, dans ce cas-là. Voilà, donc ça marche aussi à la verticale. Un petit point d'ailleurs, si au lieu de prendre le système bloc et que je regarde quelle force ressent mon bloc, si je prends le système poulie, si je m'intéresse à ce que ressent la poulie.

Qu'est-ce qu'elle voit ? Qu'est-ce qu'elle ressent comme force ma poulie ? Ça peut intéresser les gens qui font... est-ce qu'il y a des gens qui font du sport de montagne, d'escalade ? Non, personne ? Dommage.

On parle de frottement, de corde, de pic. Donc qu'est-ce qu'elle voit la poulie ? Il va falloir aller chercher un petit peu la troisième loi de Newton pour trouver ça. La poulie, si je m'intéresse maintenant au système poulie, alors c'est juste en 00:53:43. Si je m'intéresse au système poulie, elle va se retrouver avec d'une part la tension T ici.

Etudiant:

On peut la mettre tangente, enfin tant que c'est tangente 00:54:00.

2F :

Alors là, c'est au niveau du contact. Si je considère que là, le truc que je dessine en pseudo-marron, c'est sur la poulie.

Etudiant:

Et de l'autre côté ?

2F :

Et de l'autre côté. Alors de l'autre côté, c'est le bloc qui ressent ça, que ressent le fil ? Alors, qu'est-ce qu'il y a sur le fil ? C'est « moins T », donc T à l'envers. Puisque je me retrouve avec encore T sur le fil.

Etudiant:

Mais si tu compenses, c'est l'accrocher au 00:54:37.

2F :

Effectivement, c'est pour ça que ta poulie ne tombe pas. Mais là, ce qu'on voit, c'est quand j'applique une tension T sur le fil ici, qui est-ce qu'elle est, ma poulie ressent 2 fois T . Et donc en particulier, si vous cherchez à faire, justement faire monter une poutre par exemple ou si vous êtes en train de pendouiller sur un mousqueton d'escalade, et vous avez intérêt à faire attention à l'endroit de l'attache.

Parce que vous avez deux fois la tension que vous mettez au fil. Alors, la suite, je vais vous la remettre sur Deed up parce que c'est un exemple, et je vous mets des exemples précis sur Deed up. Donc pas de panique, vous n'allez pas à écrire dans le noir. On va regarder justement la réaction d'un bloc sur un plan incliné sans frottement quand il est attaché au mur. Donc, on va avoir un plan incliné comme ça, avec un 00:55:55.

On a un bloc et il est attaché au mur. Le bloc, notre système ça va être le bloc. Et on va dans le référentiel terrestre, plus je 00:56:30. Alors, on va se demander c'est quelle est la réaction de ce corps et quelle est la tension du fil ? Donc quel est le bilan ? Donc on a défini notre système, on a défini notre référentiel. Essayons de réfléchir un petit peu aux forces qui s'appliquent à 00:57:35. Si je fais le bilan des forces, qu'est-ce que j'ai ?

Etudiante :

Le poids ?

2F :

Oui. Alors, il est orienté comment le poids ?

Etudiante :

Vers le bas.

2F :

Mais comme ça ? Donc comme ça, on est bien d'accord.

Etudiant:

La tension du fil.

Etudiante :

Et l'histoire de frottement ?

2F :

On n'en a pas, on a dit sans frottement.

Etudiant:

La tension du fil ?

2F :

On va avoir la tension du fil. La tension du fil, on a dit 00:58:05.

Etudiant:

D'accord.

2F :

Et ça s'éloigne de l'objet.

Etudiant:

Ça a une réaction normale à la tension.

2F :

Et on a la réaction normale du point incliné. 00:58:21

Etudiant:

On n'a pas aussi une réaction normale 00:58:30 perpendiculaire.

2F :

Ton système, c'est qui ?

Etudiant:

Pardon ?

2F :

Ton système, quel est-il ? Le bloc.

Etudiant:

Le bloc. Oui.

2F :

Donc, on ne regarde que le bloc. Et on ne s'intéresse pas à ce qui se passe ailleurs sinon on ne va pas y arriver. Donc, concentrez-vous, c'est pour ça que je vous dis qu'il est important de commencer par définir notre système parce que sinon on n'arrive carrément pas à réfléchir. Donc, on s'intéresse au système bloc. 00:58:10 effective à la réaction normale du support et la tension du fil simplement.

Alors, voyons ça, j'ai fait mon petit schéma donc j'ai fait mon petit schéma et je sais que je vais m'intéresser à la tension du fil et à la réaction du support, la réaction normale du support. Quel serait un système d'axe 00:59:37.

Etudiant:

00:59:42

2F :

Non, un système d'axe. 00:59:48. On va se prendre un X qui suit 00:59:59 perpendiculaire. Donc là vous voyez qu'une fois que j'ai posé mes forces, j'ai réfléchi un petit peu à avoir le système d'axe le plus simple pour traiter mon problème. Je prends un X, qui va comme ça, un Y comme ça, ils suivent les plan 01:00:20. Donc, on s'intéresse. Maintenant, on a fait notre bilan d'effort, si on a tout choisi, très bien.

Du coup, on 01:00:52. Le second principe, la seconde loi de Newton, principe fondamental de la dynamique 01:00:58 résultant des forces extérieures sur le système, sur le bloc égal la masse du bloc fois son accélération. Dans ce cas précis, je suis statique, donc mon accélération est nulle. Du coup, on va écrire donc la somme des forces vectorielles, plus T égal 0.

Etudiant:

On projette.

2F :

Bien maintenant, exactement, projetons. Sur X, qu'est-ce que ça va me donner ? Donc sur x, je vais avoir P_x plus $F_{PN X}$ plus T_x égal 0. Et sur y, la composante en Y du poids plus la composante en Y de la force normale plus la composante en Y de la tension du fil, c'est égal à 0.

Ca nous donne quoi ? Alors, on peut peut-être y aller progressivement si vous voulez ? Si je cherche à exprimer la composante, enfin le vecteur T tension du fil par composante. C'est-à-dire je cherche à écrire T égale quelque chose, sa composante en X fois U_x plus sa composante en Y fois U_y .

Etudiant:

Alors ce sera sa norme fois U_x ?

2F :

Oui. Norme de T fois U_x , $T U_x$. Si je veux la réaction normale, l'exprimer à partir de ses composantes. Donc là vous voyez qu'elle est strictement $01:04:04$, la direction de l'axe Y que je me suis choisie, et enfin le poids. Alors, on va l'appeler la force. Donc, on se retrouve avec P qui fait un angle α avec la verticale. On fait juste un petit schéma.

Donc, j'ai choisi mon système d'axe et j'ai P qui est, donc qui fait un angle α avec l'horizontale. Et donc pour mon bloc, si j'ai P ici, si je veux faire apparaître ici, on voit que P fait un angle α avec l'axe Y . On met le P ici. Donc si je veux sa composante en X et sa composante en Y , mon $\cos \alpha U_x$, je cherche d'abord la composante sur X .

La composante sur X , cette distance-là. Là, tu peux l'avoir simplement en disant, opposé sur adjacent ou... opposé sur hypoténuse ou adjacent sur hypoténuse. Je veux l'opposé d' α . Donc P_x , ça va être quelque chose en $\sin \alpha$, certes. Maintenant plus ou moins.

Etudiant:

Moins ?

2F :

Moins, parce que je vais avoir quelque chose qui fait comme ça quand je fais U_x . Donc je vais avoir du « moins P » $\sin \alpha U_x$. Et sur U_y , je vais retrouver celui-là que je vais multiplier par U_y . Je vais avoir deux vecteurs de telle façon à avoir P_y plus P_x , enfin $P_y U_y$ plus $P_x U_x$ me donne le vecteur P . Cette distance-là, ce serait norme de P fois $\cos \alpha$. Je veux qu'elle soit dans le sens inverse de y . Moins $P \cos \alpha U_y$.

Donc je me retrouve à écrire P composante pour le $01:08:07$. Donc, il n'y a rien pour la force normale en x , et je me retrouve donc avec « moins $P \sin \alpha$ plus T égal 0 » ; et du « moins $P \cos \alpha$ plus FN égal 0 ». Donc là, la difficulté ici, c'est principalement projeter. Une fois qu'on a ça, on est tranquille. Donc gardez à l'esprit parce que je vais l'effacer.

On va avoir la réaction du support à la tension du fil. Donc, si je fais la réaction du support et la tension du fil, on a déjà établi que la tension du fil, elle était purement

selon l'axe U_x que j'avais choisi. Et la réaction normale du support, elle était purement suivant l'axe y que je m'étais choisi.

Donc, il me reste à déterminer simplement la norme de la tension et norme de la force normale. On voit que là, on va bien y arriver parce que si on connaît la masse de notre objet, eh bien simplement 01:09:24 $T \text{ égal } P \sin \alpha$ 01:09:42. Et $F_N T \cos \alpha$. OK, tout va bien. Si maintenant je coupe le fil, quelle est l'accélération du bloc ? Je coupe le fil, quelle va être donc l'accélération du bloc ?

Etudiant:

Pour les mêmes équations, sans la tension ?

2F :

Sans la tension et qui ne vont pas être égal 0. Donc si on coupe le fil, on n'a plus de tension de fil. On se retrouve simplement avec le poids et la réaction du support. On n'a toujours pas de frottement... On verra juste après. Le prochain exemple est un bloc avec frottement.

Etudiante :

Mais après, c'est 1 :11 :16 ?

2F :

Alors, on parle de chute libre quand on est soumis à son poids. 01:11:29 donc on n'est pas en chute libre, ce n'est pas 01:11:34. Donc, on avait la réaction du support, mais on veut connaître l'accélération du bloc. Mon PRD, je laisse parce qu'il est toujours valable. Désolée.

Donc le PRD veut dire encore une fois somme des forces extérieures applicables au système bloc, est égal à la masse du bloc fois son accélération. Et donc je sais T plus R la réaction du support, ça va être égal à 01:12:20. Donc, si je veux réécrire ça sur les composants, tiens j'ai bien fait de les laisser du coup, ça fait moins de travail. Je projette mon poids encore une fois en suivant mon système d'axes.

Je me retrouve avec du « moins $P \sin \alpha$ », pour la composante en x , égal à $M A_x$. Et « moins $P \cos \alpha$ plus F_N » décidément, je ne peux pas la nommer celle-là, c'est un blocage. $T M A_y$. Pardon. Que puis-je dire de A_y ? A_y donc ça va être la

composante selon Y de mon accélération. À votre avis, est-ce que votre bloc va bouger selon l'axe y ou pas ?

Etudiant:

Non.

2F :

Effectivement. Merci de meugler la réponse. Egal 0. Selon y, le bloc ne bouge pas. Et donc l'accélération, la norme de l'accélération va être égale uniquement à sa composante en x, que je peux retrouver. Et je peux retrouver A_x déjà que là pour l'instant, c'est tout ce qui m'intéresse. Ça va être « moins cosinus alpha sur M moins $G \sin \alpha$ ». Et donc si je veux A, la norme de l'accélération, j'ai $\sin \alpha$. Mon bloc tombe en glissant, en suivant la force. Abandon de devant l'ombre ?

Donc, ce petit exemple étant traité, on va maintenant passer à 01:14:46 à 01:14:49 ça y est, on va y aller. On va mettre du frottement. Donc, qu'est-ce que c'est que ce qu'on appelle la force de frottement solide ? Alors, qu'est ce que c'est que ces forces de frottements ? Donc jusqu'ici, on a soigneusement évité de se préoccuper des frottements, vous avez remarqué parce que c'est beaucoup plus facile de réfléchir sans.

Mais plutôt elles sont relativement évitables... inévitables, pardon, dans la vie de tous les jours. Par exemple, on avait pris ce tout premier exemple quand on avait dit quel est le mouvement naturel, etc. Je vous avais dit si je lance un livre sur ce bureau, il va s'arrêter. La force de frottement, c'est la force qui est responsable de l'arrêt du livre.

Alors oui, ça a l'air un petit peu embêtant parce que force de frottement, on se dit tout de suite, c'est quelque chose qui s'oppose aux mouvements. Donc dès que je fais fonctionner un moteur, c'est embêtant. Dès que j'essaie de faire voler un avion, c'est embêtant. Dès que j'essaie de frotter contre le sol, c'est embêtant. Mais sans frottement, comme on l'a vu avec l'exemple de la voiture tout à l'heure, on serait complètement cuit.

C'est-à-dire que si j'essaie d'avancer comme ça sur un sol et qu'il n'y a pas de frottement, je ne peux pas avancer. Vous avez déjà patiné sur du verglas ? Qu'est-ce qui se passe ? Non, on patine. On arrive quand même... on n'est pas sur une surface infiniment sans frottement. On arrive à trouver quelque chose, à se déplacer de façon

à ne pas trop être embêté, mais si on essaie de courir dessus, voilà, de courir, ça met en mouvement. Courir dessus donc si on essaie vraiment d'appuyer sur le verglas, on patine.

S'il n'y a pas de frottement aussi, vous ne pourriez pas tenir votre stylo. Là, quand je le tiens, c'est bien parce qu'il y a des frottements que j'arrive à le tenir. Il n'y a rien qui ne l'empêche de tomber. C'est parce que je presse dessus et qu'il y a des frottements. S'il n'y a pas de frottement, je tombe. Donc ce qu'on va faire, là tout de suite, c'est qu'on va s'intéresser d'abord aux frottements solides.

C'est-à-dire les forces de frottement qui interviennent quand vous avez deux surfaces en contact. Donc que ces surfaces soient statiques ou en mouvement. Pour comprendre un petit peu de quoi on parle ici, on va se prendre plusieurs petits exemples. Puis, on va essayer de réfléchir progressivement à qu'est-ce qu'est la force de frottement dans chacun des cas.

Alors, tout d'abord, on va se faire quelques petites expériences donc. On va prendre un bloc immobile, encore un bloc oui. « Moins $P \sin \alpha$ », oui je suis d'accord, « plus T », ça c'était à l'équilibre. Et ensuite, je me trouve avec « Moins $P \sin \alpha$ égal $M A_x$ ». Et il n'y a plus 01:18:43.

Ah oui, c'est parce que c'est mal effacé. Il faut rester longtemps avec le prof parce que si ça efface mal après. On m'a dit attendez, n'effacez pas et du coup ça fait des messages trop bizarres. Un cadavre exquis de cours de physique. C'est excellent. Donc, je vous remets juste la fin. Voilà ce qui vous reste.

Etudiant:

Vous allez 01:19:11.

2F :

Celui-là, oui. Si j'ai du temps ce weekend. Donc, vous verrez arriver d'ici mardi. Et celui-ci aussi d'ailleurs. Je pense pour vous causer un peu des frottements parce que comme vous ne pouvez pas bien prendre des notes là 01:19:27. Donc, on va se faire quelques petites expériences de pensée. Tout d'abord, maintenant, on pose un bloc sur une surface avec frottement, comme ce qui se passe dans la vraie vie. Premier cas, mon bloc est immobile. Donc bloc immobile, je ne tente rien avec. Est-ce qu'il y a frottement ou pas frottement ?

Etudiant:

01:20:23 oui.

2F :

Ce que j'appellerais une force de frottement, la friction.

Etudiant:

La friction ?

2F :

Force de frottement.

Etudiant:

01:20:33

2F :

Je ne te demande pas s'il y a contact, je te demande s'il y a frottement. Donc j'ai un bloc sur une surface, là je suis dans la 01:20:43 de tous les jours. Je ne suppose rien de spécial. Et je n'y touche pas pour le moment.

Etudiante :

S'il y a contact, il y a force de frottement ?

2F :

S'il y a contact, il y a contact. Maintenant, je cherche à voir apparaître la force de frottement. Quand est-ce qu'elle apparaît ? Là si je fais le bilan des forces sur mon bloc. Un bloc immobile posé sur la table comme cette boîte qui est posée sur la table. Qu'est-ce que j'ai comme force 01:21:13 ?

Etudiant:

C'est le poids ...

2F :

Le poids, la réaction du support. Il y a quelque chose ou pas quelque chose ? Qui me dit qu'il y aura quelque chose ? Pourquoi ?... 01:21:38 il y aurait quoi ?

Etudiant:

Il y a deux forces de frottement 01:21:54, non ?

2F :

Non, il n'y a rien. Tant qu'il n'y a pas de mouvement, il n'y a pas de friction, il n'y a pas de frottement. Là vous avez juste P et R. Et on peut se rendre compte aussi, tu vois c'est... enfin je comprends qu'on ait envie de mettre des frottements tout de suite parce qu'il y a contact. Il y a effectivement un contact, et en plus on a déjà la réaction normale du support.

Donc il y a quand même une certaine force de contact qui est liée à la table, il y a quelque chose. Par contre, c'est une façon d'en convaincre à posteriori de te dire, mais horizontalement là, il ne se passe rien. Mon bloc reste immobile. Donc, on aura éventuellement deux options. Des forces de frottement comme ça opposées, mais qu'est-ce qui pourrait faire que des forces opposées 01:22:51.

Etudiant:

La stabilité ?

2F :

Un peu bizarre. Donc à priori, ça ne marche pas trop. Donc quand il n'y a pas de mouvement, pas de force de frottement. Je commence maintenant de tenter de faire bouger ma boîte. Je commence à le pousser, doucement. Donc, on pousse un peu, horizontalement. Donc là, ce que j'ai dit tout à l'heure, c'est quand le bloc est immobile et que je n'ai aucune force dessus, aucune autre force horizontale dessus, aucune force horizontale, je dis il n'y a pas de frottement.

Maintenant, je reprends mon bloc. Il y a son poids, il y a la réaction, comme tout à l'heure. On a expliqué à quoi 01:24:21 que ça change, et donc je rajoute une force, je le pousse un petit peu. Alors, les autres, je les pousse un peu pareil. Je le tire un peu, je le pousse un peu, je mets la force de ce côté-là. Le bloc est toujours immobile. Frottement ou pas frottement ?

Etudiant:

Oui.

2F :

Là oui. Là, oui parce que je tente de faire bouger mon bloc. Donc d'une certaine façon, on parlait tout à l'heure de friction. Il y a friction. Donc je commence à pousser un petit peu la boîte, il y a une friction. Elle se passe comment ? Et à quoi ?

Etudiant:

Elle est de même norme que F_1 .

2F :

Elle est de même norme que F_1 , et de sens opposé. De telle façon que la somme de mes forces est égale à 0. Il reste immobile. Il reste à l'équilibre statique.

Etudiant:

Et dès que le bloc est en mouvement à vitesse constante ?

Etudiant:

On va y venir, petit à petit. Là, on va pousser encore plus fort, ça ne bouge toujours pas. On pousse encore plus fort, ça ne bouge toujours pas. Qu'est-ce que je peux dire de ma force de frottement ?

Etudiant:

Elle est toujours égale à ...

2F :

Elle est toujours égale en norme, effectivement, à la force que j'applique. Donc si j'applique une force plus grande sur mon objet... Donc là, je parle de bloc toujours immobile, j'applique une force F_2 qui est plus grande que F_1 , effectivement je vais avoir une force de frottement qui va être plus grande et qui va être telle que la norme de F est égale à la norme de F_2 . Une drôle de bête cette force de frottement.

On va arriver à le déplacer. Donc justement, puisqu'à la demande générale, la friction donc là et F_2 se rencontrent, c'est très bien. Et on finit par pousser encore plus fort puisqu'on arrive enfin à faire bouger le bloc. On arrive à faire bouger le bloc. Qu'est-ce qui se passe ?

Etudiant:

La norme de F_2 a dépassé celle de ...

2F :

Alors, prenez une F3 parce que tant que vous poussez avec F2, on n'arriverait pas à le faire bouger.

Etudiant:

La norme de F3 arrive à dépasser la norme de F ?

2F :

Alors, on ne va pas s'intéresser, donc on arrive effectivement à appliquer une force telle qu'elle dépasse le maximum du frottement statique. Si maintenant j'applique F3 qui est suffisamment grande, j'ai toujours R et P. Qu'est-ce que je vais pouvoir dire de ma force de frottement de l'autre côté ? Donc maintenant le bloc est en mouvement. Le bloc, j'arrive à le mettre en mouvement.

Etudiant:

Elle est nulle ?

2F :

Ce serait trop beau. Et puis ce serait difficile aussi pour certaines applications. Mais ça serait pas mal oui si dès qu'il y avait un mouvement, il n'y ait plus de frottement. Ce serait bien. On aurait des moteurs vachement plus efficaces, des tas de choses comme ça. Donc, bloc en mouvement, qu'est-ce qui nous reste en force de frottement. Oui ?

Etudiante :

Est-ce que ça veut dire qu'il y a une force, je ne sais pas comment dire la suite,
01:30:01

2F :

Quand le bloc est en mouvement, il y a toujours une force de frottement. Il y a toujours une force de frottement, mais ce n'est pas la même. C'est du frottement cinétique. Et on va avoir une force de frottement plus petite. Donc on va avoir un frottement cinétique ici qui est plus petit, voire nettement plus petit que le frottement statique.

Donc le frottement est toujours là quand on est en mouvement. Là, F3 est nettement plus grande que le frottement cinétique, donc là je suis en train d'accélérer mon bloc. La résultante des forces sur l'horizontal est telle que je suis en train d'accélérer mon bloc par là. Et donc le bloc se met en mouvement, enfin le bloc est en mouvement et

accélère. Alors, pour résumer ce que tu disais et qui est très bien vu, qu'est-ce que ça veut dire si je regarde ma force de frottement, si j'essaie de mesurer ma force de frottement.

Si je m'amuse à faire un graphe où je fais orienter l'intensité de F et je regarde ensuite ce qui se passe. D'ailleurs, je vais mesurer « petit f » en fonction de la norme de la force que j'applique sur bidule, sur le bloc. Oui, on ne va pas faire une droite parce que ce n'est pas vraiment comme ça. On n'est pas loin d'une droite, mais ce qui se passe, c'est que vous voyez que dans un premier temps, plus vous poussez, si ça reste immobile, plus votre force de frottement augmente.

Donc on aurait quelque chose, donc pas de force, pas de frottement. Et plus on pousse, plus ça augmente. Linéairement effectivement, on ne dirait pas une droite. Jusqu'à ce qu'on atteigne une valeur seuil pour laquelle on arrive à mettre le bloc en mouvement. À ce moment-là, on change de régime, et on passe à une valeur cinétique beaucoup plus petite. Donc c'est ce qui se passe. Eh bien à un moment donné, vous atteignez une valeur seuil pour que votre intensité F dépasse F à une valeur seuil, effectivement, ça serait 01:33:21. Et retombe à un frottement cinétique qui est beaucoup plus petit.

Donc, il y a un maximum au frottement statique qu'on peut atteindre et dépasser. Et une fois que le bloc est en mouvement, vous êtes face à un frottement cinétique qui est faible que votre frottement statique. Donc, il y a deux cas à considérer quand on parle de frottement. Le cas où vous êtes statique et le cas où vous êtes déjà en mouvement, le cas cinétique. Dans le cas, ensuite avec mon bloc, donc là, elle accélérât, j'atteins une certaine vitesse V que je veux conserver. Vous avez tout à fait raison. La remarque était tout à fait juste. C'est quand vous êtes immobile, ici, je vais jouer sur les axes, oui.

Vous êtes en frottement statique, et effectivement à la pente qui est là, j'aurais dû la dessiner à 45° ou préciser les valeurs sur mes axes. Si on ne précise pas l'échelle sur les axes, on ne peut pas dire vraiment grand-chose. Mais, ce que je voulais juste vous faire apparaître ici, pas forcément quelque chose de plus que ça. Donc, vous avez bien une pente à 45° mais ce que je voulais bien faire apparaître ici, c'est que vous avez une force de frottement statique qui augmente avec comme vous le disiez la force de traction qu'on applique à l'objet.

Et on peut atteindre un seuil, de le dépasser, et à ce moment-là, mettre en mouvement le bloc. Et dès qu'il est en mouvement, ce n'est plus le frottement statique qui intervient, mais un frottement cinétique qui est plus faible.

Etudiant:

Si 1 :36 :06 le principe fondamental de la dynamique 1:36:09 puisque là, accélération plus pente 1:36:10

2F :

Alors justement, voyons ça. Donc là, vous voyez que si je fais F_C plus F_3 , la résultante, c'est une force qui va par là. Donc, je suis donc en train d'accélérer mon bloc. J'accélère mon bloc. J'accélère mon bloc jusqu'à atteindre une vitesse V que je veux conserver. Qu'est-ce qui se passe dans ce cas-là ? Qu'est-ce que je dois faire pour qu'il reste à une vitesse V constante mon bloc ?

Etudiant:

A réduire F_3 jusqu'à F_C ?

2F :

Exactement, on va réduire F_3 jusqu'à atteindre exactement la norme de F_C . Les deux vont se compenser. On va être en mouvement rectiligne uniforme sur la 01:37:02 sur mon bloc, sur un autre. Donc, si on veut maintenant ...

Etudiant:

Ça rejoint un peu ce que disait Newton, si on applique...

2F :

J'espère bien qu'on respecte la loi Newtonienne.

Etudiant:

Mais en transmettant une vitesse, l'accélération à l'objet, la poussée 1:37:27

2F :

Que veux-tu dire ? On pourra en causer après le cours si tu veux, si tu n'as pas les idées claires sur... Donc, on accélère l'objet dans ce cas-là. Maintenant, si je veux, j'atteins V et je veux conserver la norme de V . C'est-à-dire qu'on va être en mouvement rectiligne uniforme.

Du coup, dans ce cas-là effectivement, je vais faire réduire l'attraction, la force que j'appelais F3 ici, je vais passer le F3 F4 pour avoir l'attraction qui compense exactement le frottement cinétique. Donc, si je fais un petit schéma du bloc, qui se déplace, 01:39:06 la réaction semble basse en générale. La force F4, 1:39:37 dans ce cas-là, la résultante des forces est nulle. Je reste en mouvement rectiligne uniforme. Oui ?

Etudiante :

Vous avez écrit 01:40:03

2F :

Ceci est un A. On passe de F3 à F4. On va diminuer progressivement l'attraction de façon à atteindre une nouvelle force F4. Donc ici, on a vu apparaître deux choses... Où elle est ma collègue ? Je crois qu'elle voulait vous causer à la fin du cours. On finit juste là-dessus et on continuera après la semaine prochaine. Donc, on voit apparaître deux choses ici. Je vous avais dit, on voit apparaître le frottement statique FS et le frottement cinétique que j'ai appelé FC.

Alors, qu'est-ce que c'est ces deux bêtes-là ? Ça vient quand même de la même chose. Alors, on a vu que l'amplitude de FC, ce n'était pas la même chose que FS. Le frottement cinétique est plus petit que le frottement statique. Mais c'est quand même lié à la même chose tout ça. C'est lié au contact de vos deux surfaces, l'une avec l'autre.

Si on regarde ça au niveau atomique, donc vous avez deux surfaces même très lisses. Au niveau atomique, vous avez des petites aspérités. Vous avez des petites... si je regarde la surface au niveau atomique, vous avez de petites aspérités. Donc là, j'aurais par exemple la 01:41:50. Ce qui se passe, c'est que mes atomes, si mes deux surfaces étaient infiniment propres, infiniment plates, pour faire simple, les atomes seront en contact direct.

Alors, quand je dis infiniment propres, c'est-à-dire que non seulement c'est propre et c'est lisse, mais en plus vous avez mis ça sous vide pour faire dégager vos surfaces, etc. C'est difficile. Si vous êtes infiniment propres et infiniment, voilà, infiniment lisses, vos atomes sont directement en contact les uns avec les autres, enfin, ils sont directement en interaction les uns avec les autres. Et ça vous colle carrément la

surface parce que vous avez l'interaction des atomes les uns sur les autres comme vous les avez dans un solide. Pardon ?

Etudiant:

C'est des deux côtés ? Chargés, on va dire neutre des deux côtés. Il n'y a pas de
1:43:05

2F :

On est au global neutre. Mais, dans une liaison atomique, les électrons se baladent. Donc, on va essayer de rester tranquille en surface d'autant que ce n'est pas ma spécialité. Mais, ce que vous avez c'est qu'effectivement si c'est infiniment propre, c'est exactement sans aucune altération. C'est comme si vous aviez une autre tranche du solide. Donc en gros, vous êtes complètement collés l'un à l'autre, au niveau atomique si c'est infiniment propre. Alors, le truc est d'avoir quelque chose d'infiniment propre. Ce n'est pas trop possible.

En général, c'est plutôt comme ça. Et donc, vous avez des contacts à certains endroits qui correspondent aux contacts justement de ces fameuses aspérités à certains endroits les unes avec les autres. Par exemple, comme ça, comme ça, j'en aurais là et là. Et voilà. 01:44:10 histoire d'avoir quelque chose. Je pourrais avoir un contact ici.

Alors, heureusement que ce n'est pas infiniment propre parce que là, je veux dire, c'est comme si on avait un seul bloc que deux objets. Là, on a quelques points de contact, et donc on a quelques points de liaison. Quelques points de liaison qui font que ça résiste. En fait, il faut casser cette liaison-là, d'une certaine façon, pour arriver à faire bouger les deux objets l'un par rapport à l'autre.

Etudiant:

1:44:40 les liaisons d'attractions.

2F :

Ils s'attirent.

Etudiant:

Ils s'attirent 1:44:42 des chargés...

2F :

Electrostatiquement parlant.

Etudiant:

Interaction forces électrostatiques quoi ?

2F :

Interaction en partie. Je vais dire une bêtise si je dis tout, mais en partie. Donc, on a des points d'interaction à certains endroits. Ils sont en contact. Ils sont collés. Quand vous êtes en frottement statique, il faut arriver comme je vous le disais à décoller ces différents points d'interaction. C'est pour ça que c'est difficile. Votre frottement statique va vous pousser, vous pousser, vous pousser et 01:45:20 jusqu'au moment où vous poussez, vous arrivez à dépasser la liaison entre les points de contact.

Ensuite, pourquoi c'est plus faible quand on a dit frottement cinétique ? Parce que les deux surfaces vont bouger l'une par rapport à l'autre. Donc là, c'est deux surfaces régulières vont bouger l'une par rapport à l'autre. Et les points de contact vont arriver de temps en temps, ils vont avoir certaines opportunités en fait de se rencontrer et ne vont pas être aussi fixées.

Etudiant:

S'attirer quoi.

2F :

Ce n'est pas une interaction à distance. C'est plus que tu vas changer les points de contact et de temps en temps, tu vas en avoir certains qui vont rencontrer, qui vont faire ça. Si ça bouge un petit peu là sur le côté, tu vas rencontrer peut-être celui-ci ici, celui-là va être dans un trou, celui-là va être plus loin. Donc ça va changer les points de contact. Et il y aura une certaine probabilité qu'il y ait des contacts, mais qui ne sera pas aussi grande que quand vous êtes statique.

Du coup, il y a une nouvelle interaction, enfin, c'est toujours la même, mais ce n'est pas au même endroit. Donc du coup, votre frottement cinétique est plus petit que votre frottement statique parce que là, vous n'avez pas tous les points de contact, mais vous avez certains qui vont, au cours du mouvement, se rencontrer en gros. Voilà, ça c'est un peu pour vous expliquer un petit peu avec les mains. Qu'est-ce qu'il y a derrière cette force de frottement et surtout vous faire remarquer que la force de frottement statique ou cinétique, c'est la même chose au niveau atomique. C'est des contacts au niveau atomique. C'est des contacts de vos deux surfaces.

Il n'y a rien de magique là-dedans. Mais toutefois, pour nous, pour pouvoir travailler en mécanique, on ne descend pas au niveau atomique, mais on définit ces forces de façon macroscopique. Et je vous donnerai ça la semaine prochaine. Je vais laisser la parole à ma collègue qui voulait vous interroger. Je t'en prie. Pour lui laisser cinq, dix minutes.

Etudiant:

Si c'est infiniment propre, donc il y a encore des interactions électrostatiques. Et si on avait quelque chose de chargé négativement...

2F :

Là quand j'ai dit infiniment propre, c'est justement que je trouve toutes ces aspérités. D'ailleurs, dès que tu as même, voilà dès que ta surface est au contact de l'air, il y a des atomes l'oxygène et autres qui vont se mélanger avec les atomes à la surface. C'est, par exemple, un bloc de fer pur, ce n'est pas que du fer. C'est un peu oxydant.

Etudiant:

OK. Et autrement, il faut faire une surface chargée positivement et l'autre négativement et il n'y a pas de frottement ou il y aura toujours des ... ?

2F :

1:49:04 Si tu fais positif-positif par exemple, tu prends 2 01:19:07 chargées, elles se mettent en contact. S'il n'y a pas de contact, il n'y a pas de frottement, si elles se repoussent suffisamment. Par exemple, si tu prends un petit morceau supraconducteur et que tu le mets 01:49:23 c'est le principe des trains en supraconducteur. Justement donc, ils sont ...

Etudiant:

Supraconducteur, on le fait passer un courant ?

2F :

Alors, le supraconducteur, on le fait passer au courant.

Etudiant:

Ça crée un champ magnétique.

2F : voilà.

4 sesión

2F

Comme je vous le disais à l'instant, n'oubliez pas cet après-midi, donc on a un cours de 16h à 18h en up de façon exceptionnelle, on en a deux semaines de suite puisque la semaine prochaine donc il y avait 3h30 de cours 00:07:38. Donc on rattrape 2h de cours cet après-midi. Très bien. Ce qui est carrément pénible 00:08:23. Pour ceux qui viennent d'arriver, attention cet après-midi, il y a un cours supplémentaire en rattrapage 00:08:56. Donc la semaine dernière, malgré les aléas, nous parlions de force de frottement quand on s'est arrêté. Donc on avait notamment réfléchi à qu'est-ce que c'est que la force de frottement.

La force de frottement dans un cadre statique et dans un cadre cinétique. Dans ce qu'on avait vu de ce qu'on avait plus, c'est que la force de frottement en fait, ça vient du fait qu'il y ait des interactions entre les deux surfaces qui sont l'une sur l'autre. Et que 00:09:25 contact au niveau moléculaire, au niveau atomique, ça résulte en une force de contact qui résiste en fait aux mouvements. Et donc ce qu'on avait vu, on avait vu deux choses. On avait vu que plus lorsqu'un objet est statique, on avait une valeur maximale de cette force de frottement qui devait être vaincue pour mettre l'objet en mouvement.

On avait vu également que plus l'objet presse sur la surface, plus cette force de frottement est forte. Je ne sais pas si elle était bien claire ce que 00:10:01. On avait évoqué 00:10:03 ces forces de contact. Et puisque, ce que je vous avais dit c'est que si on presse dessus, plus on augmente le contact entre les deux surfaces, et donc plus la force de frottement est grande. Donc de tout ça, pour comprendre un petit peu, on allait tirer deux choses.

Lorsque l'objet est immobile, donc lorsque l'objet ne bouge pas et qu'on essaie de le faire bouger, la force de frottement statique vient à l'œuvre et on peut écrire que cette force de frottement statique maximale, il faut voir où vous en êtes ... l'objet en mouvement peut se modéliser par μ_s de coefficient de frottement statique, soit F_N , la norme de F_N , la réaction normale du support.

Donc la présence de F_N ici ça met en jeu le fait que plus on presse entre les deux surfaces, plus vous augmentez le contact, plus il y a de frottement. C'est 00:12:24 d'une certaine façon, de façon globale le contact qu'il y a entre les deux surfaces.

Donc, vous aurez par exemple une étape 00:12:36, vous aurez un certain 00:12:38 de frottement statique si vous avez du beurre sur de la glace ou du caoutchouc sur de la glace, vous avez un autre coefficient de frottement statique. C'est mesuré. 00:12:46. Et en général, on mesure ou on vous donnera une manière de le retrouver dans l'exercice.

Autre version de la force de frottement, pour la direction de cette force... puisque la direction de cette force, elle s'oppose donc à la force qui essaie de le mettre en mouvement... À partir du moment par contre où nous sommes en mouvement, il y a déjà une vitesse. La force de frottement, je vous le disais l'autre fois, oui ?

Etudiant

00:14:24

2F FS Max est la norme de frottement, de la force de frottement statique maximale. Celle qu'il te faut avoir pour arriver à mettre l'objet en mouvement. Si tu étais là au dernier cours, et si tu as 00:14:41 malgré le problème qu'on a eu. Si tu te rappelles bien, on avait essayé de réfléchir un petit peu à qu'est-ce qui se passe pour mettre quelque chose en mouvement.

Ça veut dire si j'applique une petite force, est-ce qu'il y a du frottement ? Oui, et elle s'oppose à la force que j'essaie de mettre. Ce qui fait que mon objet reste à l'équilibre. Puis, je vais mettre une force plus grande. Si je mets une force plus grande, elle s'oppose encore à la force de frottement qui là, du coup, est un peu plus grand, etc. Mais il y a bien à un moment donné, on met une force suffisamment grande pour mettre l'objet en mouvement.

C'est ce moment précis que je regarde quand je parle de FS Max. C'est la force de frottement statique maximale qu'on peut modéliser comme ça. Sinon vous êtes obligé de faire l'équilibre de votre objet, etc., c'est égal à la force que vous appliquez. Donc, la force maximale de frottement statique que vous allez prolonger en contact avec un 00:15:34 peut s'écrire donc μ_s Coefficient de frottement statique fois la réaction normale du support que j'appelle FN. Donc réaction normale du support, c'est la façon dont on presse entre les deux surfaces.

Alors, maintenant quand l'objet bouge et qu'il a une vitesse initiale, on a une autre façon de résister à force de frottement. Cette force de frottement, on avait vu justement dans l'optique d'expérience de pensée qui est plus faible. La norme de FC est plus

faible que la norme maximale de la force de frottement statique... Et on peut écrire que la norme de FC, donc on a 00:16:38 que la force de frottement cinétique 00:16:45 coefficient de frottement cinétique fois, encore une fois, la réaction normale du support. Il est également 00:17:08 et c'est également quelque chose qu'on va aller mesurer. Alors, si on s'intéresse maintenant à la direction que doit avoir la force de frottement cinétique, elle s'oppose au mouvement. C'est-à-dire qu'elle est en sens inverse de V . C'est-à-dire qu'elle a tendance à freiner votre objet. Donc sens inverse de V . Donc, par exemple, je vous disais tout à l'heure, les coefficients de frottement qu'ils soient statiques ou cinétiques, ça se mesure.

Par exemple si vous prenez le coefficient de frottement statique entre du poêle Tefal et des œufs sur votre poêle Tefal, c'est de l'ordre de 0,4. Une chaussure de montagne et du granite, une semelle de fibranne et du granite, c'est 1,2. Donc en général, c'est compris entre 0,1 et grand, grand maximum 1,5. Si vous tombez sur des choses qui sont très en deçà, ça ne va pas. Vous avez fait une erreur.

Dernier point important, on avait dit lorsqu'on parlait des frottements cinétiques que ça venait du fait que là encore vous avez des contacts au niveau des surfaces des deux matériaux, et que vous avez une certaine chance d'avoir un certain contact quand les deux objets se déplacent. C'est sur quoi que je voudrais insister, c'est que la force de frottement cinétique, en particulier sa norme, et en particulier l'UC le coefficient de frottement cinétique ne dépend pas de la vitesse relative à laquelle les deux objets se déplacent.

C'est-à-dire que votre objet peut aller à 10 mètres par seconde ou à 100 mètres par seconde, votre force de frottement cinétique est la même. On peut 00:19:51 dans un petit exemple pour essayer de mettre tout ça en place. Donc c'est un exemple que je vous ai mis sur Deedle d'ailleurs où vous pouvez le trouver.

On va regarder ce qui se passe pour les frottements lorsqu'on essaie de déplacer un bloc avec une force. Quand on essaie de mettre en mouvement un bloc de masse M égal 3 kilos. Pour cela, on va prendre une corde et on va appliquer une force F_1 qui pour le moment est horizontale. On donne le coefficient de frottement solide statique entre le bloc et la table, US06.

Donc première chose à laquelle on peut transplanter, on va se demander quelle force minimale il va falloir appliquer au bloc. Quelle force minimale. Avec quelle force

minimale il va falloir tirer pour mettre le bloc en mouvement. Donc ici, j'ai regardé donc le système bloc qui est en 00:22:51, je mets sur une surface avec du frottement et j'applique donc dessus une force F_1 qui est horizontale ici. Je vais essayer de retrouver donc du coup la force F_1 minimale telle que le bloc se mette en mouvement. La mise en mouvement du bloc.

Alors quand le bloc est immobile et que j'y applique une certaine force, ou bien me dire qu'il y avait une force de frottement statique qui s'oppose à la 00:24:05 en mouvement... et donc la force F_1 minimale pour mettre le bloc en mouvement va être la force F_1 qui est capable de compenser la force de frottement statique maximale. Mon bloc ne bouge pas encore.

Si je fais le principe fondamental de la dynamique, enfin si je considère d'abord mon système bloc et que je fais le bilan des forces dessus, qu'est-ce qu'on a ? Donc on a F_1 , on a F_1 de frottement et on a également ...

Etudiante Son poids.

2F Son poids. Et la réaction. Donc F_S , F_1 , le poids et la réaction du support, réaction normale du support qu'on appelle F_N . Expliqué mon bilan d'effort, je peux donc maintenant aller chercher mon principe fondamental de la dynamique qui me dit que la somme des forces extérieures à tout ce système soit F_S plus cette 00:25:50 de la réaction normale du support, va être égal à la masse fois l'accélération.

Si mon bloc est encore statique, mon accélération est nulle. Du coup, je peux projeter mon PFD selon un système d'axe que je veux choisir. Je veux choisir par exemple 00:26:32 un système d'axe tel que 00:26:46 comme ça, c'est indiqué.

Etudiante

2F.

2F

Oui.

Etudiante

Si le bloc n'est pas en mouvement, il n'y a pas de frottement ?

2F

Alors, si le bloc n'est pas en mouvement, mais que tu essaies, il n'y a aucune force appliquée dessus. Effectivement, il n'y a pas de frottement parce que ton bloc est statique. Il n'y a rien auquel s'opposer si ce n'est pas justement de rompre les liaisons au niveau atomique, j'essaie de ne rien faire. Donc il n'y a pas de résistance au niveau de la 00:27:20. Par contre, bloc immobile ne veut pas dire pas de frottement. Si je suis déjà en train d'appliquer une force, comme 00:27:29 je suis en train de pousser dessus. Mais que le bloc, que l'objet ne bouge pas ...

Etudiante

En fait, ou il est déformé.

2F

Oui ?

Etudiante

Il est déformé.

Etudiante

Alors, je le déforme certes, mais s'il était bien vide, je pourrais le faire et il pourrait ne pas bouger. C'est-à-dire que là, à partir du moment où tu appliques une force dessus, il y a une force de frottement qui s'oppose à la force que tu appliques. C'est-à-dire que dès qu'on essaie de faire bouger l'objet, il y a une force de frottement statique qui s'oppose à la force que l'on mettait dessus. Effectivement, c'est un petit peu 00:28:01, il ne bouge pas encore.

Et donc, c'est pour ça qu'on avait fait un petit peu ces expériences en disant s'il n'y a rien, il ne se passe rien. Si je commence à appliquer une petite force, c'est bien effectivement une force de frottement statique qui s'oppose à la force que je suis en train d'appliquer. Donc là par exemple, c'est dans ce sens-là comme ça on doit tirer, j'ai une force que j'applique dans ce sens-là. Si elle n'est pas assez forte, si l'objet reste immobile, c'est parce que j'ai effectivement une force de frottement statique qui s'oppose à ma force et qui fait que le truc reste à l'équilibre.

Etudiante

Mais c'est surtout parce que son poids, il est lourd non ?

2F

Surtout parce que quoi ?

Etudiante

Surtout parce que son poids, il est lourd ?

2F

Mais ça, ça se traduit dedans. Ça se traduit dans le fait que tu es proportionnel à la réaction normale du support. C'est-à-dire que plus tu presses, plus c'est difficile. Plus c'est lourd, plus ça va être difficile. Donc la norme de la force de frottement, je suis d'accord que le fait que ton objet apparaisse. Parce que tu peux l'écrire comme ça.

C'est d'ailleurs ça qu'on travaille là. Mais là on parle de... regarde, 00:29:05 comme quoi il est comme ça, il n'a rien à voir avec un mouvement 00:29:10 de position horizontale, ce n'est que vertical. Donc ton poids, il n'a rien à faire dans l'affaire à priori. Il est vertical. On essaie de bouger le truc horizontalement.

D'ailleurs, on l'a bien vu. Quand on avait quelque chose où il n'y avait pas de frottement, ce qu'on a fait jusqu'ici, quand on avait des mouvements sans frottement, un palet sur une surface sans frottement, le fait que l'objet ait un poids ne t'empêchait pas de le mettre en mouvement. À aucun moment. Donc le fait que l'objet soit lourd, c'est une autre remarque parce que ce n'est pas facile. Parce que là, vous vous trouvez quelque chose qui apparaît, qui n'est pas très très intuitif. Et qui est en plus, on est capable d'établir une loi, une 00:29:50.

Là, jusqu'ici, on n'avait que des choses qui se mettaient en relation de façon vectorielle, on met directement la direction. Là ce que je veux dire, c'est que j'ai effectivement une force de frottement qui va s'opposer à la force que j'applique au bloc. Donc elle va être dans la même direction et de sens opposé à la force que j'applique au bloc. Si j'applique F_1 , je me retrouve avec quelque chose d'horizontal dans le sens.

Et je peux aller chercher la norme de cette force de frottement statique en la reliant à la façon dont les deux surfaces sont pressées ensemble. La façon dont les deux surfaces sont pressées ensemble, on va le voir dès maintenant. Ça se relie au poids, évidemment 00:30:34. Donc là, et petite subtilité supplémentaire, on est capable 00:30:42 cette modélisation-là uniquement quand vous êtes au poids et vous allez faire décoller votre bloc au moment où allez juste pouvoir le mettre en mouvement. La

force est juste assez grande pour aller mettre le bloc en mouvement 00:30:57 encore, pas en train de bouger.

J'ai pile-poil la force qu'il faut pour le mettre en mouvement. Donc pile-poil ce qui faut pour contrebalancer ma force de frottement statique, toujours, mais à un moment donné, la force de frottement statique atteint un maximum. C'est-à-dire je vais être capable de faire décoller les deux surfaces, décoller les interactions qu'on avait vu, et de mettre mon bloc en mouvement.

À ce moment précis, juste au moment où je vais le faire décoller, je vais faire ça. Donc, c'est justement ce qu'on va faire apparaître ici. Ce qu'on va dire justement, c'est que 00:31:34. Bon voilà, je vais avoir la force de frottement statique et je vais chercher FS, F1 soumise à la force minimale à appliquer. 00:31:43 de façon au moment où FS est maximal. Juste à ce moment-là.

À ce moment précis. Comme ça, j'aurais une expression pour FS. J'aurais quelque chose, dans le cas, je pourrais le relier avec un coefficient de frottement statique que j'ai mesuré par ailleurs. Que je vous ai donné ici, on a choisi que c'était 0,6. Donc, on a fait notre bilan des forces. Maintenant, on peut essayer de regarder justement ce qui se passe horizontalement et verticalement pour essayer de voir comment tout ça va se 00:32:19.

FS max, on va le garder comme ça pour l'instant. Si j'ai choisi mon max 2X, par-là, je vais me retrouver avec FS max... plus F1, et je n'ai rien d'autre sur le plan horizontal. À ce moment précis, c'est le moment où je vais le faire décoller, il ne bouge pas encore. 00:32:55 égal à zéro. Sur l'axe y, je vais avoir moins P sur le poids plus la norme de FS égal zéro.

Ce que je sais par ailleurs justement, puisque j'ai appris à mon cours, c'est que la force de frottement statique maximale, celle qui vous interroge depuis tout à l'heure, je peux l'écrire justement μS fois la norme et la réaction normale du support. Et là, je me dis que c'est gagné parce que si j'arrive à déterminer la norme de la réaction normale de support, je vais pouvoir connaître la force minimale appliquée.

Donc, on va tout d'abord rechercher la norme de la réaction normale du support FS, donc celle-là, on va l'appeler équation 1 00:33:57. L'équation 2 nous donne que la norme de la réaction normale de support, c'est LG. Du coup, je pourrais écrire FS max, $\mu S LG$, tout simplement. Si je réinjecte ça dans l'équation 1, ça nous dirait que F1

min égal FS max, l'équation 1. Donc F_1 min ... égal la norme de frottement statique maximale, égal à μS_{LG} .

Donc là effectivement, c'est là où on retrouve ce que tu me disais. Comme je suis... comme la force de frottement statique, elle est proportionnelle à la réaction normale du support qui elle-même égal, dans ce cas précis puisque c'est juste en train de poser avec son poing sur la table au poêle objet, je retrouve le fait que la force minimale appliquée doit être proportionnelle au poids de l'objet. Il y a tout un petit réseau de 00:35:33 entre les deux.

Et c'est effectivement plus difficile... enfin, il y a plus de frottement quand l'objet presse plus, quand il est plus lourd que quand vous avez un objet très léger. Donc c'est plus léger, ça sera plus 00:35:47 une petite force pour les atteindre. J'ai peu de frottement statique. Ça se voit 00:35:51. Donc, si on voulait, on pourrait faire le calcul de ça puisque j'avais donné les valeurs. J'avais donné une masse de 3 Kg, le coefficient de frottement statique entre la table et le bloc qui était à 0,6 00:36:12.

Et donc, ça me fait 0,6 fois 10 fois 3 ; 0,6 fois 10 : 6 ; 6 fois 3 : 18 ; 18 Newton. Alors maintenant, qu'est-ce qui se passe quand la corde, ce que ce dont je me sers pour appliquer la force F_1 , fait un angle α de 45 degrés avec l'horizontal. Ça va changer un petit peu les choses puisque ça va changer un petit peu ce qui se passe à ce niveau-là, quand on projette une force.

Si maintenant, on a cette situation-ci. On a un bloc, toujours sur une surface horizontale. Et on tire le bloc donc avec une corde. On incline la corde avec un angle de hauteur qui doit faire 45 degrés. Là, il est un peu trop grand pour 00:37:47 alors à peu près. Et donc, on se retrouve avec une force F_1 toujours de même norme, mais qui cette fois, fait un angle α qui est de 45 degrés avec l'horizontal. Il y a encore une 00:38:18 statique.

Donc le bloc n'est toujours pas en mouvement. J'essaie toujours de le mettre en mouvement et on s'intéresse à la force F_1 minimale qu'il va falloir appliquer ici. Donc on fait un petit bilan des forces. On a encore une fois le poids, la réaction du support, la réaction normale du support. Ça ne change pas par rapport à tout à l'heure. Et on va avoir également la force de frottement statique et la force F_1 .

Donc, au moment précis où le bloc va décrocher, au moment où il va se mettre en mouvement, je peux écrire le principe fondamental de la dynamique, qui va me dire

donc P plus FN plus FS plus $F1$ égale zéro. Le bloc est encore immobile. Je prends le même système d'axe que tout à l'heure. Et je projette tout ça.

Alors, horizontalement qu'est-ce qui se passe ? Si je veux faire apparaître la force de frottement statique, là déjà elle serait comment... ? Oui d'accord. Donc ce que tu me dis directement en fait, c'est que la force de frottement statique là reste bien sûr parallèle au support.

Elle ne bouge pas au niveau de la direction. P , il est comme ça. RU , pardon ... La réaction normale au support, si je veux faire apparaître le N en normale. Donc, horizontalement tu m'as dit, j'ai... Oui. Alors, je fais juste ce que m'a dit ta collègue que d'abord on a du moins FS max. Et ensuite que vas-tu me dire ?

2F : FS , il ne va pas ...

2F Non, il reste horizontal. Elle reste colinéaire à l'autre surface.

2F : C'est toujours comme ça ?

2F Toujours comme ça. Toujours parallèle à la surface. C'est vrai que j'aurais pu préciser, toujours, et même FC aussi d'ailleurs, sont toujours parallèles à la surface, à la surface de contact. Par contre, c'est sur les valeurs que c'est 00:41:54. Donc on a du moins FS max maintenant. Qu'est-ce qu'on a comme composante en x pour la force $F1$?... J'ai entendu oui, mais... C'est effectivement $F1 \cos \alpha$ qu'on retrouve en x . Vous voyez, $F1$ ici est incliné, si je veux, qui est sur l'axe x , c'est $F1 \cos \alpha$, plus $F1 \cos \alpha$.

Maintenant, ce que j'ai verticalement. Moins MG , facile, plus FN , je ne sais pas ce que ça vaut encore pour le moment. Et il me reste 00:42:38 puisque vous voyez, vous avez une composante verticale pour votre force $F1$, $F1 \sin \alpha$. Encore une fois, deux équations avec lesquelles on va pouvoir 00:42:57. Il faut essayer retrouver tout d'abord FS puisque là maintenant on connaît notre cours. On sait que FS max encore une fois, c'est μS fois FN en norme. Donc si j'arrive à retrouver FN , c'est gagné.

Donc première chose à faire, essayer de retrouver la valeur de la réaction normale du support grâce à l'équation 2. Donc FN , on va retrouver du coup MG moins $F1 \sin \alpha$. Une fois que j'ai ça, je sais donc que FS max vaut $\mu S MG$... Et donc je vais pouvoir réajuster tout ça là-dedans pour retrouver, alors j'aurais dû faire apparaître μ ici suite à décrit tout à l'heure.

Et donc on va pouvoir retrouver le $F1 \min \cos \alpha$ avec l'équation, égal $FS \max$ qui est égal donc à $\mu S \text{ MG} \text{ moins } F1 \min \sin \alpha$. Jusqu'ici tout va bien ? Donc je peux en tirer la valeur de $F1 \min$. Il suffit de diviser tout le monde par $\cos \alpha$. $\text{MG} \text{ plus } F1 \min \sin \alpha$. Je suis désolé, j'ai oublié un petit... Toute la journée, 00:45:34 de l'autre côté.

J'oubliais un morceau, il ne fallait pas... Une fois que j'ai cette équation-là, $F1 \min \cos \alpha$, je peux ramener tout ce qui dépend de $F1 \min$ de l'autre côté de façon à pouvoir l'isoler 00:45:54 doit faire son calcul 00:45:56.

Alors, $F1 \text{ fois } \cos \alpha$, facteur de $\cos \alpha$ si je ramène l'autre de l'autre côté, ça nous donne du moins $\mu S \sin \alpha$... Et donc, si je divise tout ça par $\cos \alpha$ par exemple de façon à faire apparaître un $\tan \alpha$ ici, il disparaît le $\cos \alpha$ 00:46:43, ce qui me fait $1 \text{ moins } \mu S$ sans $\cos \alpha$ égal $\mu S \text{ MG} \text{ sur } \cos \alpha$. Et donc, je peux retrouver $F1 \min$ qui va être donc $\mu S \text{ MG} \text{ sur } \cos \alpha$, $1 \text{ sur } 1 \text{ moins } \mu S \text{ fois } \cos \alpha$.

Etudiante

2F ?

2F

Oui ?

Etudiante

Ce n'est pas un problème de signe de $FS \max$? Vous avez mis en moins sur ...

2F

Où ça, lequel ? $FS \max \mu S \text{ MG} \text{ moins } F1 \sin \alpha$?

Etudiante

Oui, et après pour, c'était dans la première équation, vous avez mis un ...

2F

Regarde. Là, tu dis FN . Alors $FS \max$ ça va être $F1 \cos \alpha$, $FS \max$... Alors $FS \max$, tu dis que c'est $\mu S FN$. FN , c'est $\text{MG} \text{ moins } F1 \sin \alpha$.

Etudiant

Donc, c'est après ...

2F

Et après, merci. Hop. Et en plus, je l'ai 00:48:07. Donc merci, ça c'est super. C'est la preuve qu'il faut lire ses notes encore une fois... sinon on va perdre les calculs. Alors, donc F1 00:48:22, et je suis d'accord avec mes notes, merci beaucoup. Donc maintenant si on fait le calcul de ça, F1 min égale, donc on va avoir pour tout ça, on va se retrouver avec 3 fois 10 fois ... On a 0,3 3 kilogrammes 10.

Donc encore 18 en haut, on a du $\cos\alpha$ en bas, $\cos 45$ degrés, c'est racine de 2 sur 2. On a ensuite du 1, 1 mu S on connaît, c'est 0,6. Et tangente alpha, tangente de 45 degrés, c'est 1. Donc on peut aller 00:49:21 facilement, on se retrouve avec du 18, donc racine de 2 sur 2, c'est 0,7. Racine de 2, c'est 1,4. Et on se retrouve avec du 18 sur 0,7 fois 2,6. 18 sur 1,8 environ. Donc c'est du 10 Newtons.

Alors, vous voyez que là, la force minimale à faire, à appliquer pour faire bouger votre bloc, en norme, elle est plus petite que dans le cas précédent. Pourquoi ? Rien d'autre, rien n'a changé à part l'orientation de la corde, enfin la direction. Qu'est-ce qui se passe ?

Etudiant

On soulève un peu l'objet et on tire...

2F

Exactement, c'est ça. Là, en même temps qu'on tire, on soulève un petit peu l'objet. Donc on réduit justement cette force de contact réaction entre les deux. On réduit le contact entre les deux surfaces. Donc, on soulève un petit peu les petites aspérités dont on parlait la semaine dernière. Du coup, on réduit un petit peu le contact. On réduit la force de contact. Il sera plus facile de vaincre, enfin la force de frottement statique, de vaincre ces interactions entre les deux surfaces.

Qu'est-ce que je voulais vous dire aussi ? Alors, j'ai un troisième exemple dans lequel le bloc est en mouvement et on fait varier l'orientation de la corde. Je vous invite à aller voir sur Deedle de façon à ce qu'on ne perde pas trop de temps quand même là-dessus. On a déjà beaucoup parlé de frottement. Et vous avez également un exercice très similaire au TD.

Donc, allez voir ce qui se passe sur Deedle pour la fin de cet exemple quand le bloc est en mouvement. On va s'amuser justement à aller faire varier l'orientation de la

corde. Et on va se demander l'orientation de la corde pour laquelle c'est, l'accélération doit pouvoir donner au bloc les maximales. Donc, regardez cet exemple si vous avez des questions. Parlez-moi au prochain cours ou soit à cet atelier si vous avez le temps de me voir d'ici là.

Soit du coup dans 15 jours si vous voulez 00:51:28. Donc les frottements statiques, on en a parlé. Il y a je vous disais encore ces petites activités que vous devez aller voir tout seul. Vous devez commencer à comprendre un peu 00:51:44 pendant que ça marche. Après, c'est des jeux de mathématiques.

On va maintenant parler de frottement fluide. Alors, qu'est-ce que c'est qu'un fluide ? Pourquoi on parlait de frottement fluide. Là, on parlait d'une surface sur une surface. Donc qu'est-ce qu'un fluide ? Comment est-ce qu'on pourrait pratiquement dire, différencier un fluide d'un solide ?

Etudiante

Au niveau de la viscosité.

2F

Ah bon même si, de parler d'un visqueux, pas visqueux, de différencier, de dire que l'eau vient du gaz.

Etudiant

C'est déformable.

2F

C'est déformable, oui. Un fluide, c'est déformable. Un fluide, c'est quelque chose qui coule. Un solide, ça ne coule pas. Déjà, c'est la question de 00:52:56. Maintenant, ce dont, ce à quoi on va s'intéresser, c'est quels sont les frottements à appliquer sur un objet quand il est en mouvement dans un fluide ? Donc un fluide, si c'est déformable, ça veut dire qu'un fluide, ça peut être un liquide ou un gaz.

Qu'est-ce qui se passe quand mon objet est en mouvement dans un liquide ou dans un gaz ? Qu'est-ce qui se passe quand je suis en mouvement dans l'air ? Qu'est-ce qui se passe quand je suis en mouvement dans l'eau ? Qu'est-ce qui se passe quand je suis en mouvement dans l'huile ?

Alors, lorsque vous avez un solide qui se déplace donnant un fluide, ça dépend du contact avec la surface qui est encore une fois soumise à une force de frottement, c'est-à-dire le frottement que le fluide assure. Et cette force de frottement, elle est bien particulière. Elle est assez différente, oui ? Cette force de frottement, donc elle est assez particulière.

Contrairement à tout ce qu'on a vu jusqu'ici, cette force de frottement qui va dépendre de la vitesse à laquelle vous vous déplacer... C'est-à-dire que plus je vais aller vite, plus ça va froter fort. Plus on va vite, plus la force de frottement est grande...

Etudiante

On doit 00:55:19

2F

Non, je ne suis pas d'accord du tout. Parce que j'ai dit tout à l'heure que la force de frottement cinétique quand votre objet est en mouvement ne dépend pas de la vitesse relative entre les deux surfaces. Là, c'est très particulier. D'ailleurs, quand on écrit la force de frottement cinétique que je viens d'effacer, qui est $\mu_C R$. μ_C la réaction normale du support.

μ_C ne dépend pas de la vitesse. C'est le même que vous soyez à 1 mètre par seconde ou à 100 Kilomètres heure, entre vos deux surfaces. Ça ne dépend pas de la vitesse la force de frottement sur l'eau. Par contre, la force de frottement visqueux, la force de frottement fluide, plus on va vite, plus la force de frottement est forte. C'est la première 00:56:10. Donc, c'est une force qui est variée dans le mouvement.

Elle dépend de P . Et il va falloir réussir à la modéliser. Donc pour ça, on va avoir deux façons de la modéliser. On a deux régimes dans lesquelles on va pouvoir aller modéliser la force de frottement. Est-ce que vous savez peut-être que quand un liquide s'écoule, il peut s'écouler bien gentiment, c'est-à-dire sans turbulence. Ce qu'on appelle le régime laminaire.

Ou il peut s'écouler en zone des turbulences. Quand vous allumez votre robinet le matin, vous voyez deux choses. Si vous l'ouvrez doucement, vous voyez que l'eau reste claire. C'est transparent. Là, vous êtes dans un régime qu'on peut qualifier de laminaire. Si vous l'ouvrez vite, il y a des bulles d'air et des turbulences, ça devient

blanc. Vous voyez que c'est blanc. Il y a des turbulences là. Là, vous êtes en régime turbulent.

Dans ces deux régimes-là, on a deux façons de modéliser la force de frottement, deux façons différentes. Donc première modélisation, en régime laminaire. Alors en régime laminaire, c'est un petit peu un terme pour les gens qui font du droit. Mais en gros, c'est un type d'écoulement. Ce type d'écoulement vous dit, enfin ce terme régime laminaire, vous dit que l'écoulement se fasse tranquillement.

C'est-à-dire que si vous avez des petits fils dans votre fluide, ils vont se mettre à tourbillonner. Il n'y a pas de tourbillon. Ce type de régime du coup, ça va être, ça va nous arriver quand on est... alors première chose facile, on peut se dire ça peut arriver quand on est à basse vitesse. Quand ça ne se déplace pas vite, on ne va pas trop faire bouger les choses dans le fluide, donc ça va rester bien tranquille.

On peut également se dire que ça va arriver dans des fluides qui sont relativement visqueux. Parce que plus votre fluide est visqueux, plus votre fluide est lourd. En plus, ça va avoir tendance à recoller dans le fond. Dernière chose, ça va être plus le cas, donc elle va se 00:58:53 fluide relativement visqueux. On dit relativement visqueux parce que un petit peu de temps pour définir ça.

Et également, vous n'aurez pas trop de problèmes à vous déplacer autour d'un objet pour un fluide si l'objet est relativement peaufiné. Donc ça va dépendre d'une certaine façon de la forme de l'objet. En fait, toutes ces caractéristiques-là, quand on fait de l'hydrodynamique, on résume ça par un nombre sans dimension, qu'on appelle le nombre de Reynolds, et qui nous permet de caractériser la façon dont l'écoulement se passe.

Si vous êtes à un nombre de Reynolds qui est très bas, donc le nombre de Reynolds pour les pros, vous avez 01:00:01 l'année dernière. On s'appuie en général sur un nombre de Reynolds qui fait rentrer un petit peu rentrer ces choses-là dans la compétition. Donc, je le mets vraiment entre parenthèses, ce n'est pas... c'est pour votre culture. Vous le reverrez.

Mais c'est un nombre sans dimension, le nombre de Reynolds, qui vous fait intervenir la vitesse de l'écoulement de l'objet, la taille de l'objet, et la viscosité. Donc cela vous fait intervenir la vitesse de l'écoulement, la taille de l'objet, et la viscosité du fluide que vous regardez, en haut.

Viscosité a rapport entre la viscosité et la masse volumique du fluide. Alors, ce que vous dit le nombre de Reynolds, ce qui vous permet de caractériser un écoulement, c'est-à-dire quand votre nombre de Reynolds est très petit, très inférieur à 1, de l'ordre de 0,1, vous êtes en régime laminaire.

Etudiante

2F ?

2F

Oui ?

Etudiante

La vitesse, c'est la vitesse d'écoulement ?

2F

Oui. Vitesse d'écoulement ou vitesse de ton objet par rapport au fluide. C'est la vitesse relative objet. Donc, si vous avez un nombre de Reynolds très petit, vous êtes en régime laminaire. Je vous avais dit également ce qui joue, c'est qu'effectivement votre objet, elle soit peaufinée ou lisse, c'est-à-dire vous empêchez des tourbillons se former.

Vous empêchez la turbulence de se former quand vous peaufinez un objet. Dans ce cas précis, on revient à nos moutons. Donc deux forces de frottement 01:02:52. Dans ce cas précis, dans le cas d'un régime laminaire, on peut écrire la force de frottement fluide proportionnelle à la vitesse de l'objet. Oui ?

Etudiante

Le trait avant le régime.

2F

Je ne t'ai pas entendu.

Etudiante

Il y a un trait avant le régime.

2F

Je disais ça, c'est un peu entre parenthèses, ce n'est pas à savoir par cœur.

Etudiante

Non. En bas. Si ...

2F

Si le nombre de Reynolds est très inférieur à 1, le régime est laminaire. Donc typiquement, si votre nombre de Reynolds c'est l'ordre de 0,1...

Etudiante

D'accord.

2F

Vous êtes clairement en régime laminaire. Et dans ce cas-là, votre force de frottement fluide est directement proportionnelle à V .

Etudiante

2F, si on est à 0,5 ?

2F

C'est toute la question de comment on passe de régime laminaire à régime turbulent. Alors, 0,5 c'est encore relativement laminaire, tu as de bonnes chances d'être dans de bonnes conditions. Maintenant, si tu es à 1-2-5, ça commence à éventuellement... Après, ça va dépendre de la forme de ton objet. Il faut aller voir.

Il y a toute une zone de 01:04:20 dans cette chose-là. Il faut aller voir l'expérimentation, ce qui se passe. Mais en tout cas pour nous, l'endroit où on peut écrire des lois, c'est dans des régimes bien clairs. Dans un cas où il n'y a pas de turbulence du tout. Dans un cas où c'est complètement turbulent.

Donc dans le cas où il n'y a pas de turbulence du tout, ce que je vous disais c'est que la force de frottement fluide, dans ce cas-là, elle est proportionnelle à votre vitesse et elle s'oppose à votre mouvement.

On peut l'écrire du coup, F égal moins KV où K c'est le coefficient de résistance de l'objet qui dépend de sa forme et de la viscosité du fluide. Alors, si le 01:05:19, dépend de sa forme, de sa taille. Juste que le point important ici du coup, vous savez que c'est quelque chose qui est complètement proportionnel à V . F proportionnelle à V . Et F s'oppose au mouvement, F s'oppose à V .

C'est-à-dire qu'elle est colinéaire à V , mais dans le sens opposé. Si on a un objet facile comme une sphère, une boule, là on va pouvoir connaître le coefficient K . On retrouve ce qu'on appelle la loi de Stokes. Donc pour une sphère, on peut connaître K . Juste pour vous donner un exemple de K , pour qu'il ne soit pas complètement flou. K , va être $6 \pi \eta R$, c'est le rayon de la sphère.

Et η , c'est le même que tout à l'heure, c'est la viscosité. Dans ce cas-là, ma force de frottement sur une sphère, par exemple si j'ai une balle ronde, s'il y a une boule de pétanque, quelque chose comme ça, ma force de frottement, ça va être moins $6 \pi \eta R$ fois V . η , ce qu'on appelle la loi de Stokes.

Mais la chose la plus importante, ce n'est pas la loi de Stokes, dans ce cas-là, la norme de votre force de frottement est proportionnelle à la norme de votre vitesse puis qu'elle s'oppose à la vitesse tout en étant linéaire. Ça, c'est important.

Etudiante

2F, c'est quoi le 01:08:36 ?

2F

Proportionnel. Tu vois, c'est écrit là. Tu as F égal K fois V , moins K fois V . C'est un facteur entre F et V .

Maintenant, dans le cas d'un écoulement turbulent. Un écoulement turbulent, c'est quand votre objet se déplace, F du coup derrière lui, ça décolle un petit peu le fluide. Et donc on se met à avoir des turbulences. Ça se met à tourbillonner. Dans ce cas-là, c'est un nombre de Reynolds sur le calcul quand on a fait tout à l'heure, c'est très très grand devant 1.

Typiquement, on est complètement turbulent, on est sûr de l'être, on est bien à un nombre de Reynolds de l'ordre de 01:09:37. Donc, quand vous allez chercher le nombre de Reynolds très grand, vous allez regarder en laboratoire pour les différents objets, puisque là encore il y a une zone, toute une zone grise qui n'est pas facile. Mais quand très très grand devant 1, je suis en train de penser à des valeurs.

C'est quelque chose qui est 01:09:57. Donc dans ces écoulements, c'est des écoulements qui vont être à grande vitesse. Autour de quelqu'un qui est en chute libre, autour d'un skieur qui est en train de descendre, autour d'une voiture, autour d'un

avion. Tout ça, écoulement à grande vitesse. Des choses qui vont être relativement irrégulières. Puisque ça, ça ne va pas aider à garder un nombre de Reynolds ça.

Enfin, ça ne va pas aider vraiment à empêcher la turbulence. Plus notre objet est 01:10:45 écouler rapidement. Et pour des choses qui ont une viscosité cinématique qui est relativement faible. Donc dans ce cas-là, la force de frottement qui s'applique sur votre objet, on la modélise comme étant proportionnel à V carré.

Comment on fait ça ? Encore une fois-là vous dites : mais attendez, elle nous dit deux modes différents. C'est simplement ça vient du laboratoire. Je vais prendre mon objet, je regarde, je le photographie, et je suis capable de déterminer dans un cas quelque chose qui est proportionnel à V pendant laquelle je suis à basse vitesse.

Et dans un cas où je suis à haute vitesse, si je fais exactement le même exercice, je mets mon objet, je le mets en laboratoire, je le photographie, et je le mets en soufflerie chaud, chaud, chaud. Je le mets quelque chose qui rend capable de mesurer la vitesse de l'objet à chaque instant et de savoir les forces qui s'appliquent dessus.

Dans ce cas-là, j'ai une force dans le cas d'un régime turbulent qui est une force de frottement qui est proportionnelle à V carré. Donc, on n'est plus proportionnel à V à haute vitesse, mais à V carré. Même pour ceux qui sont peut-être un petit peu hydrodynamiques, la force de frottement qui s'applique à haute vitesse, on l'appelle plus généralement la force de trainée.

Pour ceux qui ont l'habitude de regarder des avions. Donc la trainée de l'objet F_C , et c'est donner la norme de F_C , donc est proportionnelle à V carré. Et elle nous fait apparaître un facteur ... Elle nous fait apparaître, la masse volumique de votre fluide, un coefficient de trainée que vous allez pouvoir retrouver expérimentalement. Et la surface que vous opposez à l'écoulement du fluide vers la section efficace que vous avez par rapport à l'écoulement.

Donc là, vous voyez que la norme, elle est proportionnelle à V^2 . Encore une fois, votre force cherche son rayon d'action. Elle est colinéaire à V , elle s'oppose à lui. C'est-à-dire qu'elle s'oppose au déplacement. Alors, tout ceci étant dit, on va 01:14:39. Je vous explique un petit peu les différents termes. ρ , masse volumique du fluide, vous connaissez.

Par exemple ρ de l'air 1 kilogramme par mètre cube, la masse volumique de votre fluide. ρ de l'eau 1 kilogramme par litre. Tout ça, vous connaissez. Coefficient de

trainée, c'est quelque chose que vous allez déterminer expérimentalement en laboratoire. Donc là encore, quand il est μ_S tout à l'heure, il est μ_C . Vous déterminez certains coefficients pour certains objets qui se déplacent dans un fluide donné.

Maintenant, je vous parle de A , section efficace par rapport à l'écoulement. Alors qu'est-ce que ça veut dire ça, c'est la surface que vous opposez à l'écoulement. La surface que vous opposez à l'air. C'est-à-dire que quand je me déplace, si je vais vite, là je vais avoir une surface plus grande par rapport à l'air qui s'écoule autour de moi... Ce que je vais essayer, c'est ce qui est perpendiculaire, la surface perpendiculaire que vous opposez à l'écoulement.

Si même j'ai encore μ_x , j'ai une voile. Là j'ai une très grande surface par rapport à mon écoulement. Si je suis en position de souche, je suis en train d'avoir une toute petite surface par rapport à l'écoulement. Donc c'est ça. C'est votre surface projetée sur la direction perpendiculaire à l'écoulement. Donc, tout ça vous donne deux expressions pour les forces de frottement.

Vous allez vous placer dans un cas ou dans l'autre suivant la situation que vous rencontrez lors de votre problème. Donc dans les deux cas, par contre, ce qui est commun entre les deux, c'est votre force s'oppose aux mouvements et qu'elle dépend de la vitesse. Elle dépend de la vitesse, pas la même puissance. À basse vitesse, c'est en V . Et à haute vitesse, c'est en V^2 . Pour résumer un peu tout ça et ne pas rentrer dans les conspirations d'écoulement.

Alors, ce qu'on voit du coup, c'est que si l'objet se déplace pendant suffisamment longtemps avec du frottement fluide. Donc par exemple si on lâche, c'est plus facile à penser. Si on lâche un objet en chute libre avec frottement fluide... vous voyez si vous vous déplacez suffisamment longtemps, donc au début vous pourrez y penser à votre objet, mais jusqu'ici on avait parlé de chute libre sans frottement.

On sait que l'accélération c'est G , donc vous allez avoir une vitesse qui va augmenter, augmenter, augmenter. Mais vous avez aussi, si vous avez du frottement maintenant, une force de frottement qui, quand votre vitesse augmente, va augmenter aussi.

Donc petit à petit, vous allez avoir votre vitesse qui augmente, mais la force de frottement augmente aussi donc du coup 01:17:35 à un moment donné, vos 2 forces,

poids de l'objet et la force de frottement vont se compenser. Vous allez atteindre une vitesse limite pour votre déplacement et continuer à cette vitesse limite.

Est-ce que vous voyez ? Donc ce que je vous disais, c'est que votre force, elle dépend de la vitesse. Donc, quand votre vitesse va augmenter, votre force va augmenter. Et quand vous êtes en chute libre, par exemple chute libre dans l'air, à un moment donné, vous atteignez une vitesse limite à laquelle vous allez continuer votre mouvement. Donc on peut regarder ça justement, on va prendre cet exemple.

Pour quelque chose 01:18:49 enfin plus vraiment en chute libre, mais qu'on lâche sous l'action de la pesanteur 01:18:56... on atteindra un stade ou une vitesse limite de déplacement puisqu'à un moment donné, la vitesse sera suffisamment grande pour que la force de frottement fluide compense 01:20:05. Alors, et si on voit ensuite ce qui se passe si vous avez un chat qui tombe du pied de l'étage 01:20:23. Non, la vitesse limite de chat. Et justement, c'est 01:20:39.

C'est là que je vous mettrais aussi sur Deedle, il y a un petit article qui est associé à ça. Ce dont on a pu s'apercevoir, c'est qu'un chat qui tombe de plus de six étages, en fait, au bout de six étages, il va se retrouver à sa vitesse limite. Comme il est à sa vitesse limite, la force de frottement fluide compense le poids. Il se retrouve avec une résultante de force nulle sur lui.

Donc du coup, il se sent... Comme le corps humain et le corps des animaux, c'est plutôt un accéléromètre, il se sent beaucoup détendu parce qu'il n'est plus en train d'accélérer, on ne rigole pas hein, c'est ça. Et du coup, il peut se retourner à ce moment-là puisqu'avant il était stressé, il se met en boule. Et comme il ne sent plus l'accélération, il se sent flotter.

Et à ce moment-là, il peut se détendre, se retourner, se remettre sur ses pattes, et le chat retombe sur ses pattes au-delà de six étages. Et ce qui fait qu'on on a pour les chats, par exemple, toute une équipe vétérinaire qui a déjà vu passer l'article. C'est pour ça que je vais vous donner cet exemple.

On voit que déjà qu'il tombe de très haut en fait, justement ils entendent la fin de leur vitesse limite, de se retourner, de se mettre sur leurs pattes et si tout se passe bien de bien gérer l'atterrissage. Ils ont beaucoup moins de blessures sur une chute longue parce sur une chute relativement courte.

Donc, essayons de voir du coup la vitesse limite du chat. Parce que ça, c'est facile 01:22:03. Si on veut faire ça, donc on a notre système chat, qui subit d'une part sa force de frottement fluide et d'autre part 01:22:45. Il subit d'abord son poids et également une force de frottement fluide, frottement de l'air sur le chat. Alors, votre chat, c'est un objet qui est relativement irrégulier, qui est assez 01:23:18 surtout s'il tombe, il ne va pas être très content.

Et en fait, on va prendre la force de frottement 01:23:26. Expérimentalement, 01:23:31 pour aller voir l'article s'il vous plait. C'est un article 1 :23 :36 Donc pour reprendre la force de frottement, modéliser en V^2 , et on va dire que F va être proportionnelle à la vitesse au carré. Donc, on va avoir notamment sa force de trainée.

Elle va être de $1/2$ de $\rho C_3 V^2$. Alors, comment faire apparaître le fait que je suis opposée à la vitesse colinéaire, je vais prendre un vecteur V sur norme de V . Si je prends V sur norme de V , je retourne sur un vecteur unitaire qui est dans la direction et le sens de la vitesse, mais qui a de norme 1.

Etudiante

01:25:15

2F

01 :25 :13 à 01:25:20. Là, dans ce cas précis, c'est quand même facile, parce que mon chat est en train de tomber en ligne droite. Il a son poids et donc il va avoir cette force de frottement qui s'oppose ici. Si je me choisis un axe z qui est vertical montant, j'aurais pu écrire ça comme étant FC moins $1/2$ de ρ 01:25:51.

Si vous êtes vecteur unitaire, vous avez... Alors du coup, je vais 01:26:11 sur ce chat. Je sais que je vais avoir donc le poids, plus la force de trainée. Ça va être égal à la masse du chat fois son accélération. Si je cherche le moment, donc vous voyez que là, c'est écrire quelque chose vers... On commence déjà à être clair 01:26:43. Donc là, je suis en train de chercher le moment où le chat atteint sa vitesse limite.

Vitesse limite, ça veut dire que la force de frottement fluide compense le poids et que je me retrouve avec une résultante de forces nulle sur le chat. Donc, chercher la vitesse limite, c'est chercher le moment où il n'accélère plus. Vitesse limite, c'est bien que vous ne pouvez plus dépasser cette vitesse. Donc, on va chercher ce moment...

Etudiante

2F.

2F

Oui.

Etudiante

Est-ce qu'un humain, il aurait aussi une vitesse limite ?

2F

Pardon ?

Etudiante

Un humain.

2F

Un humain, c'est plus difficile. Parce que même s'il va atteindre, pareil, il va se passer la même chose. Mais il est quand même plus lourd, moins souple, et que par contre gérer l'atterrissage comme le fait le chat qui est plus souple...

Etudiante

Oui.

2F

Mais il y a 01:27:59 effet aussi. Alors, au moment où on atteint la vitesse limite, donc l'accélération va être égale à zéro et c'est là-dessus qu'on va se baser pour retrouver la vitesse limite. Donc là, si je m'amuse à regarder ce qui se passe en 01:28:26 sur l'axe z que j'avais pris verticalement montant aussi, je me retrouverais avec moins MG, plus... pardon...

Attention, j'avais pris un mauvais signe. Si j'avais pris moins Uz, c'est bien en plus Uz. Décidément aujourd'hui, il faudrait que je prenne un peu de vitamines je crois. Plus $\frac{1}{2}$ de $Rh\hat{o} C A V$ carré égal, dans lequel je suis à la vitesse limite. Moins UV plus $\frac{1}{2}$ de $Rh\hat{o} C A$ au carré, limite, égal zéro.

Du coup, 01:29:36 l'équation, je vais assez simplement aller tirer la valeur de la vitesse limite, qui va être simplement... qui va être racine de $2 M^2$ sur $Rh\hat{o} C A$. Donc, si je fais mes calculs 01:30:26 notre pauvre animal, je vais prendre le 01:30:24 je vais essayer d'aller déterminer, disons que je vais prendre un chat de 4 kg. Je peux aller

déterminer son coefficient de trainée, donc quand il se foule un petit peu en boule, c'est $G_{1,2}$.

Et la 01:31:08 de la bête également quand il est un petit peu en boule, c'est-à-dire que c'est 750 centimètres carrés. 750 centimètres carré si je vais pouvoir faire mes calculs, il faut que je le refasse en mètres carrés : $7,5 \cdot 10^{-2}$ mètres carrés. Centimètre carré et mètre carré, vous avez 01:31:38.

Et si je fais le calcul de 01:31:46 avec ces valeurs-là, ça va être quelque chose qui va être de l'ordre de 27 mètres par seconde. Ce qui veut dire que votre chat, il est déjà à pas loin de 100 km/h. Donc voilà. Heureusement pour lui, justement ce qui se passe après, c'est comme je vous le disais, notre corps c'est plutôt un accéléromètre qui a un taquet... Donc, il ne se préoccupe pas d'être à 100 km/h, il sent qu'à ce moment-là, il n'est plus accéléré.

Son 01:32:45 égal zéro. Il atteint sa vitesse limite. À ce moment-là, effectivement, il y a quelque chose qui se produit qui fait qu'il se sent un peu plus détendu. Il se retourne. Déjà il se met plus à plat face à l'écoulement, puis ça va déjà le freiner un petit peu. Et puis, il se prépare à l'atterrissage. Ce qui fait que c'est une chute assez haute.

Les chats ont le temps d'atteindre cette vitesse-là, ensuite de se retourner, de se préparer, de se freiner un petit peu, et ils arrivent sans trop de dommages, de plus de 6 étages. Pas eu peur, pas tous, mais j'en connais un. Donc, on reprendra l'après-midi. Je vous laisse déjeuner. On reprendra cet après-midi. Je rappelle qu'on se revoit cet après-midi pour deux heures pour rattraper le cours du 1er novembre, UC 16h-18h...

5 sesión

2F

On va continuer sur ce quoi on a travaillé ce matin. Notamment on va reprendre un deuxième petit exemple. Vous avez dit que quand la vitesse est basse, on peut utiliser une modélisation pour la force de frottement fluide qui est proportionnelle à la norme de V . Pour illustrer un peu ce qui se passe, on va prendre cette fois 00:06:18.

On prend une balle de ping-pong et on lâche depuis une falaise. Donc on la lâche sans vitesse initiale. Première question, est-ce qu'on pourrait décrire le mouvement de la balle ? Qu'est-ce que va faire une balle de ping-pong où il n'y a pas de vent. Tu disais ?

Qu'est-ce qu'elle va faire notre balle ? Elle va tomber. Certes. Elle va avoir donc une trajectoire ...

Etudiant

Rectiligne uniforme.

2F

Alors non, pas rectiligne uniforme. Je ne suis pas d'accord du tout avec ça. Alors, à un stade on va avoir une trajectoire rectiligne uniforme. Elle va tomber du toit, elle va avoir une trajectoire rectiligne. On n'avait pas de vitesse initiale. Et justement on avait un débat sur uniforme pas uniforme. Qu'est-ce qu'on peut dire de sa vitesse ?... Alors sa vitesse augmente, mais est-ce qu'elle va augmenter tout le temps ? Juste au point de vitesse limite.

2F

Exactement. Donc sa vitesse va augmenter jusqu'à atteindre une vitesse limite : V_{lim} , qu'on va essayer de regarder. Et on va s'intéresser ensuite à comment cette vitesse augmente. Alors, du coup, deuxième petite question que l'on va se poser, essayons du coup de trouver l'expression de la vitesse limite. Un peu comme on l'a fait pour le chat.

Donc on regarde notre balle. Quel est 00:09:51 sur la balle ? Système balle. Référentiel terrestre 00:10:01. Bilan des forces sur notre balle. Son poids P . M , c'est la masse de la balle, et force de frottement liée à l'air. Ce qu'on avait dit c'est que quand on a une sphère, quand on a une boule qui est en train de tomber et qu'on est en régime laminaire, on peut avoir pour la force de frottement une expression qu'on connaît qui est... pardon, qui est la loi de Stokes.

Je vous avais dit ce matin, ça s'écrit $\pi \epsilon r$, le rayon de la balle, fois vecteur vitesse. Donc là, vous voyez avec un moins devant puisque c'est opposé à la vitesse. Là, vous voyez que c'est donc colinéaire à la vitesse et opposé à la vitesse, et c'est proportionnel en norme à la norme de la vitesse.

Pour ne pas avoir à se trimballer toujours le $6 \pi \epsilon R$, je le pose, comme on avait dit tout à l'heure en écrivant que $\pi \epsilon r = K$. Cette force de frottement va être égal à moins KV . Si j'écris donc mon PFD sur ma balle, je sais que la masse de ma balle sur

l'accélération va être la somme des forces qui s'appliquent à la balle P plus F, donc MG moins KV.

Si maintenant, je vais projeter, il faut que je me choisisse quand même un petit système d'axe. Je vais choisir T égal zéro et Z égal zéro à l'endroit où je lâche la balle, donc en haut de la falaise. Et je vais prendre un axe vertical descendant. Je choisis comme je veux. J'ai le droit de faire ce que j'ai envie. On peut en prendre un montant si tu préfères.

Là, j'ai pris un descendant quand je le peux. Voilà. Tu as toujours le choix de prendre ton axe dans le sens que tu veux. Après, le tout est de rester cohérent. Donc là, disons que c'est pour ne pas me retrouver avec des Z négatives parce que je prends le Z égal zéro à l'endroit où je lâche la balle. Donc du coup, je vais avoir des valeurs positives pour Z quand je vais compter.

Donc Z égal zéro ici, max Z là, et ma balle est en train de tomber, et son poids, et la force de frottement sur la balle. Si je projette, on a Z, ça va être du coup, MG puisque mon axe vertical est descendant moins KV, moins KVZ. Alors, pour ne pas se trimballer toujours le petit Z, je vais écrire à partir de maintenant ...

Donc je sais que là, mon accélération elle va être vers le bas donc si je peux prendre directement la norme de l'accélération et je garde mes indices. Je peux prendre également la norme de la vitesse puisqu'elle va être égale dans ce cas-là à V de Z.

Je vais ensuite essayer de voir un petit peu ce qui se passe parce que là, j'essaie de retrouver la vitesse limite de la balle. Vitesse limite de la balle, ça veut dire qu'elle n'accélère plus, que son accélération est égal à zéro. Du coup, je pourrais retrouver cette équation-ci. On aurait donc MG moins K quand je suis à la vitesse limite : KV_{lim} qui est égal à zéro.

Je peux retrouver donc simplement la vitesse limite de ma balle qui serait MG sur K. Super. Et maintenant, on peut essayer parce que là, le cas est un petit peu plus facile. On dépend de V et pas de V carré. Donc le calcul facile pour nous, on va essayer maintenant de retrouver la vitesse à tout instant de la balle V de T.

Alors dans ce cas précis, on pourrait prendre la balle, la poussée d'Archimède en compte. En fait, il le faudrait parce que ta balle, elle est quand même assez légère. Et la poussée d'Archimède va avoir une valeur qui est non négligeable par rapport au

poids. Dans ce cas-là, si tu veux le faire comme ça, moi je te dis là je la néglige, je veux rester simple. Vous donnez un exemple, je suppose que voilà, il n'y en a pas.

Mais, si tu veux le prendre en compte, ça rentrerait là-dedans. Tu aurais un poids effectif pour ta balle. Certes, tu aurais le poids plus la poussée d'Archimède qui donnera un poids effectif pour ta balle... Dans delta du fluide, tu as une poussée d'Archimède. Après, tu peux la comparer aux autres forces en présence... Pas toujours.

Dans ce cas précis, si on fait le calcul, pour le chat, il l'aurait pu. Pour un homme qui descend, elle le serait. Pour quelque chose qui est assez dense, en fait dans l'air, il n'y aurait pas de problème. Dans le cas de la balle de ping-pong, si on fait le calcul, ce que je fais ici est un petit peu abusif. Bonne remarque. Alors maintenant, si je veux retrouver la vitesse à tout instant V de T de ma balle de ping-pong.

Donc si je veux reconnaître maintenant, si je veux retrouver V de T à tout instant. Ben je vais reprendre mon PFD qui me disait que la somme des forces était égale à la masse fois l'accélération. Je l'avais projeté et je peux reprendre au niveau de l'équation que j'avais écrite ici l'avant-dernière. Donc, je peux repartir de MA égal MG moins KV . Avant que je dise que 00:19:08 mon accélération est nulle. Et ça, c'est valable à tout instant du mouvement.

Là, on voit que ça ne va pas être forcément facile. En tout cas, ça ne va pas être forcément directe puisqu'on sait que MA , c'est la dérivée de la vitesse par rapport au temps. Donc, je me retrouve avec quelque chose, si je veux isoler le D de V sur DT , je divise tout le monde par la max. Je me retrouve avec quelque chose comme ça.

Là vous voyez, je me retrouve avec quelque chose qui fait intervenir à la fois la fonction V et sa dérivée. Dérivée sur $D T$, une équation différenciée du premier ordre. En plus j'ai G , donc c'est une équation différenciée du premier ordre avec ce qu'on a. Est-ce que vous avez déjà vu ça en mathématiques ? Alors, allons-y. 00:20:36. Alors, si je m'amuse à mettre K sur M en facteur... Si je mets K sur M en facteur de cette partie de l'équation, K sur M , vous voyez apparaître GM sur K qui est la vitesse minimale que j'avais trouvé tout à l'heure.

Et même je pourrais mettre moins K sur M de façon à faire apparaître D moins V . Donc là, je vois que ça commence à se décanter un petit peu, parce que si je réécris mon équation, DV sur DT moins K sur M , D moins V_{lim} , on a ça. Ce serait la même chose

que D de V_{lim} , D de V moins V_{lim} sur DT , D de V moins V_{lim} , et sinon je vais garder mon moins ailleurs puisque V_{lim} est une constante moins K sur M V moins V_{lim} .

Une fois que j'ai cette équation-là qui me fait intervenir la fonction V moins V_{lim} , je peux essayer de la résoudre par ce qu'on appelle la méthode de séparation des variables. La méthode de séparation des variables, ce n'est pas si compliqué que ça. Je vais juste essayer de mettre tout d'un côté s'il concerne la fonction V moins V_{lim} , et de l'autre le reste. Je vais donc avoir D de V moins V_{lim} sur V moins V_{lim} égal à moins K sur M DT .

Ça, je suis capable de l'intégrer. Le terme de gauche qui choisit d'intégrer maintenant du coup à gauche et à droite. Le terme de gauche, qu'est-ce que ça me donnerait ? J'ai D sur U , D d'une fonction sur la fonction, primitive de 1 sur la fonction, 1 sur x . \ln de x , donc là on a l'élément différentiel pour V moins V_{lim} sur la fonction V moins V_{lim} .

Ça veut dire que je retrouve \ln de V moins V_{lim} , qui va être à droite à quoi ? J'intègre par rapport au temps en termes de droite. Le DT me désintègre par rapport au temps. Ça, c'est une constante par rapport au temps. Donc, je me retrouve avec moins K sur M fois P , plus une constante que je vais appeler grand A , parce que sinon ça va faire 00:26:01. Ah, constante indéterminée...

Etudiant

00:26:11

2F

A la deuxième ligne, celle-là ?

Etudiant

Oui.

2F

Ce que je dis, alors il y a d'autres méthodes plus générales pour faire ça, mais moi j'ai envie de faire facile puisque c'est la première que vous abordez. Ce que j'aimerais bien voir apparaître, c'est la vérité d'une fonction qui dépend de sa propre fonction et que je n'ai pas de deuxième terme. Je cherche à cacher le deuxième terme. Je sais que quand je fais DV sur DT , c'est la même chose que T de V plus une constante sur DT .

Est-ce que ça, ça te paraît clair ? Non. Si je fais D de X carré sur DX , ça me donne quoi ? $2X$? Si je fais la dérivée de $2X$, de X carré plus 1, $2X$ aussi. C'est ça que je veux faire ici. C'est-à-dire ce que je dis c'est que quand je fais la dérivée de V moins V_{lim} , par rapport au temps, c'est la même chose que la dérivée par rapport au temps parce que moins V_{lim} , c'est une constante.

Donc je peux parfaitement égaliser ici. Le reste, ça reste comme c'était avant. Du coup, je suis vraiment contente parce que du coup, j'ai du D de V moins V_{lim} et du V moins V_{lim} ici. Et je peux m'amuser maintenant à faire directement ma résolution par séparation des variables. Donc, on en était à \ln de V moins V_{lim} est égal à moins K sur MT plus une constante.

Maintenant, ce qui m'intéresse, c'est V moins Vitesse limite. Comment est-ce que je retrouve ça ?... Oui, on prend l'exponentielle à gauche et à droite. Ça, on va se débarrasser du logarithme. Donc si je prends l'exponentielle du \ln , ça me donne directement D moins V_{lim} , et de l'autre côté, ça va me donner exponentielle de moins K sur $M T$ plus A , tout dans l'exponentielle.

Quand j'ai l'exponentielle de deux choses qui se soldent, là j'ai exponentielle de moins K sur MT plus A dans l'exponentielle. Ça, ça voudrait dire que c'est comme si je faisais exponentielle de A fois exponentielle de moins K sur MT . Exponentielle de A , si A est une constante, c'est une autre constante que je peux appeler B .

On se retrouve donc avec V moins sa vitesse limite qui est égal à B exponentiel moins K sur MT avec B à déterminer. Bon ben on y est presque. Si je regarde l'instant initial, je vais pouvoir arriver à trouver ma constante B . Si je regarde à T égal zéro...

Etudiant

V moins V_{lim} 00:30:09 ?

2F

On s'en fiche. Ah ! Oui, bonne remarque. Un côté un peu abusé de faire ça. Je voulais faire ça, mais en fait, il y a un côté abusé... Tu fais V_{lim} moins V , après tu vas te retrouver avec plus là. Tu vas retourner ton exponentielle.

Etudiant

00:30:47

2F

Effectivement... Alors attends. Si on veut le prendre avec V_{lim} moins V , on se retrouve avec du plus K sur M . Ah ben non, ça va se remettre ici. Donc tout va bien. Ça revient exactement à la même chose. Regarde. Si je prends ... Ah non, j'ai mon moins qui reste. Oui, c'est ça, j'ai un K sur M qui reste. V moins V_{lim} . Donc si je fais V_{lim} moins V , D de V , c'est moins ça.

On le finit comme ça, on le refait ? Juste pour ne pas se perdre. Parce que sinon, on ne va pas terminer. Je finis juste ce calcul-là. On trouve B et on le refait en version 2... Non, tu n'as pas le droit de mettre une valeur absolue comme ça, là d'un coup... Pour l'intégrale, tu veux dire ici ?

Etudiant

00:31:47 valeur absolue non ?

2F

Le problème, c'est que tu te retrouves avec un ... Si tu prends V_{lim} moins V , c'est moins D de V sur DT qui est égal à D de V_{lim} moins V .

Etudiant

Et dans la thèse où on 00:31:58.

2F

Ah oui, si. C'est \ln de valeur absolue de ... Heureusement que j'ai des gens qui m'ont rappelé à l'ordre. Parce que moi, je pense directement à la solution en fait. Donc, on se retrouve ... Alors le problème, c'est qu'on va se retrouver avec ce machin qui va nous embêter quand même à la fin.

Donc si on prend, si on se retrouve donc avec B moins B_{lim} égal V exponentielle de moins K sur MT avec B à déterminer. Si on se place à T égal zéro... À T égal zéro, vous vous retrouvez avec, vous savez que votre vitesse V est égal à zéro. Vous la lâchez sans vitesse initiale la balle. Si je regarde dans l'expression que j'ai ici...

Etudiant

00:33:18

2F

Ben là, ça va te filer un signe bizarre. On termine comme ça. Ça va nous donner V_{lim} ... oui, si, V_{lim} moins V . 00:33:47 on la lève. Si moins V on se retrouve avec V égal zéro et on se retrouve avec le terme en exponentiel qui est égal à zéro, qui est égal à 1. Mais décidément, ça me perturbe ça.

Donc on se retrouve avec B égal B_{lim} . Ce qui, si on regarde ça, nous donne 00:34:30 au même endroit... nous donne V égal, donc V_{lim} facteur de 1 moins exponentielle de KM sur T , de moins KMT . Est-ce que tout ça marche bien ?

Effectivement, ce que je voulais retrouver sur le départ... Voilà. Donc on peut retrouver à cet instant-là... On peut donc retrouver à tout instant la valeur de la vitesse V_T pour notre balle qui est en train de tomber. Et effectivement, réflexion faite pendant que j'étais deux minutes absente, ça marche exactement comme ça. Il n'y a pas de problème.

Ça va prendre ... ou alors simplifier le truc sans réfléchir. Et une fois qu'on a ça, si on veut connaître par exemple la position de l'objet, et on aura réintégré ça une fois par rapport au temps et on pourra reconnaître, on pourra retrouver Z de T . Voilà tout ce que j'ai à dire sur les forces de frottement.

Une dernière force qu'on peut aller voir, qui nous est utile et dont on va parler à partir du prochain cours. C'est la force qui est exercée par un ressort. Ce qu'on appelle la loi de Hooke ou la loi de l'élasticité matérielle. Donc j'ai considéré un ressort qui est attaché à un bloc, qui est horizontal pour le moment, juste pour vous donner la loi. Et il est attaché à un bloc sur une surface horizontale sans frottement. Loi de Hooke.

C'est la force qui est exercée par un ressort. Donc, j'ai supposé le point max V_X 00:37:48 et je vais appeler X_0 la position de l'extrémité du ressort quand le ressort est à sa longueur à vide, donc quand on ne tire pas dessus. Quand je ne tire pas dessus, rien ne se passe, pas de force. Par contre, je vais tirer dessus. Ça veut dire que mon bloc va se retrouver à une position X différente de X_0 . Mon ressort va exercer une force de rappel sur le bloc.

Etudiante

Pardon 2F...

2F

Oui. En fait, c'est le nom général pour la loi de Hooke, c'est un Monsieur qui a beaucoup étudié l'élasticité des matériaux, Hooke. Donc le ressort exerce une force de rappel, dans ce cas-là qui s'écrit $F \text{ égal moins } K \text{ d'allongement } X \text{ moins } X_0$. Ux... il est carrément... ils sont pénibles les tableaux... Essayez de ne pas tout casser s'il vous plait... Tu arrives en bas ou pas ? Dis-moi parce que je ne vois pas d'ici... Non ? En plus ils sont trop petits.

D'accord ? On ne peut pas travailler dans ces conditions. Voilà. Donc notre ressort, il exerce une force de rappel $F \text{ égal moins } K X \text{ moins } X_0$ Ux K... Ben du coup, pour les autres qui suivent 00:41:16 et de ne pas tout utiliser. Alors, donc K est en fait expression, c'est la constante de raideur du ressort. C'est-à-dire c'est celle qui ... enfin à entendre dire son nom, c'est la façon dont le ressort est raide. Son unité est le Newton par mètre. Donc si vous avez deux ressorts différents, ils doivent avoir des constantes de raideur différente.

Et je vous disais X_0 , c'est la position de l'extrémité du ressort quand on ne tire pas dessus. Alors le signe moins qui apparaît dans la force ici vous indique que la force est toujours dans le sens opposé au déplacement de l'objet... D'abord, ce n'est pas juste ça... Et opposé à 00:42:56. ...oui. Pas de déplacement... $X \text{ moins } X_0$. Cette expression-là vaut que votre ressort soit en extension ou en compression.

Donc dans le cas précis que j'ai dessiné ici où X est plus grand que X_0 , ma force va essayer de ramener mon bloc vers sa position d'équilibre. $X \text{ moins } X_0$ positif. J'ai un moins fois un truc positif fois Ux. C'est selon moins Ux pour ce cas-là. Si mon ressort est en compression, X_0 étant ici, ma position X est là, ma force c'est encore la mienne.

Dans ce cas précis, $X \text{ moins } X_0$ va être négatif. Ça va être en moins fois quelque chose de négatif fois Ux. Je vais le diriger comme ça. Donc la force que je vais retrouver va pousser l'objet vers sa position d'équilibre. Là encore, vous avez une force qui va être variable au cours du temps puisqu'elle dépend de X .

Alors, on va faire comme ça. Plus besoin du tableau là... Donc votre force va être variable au cours du mouvement puisqu'elle est proportionnelle à $X \text{ moins } X_0$. X , c'est la position de votre masse. Donc ça aussi, du coup, ça va nous compliquer quand on va vouloir intégrer. Ça ne va pas se passer comme ce qu'on a fait jusqu'ici très simplement. On va se retrouver avec une équation différentielle.

Et on va se retrouver avec une équation différentielle quand on essaie de travailler sur la position. C'est une équation différentielle de deuxième ordre. C'est-à-dire qu'il fait intervenir la dérivée seconde de la position et la position. On en reparlera au prochain cours puisqu'on va faire un cours complet sur les oscillations...

K , c'est proportionnel à la force. Elle est proportionnelle à X moins X_0 . X étant la position de l'objet. Donc je vous disais que quand on va essayer de travailler sur la position de l'objet, on va se retrouver avec une équation du mouvement qui est une équation différentielle d'ordre deux puisque si on fait le PFD sur l'objet, 00:47:00 accélération qui va être reliée à la force par M .

Donc on va avoir une force, on va avoir du D^2X sur DT^2 qui va venir de l'accélération qui va être mise en relation avec quelque chose qui dépend de X . Donc, on va se retrouver avec une équation différentielle du deuxième ordre qu'on résoudra ensemble la prochaine fois. Toutefois, le mouvement qui résulte d'une telle force, je peux vous le donner dès aujourd'hui, ça va être un mouvement d'oscillation. Ce qui veut dire on va faire un cours sur les oscillations.

Etudiant

00:47:30.

2F

Ceci est un genre de ... ce n'est pas alpha. Ça, ça veut dire proportionnel.

Etudiant

00:47:40.

2F

Oui. Il y en a. Ça dépend des gens. Mais comme alpha, il peut avoir des tas de significations. Ici, je ne peux pas mettre alpha. Parce que c'est un alpha qui remonte avec une barre.

Donc, le mouvement qui résulte d'une telle force, c'est un mouvement d'oscillation. Et la forme de X de T serait donc X_0 plus X moins X_0 facteur de $\cos \omega t$ égal racine de K sur M . Si on lâche le ressort depuis une position X_1 , dans ce cas-là, X_1 moins X_0 , je veux dire on lâche le ressort depuis la position X_1 . X_1 moins X_0 , c'est l'amplitude de notre oscillation.

C'est l'amplitude maximale que vous pouvez avoir sur l'oscillation. Vous ne pourrez pas dépasser votre position de départ en revenant une deuxième fois. w , je vous disais, c'est racine de K sur M , c'est ce qu'on appelle la pulsation du mouvement. C'est-à-dire que c'est le temps, enfin c'est relié à la période w , la période pour faire un mouvement complet par T égal 2π sur Ω .

Donc Ω , c'est en radian par seconde, et T la période du mouvement. C'est 2π sur Ω . Tu le lâches depuis une position X_1 . On va le revoir 20 fois. Donc là, ce qui se passe, si je prends mon ressort, je tire un peu dessus à T égal zéro, et je le lâche. Ensuite, donc comme je pars d'ici, ma force de rappel elle va rappeler un petit peu... elle va rappeler le bloc, toc toc toc, il va repasser par sa position d'équilibre. Il va passer de l'autre côté.

Il va compresser le ressort. Ça va repartir dans l'autre sens. Ça va osciller. Si je m'amuse à dessiner ...

Etudiant

Si c'était un trajet d'oscillation 00:51:52.

2F

Là non, Puis on va également faire des oscillations amorties, ne t'inquiète pas. Là je vous ai, juste vous présenter pour la première fois la loi, la force de rappel pour un ressort et vous faire vraiment remarquer que, que vous soyez en allongement ou en compression, c'est la même expression pour la loi. Il faut bien garder ça en tête.

Quand vous allez regarder des problèmes de ressort pour essayer de retrouver votre loi, si vous n'êtes pas sûr de vous, passez-vous toujours la même configuration, comme ça, ça sera plus facile, pour retrouver bien le signe moins qui vient devant X moins X_0 là. Donc, si vous vous voulez dessiner votre position X au cours du temps, vous pouvez partir... ici, je vais avoir ma position d'équilibre X_0 .

Je pars donc je disais je tire mon bloc jusqu'à X_1 et je lâche, donc à T égal zéro, $X(0)$ c'est X_1 . Si je veux avoir 00:53:24, à T égal, à $wt = \pi/2$, comme ça je vais me débarrasser de mon cosinus. $wt = \pi/2$, je regarde un petit peu l'expression qu'on a ici.

Si $wt = \pi/2$, mon cos égal à zéro. Donc tout ça est égal à zéro. C'est le moment où on passe à l'équilibre. Ensuite, je peux regarder d'autres points. $wt = \pi$, etc. Et je vais

retrouver... alors je travaille la sinusoïde pour le prochain cours. Je vais retrouver mon mouvement d'oscillation.

Etudiant

2F.

2F

Oui.

Etudiant

C'est quoi 00:54:16

2F

Ça dépend de la constante de raideur de ton ressort.

Etudiant

00:52:23

2F

Ça dépend de 00:54:26 une constante de raideur pour un ressort, la masse de ton machin...

Etudiant

00:54:31

2F

Oui. Ça dépend vraiment du signe de qui tu prends quoi donc...

Etudiant

00:54:48

2F

Non, mais si tu prends un petit ressort comme ça, qui n'est pas trop raide. Tu vas dire la seconde. Enfin dans la seconde, pour la période, donc 2π sur T pour w , 2π sur la seconde donc 2π . Donc, voilà pour toutes les forces que je voulais voir avec vous au moins une première fois.

Et comme je vous le disais, on va revenir extensivement sur ces problèmes d'oscillation au prochain cours, c'est notre prochain thème. On va regarder ce qui se

passé quand on a des oscillations libres comme ici des oscillations amorties, des oscillations forcées. Et on va regarder ça pour des ressorts, et pour d'autres choses. Mais principalement des ressorts.

Tout ce catalogue des forces étant établi, j'aimerais bien revenir avec vous un petit peu sur une notion qu'on a laissée de côté. Je voudrais revenir sur quelque chose qui s'appelle la quantité de mouvement, que vous avez vu apparaître en TD, qui est un petit peu tôt que le moment où je voulais vous le faire.

Alors, pourquoi je remonte sur la quantité du mouvement ? Parce qu'on l'a vu en regardant un petit peu les trois lois de Newton. Quand on étudie le mouvement d'un objet, la vitesse c'est bien jolie. Mais ça ne suffit pas à expliquer toutes les caractéristiques du mouvement. Il faut prendre en compte l'inertie de ce sur quoi on est en train de travailler.

Il faut faire intervenir la masse de l'objet. Donc, on a envie de définir une quantité qui fait intervenir à la fois la vitesse et la masse inertielle. Cette quantité, c'est ce qu'on appelle la quantité de mouvement, et qu'on note P . Et P par définition, c'est le produit de votre masse inertielle par la vitesse. Pour un objet de masse M donc, P vitesse V .

Dans le système international, la quantité de mouvement si vous voulez donner sa norme, ça se donne en kilogramme mètre par seconde. Donc vous voyez au passage que la quantité de mouvement, c'est une quantité vectorielle. Encore une fois comme la vitesse et l'accélération donc il faudra faire attention à ça.

Alors, justement il y a une propriété intéressante, enfin un point intéressant qui vient de la nature vectorielle de la quantité de mouvement. Si vous vous rappelez de ce qu'on avait fait sur la composition des vitesses. Comme la vitesse, votre quantité de mouvement, elle est relative.

C'est-à-dire que la quantité de mouvement d'un objet qui a une vitesse V par rapport à un observateur et qui est donnée par MV , est donnée par rapport à cet observateur. C'est-à-dire qu'elle est donnée dans un certain référentiel. Exactement comme la vitesse, tout simplement parce que P , c'est M fois V .

C'est-à-dire que votre quantité de mouvement quand vous êtes assis dans un avion qui vole à 800 kilomètres par heure, c'est nul par rapport à l'avion. Par contre par rapport au sol, c'est non nul. Si vous êtes assis dans l'avion bien sûr. 01:01:51 je dirais

même votre quantité de mouvement par rapport à l'avion est non nulle par rapport à ... est nulle par rapport à l'avion.

Elle est par contre non nulle par rapport au sol. Donc faites bien attention encore une fois à préciser votre référentiel parce que dans le cas où vous regardez votre quantité de mouvement par rapport au sol, tiens, elle va être 01:02:31 pour avoir la vitesse de l'avion par rapport au sol.

Vous êtes assis dans l'avion. Puisque dans ce cas-là, si vous êtes assis dans l'avion, votre vitesse à vous par rapport au sol, c'est la vitesse de l'avion par rapport au sol. Donc ça du coup, il faut y faire un petit peu attention.

Donc maintenant, on va essayer de voir ce qui se passe quand on a une variation de quantité de mouvement et revenir au travers de la variation de quantité de mouvement sur les lois de Newton qu'on a vu ensemble auparavant. Donc, on avait vu... Donc si une force est appliquée à un corps ou à un système, il résulte de ça, un changement de la quantité de mouvement de l'objet. Vous faites changer sa vitesse, donc vous faites changer sa quantité de mouvement.

C'est-à-dire que votre force va être proportionnelle encore une fois à la variation de quantité de mouvement ΔP . Alors le fait que ΔP intervienne, c'est encore une fois assez intéressant. En fait, c'est bien assez significatif par rapport à ce que je viens de vous dire ici. Je viens de vous dire que la quantité de mouvement, c'est quelque chose de relatif. C'est-à-dire que j'ai besoin, quand je parle de quantité de mouvement, de préciser le référentiel par rapport auquel je suis en train de la donner. Il y a un problème ?

Donc la quantité de mouvement... c'est que je me méfie maintenant. Donc la quantité de mouvement, c'est une quantité, c'est quelque chose qui est relatif. Mais par contre, la variation de quantité de mouvement, là vous allez vous affranchir de votre référence. Une variation de quantité de mouvement peut être donnée sans notion d'observateur, sans notion de référentiel.

Or une force, c'est quelque chose qui ne dépend pas de votre référentiel donc donné sans donner de référence. Alors, on voit également apparaître un deuxième point intéressant, c'est celui sur lequel je voudrais plus insister. Donc deuxième point intéressant, c'est que dans la deuxième loi de Newton telle que nous en avons discuté, il n'y a pas de mention explicite du temps.

Elle est cachée dans l'accélération. Là, on sait que quand on applique une force constante sur quelque chose, ou on l'applique pendant longtemps, on a plus quelque chose va aller vite. Quelque chose va avoir sa vitesse modifiée.

Donc là, l'avantage de faire apparaître la quantité de mouvement, c'est qu'on va pouvoir faire apparaître le fait que la force appliquée sur un système est égal à la variation de quantité de mouvement parmi unité de temps, donc pas uniquement le fait que la force est proportionnelle à variation de quantité de mouvement. Mais en fait la force, c'est la variation de quantité de mouvement par unité de temps.

Donc pour retrouver une force moyenne appliquée sur quelque chose, si on connaît la variation de quantité de mouvement entre un instant 1 et un instant 2, eh bien on sait que la force, c'est la variation de quantité de mouvement divisé par intervalle de temps sur lequel ça se produit. Donc de façon moyenne, on peut même faire apparaître ΔMV sur ΔT .

Alors, autre petite chose qui est intéressante quand on parle de quantité de mouvement justement, en corollaire de cette définition-là, on peut définir ce qu'on appelle l'impulsion. Alors on l'utilise assez peu, mais comme il apparaît dans certains bouquins, je voulais quand même vous en parler, l'impulsion c'est justement la variation de quantité de mouvement.

Donc l'impulsion, c'est directement ΔT . et c'est parfois noté I ou enfin plutôt J . J impulsion donc variation de quantité de mouvement. Ça va donc être votre force moyenne fois l'intervalle de temps. Voilà. Ça, c'est juste entre parenthèses. Si vous croisez ce genre de chose là, normalement l'impulsion c'est la variation de quantité de mouvement. Et on parle vraiment de terme quantité de mouvement pour le truc qu'on a 01:10:32.

Alors maintenant, si on veut parler non pas de force moyenne, mais de force instantanée qui est plus ce qu'on a fait jusqu'ici...qu'est-ce que je me disais moi, ça va bien... la force à un instant T , ce serait donc la limite quand ΔT tend vers zéro de ce qu'on vient d'écrire. De ΔP sur ΔT . Et donc, F , on peut également retrouver la force en disant que c'est DP sur DT . Si la masse est constante et que seule la vitesse varie, il faut retrouver juste là.

Alors là, je vous disais quand j'évoquais ça que la quantité de mouvement, c'est donné par rapport à une référence. C'est donné dans un référentiel particulier. Parce que

comme dans la quantité de mouvement, vous faites intervenir la vitesse, une vitesse est définie comme une vitesse par rapport à quelque chose. On en avait parlé notamment quand on avait fait la composition de vitesse.

Et ce que je disais, c'est que quand je suis assis dans un avion qui vole à 800 kilomètres par heure, ma quantité de mouvement par rapport à l'avion, si je suis assis dedans, est nulle par rapport à l'avion. Puisque ma vitesse par rapport à l'avion est nulle.

Par contre, par rapport au sol, elle est non nulle. Ma quantité de mouvement par rapport au sol, c'est ma masse fois la vitesse de l'avion par rapport au sol. Puisqu'en fait c'est ma masse fois la vitesse de moi par rapport à l'avion plus la vitesse de l'avion par rapport au sol. Or la vitesse de moi par rapport à l'avion, elle est nulle si je suis assis dans l'avion.

Donc ça, juste pour vous faire remarquer que quand on donne une quantité de mouvement, on la donne donc par rapport à un référentiel. Donc, précisez bien ce par rapport à quoi vous parlez quand vous utilisez les quantités de mouvement. Et précisez bien votre système aussi.

Alors, on avait dit donc ensuite que c'était quand même merveilleux de voir apparaître quelque chose qui était plutôt en variation de quantité de mouvement. Du coup, on se débarrassait de cet observateur qui nous embêtait. Et je vous disais que si on regarde, donc on peut faire le lien entre la force et la variation de quantité de mouvement. Si on la regarde à un instant donné, on peut retrouver F égal DP sur DT . Si seule la vitesse varie dans cette expression.

Si la masse est constante, et que seule la vitesse varie, là, je pourrais écrire tout simplement F égal, sortir le M de ma dérivation, sortir le M de mon M fois V , je retrouve la force extérieure est égal ici à la masse fois l'accélération. Je retrouve la deuxième loi de Newton, le principe fondamental de la dynamique, pour une seule force ici.

Donc c'est quand même pas mal puisque là, on a une deuxième version de la deuxième loi de Newton qui vous fait intervenir non pas l'accélération, mais la variation de quantité de mouvement, DP sur DT . Ce n'est pas mal parce que si on retrouve avec un système dont la masse varie, qu'est-ce qu'on fait ?

Par exemple, une fusée dans l'espace ou on a une sonde dans l'espace. Vous voulez faire changer cette sonde dans l'orbite. Vous voulez donc la faire bouger. Vous voulez

lui appliquer une force. Comment faire ? Si on a une sonde qu'on veut propulser dans l'espace, comment ça marche ? Parce que dans l'espace, vous n'avez pas d'air. Vous n'avez pas de sol, vous n'avez rien.

Vous ne pouvez pas vous appuyer. Vous ne pouvez pas vous pousser. Je ne peux pas faire ça. Je ne peux pas dire : tiens je vais m'appuyer sur l'air, je vais ramer, je vais faire quelque chose. Qu'est-ce qu'on pourrait faire ? L'action-réaction, elle vient d'où ?

Etudiant

Ben, je projette des gaz.

2F

Quand tu projettes des gaz, qu'est-ce que tu fais là-dedans ?

Etudiant

Je fais varier la masse.

2F

Tu fais varier la masse. Effectivement.

Etudiant

Le centre de gravité reste au même endroit donc...

2F

Le centre de gravité reste au même endroit, mais ta sonde elle va bouger. Les gaz, elles vont partir d'un côté, ta sonde elle va partir de l'autre... Oui, mais par rapport au sol ? Si tu prends uniquement ta sonde qui a perdu sa masse, tu sépare les deux. Tu fais une masse qui va être éjectée et... une masse de gaz qui va être éjectée de ta sonde.

Effectivement, ils vont partir. Ils vont partir chacun de leurs côtés. Si tu considères uniquement, le système sonde qui n'avait déjà plus cette masse de gaz, tu vas te retrouver à pouvoir la faire bouger par rapport à un référentiel extérieur.

Etudiant

01:17:58

2F

La masse totale du système n'a pas changé. Tu disais ?

Etudiant

01:18:08

2F

Bon, on va y revenir à ça parce que justement maintenant on va parler de conservation. Enfin pas tout de suite, je voudrais vous parler de choc juste avant. Mais effectivement, là, tout bêtement sans regarder, on considère que la masse est déjà en dehors du système. On regarde juste la sonde et on regarde comment on va réussir à la faire avancer.

Simplement, quand on va essayer de faire propulser quelque chose dans l'espace, on va en fait simplement essayer de faire varier la masse du système. On va envoyer de la masse derrière et comme tu dis, ça va faire action réaction, ça va repartir dans l'autre sens. On en reparle dans deux minutes. Et on va se retrouver à pouvoir pousser la fusée.

On va pouvoir, sur le système sonde, on va pouvoir retrouver une force motrice. Et uniquement ça, je ne regarde pas le gaz. Donc grâce à ça, vous êtes capables de faire bouger une sonde quand il n'y a rien autour, rien pour s'appuyer.

Juste un petit point du coup sur lequel je voudrais venir avant de parler de conservation. Puisque là, je faisais le lien entre force et quantité de mouvement. J'aimerais bien qu'on voie un petit peu la force ressentie par un objet lors d'un choc. Donc lors d'un choc, qu'est-ce qui se passe ? Quand je fais ça, je rebonds au niveau du sol.

Il faut essayer d'aller voir quelle est la force que ressent la balle rebondissant. Donc, quand j'ai un rebond, quand j'ai un choc, donc une balle contre le sol, une balle contre le mur, deux billes de billard l'une sur l'autre, on ne sait pas à priori quelle force s'exerce sur l'objet.

Par contre, on peut facilement étudier la variation de quantité de mouvement. Je vous entends un peu trop les filles. Puis on peut facilement donc regarder la variation de quantité de mouvement. Donc par exemple, dans le cas du rebond de ma balle. On va prendre le rebond d'une balle. On va se placer à l'horizontale plutôt, ça va être plus facile.

Donc, j'arrive avec une certaine vitesse, face au mur et je vais supposer ici qu'elle va rebondir et repartir exactement avec la même vitesse dans l'autre sens. C'est-à-dire que j'ai un choc qui est complètement élastique. Qu'est-ce que ça veut dire ça ? On en reparlera quand on parlera d'énergie.

Ça veut dire, si la balle repart à la même vitesse que l'énergie cinétique de la balle est conservée au cours du choc. Et c'est ce qu'on appelle un choc élastique. Donc on reviendra là-dessus quand on causera d'énergie. Tel n'est pas mon propos ici, je veux juste vous faire voir un petit peu quelle serait la force qu'exerce le mur sur la balle.

Donc, si je veux connaître la force moyenne qu'exerce le mur sur ma balle, ça je vais simplement pouvoir le faire en regardant la variation de quantité de mouvement de la balle. Qui ? Oui, excuse-moi. Oui ? C'est bon ? Donc lors du choc, on va avoir une variation de quantité de mouvement de la balle puisqu'elle arrive dans un sens si bien que si elle repart avec une vitesse de même norme, la vitesse est dans l'autre sens.

Votre quantité de mouvement, c'est une quantité vectorielle. Delta P, ça va donc être votre P final moins le P initial. Et ça va être du coup, alors on avait M fois V_f moins M fois V et on avait dit que V_f , c'est exactement égal à moins V_i dans ce cas-là puisqu'on disait qu'elle repartait exactement dans l'autre sens, ça va être la même norme de vitesse. Donc mon Delta P serait moins $2M V_i$.

Si je veux connaître la force que le mur exerce sur la balle, je vais donc avoir une force F qui va être Delta P sur Delta T, le temps du choc contre le mur. C'est l'intervalle de temps qui correspond au contact contre le mur. Donc dans ce cas précis, la force si je peux déterminer, ce serait moins $2M V_i$ sur Delta T.

Donc ça n'a l'air de rien, mais c'est quand même bien utile parce que quand vous regardez des choses que vous avez juste le moyen de connaître la variation de quantité de mouvement ; quand vous avez, je ne sais pas, un accident de voiture par exemple et vous voulez connaître la force de choc de votre ceinture sur votre sternum. Eh ben vous avez besoin de passer d'une certaine vitesse à l'arrêt, etc. et vous allez pouvoir retrouver la force qu'exerce votre ceinture sur votre sternum rien qu'en faisant ça.

Un petit peu plus difficile, qu'est-ce qui se passe si j'arrive sur mon mur avec une inclinaison ? Si j'arrive non pas pleine face dans le mur, mais si j'arrive dans le mur

avec un angle θ . Comment ça repart ? Et quelle va être la force ? Donc là, on a un mur... Comme ça, en symétrie. On est d'accord. Pourquoi ? On va regarder.

Alors il y a plusieurs choses qu'il faudrait considérer ici pour bien y arriver, c'est-à-dire notamment l'énergie cinétique de votre balle pour voir comment ça va se retourner. Là, on n'a toujours pas de changement en norme de la vitesse. On est toujours sur un choc élastique. Donc sur X, si on s'amuse à prendre un système d'axe ici, donc là j'ai vu un petit peu comment elle repartait.

Je peux m'intéresser à la force ressentie par la balle au moment du choc... Donc, si je vois ça comme précédemment, il va falloir que j'aie vu quelle est ma variation de quantité de mouvement. Alors vous voyez que là on va avoir une inclinaison donc on va être dans un plan, on va être à 2D. Il va nous falloir choisir un système d'axe.

Moi j'ai choisi 01:31:23 X comme ça, Y comme ça. Donc, on peut aller regarder notamment qu'est-ce qui se passe avant et après pour notre Balle ? Pour la vitesse, avant le choc ? Qu'est-ce qu'on va avoir comme composante. Oui, $V \cos \theta$. Et en V_y , $V \sin \theta$. Après le choc, je vous donne... On l'avait deviné parce qu'on a l'expérience quand même de ce qui se passe. Et puis je ne vais pas trop pousser loin sans l'énergie, ce qu'on en a vraiment besoin.

Donc on avait la réponse de ça. Oui, je vous dis, ça repart exactement avec le même angle θ . Quelle est la composante en X de la vitesse ? Allo ? La composante en X de la vitesse après le choc... Moins $V \cos \theta$. Ça repart dans l'autre sens. Composante en Y de la vitesse. $V \sin \theta$. Alors justement, vous voyez que sur la composante en Y, rien ne se passe sur V.

Donc rien ne se passe pour la quantité de mouvement. Est-ce que ça a un sens ? Pourquoi ?... Oui. Oui et non parce là quand même tu n'es pas conservée, tu prends le mur. Il y a justement une force qui s'applique sur ton système...

Effectivement si 01:33:51, mais aussi très simplement là. En ayant, juste à sa disposition la quantité de mouvement, et se dire la quantité de mouvement ne peut varier que si j'ai une force qui s'applique sur moi. Ça va dépendre de l'orientation de la force. Donc là, ce que ça nous dit, le fait que la composante en Y de la force, la composante en Y de la quantité de mouvement ne varie pas, ça veut dire que la force est uniquement sur X. Elle n'est pas du tout sur Y.

Quand on tape sur le mur, la force, je suis d'accord qu'on a besoin d'énergie pour faire tout ça proprement. On reviendra sur les chocs après. La seule chose que je voulais vous dire, c'est que la quantité de mouvement, puisque là, ce qui nous intéresse, c'est de retrouver la force qui est ressentie par la balle au moment du choc. ΔP_y égal zéro.

Ce qui veut dire que la force, la force de choc, la force liée au choc n'a pas de composante en Y... Si je vais maintenant retrouver donc la force qui s'exerce, la composante en X de la force, je vais simplement faire ΔP_x sur ΔT , et je vais me retrouver dans ce cas-là avec la norme de la force qui est directement égal à composante sur X de la force qui va être du coup moins $2M V \cos \theta$ sur ΔT .

ΔT , le temps au cours duquel vous êtes en contact avec le mur. Donc là effectivement, comme tu l'as dit tout à l'heure, ce qui est intéressant, c'est qu'on voit qu'il y a bien une variation de quantité de mouvement selon X, c'est-à-dire que la balle arrive et puis repart selon X.

Mais selon Y, il n'y a rien qui s'applique et la quantité de mouvement est conservée selon Y. S'il n'y a pas de force qui s'applique selon Y, votre quantité de mouvement est conservée. Justement, c'est là-dessus que je voudrais revenir parce que la conservation de la quantité de mouvement, c'est un truc qui nous travaille... Ça ne va pas recommencer.

Donc là, ici, on est rentré dedans assez gentiment. Et on a mis en relation simplement la force et la variation de quantité de mouvement. Si on se rappelle un petit peu de ce que nous disait la première loi de Newton. La première loi de Newton nous disait que pour un système dans lequel la résultante des forces est nulle, alors l'objet reste immobile ou est en mouvement rectiligne uniforme.

C'est-à-dire que l'accélération est égale à zéro. C'est aussi ce qu'on appelle le principe d'inertie. Première loi de Newton donc. Somme des forces extérieures sur un système égal zéro, ça nous implique accélération égal zéro. Il est immobile ou en mouvement rectiligne uniforme. Ça veut dire que pour un système sur lequel la somme des forces extérieures est nulle, si votre vitesse est conservée, votre quantité de mouvement est conservée.

Donc un système qui ne ressent aucune force ou dont la résultante des forces qui s'appliquent dessus est nulle, P ne varie pas, P est conservé. Donc, P est conservé.

Ça va être vrai. C'est là que vient la subtilité de la sonde de tout à l'heure. Pour un système donc qui est isolé ou pseudo-isolé quand la résultante des forces est nulle, c'est que votre système est pseudo-isolé. Donc P est conservé pour un système isolé.

C'est-à-dire pour un système fermé. C'est-à-dire qu'il n'y a pas de la masse qui rentre ou qui sort. Donc on peut obtenir ça d'un bloc. Vous avez conservation de la quantité de mouvement d'un système... Il n'y a pas de masse qui rentre, qui sort, parce qu'elle est fermée. C'est-à-dire que là vous avez, vous considérez tout à l'intérieur de votre système. Et donc vous n'avez pas de variation de masse totale du système pour que votre 01:41:49 soit conservé.

Alors, là je parle bien de... justement c'est une bonne remarque, parce que là je parle bien de ce qui se passe pour un système isolé fermé, donc là, de l'utilité de très très bien définir votre système pour rester précis parce que sinon, justement on va se planter. Donc là, il faut bien définir votre système parce que même si la quantité de mouvement globale d'un système va être conservée, vous pouvez avoir des variations de quantité de mouvement à l'intérieur.

Ça veut dire que les deux à l'intérieur vont être opposés, donc bien définir votre système pour savoir d'une part s'il y a des forces qui s'appliquent dessus ou pas, des forces extérieures qui s'appliquent dessus ou pas. Ça, on l'avait vu. Mais également parce qu'il peut se passer des choses à l'intérieur de votre système. C'est-à-dire si votre système est composé. S'il y a plusieurs personnes dans votre système.

S'il y a plusieurs wagons de train, ce qu'on évoquait la dernière fois. Si votre système comporte plusieurs choses, il peut se passer des choses à l'intérieur de votre système et que votre quantité de mouvement soit conservée si votre système est isolé.

Alors, on va voir un petit exemple de ça. Ça va vous plaire que vu comme ça. Donc c'est-à-dire que si vous avez ΔP pour une partie du système, vous auriez, vous pourriez avoir moins ΔP pour l'autre partie. Et si ce système est globalement isolé, la quantité de mouvement totale du système serait conservée, enfin est conservée.

Prenons un petit exemple pour essayer de voir 01:45:33 justement. On prend le système isolé de deux astronautes. Donc deux astronautes dans l'espace lointain. Deux astronautes qu'on va appeler Sandra et Georges. Ils attendent d'être sauvés et décident, puisqu'ils s'ennuient, de jouer à la balle.

Donc ils se décident de se lancer un ballon. Initialement, les deux astronautes et la balle sont immobiles. Si je regarde le système des deux astronautes plus la balle, s'ils sont suffisamment loin de toute chose dans l'espace, ce système est isolé. En tout cas, je pars sur cette hypothèse-là. Je dis qu'ils ne ressentent aucune force extérieure. Si initialement Sandra, Georges, et la balle sont immobiles, ça veut dire que la quantité de mouvement initiale du système est nulle. Et elle le restera, y compris quand ils joueront à la balle. Elle le restera parce que le système est isolé. Il n'y a aucune force qui s'exerce sur eux.

Etudiant

2F ?

2F

Oui.

Etudiant

Sandra et Georges 01:48:48.

2F

Sans rire. Vu qu'ils sont en vie dans l'espace, c'est tout ce qu'on voit dans la bande-annonce, ça donne envie non... Je n'ai vu que la bande-annonce. Pour l'instant, pour moi, ils sont en vie. On va voir s'il y a de l'action...

Etudiant

01:49:15

2F

Je pourrais oui. Je pourrais mettre. Je n'ai pas mis là, mais je mettrais. OK. Donc là, il va y avoir un échange de balle entre les deux. Donc, au début, c'est Georges qui a la balle et décide de la lancer vers Sandra. On peut essayer d'aller regarder ce qui se passe pour la balle, pour Georges et pour Sandra ; et notamment, quelle va être la vitesse de Georges après ce premier échange. Donc s'il est là, il lance la balle.

Donc, si je regarde un petit peu ce qui se passe, je vais faire le bilan de la quantité de mouvement sur tout mon système. Je vais avoir la quantité de mouvement de Georges, plus la quantité de mouvement de la balle, initiale, plus la quantité de

mouvement de Sandra, initiale. J'ai dit tout à l'heure que comme le système est isolé, ça, ça devrait être égal à zéro, la quantité de mouvement.

Au début, ils sont immobiles. Donc la vitesse de Georges, la vitesse de la balle, la vitesse de Sandra est égale à zéro. Ça c'est, je réécris simplement la même chose ici. Ensuite, donc il lance la balle. Je vais avoir la quantité de mouvement de Georges, plus la quantité de mouvement de la balle, plus la quantité de mouvement de Sandra.

La quantité de mouvement de Sandra, elle n'a pas encore reçu la balle, Sandra, elle est toujours immobile. Elle n'a aucune raison de bouger. Donc sa quantité de mouvement est nulle.

Par contre, Georges qui a lancé la balle, et la balle vont avoir une certaine vitesse. Ce qui est important ici, c'est que la quantité de mouvement globale de notre système, Georges plus balle plus Sandra, est conservée. Ça veut dire que ça reste nul, quoi qu'il arrive. Donc sur cette équation, la somme de ce que je viens de faire apparaître ici, là c'est égal à zéro... Je disais que ce qui est important là, c'est que votre système est isolé.

Donc la quantité de mouvement totale du système des deux astronautes Georges et Sandra plus la balle, que j'avais établie au début comme étant égal à zéro, elle reste égal à zéro. Elle est conservée. Le total est égal à zéro. Donc ça ... à l'intérieur du système. Donc là, on a la quantité de mouvement, c'est conservé effectivement, mais c'est une bonne remarque parce que c'est justement ce que je disais.

Georges plus Sandra plus la balle. Donc au global, ta quantité de mouvement est conservée. Par contre, à l'intérieur, effectivement quelque chose se passe. Parce qu'au moment où lui, il lance la balle, il va partir dans l'autre sens, Georges. Je pourrais d'ailleurs aller exprimer la vitesse de Georges en fonction de la vitesse de la balle, la vitesse de recul de Georges connaissant la vitesse de la balle.

Et à ce moment-là, je pourrais dire que la vitesse de Georges, c'est moins la masse de la balle sur la masse de Georges fois la vitesse de la balle. Donc là, vous voyez que la balle va être lancée dans un sens. Georges du coup, il va partir dans l'autre, d'accord ? À l'intérieur de mon système, j'ai effectivement des variations de vitesse.

Mais elles se compensent l'une l'autre. Ce qui fait que je retourne sur la quantité de mouvement totale de mon système, Georges plus balle plus Sandra, qui reste nulle, qui reste conservée. Donc s'il n'y a pas de force qui s'applique au système. Au moment

où Sandra reçoit la balle, et on en restera là parce que j'aimerais bien vous dire quelques petites choses là-dessus.

Au moment où Sandra reçoit la balle, qu'est-ce qui se passe ? Sandra ensuite reçoit la balle et s'en saisit. Quelle va être la vitesse de Sandra ? Qu'elle se retrouve avec sa balle. Georges est parti. Quelle va être la vitesse de Sandra ?... Ah non, elle reçoit quelque chose. Elle reçoit, alors pour essayer de savoir quelle est la vitesse de Sandra, on ne va pas essayer de deviner.

On va le poser. On va poser, on va regarder la quantité de mouvement de tout le système. On va avoir maintenant pour le système Georges plus Sandra plus balle, on va avoir donc maintenant la quantité de mouvement de Georges qui est non nulle plus la quantité de mouvement de Sandra plus la balle que je vais mettre ensemble.

Et ça, comme c'est l'ensemble de mon système qui est mes trois acteurs, c'est la totalité de la quantité de mouvement dans le système. C'est conservé justement le système est isolé. Ça doit être égal à zéro. Du coup, je pourrais aller retrouver... Donc je sais déjà que Georges a une certaine vitesse que j'ai trouvée avant. Et je l'ai cherché... Oui ?

Etudiant

Vous avez écrit 01:58:02

2F

Oui, Sandra se saisit de la balle. Ça veut dire que maintenant, ils sont ensemble.

Etudiant

Ils sont restés ensemble avec Georges 01:58:09 ?

2F

Il venait de la lâcher. C'est au moment où Georges lance la balle que je fais le deuxième bilan.

Etudiant

Initialement, il ne la lâche pas ?

2F

Alors, initialement, là où tu as les I, il ne l'a pas encore lâché. Donc là, tout le monde est immobile. Instant initial, tout le monde est immobile. Juste après, il lâche la balle. Il lance la balle.

Etudiant

01:58:42

2F

Là, si tu veux... Où ça ?

Etudiant

Dans les premières lignes...

2F

Donc ça, c'est juste mon bilan à l'instant initial, quand tout le monde est immobile. J'aurais dû écrire peut-être entre les deux lignes à l'instant d'après. À l'instant d'après, on lance la balle... Ici ? Alors ici, ta situation d'avant, tu aurais toujours ton instant initial où tout le monde est égal à zéro. Ensuite ta première étape, c'est celle qu'on vient de faire là.

Etudiant

Pas de problème pour ça. C'est simplement 01:59:27.

2F

Tout à fait. D'ailleurs, c'est ce que je vais utiliser... Pour là ? Là donc je ne suis pas d'accord parce que ce n'est pas initial. Là je suis en train de regarder ce qui se passe exactement à ce moment-là. C'est le troisième moment. Donc ça, ce n'est pas quelque chose d'initial. La situation, elle a déjà évolué là. Par contre, c'est toujours égal à zéro parce que je suis sur la totalité du système et c'est donc égal à la somme des quantités de mouvement à l'instant initial.

Etudiante

En fait, pour l'écriture à l'instant initial avec tous les 02:00:09, est-ce qu'on aurait pu écrire 02:00:10 ?

2F

Aussi oui.

Etudiant

Ah oui, c'était juste ça.

2F

D'accord. Je n'avais pas compris ta question excuse-moi. Alors là, ce que je mets quand j'écris P de Sandra plus la balle, en fait ce que je dis, c'est que Sandra et sa balle, comme elle s'en saisie, ils vont avoir la même vitesse. Donc c'est un même objet qui a une certaine masse, la somme des deux masses. Et ils vont avoir la vitesse que j'appelle V_B plus S .

Et donc si je cherche V_B plus S , connaissant la vitesse de Georges, je vais pouvoir retrouver ça puisque je sais que la quantité de mouvement globale de mon système est conservée. Ça va me permettre de retrouver que c'est moins la masse de Georges sur la Masse de Sandra plus la balle. Voilà la vitesse de Georges.

Donc au moment où Sandra reçoit la balle, vous voyez qu'elle est en moins la vitesse de Georges et donc elle va s'éloigner. Donc en échangeant leur balle, ils vont s'éloigner l'un l'autre. Je ne sais pas si c'est bon plan pour le film. Alors, on pourrait continuer hein s'ils continuent à jouer à la balle instant 4-5-6, ils rééchantent, ils repartent avec cette situation-là. Il faudrait savoir un petit peu comment on lance la balle.

Mais là, une remarque importante, c'est que justement, là vous avez bien du mouvement à l'intérieur de votre système. Vous avez du mouvement à l'intérieur de votre système, vous avez des forces internes au système. Quand je pousse la balle, quand je lance la balle, je lui implique une force. Donc je vais marier sa quantité de mouvement à l'intérieur du système. Mais le global de mon système a une quantité de mouvement qui est conservée. De la même façon, pardon.

Etudiante

02:02:22

2F

Elle est dans le sens contraire de la vitesse de la balle oui, au moment... juste là... En haut, en bas de quoi ?

Etudiante

Donc si la balle est arrêtée 02:00:08

2F

Oui, il part dans le sens opposé de la balle oui. Exactement pour une raison très fondamentale qui est que la quantité de mouvement totale du système 02:02: 57. Au moment où Georges lance la balle, Sandra, on pourrait presque l'oublier 02:03:03. Ce que je dis c'est que la quantité de mouvement totale du système est conservée.

C'est-à-dire si quantité de mouvement totale du système à un instant initial, donc tout le monde était immobile, c'est égal à zéro au moment du 02:03:19. Il est obligé de partir dans l'autre sens de façon à respecter ça, à respecter que la somme des quantités de mouvement sur l'ensemble du système soit égal à zéro, parce que ça, c'est important. Si votre système est isolé, s'il ne subit pas de force. Et c'est exactement la même chose que le principe d'inertie.

Si votre système est isolé et qu'il ne subit pas de force, sa quantité de mouvement est conservée. Donc, on pourra continuer à faire joujou avec la balle et Georges et Sandra, ou on pourrait également, je vous mettrais sur Deedle un deuxième exemple parce que j'aimerais bien causer avec vous cinq minutes d'un truc assez sympa. Je vous mettrais sur Deedle un deuxième exemple où il y aura le recul d'une arme à feu qui est là juste comme au moment où Georges lance la balle.

Etudiant

02:04:08

2F

Aussi. C'est exactement la même chose. La conservation de P, la conséquence de la conservation de P, c'est la troisième loi de Newton. Tout ça se concentre en fait. Les trois lois de Newton se concentrent. En fait, le truc vraiment fondamental, tu fais très bien de m'en parler parce que c'est là-dessus que je voulais terminer.

Le truc vraiment fondamental quand on y pense, ce qui est un peu étrange, c'est le fait que la quantité de mouvement soit conservée pour un système isolé. Le truc le plus... En fait, le plus fondamental pour nous, physiciens, alors là, ils vont... On peut discuter. Ne prenez pas forcément note, vous le reverrez plus tard dans votre cursus. C'est le fait que donc votre quantité de mouvement soit conservée pour un système isolé.

Donc pourquoi pour nous c'est hyper important ce truc-là ? Parce qu'on le relie directement à quelque chose de très important qui est une invariance. Alors, une invariance, c'est une symétrie pour nous. Je vais vous expliquer comment. Donc on va prendre un petit peu de hauteur là, et on va partir d'un constat qu'on fait quand on fait en particulier de la cosmologie qui est que l'univers est homogène et isotrope.

C'est ce qu'on appelle le principe cosmologique. Quand vous regardez tout autour de vous les lois de la physique, c'est les mêmes partout dans l'univers. C'est-à-dire que je sois ici ou que je déplace la salle de classe et mon labo sur une autre galaxie, ce sera les mêmes lois de la physique, je vous ferais le même cours en n'espérant pas me planter dans les calculs.

Donc c'est ce qu'on appelle donc ce que je vous disais le principe cosmologique. Et le fait que votre univers soit homogène, ça veut dire que donc si je me translate, si je translate la salle de cours, les lois de la physique sont les mêmes. Donc, gardons juste ce point à l'écrit.

Ce qu'a montré Emmy Noether qui était une mathématicienne au début du 20e siècle, c'est que quand on a une invariance qui est observée dans l'univers. C'est-à-dire que là, on est inférieure pour les lois de la physique. Ça ne vous intéresse pas une symétrie invariance ? Donc là, c'est juste je voudrais terminer dans le calme. Effectivement, ça ne tombera pas à l'examen. Et si vous voulez partir, allez-y. Mais on va faire un peu de belle physique.

Donc au début du 20e siècle, Emmy Noether, elle a montré que si on avait une loi d'invariance, c'est-à-dire que là, on est invariant par déplacement dans l'univers pour les lois de la physique quand on se translate. Ça correspond à la conservation d'une quantité, en particulier donc l'homogénéité de l'univers, le fait que les lois de la physique soient les même ici, sur une autre galaxie et très très loin dans l'univers.

Elle a montré que ça c'était, donc l'invariance par translation, elle a montré que, justement, ça correspondait à la conservation de la quantité de mouvement pour un système isolé. Alors là, je pense que vous pouvez me dire, mais qu'est-ce qui se passe ? Alors mathématiquement, il faudrait qu'on aille un peu plus loin parce là c'est de l'algèbre un petit peu compliqué. Vous le referez plus tard. Mais imaginons deux secondes, et si on prendrait un contre-exemple pour prouver qu'elle n'a pas tort.

Imaginons deux secondes que l'univers soit inhomogène. C'est-à-dire qu'on n'ait pas les mêmes lois de la physique et ailleurs. On va prendre deux galaxies, une galaxie A, une galaxie B qui s'attirent. Donc si on a... allez, on va se prendre une petite séance de dessin... A et B.

On a deux galaxies, A et B à deux points différents de l'univers. Et on suppose qu'en ces deux points, les lois de la physique sont différentes. Ça veut dire en particulier si les lois de la physique sont différentes, je n'ai aucune raison que la force, si A et B s'attirent, que la force que ressent A soit la même que la force que ressent B. C'est-à-dire que je viole la troisième loi de Newton.

Donc dans ce cas-là, si la physique est différente, je pourrais parfaitement en particulier violer la troisième loi de Newton. Si je regarde au cours de ce mouvement, quand les galaxies s'attirent, la variation de quantité de mouvement... si je regarde P_A et P_B , la quantité de mouvement de A, ça va être sur un intervalle ΔT fois F_A . Et la quantité de mouvement de B, ça va être un intervalle de temps ΔT fois la force F_B .

Si mon système est isolé et que mes deux galaxies étaient immobiles au départ, j'avais P_A Initial plus P_B Initial égal zéro. Si elles étaient immobiles au départ. Et je les lâche, elles commencent à s'attirer... Justement, c'est bien ça. C'est justement pour vous faire sentir ça.

C'est que là, si je regarde la quantité de mouvement à un instant donné et que F_A est différent de moins F_B , à tout instant, je vais avoir P_A plus P_B différent de zéro. Justement parce que si je ne respecte pas la troisième loi de Newton, si ma physique est différente en A et en B, si mes forces peuvent être différentes à deux points de l'univers, et mes lois peuvent être différentes à deux points de l'univers, je peux avoir une variation sur la quantité de mouvement totale de mon système.

Donc justement, c'est un petit contre-exemple tout simple. Juste pour essayer de vous faire lier ces choses-là. Là, j'ai supposé que la physique n'était pas invariante par translation. Si je suppose que la physique n'est pas invariante par translation, c'est-à-dire qu'elle est différente en A et en B, j'arrive à voir dans ce cas précis que je peux avoir une variation de ma quantité de mouvement, justement pour ... une variation de la quantité de mouvement totale de mon système qui était isolé.

Etudiant

Elle se dit que dans tous les cas, dans un système isolé la variation de quantité de mouvement elle est égal à zéro.

2F

Je ne dis pas elle est égal à zéro. Je dis : c'est égal à zéro si c'était égal à zéro au départ. Je dis que c'est comme ça aussi.

Etudiant

Elle décrit 02:12:47

2F

La quantité de mouvement, tu pourrais dire que si tu prends un système univers, pourquoi pas, la quantité de mouvement totale du système univers elle est comme ça. En fait, de façon fondamentale, c'est pour ça que c'est traduit un peu dans... Je ferais un petit peu plus loin pour 02:13:13.

Et justement, en fait, la façon dont on traduit, nous, en tout cas en cosmologie, c'est le fait que l'univers est homogène parce que c'est... si ta quantité de mouvement est conservée, on peut montrer par le théorème de Noether que tu as une invariance par translation des lois de la physique. Et donc ça veut dire que ton univers est homogène. Invariance par rotation, tu as autre chose qui est conservé. Donc, il y a vraiment ce truc qui est hyper important au centre de la physique. Voilà.

Profesor 1C

Bueno hay unas fotocopias que han quedado un poco mal, en lo que está en pie de figuras, me lo han fotocopiado mal, entonces hablan conmigo para responder lo que, corregir lo que ha quedado mal, sin nombre ni nada.

Se me corrió eso, acá voy a pasar la lista de asistencia ¿Vale?

¿Cómo vais con el taller?, con el taller, ¿Con el laboratorio?. ¿Teneis alguna duda especial o algo?. El martes que viene me lo entregáis. El miércoles que digo.

Ehm, acordaos que es un día y con los criterios de evaluación del laboratorio, más o menos como debe ir, tiene que llevar una introducción, un resumen, una introducción, si quieren también unos objetivos, unos resultados, análisis de resultados y unas conclusiones; si tenéis alguna duda un poco del esquema, me lo decís. Y también os

envíe el formato, es un formato típico de cómo hacer el informe, en ese tipo de formato y con las características que os he dado, a mano ¿vale? Si queréis hacer algo a computador, pues no sé, una gráfica, una tabla de datos o algún cálculo concreto, mejor a mano. Todo para evitar copias y tal.

Pueden ir respondiendo esas preguntitas que os he puesto del taller básico y me lo entregáis ahora.

Bueno hoy vamos a ver las leyes de Newton, es algo que ya conocéis de bachillerato y habéis visto en muchos sitios, pero vamos a repasarlo y a profundizarlo y a verlos digamos con otro punto de vista. Y al terminar la clase si alcanzamos haremos un ejemplo, un problema y en los próximos días, ya vamos a dedicar las clases a hacer problemas del libro de leyes de Newton porque ahí tenemos bastante para hacer.

Como les dije las figuras del pie de página han quedado corridas en algunos. El primero dice ¿Cómo es posible lo que estamos viendo? Es decir, que hay un carrito que empuja un avión, bueno un carrito no, un carro.

¿Por qué la bola flota? Pregunta el segundo dibujo, no sé si se ve; hay un secador de pelo y una bola flotando.

Y el tercero ¿Por qué carga más que su propio peso? Es decir, hay una hormiga y se lleva una cosa ahí, un trozo de hoja bastante grande.

En el segundo es, eh bueno, ya no sé qué ponen ahí, lo que dice creo yo es ¿Quién hace posible la caída en cascada?. Esos dibujos, lo típico de esto como el dominó, le das un golpe simple y va cayendo todo. La siguiente dice: la culpa es del fuego, si es el fuego o no; ¿O de quién? Y el otro: ¿Se regará el agua que hay en el balde?

O sea, esto es para responder así en dos minutos sin estresaros, de forma muy muy breve y los que tenéis detrás también y ya, o sea es algo muy, muy rápido, o sea de hecho me lo tendréis que entregar ya.

Bueno ¿Listo?

¿Todo el mundo ya se ha apuntado en la lista de asistencia?

Estudiante: No, no señor

El nombre no hace falta, no hace falta que se quedéis ahí, eso son dos minutos.

Estudiante: Profe, una pregunta del laboratorio, bueno pues no pesa mucho pero en este sentido lo pongo o en el sentido contrario

Pon lo que quieras, si cambia, cambias esto

Bueno venga, espero un minuto más y ya, tenía que ser breve. Lo primero que se les ocurra, van contando, o sea, no tiene nota ni tiene nada.

¿Listo? ¿Ya?

Bueno listo, vamos empezando. Me lo entregais ya, lo que tengáis está bien.

Bueno, lo que vamos a ver hoy, empezaríamos con el esquema o los principales puntos que vamos a tocar es lo que está escrito en el tablero.

Entonces, vamos a empezar con el tema de las leyes de Newton como les decía se supone que ya las habéis visto en bachillerato, en otros sitios y esto es conocido para vosotros, pero es bueno despejar algunos errores que a veces tenéis, algunas ideas erróneas, valga la redundancia; y definir todo de nuevo desde el principio de una forma clara para que no arrastréis los errores conceptuales.

Esto corresponde al libro el tema cuatro y luego también continuaremos el tema cinco que es digamos la continuación de las leyes de Newton qué serían las aplicaciones de las leyes de Newton.

Como os decía habitualmente un curso de física convencional, se empieza por estudiar los tipos de movimiento y luego las causas que producen esos movimientos, nosotros vamos a hacerlo un poco al revés, vamos a ir directo a las causas. Como consecuencia a esas causas, se producen unos tipos de movimiento.

Bueno, entonces la primera pregunta que nos hacemos es:

¿Qué causas hacen que los cuerpos se muevan? ¿Por qué los cuerpos se mueven?
¿Qué es lo que causa que los cuerpos se muevan?

Ehhh, osea las cosas no se mueven digamos, no sé, de forma espontánea sino a razón de algo que los hace que se muevan, ese estudio lo seguía Newton.

Es decir, el señor Isaac Newton se preguntó esto en torno a 1600 ya osea, como veis aquí eso ya es viejito pero es no tan viejito, o sea, que sigue, osea hasta el día de hoy sigue vigente.

Eh, en Inglaterra a las personas eminencias les llaman "Sir". Pues lo llaman Sir Isaac Newton y escribió un libro en torno a 1600, un libro que se llama el principio. Digamos eh bueno, sí, de principia, sería así. Donde este señor se hizo esta pregunta de que, cuales son las causas que producen los movimientos y dedujo una serie de leyes fundamentales, que tienen su nombre, que siguen vigentes hasta el día de hoy, o sea hace más de 400 años. Eh, él se pregunta cuáles eran las causas de los movimientos e hizo una serie de estudios, de experimentos y de ahí extrajo estas leyes.

Eso es lo que vamos, digamos vamos a hacer nosotros y esas tres leyes nos rodean continuamente, que nos rodean en nuestra vida cotidiana y se pueden aplicar a todo.

Estamos considerando los sistemas desde el punto de vista digamos macro, macroscópico ¿vale?

Estas leyes fallan cuando nos metemos a una escala microscópica, o macroescala, o ya, esto ya es el área de la física clásica y otra cosa sería el área de la física cuántica donde estas leyes tal vez habría que reformularlas.

Estas leyes son fáciles de enunciar, las vamos a enunciar a continuación estas tres leyes de forma muy breve ahora, las vamos a ver como unos experimentos muy sencillitos, que realmente son ciertos de forma muy breve, vamos a ver la distinción entre peso y masa que a veces la confundís, también a veces confundís velocidad y aceleración, son conceptos distintos. Y vamos a ver conceptos de diagrama de cuerpo libre que nos va a ser muy útil para los problemas. O sea, con lo que veamos hoy de plan introductorio de teoría, podemos ya hacer, no sé la mitad de los problemas del libro casi o muchísimo, vamos; por lo menos ahí está la esencia de todos.

Estas leyes, como os digo, son muy fáciles de, entre comillas, de enunciar y de con experimentos sencillos se pueden aplicar de forma más o menos breve, se pueden enunciar de forma breve y entender, otra cosa es la aplicabilidad de las leyes. Estas leyes dependiendo del sistema, si es mucho más complejo, se van a aplicar de formas diferente y hay que utilizar una serie de estrategias que es donde está, digamos el meollo de la cuestión.

Bueno, para entender cuáles son las causas que producen el movimiento, vamos digamos a suponer que las causas que producen el movimiento, es decir, vamos a responder esta pregunta y le vamos a llamar que son fuerzas. Esto es digamos, algo que vamos a suponer de entrada. La fuerza es la causa que va a producir el

movimiento. Entonces vamos a visualizar ¿qué es una fuerza? ¿Qué tipos de fuerzas hay? ¿Cómo se producen? Y a raíz de eso vamos a ir, eh ... vamos a ir enunciando las leyes de Newton ¿Vale?

Bueno, entonces podemos decir que una fuerza es una interacción, hay muchas formas de enunciarlo, entre dos objetos o entre un objeto y su entorno.

Si yo tengo un objeto A que interacciona con un objeto B., esa forma de interacción, no vamos a entrar en detalles, es decir, si este objeto A, hace algo sobre el objeto B, lo modifica, actúa sobre él, hace algo. Le vamos a llamar interacción genéricamente y eso lo vamos a denotar como fuerza.

¿vale? Nosotros en este curso, que es un curso de mecánica, sólo nos vamos a restringir a las fuerzas de carácter, no se cómo decirlo, mecánico, valga la redundancia o si queréis “Newtonianas” pero eso las, es decir, las que estudió este señor, que son las que siguen vigentes, las que les decía, de carácter macroscópico, es decir, en cuerpos grandes en interacción con otro cuerpo grande; nos vamos a quedar en esa escala ¿vale?

Otra cosa sería, no quiere decir que no existen más interacciones en la naturaleza, en la naturaleza hay muchos tipos de interacción y de hecho, hay cuatro interacciones fundamentales. Esto ya es un poco cultura general, se supone que con estas cuatro interacciones al día de hoy, bueno ahora ya ha cambiado un poco algunas cosas, definimos todo el universo. Quien sabe qué tipo de interacciones existen o qué tipo de fuerzas existen en la naturaleza. Decid algo, decid lo que queráis.

Estudiante: gravedad

Vale, podemos decir que existe una fuerza que se llama de carácter gravitatorio si queréis, gravitatorio o gravitacional que va a ser la que vamos a estudiar en este curso.

Pero existen fuerzas de otra naturaleza, qué otras fuerzas conocéis? Si queréis interacciones ¿ninguna?

Estudiante: ¿La atracción?

Sí, pero eso forma parte de algo. ¿Atracción de qué tipo? ¿cómo?

Esta, esta digamos esta interacción se debe precisamente a que los cuerpos tienen una propiedad que se llama: la masa. Bueno no vamos a entrar en detalles, que la partícula que le da masa a los cuerpos se llama Boson de Higgs y esas cosas así. Pero

un cuerpo por el hecho de tener masa, o sea, de existir como lo que conocemos convencionalmente, automáticamente interacciona con otro cuerpo por el hecho de tener masa también, interacciones de carácter gravitatorio, pero la propiedad intrínseca que hay ahí, es la masa.

¿Conocéis algún tipo de interacción fundamental diferente? ¿Otra particularidad que tengan los cuerpos? ¿Nada?

Estudiante: ¿Fricción?

Estaría dentro, la fricción estaría dentro de la gravitacional.

Otra propiedad que tiene los cuerpos es la carga, un cuerpo además de tener masa, tiene carga. Esta cargado positivo o negativamente. Este tipo, esta carga y además si se mueve, ya les voy a dar una interacción muy importante, ¿cuál?, es una interacción electromagnética, esta interacción es de otra naturaleza diferente a la que vamos a seguir a este curso, sería otro área de la física, pero sepáis que es una interacción y por lo tanto es una fuerza, igual a una fuerza electromagnética y existen dos más, yo os había he enunciado cuatro.

Una que se llama interacción débil y otra que se llama interacción fuerte, exacto, son a escala ya, una es a una escala de cómo estamos en nuestro curso, es decir, sería escala atómica o nuclear, interacción débil o fuerte de entre los núcleos o átomos de todos los cuerpos, se supone que con estas cuatro interacciones definimos cualquier sistema del universo ¿vale? Nosotros por el momento solo nos vamos a centrar en la primera, interacción gravitacional, es decir, sobre todos los cuerpos que veríamos en este curso, nos vamos a estar pensando si tienen carga positiva o negativa, o cosas así.

Entonces, estas tres las obviamos pero por cultura general que sepáis que existen ¿Vale?

Bueno, el punto clave y por eso fue el último el otro día en una clase de vectores, vamos a asimilar e identificar que la fuerza es un vector. Por eso hicimos un repaso de vectores, además de otras magnitudes físicas que vamos a estudiar, pero la fuerza como tal es un vector; y si es un vector por lo tanto tiene magnitud o módulo, dirección y sentido, entonces puede ser que muchos problemas os pidan calcular la magnitud, el módulo solo de la fuerza, pero en general la fuerza siempre va a tener magnitud, dirección y sentido, perdón.

Por consiguiente va a ser una magnitud relativamente compleja, no es como un escalar, un número, 8 listo, pero yo puedo decir la fuerza del objeto, fuerza así, imaginaos $8i$, menos $3j + 4k$, sucede a un vector fuerza que tiene una componente, magnitud 8, en la dirección Y positiva, la dirección Y negativa tiene 3 y en la dirección Z tiene 4. ¿vale? Sería un vector cualquiera.

Si lo anteponemos en dos componentes, por ejemplo, quitemos esta componente y ya está, es decir, suponéis que tengo ahí dibujado, esto sería, no sé $8Y$, $8X$ perdón 12345678 y menos 3, 123 sería por aquí, este sería vector F que tengo dibujado aproximadamente, chévere.

Como consecuencia de eso, como es un vector se aplica toda ley de los vectores, es decir, se pueden sumar dos fuerzas, se pueden restar dos fuerzas, todas las propiedades; suma, resta, producto punto o producto cruz, bueno se aplican absolutamente todas, entonces cuidado con eso, porque las fuerzas no penséis que siempre van a ser una cosa sencillita.

Si yo tengo un cuerpo cualquiera, lo voy a dibujar como está esta caja de aquí, imaginaras que tengo una fuerza actuando en este sentido, una fuerza F_1 actuando justo en esta esquina y una fuerza F_2 actuando, estas dos fuerzas actuando en este punto de este cuerpo ¿vale? ¿Cuál sería la resultante?

Bueno, lo podríamos hacer gráficamente, si yo prolongo este y este, la fuerza final resultante sería una fuerza que podríamos llamar F_3 que sería igual a la suma de estas dos ¿vale? Normalmente vamos a utilizar una única fuerza por simplicidad, pero se sumarían componente a componente.

Acordaros de lo mismo que vimos de descomponerlo en componentes, o sea, lo mismo que aplicamos en un vector cualquiera, es decir, si yo tengo dos esquemas de una fuerza así F, yo puedo poner no sé, sus coordenadas aquí, Y y X, o sea la coordenada que sea y descomponer esta fuerza en dos componentes F_x y F_y .

Va a ver casos en los que yo trabaje con la fuerza, o sea con el vector, con sólo el vector y en otros trabajaré con las componentes, con X y Y dependiendo como sea el caso particular del problema, pero todas las operaciones que hemos visto de vectores, todas las descomposiciones, todo lo que hemos visto el último día, todo esto se va a aplicar a esta nueva magnitud que la vamos a llamar fuerza y que va a ser exacta.

En honor a este señor, bueno esto ya lo conocéis, como hablamos de este señor que ya hace más de 400 años, dibujó esta magnitud, las unidades de la fuerza, se va a denotar con el nombre de Newton, se escribe con una letra mayúscula N, bueno?, en el sistema internacional. Ya veremos a qué equivale un Newton ahora dentro de un rato.

Es importante tener un orden de magnitud, yo siempre se lo digo, lo digo desde el primer día; saber más o menos de cuanto estamos hablando. Es decir, no sé, es como si yo te digo: ¿Cuánto vale un carro? Pues depende del carro, el modelo y tal, pero un carro que valga diez mil pesos no conozco ninguno y un carro que valga cincuenta mil millones de pesos tampoco conozco ninguno, un carro anda en millones de pesos ¿no? Puede ser de 0 a 200 o no sé, habrá carros muy costosos, pero un carro que valga diez mil pesos no conozco ninguno, ni uno que valga cincuenta mil millones de pesos.

Entonces es bueno tener un orden de magnitud de las fuerzas y esa magnitud nueva física que la llamamos la fuerza, la han introducido digamos ad hoc, por el momento os la creéis y ya está, ahora vamos a hacer unos experimentos y vamos a deducir que esa interacción existe.

Bueno, vosotros decidme algo ¿cuánto creéis que es la fuerza entre el sol y la tierra? La interacción que muestra el sol por estar la tierra aquí. O al revés, se nota la tierra por la presencia del sol, es decir un número de una fuerza, grande- pequeña, muy grande-muy pequeña, podéis decir lo que queráis, por ejemplo digamos 10 Newtons, creéis?, el sol ¿eh? Todo el sol y toda la tierra. Decid algo, digamos 100 Newtons, mil, diez mil. La interacción, la fuerza, la interacción entre el sol y la tierra está en el orden de 10^{22} Newtons ¿vale? Si queréis les digo exactamente cuánto es $3,5 \times 10^{22}$.

Como este curso no se llama astronomía o cosas así este tipo de fuerzas tan brutales no las vamos a utilizar. Entonces cuando un problema nos dé como resultado 10^{22} es equivocado, a no ser que yo les diga que es la fuerza entre el sol y la tierra o una estrella y no sé qué, cosa que no vamos a hacer, os quedéis todos frescos, o sea, me equivocado en algo seguro porque eso 10^{22} no puede ser.

Vamos a sistemas más normales y convencionales, aunque en Colombia no hay trenes, por ejemplo, ¿cuánto creéis que es la fuerza que puede hacer una locomotora? Tiene que ser bastante, imaginaos un tren con catorce vagones y cada uno con, no

sé, 10mil toneladas. Eso cualquier tren normal en, bueno hay un tren en Santa Marta que lleva carbón, desde la mina hasta la costa, bueno lo he visto de lejos pero no sé cómo es, bueno puede llevar 14 vagones de carbón, no sé cuántas miles de toneladas, o sea que no necesitáis una cosa, necesitáis una locomotora potente no? Decid algo a ojímetro ahí, lo que os ocurra ¿más o menos cuánto?

Una locomotora un poco convencional por ahí un orden promedio de 9×10^5 Newtons, si queréis le ponemos 10^5 si le ponemos 10^6 o sea, esto sería 10^6 Newtons ¿cuánto sería 10^6 en Newtons? ¿Qué significa 10^6 ? ¿Cómo habíamos llamado la magnitud? Meganewtons ¿vale? No llega a meganewtons, acordáis que kilo, mega, giga, tera. O sea que esto ya es una cosa con una fuerza bastante considerable.

En cosas más convencionales como nosotros, es decir, ¿cuánto sería la fuerza de una manzana o el peso de una manzana? Digo una manzana porque es el ejemplo típico que se pone en la caída de la manzana y tal, más o menos el orden de 1 Newton, entonces nosotros estaremos: 1 Newton, 10Newtons, 100Newtons, como mucho 1000Newtons algo así. 0.5 Newtons, eso no es un orden de magnitud; si nos estamos hablando de la locomotora y nos da 10^5 es demasiado, pero bueno, esto podríamos seguir hacia abajo, estamos hablando de orden de magnitud, de escala; en este caso esta magnitud que se llama fuerza ¿cuánto creéis que es el peso de un insecto en fuerza? Ya veremos qué es eso, pero bueno. Un insecto, no sé, una, no voy a entrar en detalles, una mariposa, lo que queráis. Decid algo, es una cosa pequeña ¿no? Es del orden aproximadamente de 10^{-6} Newtons, o sea es una cosa, y que podríamos seguir bajando, una cosa está bien pequeña que se pueden medir. Nosotros vamos a hacerlo por aquí, es decir, cosas digamos a escala humana, como nosotros o digamos cosas a lo mejor un poquito más grande, digamos un carro o incluso si queréis podemos llegar a algo incluso cercano a la locomotora. Pero ya está y de aquí hacia abajo no nos vamos a mover en este curso.

Bueno, las fuerzas no quiero enrollarme más en el orden de magnitud, normalmente para un curso de física Newtoniana se puede hacer una clasificación de fuerza, dependiendo del tipo de fuerza, su naturaleza. Entonces ahora sí, estamos hablando en este contexto, no estamos hablando de interacciones débiles o electromagnética. Para un curso de física newtoniana convencional ¿qué tipos de fuerzas conocéis? Ahora si podéis decir la que antes David me mencionó, de hecho son cuatro.

Como veis cuatro aparece mucho, bueno, vamos por partes.

A ver, primera ¿cuál?

Estudiante: el peso

El peso, vale, muy bien, el peso es una fuerza que existe debido a que los cuerpos tienen una propiedad intrínseca, os los dije antes; existe dividido, aquí hay más. La primera conclusión es que el peso va a ser distinto de la masa, nosotros por abuso del lenguaje siempre decimos yo peso, no sé, más o menos 80 kilos y en realidad debería decir: yo tengo una masa de 80 kilos. Que pasa, que entonces por abuso del lenguaje confundimos estas dos variables, el peso va a ser una fuerza y la masa va a ser otra magnitud diferente. Bueno, entonces el peso es una magnitud que se nota debido a que estamos en la superficie de la tierra, es una, va a ser una magnitud que va a estar presente intrínseca, si yo tengo un objeto apoyado en el suelo de una superficie ¿en qué dirección va a ir el peso?

Estudiante: Hacia abajo.

Es decir, el peso va ir siempre hacia, digámoslo así, yo lo pongo así para enfatizar, el centro de la tierra. Estéis donde estéis el peso siempre apunta hacia el centro de la tierra. O sea, siempre va a ir como decís entre comillas “hacia abajo” siempre, eso es general. Si yo tengo un cuerpo apoyado así, que esto es un error clásico de los problemas ¿en qué dirección apunta el peso?

Estudiante: hacia abajo

Bueno, en un plano inclinao el peso siempre va a ser así, he visto a alguna persona que pone el peso así, eso es mentira. El peso siempre va a ir digamos que debido por la atracción gravitatoria va a ir hacia el centro de la tierra como consecuencia va a ir en ese sentido.

Bueno, qué más fuerzas conocéis?

Estudiante: Normal

Bueno, alguien dice por ahí la normal. En algunos libros, que a mí me gusta bastante esta palabra, también se llama reacción al apoyo, incluso a veces yo creo que esto puede ayudarnos, es decir, va a ser una fuerza que va a surgir como consecuencia de que un cuerpo está apoyado en el area, eh, en algo ¿vale? apoyado en una superficie, o sea, que hay contacto como mínimo entre dos cuerpos, entre dos o más

cuerpos. En el otro día en el laboratorio en el péndulo que tenéis ¿cuánto sería la normal?

Estudiante: Cero

Hay normal?, no, muy bien, ¿por qué razón no hay normal en este objeto que era el péndulo?

Estudiante: por que no estaba interaccionando con nada

O sea no está apoyado en ninguna superficie, está suspendido, unido si queréis, pero no está apoyado, esa es la diferencia, entonces por ejemplo en este cuerpo que tengo aquí va a ser una fuerza de oposición al apoyo, es decir, este cuerpo está apoyado aquí en esta superficie, como consecuencia de estar apoyado en esa superficie, va a ver una reacción a ese apoyo que va a ir en este sentido. Bueno, otro cuerpo que esté sobre un plano inclinado, así. ¿En qué dirección iría la normal?

Estudiante: hacia ese lado

¿Así?

Estudiante : No

¿Así?

Estudiante: hacias arriba, ajá

¿Sí?, ¿esta?

Estudiante: Sí

Vale, en los dos casos habéis dicho que es aquí arriba, pero ¿Qué conclusión podemos sacar de estos dos dibujos?

Estudiante: la normal es opuesta al peso

Muy bien, es decir, la Normal va a ser una fuerza que será siempre perpendicular al apoyo o a la superficie en desapoyo, vale, esta va a ser una conclusión general. No os creáis que yo he visto gente que me ha dibujado una normal por ejemplo como en este dibujo, así. Hay gente que hace esto, esto está mal, entonces daros cuenta que si yo, digamos la prolongo, veo que es perpendicular en este punto al apoyo o a esta superficie ¿vale? entonces esta es una condición importante que os tenéis que apuntar a la condición de perpendicularidad. Esto lo van a ver para todos los problemas del curso, de aquí al final, ojo con esto porque ya sé que todos lo conoceis

y lo sabéis, lo conocéis, pero cuando el problema se complica un poco, hay gente que comienza a dibujar normal de la forma más estrambótica que os podéis imaginar.

Bueno. Peso, normal ¿qué otra fuerza conocéis?

Estudiante: Fricción

Vale, fricción. Fuerza de fricción o fuerza de rozamiento. Esta fuerza está muy ligada a esta anterior, digamos que consiste, es decir, esta fuerza igual que pasaba antes, tiene que haber dos cuerpos en contacto; tiene que haber uno apoyado sobre el otro o al revés. Al momento que esos dos cuerpos entren en contacto, surge esa fuerza. ¿Esta fuerza de fricción a qué se debe?

Que un cuerpo esta apoyado en una superficie y alguien intenta moverlo en esta dirección, está aplicando una fuerza por el hecho de estar en contacto en esta superficie, esta superficie va a generar una fricción en contra de esta fuerza. Le podemos llamar F_R o Fuerza de Rozamiento o hay libros que le llaman así: F_f , como le queráis llamar. Yo lo suelo llamar F_R , Fuerza de rozamiento. F_f x Fuerza de Fricción, así que lo podemos poner en mayúscula. Bueno, esta fuerza de rozamiento o de fricción ya veremos de qué depende, de un coeficiente de fricción y va a depender de la reacción al apoyo, es decir, va a depender de la normal. Este coeficiente de fricción va a depender de la naturaleza del cuerpo, o sea, depende de la superficie. Ya lo veremos más en detalle cuando estudiemos esta fuerza. Aquí solo estamos introduciendo los tipos de fuerza. Es decir, no es lo mismo la fricción si la superficie está muy lisa a si está muy rugosa, no es lo mismo que si yo le pongo aquí aceite para que deslice mejor que si lo pongo totalmente rugoso para que se frene más, eso va a ser algo evidente ¿vale?

Bueno, la última tipo de fuerza que vamos a ver en este curso y que vamos a utilizar en esta pequeña clasificación ¿Cómo le llamareis?

Estudiante: Tensión

Exacto, tensión. Esta fuerza se va a utilizar cuando yo intente hacer una interacción o algún tipo de acción sobre un cuerpo, pero habitualmente lo vamos a hacer a través de una cuerda. Es decir, yo tengo un cuerpo, aquí amarro en este extremo una cuerda, un cable, un hilo, lo que queráis y tiro, en este sentido, o en ese o en el que queráis. Cuando yo utilice una cuerda o un objeto de ese tipo tendré esta fuerza que la vamos a llamar tensión.

¿Bueno, alguna pregunta hasta el momento? Se supone que esto ya lo conocéis de, pues de otros muchos cursos ¿no?. Bueno, entonces vamos ya como tal a enunciar las leyes de Newton ¿vale?

Vamos a empezar con la primera, para ello vamos a hacer un pequeño experimento muy muy sencillito. Si queréis podeis acercaros.

Pues bueno yo tengo aquí este riel aquí, esto es, bueno no se, este, un cable de esos de electricidad, simplemente lo voy a inclinar así y voy a coger un objeto cualquiera y lo voy a lanzar. Por ejemplo esta bola, eh necesito un poco de espacio.

Hagámolo, lo voy a hacer en el piso ¿vale?. Ojo, el libro, el libro el libro sirve para algo, cojo la bolita, la suelto, bueno ahí se encuentra con la pared, sino seguiría, podéis ver lo mismo que yo, se podéis acercar. Simplemente tengo -¡Ay!- he cogido la bolita, la he soltado y bueno, podría seguir hasta que, vale.

¿Vosotros que creéis que le pasa a la bolita?

Si no hay nada que le frene la bolita seguiría moviéndose ¿no? Si yo cojo esta superficie que es un poquito más rugosa, la pongo ahí y aquí vamos a ver la bolita. Bueno antes no sé, aquí, ¿habéis visto desde ahí? –Sí- La lanzo casi desde el extremo, desde ahí. Hasta ahí, vale, sin problemas. La coges del extremo ¿eh? Ahora, la voy a lanzar de nuevo pero pongo esta especie de cartón.

Bueno, ¿veis algún cambio con respecto a la clase anterior?

Estudiante: Sí, la fuerza de fricción disminuye el contacto el, recorrido

Pero si no, si no hubiera cartón ¿qué le pasaría a la bolita?

Estudiante: Seguiría.

Seguiría, vamos a complicar un poco más. Si yo cambio la superficie y cojo algo, por ejemplo, no sé, esto y lo pongo aquí y vuelvo a soltar. Pero si es la misma bolita y es el mismo libro de la clase y todo ¿Por qué se quedó ahí?

Estudiante: ¿Por la superficie?

Bueno, a partir de lo que acabamos de ver, enunciar el primer principio, la primera ley de Newton, pensar en la bolita, lo vamos a escribir y ahora vamos a intentar razonarlo con la bolita.

La primera ley se llama ley de inercia, esta ley ya la intentó digamos demostrar e hizo los primeros experimentos Galileo Galilei, o sea, en el siglo más o menos 14 antes que Newton ¿vale? Y también esta ley de inercia también se pudo llamar primera ley de Newton. Vamos a enunciarlo y vamos a ver si es correcto y con lo que acabamos de ver.

Los cuerpos en reposo tienden a permanecer en reposo y los objetos o cuerpos en movimiento, tienden a permanecer en movimiento, es decir, si yo la bolita la dejo aquí quieta pues ella tenderá a seguir quieta allí toda la vida, vale, y al momento que yo la ponga en plano inclinado ella empezará a moverse al otro salón y al otro ¿y qué pasaría? ¿Cuál es su tendencia natural?. A seguir moviéndose indefinidamente y si estuviera en reposo, en reposo. Visteis automáticamente cuando yo puse esto la bolita se fenó un poco y me dijisteis una razón ¿Por qué?.

Estudiante: por la fricción

O cuando puse el trapo. Es decir, va a haber algún tipo de interacción, cuando puse este por ejemplo fue más clara, a un tipo de interacción que va a ir en contra de la que llevaba para que contrarreste ese efecto, pero sino su tendencia va a ser esa.

Esta ley la podemos describir de otra forma, si sobre un cuerpo, no actúa ninguna fuerza neta, se mueve con velocidad constante, con velocidad constante inclusive podría llegar a alcanzar la velocidad cero, es decir, eso quiere decir que estaría en reposo, o si quereis $A=0$ y si su velocidad es constante hay una magnitud que se llama: la aceleración y la aceleración externa. Acordaos que bueno la velocidad tiene un valor y la velocidad, la aceleración es la derivada de la velocidad, si esta magnitud es constante, automáticamente la velocidad es cero, porque la deriva una constante es 0, ¿bueno?.

Entonces volvemos al caso de nuestra bolita, si la bolita prácticamente fuera por una superficie lisa digamos en el piso, iría a una velocidad constante. Si no hay ninguna interacción que intente contrarrestar ese efecto, ella seguiría con velocidad constante hasta atravesar 15 salones o lo que le de, vale. Al momento que algún tipo de interacción que intente contrarrestar ese efecto esa velocidad se irá disminuyendo, pero en principio sería una velocidad constante. Si yo pudiera hacer vacío, es decir, una válvula de vacío, una bomba de vacío o en el espacio exterior coger una bolita y si fuera un astronauta y lanzara la bola en una zona donde hay vacío total, me asomo

por la nave espacial y cojo una bolita y la lanzo hacia arriba esa bolita se movería seculo seculon, osea, durante milenios, años luz, lo que queráis hacia arriba hasta que interactuara con algo que lo intentara digamos, frenar o lo que sea. Hasta que no haya ninguna interacción se estaría moviendo indefinidamente ¿vale?

Es un poco lo que le pasa a esa bolita y al contrario si yo dejara el objeto digamos en reposo totalmente, se quedaría flotando, bueno, esa palabra está muy, bueno, eternamente, hasta que no hubiera ninguna interacción externa que lo atrajera y lo intentara mover y seguiría estático toda la vida. Eso es lo que estamos diciendo aquí.

En esta parte dijimos que cuando el cuerpo está en reposo tiende a permanecer en reposo o cuando está en movimiento, tiende a permanecer en movimiento. Es lo que vulgarmente conocéis como la inercia. Supongo que todos habéis estado en un carro que frena el carro y movéis hacia delante porque el carro está moviéndose y vosotros seguís tendiendo a seguir en movimiento, porque estáis en un carro en movimiento y que vosotros estais en reposo ¿vale?. Eso que está pasando ahí es lo que llamamos sistema de referencia inercial.

Y bueno la otra forma de enunciarlo que digamos la ley de inercia que esto en nuestro idioma es Neo y la otra forma de enunciarlo, ya digamos la primera ley de Newton que si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza, no hay ningún tipo de interacción, ese cuerpo termina moviéndose siempre, su velocidad será siempre constante y por consiguiente su aceleración será cero.

Así de forma muy breve no lo vamos a ver con mucho detalle. Vamos a ver lo que es un sistema de referencia inercial, es decir, que cumpla la ley de la inercia. Es lo que hace que vosotros estéis en un carro y de repente se frena y sus cuerpos se echáis hacia adelante, para eso tenemos que escoger un sistema adecuado, será de referencia. Es decir, si yo tengo un cuerpo que está aquí, perdón, si tengo un sistema de referencia X-Y-Z y mi objeto está aquí como otro sistema de referencia Zi-Xpi-Yi; entonces va a ver una velocidad de este con respecto a este, se están moviendo y yo voy a considerar el sistema de referencia aquí ¿Vale?

Pero con respecto a este que se mueve a una velocidad digamos sube constante, esto que parece un rollo, simplemente voy a utilizar el siguiente ejemplo. Bueno, yo sé que en Colombia no hay muchos trenes pero yo he viajado mucho en tren y me gusta mucho el tren, es centrarse en un vagón de tren, el tren se está moviendo a 60 km por

hora, por decir y vosotros estáis dentro del tren sentados en vuestro puesto; y decís, voy a ir a la cafetería, entonces os levantáis de vuestro puesto y os empezáis a mover o bueno, de un autobús si queréis.

Alguien está fuera o en una buseta, si os ve alguien que está afuera y ve que os estais moviendo en una buseta, se está moviendo la buseta y simultáneamente os estáis moviendo dentro de la buseta. Dos movimientos, es decir, estos sería un sistema de referencia, la buseta y alguien que lo vea desde fuera que esté aquí y vosotros esteis aquí moviéndose a su vez con otra velocidad ¿vale?. Esto es lo que lo llamamos un sistema de referencia inercial. Vamos a considerar que esta velocidad si es constante y vamos a tener una traslación, que es la traslación de Galileo, etc.

No vamos a utilizar esto casi en ningún problema por falta de tiempo, pero esto es relativamente sencillo. Esto está muy relacionado con la que os digo es la ley de inercia que empezó desde Galileo.

Bueno, ahora vamos con la segunda ley de Newton, que también es archi conocido y ya lo habéis visto en muchos sitios. Bueno, dijimos que la interacción que hay sobre los cuerpos le llamábamos fuerza, entonces voy a, con calma; voy a dejar la bolita por ahí guardada y vamos a, eh coger este carrito que tengo aquí, nada un carrito convencional, si yo este carrito lo amarro por ejemplo en este extremo esto, necesito alguien que me ayude ¿un voluntario?. Tu lánzate, tira de la goma, hacia ti y suéltalo

Estudiante: ¿Suelto?

Suelta, un poco más fuerte, estas cosas del, bueno, recto

Estudiante: y lo suelto y o deajo que

Sí, que vaya hacia mí. No, a ver, pongámoslo por este lado. Tira, más o menos supongamos que yo ejercí una interacción constante, siempre la misma. Que supongamos que es desde el extremo hasta, no sé, no tengo una regla pero voy a ejercer esta interacción, un poquito más, así.

Estudiante: ¿suelto?

Suelta.Vale, para esta interacción desde el extremo hasta aquí tiene un desplazamiento acá ¿sí?. Es decir, que esta interacción que podemos llamar fuerza y esa fuerza va a ser proporcional a ¿a qué?, auelta, al desplazamiento de carro, ¿sí?. Si yo ahora le pongo una doble interacción, es decir, tiro dos cuerdas, una, se supone

que estas dos interacciones son iguales porque estas dos gomas elásticas miden miden lo mismo ¿vale?

Una, llévala hasta al borde tuyo, estoy haciendo la misma, ejercicio. ¿Notáis una diferencia con respecto al resultado anterior?.

Estudiante: ¿mayor aceleración?

Vuelve al borde, al borde. Yo vuelvo a tirar, bueno se movió la vara pero más o menos estaba así, va. ¿Notáis diferencia con respecto al resultado anterior?. Bueno ¿Qué pasaría si ahora yo le pongo, vario una propiedad de este cuerpo, es decir, por ejemplo le pongo este peso encima, esta masa encima? ¿Cuál es la diferencia? ¿Qué podéis decir? ¿Qué podéis concluir?.

Estudiante: A mayor masa, mayor aceleración, ¿son directamente proporcionales?

Estudiante: la masa, el peso, no disminuye

A mayor masa ¿mayor o menos aceleración? Una cosa importante, no confundir aceleración con velocidad ¿cuál es la diferencia?. Velocidad es la derivada de la posición con respecto al tiempo, se va moviendo con una velocidad constante, a medida que esa velocidad va cambiando, se va acelerando, ¿vosotros qué creéis? Cuando yo ponía la gomita el carro ¿se va acelerando? ¿o se va moviendo a una velocidad constante?

Estudiante: Se va acelerando,

Se va acelerando ¿no?, se está moviendo y acabamos de comprobar que a mayor masa, menor aceleración. Es decir, podemos decir que la masa y la aceleración son inversamente proporcionales.

Pero por otro lado también podemos decir, cuando yo, fijaros en el experimento, yo ponía una goma, un caucho y salía con una aceleración, cuando ponía dos cauchos ¿la aceleración era la misma?

Estudiante: No

¿Mayor o menor?

Estudiante: Mayor

O sea que podemos decir que cuando la interacción hecha por un caucho la llamamos fuerza, por ejemplo es el doble, esto implica que la aceleración sería más o menos el

doble. Es decir que la fuerza es proporcional a la aceleración, el símbolo de proporcional se pone así, como si fuera un aro.

La acabamos de ver también, y ¿qué pasaba cuando yo le ponía la masa esta? Seguía manteniendo el doble, el doble de ¿tenía los dos cauchos o no? Yo ahora tenía los dos cauchos pero tenía esta masa, esta de allá. ¿qué pasaba con la aceleración?

Estudiante: disminuía

Disminuía, es decir, que es inversamente proporcional. Fijaros que la fuerza es un vector, la aceleración es un vector y ¿la masa es un?. Bueno, aquí le puse una flecha, que pena. La masa va a ser un escalar. Si yo voy a tener una masa de 80 kilogramos en dirección, 80 kg son 80 kg, entonces a partir de esto ¿qué podemos enunciar?.

Bueno la ecuación que vosotros conocéis, que es archiconocida, es decir

Estudiante: que fuerza es igual a masa por aceleración

Que la fuerza es igual a la masa por la aceleración o que la masa es inversamente proporcional a la aceleración, cuanto más masa menos aceleración, lo acabamos de ver ¿eh?, osea ¿o habéis visto experimentalmente o creéis que me lo estoy inventando?

Estudiante: no

¿Sí?, si tengo dos fuerzas como acabo de ver ahí, si tengo dos interacciones debido a los dos cauchos se suman ambas ¿vale?. Si tengo 25 sumaria, puedo tener 25 cauchos, 23 hacia aquí y dos hacia acá y sumo, puede ser que dos se contrarresten, pero al final sumo los 25, ¿vale?. Es decir, yo sumo el número de interacciones que tenga ahí.

Bueno, esta es la ecuación que todos conocéis, si la escribimos de esta forma, si la escribimos así riguroso, la escribimos así: si una fuerza externa actúa sobre un cuerpo, si una fuerza externa, una o una sumatoria de fuerzas externas actúan sobre un cuerpo, este cuerpo se acelerará en la dirección de la fuerza, en la dirección de la fuerza. Es decir, que si yo hago la fuerza en un sentido, se acelera en el mismo sentido de la fuerza y además, esa fuerza es proporcional a la masa o si queréis, me estoy refiriendo a la fuerza, si fuera la aceleración sería inversamente proporcional a la masa, en este caso cuando yo digo proporcional a secas es que me estoy refiriendo a la fuerza, ¿vale?.

Bueno, queda claro ¿no? El experimento es muy sencillito pero yo creo que quedó claro, o sea que si se comprobó de forma experimental la segunda ley de Newton, o sea, no es que estemos, o sea, lo hemos comprobado empíricamente.

Bueno, aquí si que es bueno entonces introducir entonces a partir de esta segunda ley, fijaros que nosotros en nuestro curso, vamos a utilizar como mínimo dos dimensiones a veces hasta tres, pero esto va a ser un pocas veces, en general aquella ecuación se transformaría en 3 ecuaciones, una en la dirección X, otra en la dirección Y, y otra, si la hubiera, en la dirección Z. Cada una en cada una de las direcciones del espacio, o sea que esa ecuación a su vez se va a transformar en tres ecuaciones. La de Z en este curso prácticamente no la vamos a usar, pero las otras dos si ¿vale? O sea que ojo con eso.

Sumo todas las fuerzas que queden en dirección X y sumo todas las que hay en dirección Y, y puede haber una aceleración en X y una aceleración en Y. Es decir, imaginaos un cuerpo que está, por ejemplo, no se una pelota de tenis, la pelota se está moviendo así, o sea está avanzando en este sentido que la podemos llamar X, pero a su vez da botes ¿sí? es decir, se está moviendo en Y también. Tendría un movimiento simultaneo en X y en Y, por ejemplo una pelota de tenis por decirlo así. Y así sucesivamente, en este curso vamos a ver que si el movimiento en X o en Y simultáneamente, en Z no lo vamos a hacer, pero también podría darse el caso.

Bueno, espero que el experimento así sencillito en relación con las leyes de Newton que la habéis visto 84mil millones de veces, pues quede digamos medianamente clara, es muy importante que quede claro las unidades, entonces es a interacción que llamamos fuerza, a través de esa expresión, que lo habíamos definido en el sistema internacional, ojo, como Newtons ¿a qué va a ser igual entonces un Newton?, a un kilogramo metro por segundo al cuadrado.

Esto es muy importante, ya sé que también estoy diciendo algo que es archi conocido para vosotros, pero podeis confundidos, o sea, cuando estaba con gramos lo dejais en gramos y no lo pasas a kilogramos o a lo mejor confundís de nuevo velocidad con aceleración, porque si yo simplemente quito este segundo de aquí, ya esto es velocidad, no aceleración, parece muy parecido, valga la redundancia, pero no, que es aceleración. Entonces ojo con eso, que si fijáis el cuerpo cuando se ponía dos gomas aceleraba, uno o dos, se aceleraba, no se movía con una velocidad constante

era diferente y lo que le pasaba a la bolita, la bolita sí que se movía más o menos a una velocidad constante.

En la bolita vimos que cuando yo ponía este objeto ¿por qué se frenaba tan rápido? ¿La superficie es más rugosa o más lisa que el piso?

Estudiante: rugosa

Es decir tiene que

Estudiante: coeficiente de rozamiento

Es decir que tiene un coeficiente de fricción mucho más alto y se oponía al movimiento de la bolita ¿vale?

Bueno, entonces esto del sistema internacional debe quedar supermegaclaro, de todos modos alguna vez se utiliza también otros sistemas de unidades diferentes, por ejemplo el cegesimal, se pone así: sistema cegesimal, es un sistema de unidades cuando utilizamos sistemas u objetos más pequeños, es decir, en este sistema de unidades, nosotros nos vamos a mover, por ejemplo, en centímetros segundo al cuadrado, es decir, imaginaos que yo estoy, no se, en un laboratorio y estoy todo el tiempo haciendo mediciones de 10 cm, 20 cm, algo así, entonces para hablar de metros me queda demasiado grande, estoy todo el tiempo en esas dimensiones, entonces se utiliza este sistema cegesimal y la unidad de fuerza en este sistema cegesimal, perdón, la unidad de masa en el sistema cegesimal son los gramos, para este sistema en concreto, G; gramos, entonces gramos por centímetros por segundo al cuadrado, tiene una unidad de fuerza que tiene un nombre propio que se llama dina a lo mejor lo escuchasteis de algún lado, este sistema, esta unidad de fuerza en el sistema cegesimal, cuando estamos hablando de objetos pequeños.

Nosotros en este curso vamos a estar en estas unidades que se llaman sistema internacional de unidad, pero por cultura general bueno que suene esto y luego también, por cultura general es el sistema anglosajón, donde en el sistema anglosajón vosotros en vez de veis centímetros vais a tener pies por metro cuadrado vosotros vais a utilizar para la masa, unas unidades que se llaman esgluts, y para la fuerza vais a utilizar libras, pero vosotros cuando vais a merca siempre decís: me da media libra de papa y la verdad estáis confundiendo una unidad de fuerza inglesa que ni siquiera existe en la unidad internacional con una unidad de masa, en realidad deberéis decir

dame tantas esgluts o lo que sea. O si estuviese en el sistema internacional, dame 500 gramos o un kilo o medio kilo ¿vale? Entonces cuidado con las unidades.

Nosotros nos vamos a mover acá, bueno y por ultimo nos falta anunciar la tercera ley de Newton, que, bueno, borro por aquí, también es muy conocida esta ley de Newton, esta ley de Newton también se llama Ley de acción – reacción. Bueno entonces para eso vamos a utilizar este instrumento de medida que es un dinamómetro, lo habéis visto en el laboratorio, de ahí viene la palabra de dina ¿vale? porqué más o menos ahí medimos unos cuantos Newtons, pero pocos.

Aquí esto no me sirve para medir 1000 Newton o 100 Newtons. Esto está como máximo hasta 10. Entonces si yo, entonces vamos a ver que se cumple esta tercera ley de Newton, hagamos un experimento muy, muy sencillito, que es el siguiente; necesito de algún voluntario ¿alguien? Tranquilos, no pasa nada, salgan.

Entonces yo voy a mantenerme aquí y tú vas a tirar desde tu lado hasta cuando quieras. O sea si yo mantengo aquí y tu mantienes ahí, más o menos allí está el mismo sistema. Y me vas a decir en Newtons cuanto te marca a ti exactamente.

Bueno, a mí me da más o menos, bueno es que si nos vamos moviendo, si yo pulso aquí para que nos quedemos quietos, ahí, nos tenemos que quedar quietos en un sitio, por ejemplo ahí a mí me da ahora mismo, mmm, bueno lo ideal es que lo vieran todos ¿no?.

Estudiante: ¿Nueve?

Si, exacto 8, 8 con 5, 2. Me da nueve, me da nueve Newtons, a ti cuántos Newtons te da?

Estudiante: si

Que alguien se levante y lo vea para que lo compruebe empíricamente, desde ahí no vais a ver nada, podéis levantaros ¿eh?. Mantén ahí el pulso, ahora acercaros a donde estoy yo, mantente ahí porque si variamos pues claro ¿se parece mucho de lo que marca ahí de lo que marca aquí? , podéis acercaros eh, que se acerque alguien aquí a ver el mío. Acercaros a ver este dinamómetro de aquí un momento, este, este. Pero si queréis ver ese de ese lado vale, podéis ver ese de ese lado pero este qué, y ahora vete a ver el de él, mantén ahí el pulso.

Estudiante: sí, ¿ahí sería nueve?

Si, ahí sería nueve

Estudiante: y miro el de acá

Si, están en el mismo no?

Estudiante: si

Bueno, bueno el resto vamos a hacer así si no queréis acercaros, gracias, pues bueno, os vas a fiar de vuestro compañero, el lo acaba de comprobar empíricamente.

Bueno ¿qué creéis que ha pasado ahí? Tratemos con nuestras palabras deducir lo que allí ha pasado.

Estudiante: se ejerce tensión, hay una tensión

¿Al caucho?

Estudiante: si

Entonces qué se está ejerciendo ¿una fuerza?, ¿en qué sentido?

Estudiante: de ambos lados

O sea ¿cómo sería?

Estudiante: Ah no

Si queréis tensión, mejor llamémosle fuerzas, fuerza 1 y fuerza 2; fuerza 1 la que estaba ejerciendo yo y la que estás ejerciendo tú, que no me acuerdo como te llamas

Estudiante: cristian

Cristian y estamos viendo que marcaba exactamente lo mismo, es decir que la fuerza que está ejerciendo es aproximadamente de 9 Newtons, creo, no me acuerdo y la que el marcaba también, si lo queréis poner en términos de tensiones también le podéis llamar una tensión 1 y tensión 2, o sea que ambas fuerzas van a ser exactamente iguales, si yo dijera, no pues este profesor me cae mal, muy malo, y lo voy a corchar, se la voy a tirar más y el tira así ¿qué pasaría?, como esto es un caucho elástico en mi dinamómetro también se ejercería una fuerza en sentido contrario

Estudiante: aumentaría

Si, yo estaría manteniendo aquí, o sea, porque yo no estaba tirando en realidad, yo estaba manteniendo; el tiraba y yo mantenía aquí de tal forma que pudiera medir, digamos yo estaba manteniendo aquí y el que tiraba era este, o sea, ¿entendeis lo

que digo?, yo aquí me mantengo quieto y ahora tiro yo aquí en la mitad del reloj no voy a hacer nada, simplemente mantenerme y aquí tiro ¿vale? Se fijáis cuando yo, perdón, ahí, ahí lo tengo, cuando lo tire ambos dinamómetro están estirados, no sé si este esté tirando y este no, supongo que veis este resorte en ambos, que están estirados, vale.

Bueno, pues eso se llama ley de acción y reacción, es decir, vamos a escribirla, bueno si queréis para facilitaros vamos a ver: si un cuerpo A ejerce una fuerza sobre B, si un cuerpo A ejerce una fuerza sobre B, si un cuerpo A ejerce una fuerza sobre B, a esto le vamos a llamar una acción si queréis lo podéis poner entre paréntesis, entonces B ejerce una fuerza sobre A. B ejerce una fuerza sobre A y le vamos a llamar reacción y además estas dos fuerzas son opuestas, son opuestas y actúan sobre cuerpos distintos, estas dos fuerzas son opuestas, son opuestas y actúan sobre cuerpos distintos.

Es decir, la acción es la fuerza que ejerce la fuerza A sobre B y la reacción es la fuerza que ejerce B sobre A, es decir, Cristian estaba haciendo una acción, ¿Cristian verdad?, es decir, estaba ejerciendo una fuerza sobre mí y como consecuencia a esa fuerza yo reaccionaba sosteniéndolo, sosteniendo digamos mi dinamómetro para contener la fuerza que estaba ejerciendo Cristian sobre mí. Lo que yo estaba haciendo era una reacción y lo que estaba haciendo Cristian era una acción ¿vale?

Esto vulgarmente se escribe así: F de AB, es decir, la primera es actuar sobre la segunda, es decir A sería Cristian B sería yo y esto vulgarmente se escribe así: F de A = B, es decir la primera es actuar sobre la segunda, esto sería A sería Cristian, B sería yo y esto vulgarmente se escribe así: BA es decir A, yo estaba haciendo una reacción de contenerme, estaba conteniendo mi brazo, sobre la acción que estaba ejerciendo Cristian y ambas fuerzas son iguales pero en sentido contrario, es decir, aquí habría un menos.

Se ve claro o espero ue se vea claro aquí con el caucho, si quereis ejemplos hay múltiples, yo podría, no sé, cualquier objeto apoyado sobre otro, suponer este cuerpo como actuaría aquí en el principio de acción y reacción, suponer que este cuerpo A la mesa y el objeto B ¿Cuál es la acción?

Estudiante: B

B está ejerciendo en este sentido una acción como consecuencia de ella esa acción ejerce sobre A ¿sí? Y A ejerce una reacción sobre B, a esta reacción de A sobre B le llamamos normalmente "Normal" y a este le llamaría en este caso "peso" pero están cumpliéndola ley de acción y reacción ¿Vale?, ¿lo veis o no?, ¿sí?

Estudiante: si

¿Cómo se incumpliría la ley de acción y reacción? se incumple, imagináros que yo, bueno yo soy superman, me traigo aquí un bloque de una tonelada y la apoyo sobre esta mesa ¿se cumpliría la ley de reacción? ¿Qué pasaría?

Estudiante, no aguanta el peso, la masa de

Entonces esta, es decir, A, B ejercería una reacción sobre A, a mesa se rompería y esperemos que el piso no, porque si no y dominaría la fuerza sobre esa por lo cual esta no aparecería ¿vale? Sólo tendría esta, aparecería un hueco en la mesa impresionante o se destrozaría sería un ejemplo en el que no se daría eso.

Preguntas, estas tres leyes se supone que las habéis visto, no sé, hasta la saciedad, pero es bueno anunciarlas de nuevo para que queden medianamente claras, porque no tenemos mucho tiempo y yo hago esto al tiempo con otro profesor nosotros podríamos cuando yo lance la bolita, venir con un cronometro o medir, tengo aquí de hecho una regla, en la bolsa y podríamos medir distancia, podríamos medir distancias y tiempos, luego velocidades y tiempos y aceleraciones y tiempos. Y aquí tendríamos unas curvas y veríamos experimentalmente con un ligero error, que se cumpliría la ley de Newton ¿vale? No vamos a hacer eso por falta de tiempo y bueno, sería posible tomar datos y hacerlo, y bueno, habría una serie de errores, pero en general eso se cumple bastante bien, me podeis creer, también acabéis de deducir cuando hicimos el experimento, cuando yo ponía este objeto, cuando puse este trapo, que ahora ya no sé dónde lo metí pero por ahí anda

Estudiante: debajo del libro

Eh ¿qué es lo que pasaba con la bolita cuando rodaba por aquí?

Estudiante: se detenía más rápido

Se detenía mucho más rápido, se movía igual que la otra pero se detenía más rápido, lo que podemos deducir es que esta superficie está ejerciendo una reacción o una acción en contra del movimiento de este cuerpo debido a que tiene esta particularidad,

es decir, tiene un coeficiente de fricción mucho más alto y se opone al movimiento ¿vale? Cuando iba en el piso se rodaba mucho más fácil y aquí digamos una situación diferente.

Bueno, entonces simplemente os quiero hacer énfasis en dos cosas.

Primero: no confundir aceleración con velocidad, esto es una cosa que cuando se estudia la ley de Newton mucha gente tiende a confundir, la velocidad es la variación del desplazamiento con respecto al tiempo y la aceleración es ese cambio de velocidad, en el momento que se produce una fuerza hay un cambio de velocidad, por lo tanto hay una aceleración. Vale. No hay una velocidad, esa es la primera cosa que tenemos que tener bien claro, yo creo que lo vimos bien con el cuerpo, con el carrito, digamos el carrito se movía a una velocidad constante como con la bola, el carrito se aceleraba, osea hacía esto ¿os acordáis visualmente o no?

Y por último otra cosa que ya hemos mencionado es no confundir peso con masa, el peso es una fuerza y la masa si queréis, es una propiedad de los cuerpos. Cuando dudéis pues lo que tenéis que hacer es ver sus unidades, es decir, la fuerza se mide en Newtons, en el sistema internacional y la masa se mide en kilogramos. El peso va a ser en general la fuerza asociada a la tierra, es decir, por el hecho de estar en la superficie de la tierra, tenemos un peso, es decir la tierra está ejerciendo una fuerza sobre nosotros ¿vale?.

Entonces si yo aplico la segunda ley de Newton en sumatoria de fuerza= masa x aceleración, en el caso del peso, es decir, suponer algún peso, mipeso, yo no sé 80 kg, yo no sé cuánto peso ahora pero por ahí andaré, le voy a llamar P a esa fuerza va a ser la unidad de mi masa, mis 80kg y debido a una aceleración, pero como yo estoy más fuerte que la tierra, o sea, suponemos, no sé qué Bogotá está más alto, que siempre estamos a una altitud media, no estoy a 10km de altura ni tampoco en un hueco de 5 km bajo tierra, estoy más o menos en la superficie de la tierra.

Sabéis que la aceleración en la superficie de la tierra que la vamos a llamar g es de 9,81 ¿no? O hemos visto el otro día, es decir que vamos a utilizar esta aceleración que sabemos que siempre tiene un valor constante para cualquier cuerpo de la superficie de la tierra y aplicando la segunda ley de Newton vamos a decir que el peso = masa x gravedad, la gravedad siempre apunta en la dirección del centro de la tierra, es decir, que en unos ejes coordenados iría siempre en la dirección -Y (Y negativo) si

yo tomara unos ejes coordenados X,Y la aceleración de la gravedad va así, siempre, es decir aquí tendría un menos, ojo con eso, en general ese menos cuando yo hablo de mi peso no lo tomo como menos, porque, para no estar arrastrando ese menos, entonces sería $m \times g$, lo vamos a tomar positivo ¿vale?.

Vuelvo a la segunda, y esta es la forma de calcular el peso, simplemente la masa por la gravedad, entonces yo por ejemplo, una persona que tiene una masa de 80kg aproximadamente como yo, pues sería $80 \times 9,8 \text{ m/s}^2$ y ahí me daría mi peso, muchas veces por comodidad en algún libro para no estar arrastrando 9,8 se redondea a 10, es decir 80×10 , es decir aproximadamente 800 Newtons si lo redondeo de esa manera.

Entonces una masa de 80kg aproximadamente serían 80 Newtons, si queremos saber la primera aproximación, claro si existe una masa de 80kg, o sea que tiene un peso de 800mil newtons, cuidado, algo os habéis equivocado.

¿Preguntas? ¿Nada? Lo último que vamos a ver, lo que se denomina digamos en el libro y en algunos libros, es: Diagrama de cuerpo libre.

¿Bueno alguna pregunta de las leyes de Newton?, algo sobre los experimentos, pero bueno, espero que el carrito haya servido para algo ¿no? Y los dinamómetros también.

Bueno, Diagrama de cuerpo libre ¿Qué es esto?. Esto ya explicamos algo práctico, uno de los objetivos fundamentales de este curso, yo diría que el objetivo central, es daros habilidades para poder resolver problemas, tanto en la vida, como Ingenieros y por eso tenéis que desarrollar estrategias y habilidades en este curso para poder resolver problemas de Física. Para ello, uno de los pasos digamos claves, es hacer el Diagrama de cuerpo libre.

Entonces ¿Qué consiste en hacer el diagrama de cuerpo libre?, esto es, hacer un esquema de las principales fuerzas que actúan en mi sistema. Yo puedo tener este objeto, es decir, no sé un bloque aquí apoyado y os digo: Hagan el Diagrama de cuerpo libre ¿De qué se trata el diagrama de cuerpo libre? Dibujar las principales fuerzas o hacer un esquema que actúan sobre este objeto. Que fuerzas creéis que actúen en el esquema o si queréis un dibujo, en ese objeto, qué fuerzas actúan sobre ese cuerpo que tengo ahí.

Estudiante: el peso y la normal

Por un lado tendría el peso sobre este cuerpo y por otro lado tendría la reacción al apoyo que le llamamos “Normal” ¿Habría alguna fuerza más? En principio no. Si ahora yo pongo aquí a un señor que empuja en este sentido este objeto ¿habrá alguna fuerza más?

Estudiante: el empuje

La fuerza de?

Estudiante: empuje

De empuje, es decir, este señor estaría empujando así con una fuerza, o sea, estaría empujando aquí que se traduce, iría una fuerza en este sentido ¿vale?

Estudiante: ¿y fricción hay

Ah y entonces si yo digo no hay fricción y listo, ahí acabaría, y ellos dicen esto es una superficie rugosa y hay fricción, entonces ¿qué otra fuerza más habría?

Estudiante: la de rozamiento

Si, ¿en qué sentido creéis que iría el movimiento del cuerpo? Si este señor está empujando hacia aquí vamos a suponer que el movimiento va en ese sentido, por lo tanto si la fuerza va en este sentido, la aceleración también iría en este sentido. Y la fuerza de fricción siempre se opone al movimiento, es decir siempre iría en este sentido. Es decir, aquí podríamos decir una fuerza de rozamiento ¿vale?.

Y todo esto se puede complicar todo lo que queráis, pero además, llega otro señor y dice voy a amarrar aquí un cable porque esto está muy pesado y le voy a poner aquí una polea, y lo voy a tirar de aquí y te ayudo, lo levanto, no sé y se arma ahí entre los dos un rollo, y si aquí este señor lo amarra aquí con un cable con una polea; así y la amarrara en ese extremo ¿qué otra fuerza habría actuando sobre ese cuerpo?

Estudiante: la tensión

Habría una tensión en este sentido de este señor que está tirando y podría llegar otro y ponerle un peso encima, es decir, aquí tenéis tanta fuerza, espera que llevamos todo de una vez, pongamos este bloque encima ¿Entonces que otras fuerzas habría ahí?

Estudiante: habría otra vez la masa por la gravedad, otro peso

Entonces este lo podríamos llamar peso 1 y este peso 2, porque son dos objetos diferentes

Estudiante: sería la normal del primer bloque y la del segundo bloque

Y entonces aquí antes le antes le llamamos normal, entonces si quieres normal 1, me queda el dibujo un poco, y normal del 2 ¿y ya estaría?

Estudiante: falta colocarle la fricción, ah no porque no se está moviendo el bloque de arriba

Ahí lo están apoyando

Estudiante: pero el que está haciendo la fricción contra el suelo es el primero

Cuando yo pongo este bloque sobre este ¿Vosotros qué creéis? Haced este experimento, lo podéis hacer con el cable, yo tengo este bloque, lo tiro aquí y pongo este bloque encima aquí, pero este bloque no está aquí pegao ni con pegamento no está nada, está allí apoyado, tal cual y yo tiro con gran fuerza hacia aquí, este lo llamamos bloque A y este chiquito bloque B ¿Qué creéis que le va a pasar al bloque B?

Estudiante: se mueve en sentido contrario

Es decir, ¿decís que B se va a mover hacia ahí? ¿Por qué? ¿qué ley estáis aplicando ahí?

Estudiante: acción – reacción

O la ley de Inercia, es decir, este cuerpo está en reposo y el que tiende a seguir estando en reposo, cuando lo muevas, el quiere seguir estando en reposo, es decir que va a estar ejerciendo una fuerza en sentido contrario. Que además este cuerpo está apoyado con este, no está ahí amarrado ni atornillado, es decir que entre esta superficie y esta va a ver un contacto, entonces este va a ejercer un peso aquí, este la normal, pero además aquí ¿Qué va a ver entre ellos?

Estudiante: fricción

Como lo vemos acá va a haber una fuerza de fricción o rozamiento, es decir, cuando este se mueva de aquí a aquí, va a ir hacia acá y va a ver una fuerza de fricción o de rozamiento de B sobre A. ¿Vale? Además de la de A sobre esta superficie, o sea habría dos fricciones ¿Vale? Puede ser que esta sea muy pequeña o muy despreciable, pero existiría, ya depende del problema y como ves esto, imaginarnos añadido aquí una polea con un peso y aquí no sé, y empiezo a complicarlo y además

esto lo pongo en un plano inclinado, suponed, como está aquí, solo con eso los corché, o sea, esto lo podemos ir complicando, complicando, complicando hasta donde queráis, pensaba por ejemplo hay varios de vosotros que me habéis dicho que sois ingenieros civiles, puede ser por ejemplo un puente colgante, un puente de, no sé, habéis ido alguna vez a Pereira, un puente grande que no recuerdo el nombre, es el nombre de un presidente, o bueno el típico puente de, no sé el puente de San Francisco.

¿Cuántas creéis que? ¿Qué? No o el de Pereira, me da igual

¿Cuántas tensiones creéis que hay ahí en ese puente? Imaginaros hacer un diagrama de cuerpo libre del puente de Pereira

Estudiante: pues la viga que está sujetando de extremos a extremo

Claro, o sea ahí habría una tensión, a su vez habría el peso del propio cable, además estaría unido a una viga con no sé qué, además habría que calcular el peso de salida, la tracción, la compresión, la no sé qué, si podéis sopesar eso ¿Cuántas fuerzas creéis que hay ahí ahora? ¿una? ¿Cuántos cables hay en un puente de estos?, poned que a cada cable de esos hay que ponerle mínimo tres o cuatro fuerzas, a cada viga unas 3 o 4 y suponer que, unos 50 cables, 40 vigas, o sea, multiplicar eso nos da más de 500 fuerzas fácil, quinientas ¿eh? No estoy hablando de dos. O sea podría haber quinientas ecuaciones, venga resolved eso para ese puente, o sea ahí necesitaríais un computador que eso a mano está muy largo.

Bueno pues esa es la idea, bueno esto que parece, fijaos que llevamos con una ecuación de hace más de 400 años que sigue siendo válida y aun así la seguimos utilizando en la vida cotidiana. Bueno, preguntas. ¿nada? Como os digo en los experimentos podríamos hacerlos con más detalles. Bueno, pues que ahora que es lo que nos queda? Empezar a hacer problemas, ahora ya con lo que vimos hoy, bueno, podéis hacer un tercio de la mitad de los problemas de este libro, ya tenéis aquí para aburrirlos hasta final de semestre. Entonces vamos a ver primero, digamos, es complicado resolver varios problemas.

Vamos a ver así de un groso modo un par de estrategias para resolver problemas ¿Cómo lo haríamos? Bueno, si yo os doy el problema ¿Qué es lo primero que hacéis?

Estudiante: hacer el diagrama de fuerzas

Antes, antes, lo primero de todo.

Estudiante: las ecuaciones

Leer el enunciado, lo que estoy diciendo es una tontería, debéis estar diciendo este profesor que tonto es, un 30% de los errores que cometéis, por decirlo así por aproximar, es por o no leer el enunciado o leerlo mal, entonces tenéis un error grave de comprensión lectora, o sea, de verdad creedme, de verdad, bueno después de leer el enunciado ¿Qué hay que hacer?

Estudiante: el diagrama

Volver a leerlo. En serio, os doi un párrafo así con cuatro datos, lo leéis una vez y a no ser que, no se leéis 15 libros a la semana, vuestra comprensión lectora es bastante mala, por lo tanto lo que decía en el párrafo uno, cuando vais en el párrafo 5 no os acordáis. Listo, ya cuando medio lo tenéis asimilado el siguiente paso es

Estudiante: volver a leer

También, se los digo, apuntar las variables que dan en el problema; me dan una aceleración de tanto, una fuerza de tanto y me dan no sé qué más, listo. Y después apuntar bien claro lo que me piden, esto que digo es una tontería, ya lo sé, pero es que hay un montón de problemas que como es tan largo, en el párrafo uno dijeron, no calcular la masa y entonces se ponen ahí a calcular, a calcular y después a hacer no se que a hacer despejes, ya vas por la octava ecuación y ya no os acordáis que era lo que pedían y al final lo volvéis a calcular y no se, digamos, os pedían la masa y decís la energía es tanto y vale está bien pero no era el objetivo del problema. Pero esto pasa ¿eh? O sea.

Bueno, cuando ya tenéis bien claro esto y después de leer el problema, pongámosle por lo menos unas tres veces, sobre todo si es largo, algo importante es hacer un dibujo o un esquema del problema ¿sí? Sobre todo si yo tengo un puente como el puente de Pereira, pues es bueno si son ingenieros civiles, aquí hay como la mitad ¿no? Hacéis un dibujito a escala y tal pues hacer dibujos es una forma de esquematizar que es lo que está pasando y luego ya hacemos el diagrama de cuerpo libre, es decir una vez que ya tenemos el problema esquematizado, hacemos el diagrama de cuerpo libre, eso es fundamental, hay gente que por pereza, va al diagrama y no lo hago y va a la solución porque sé que esto da 5. Y a lo mejor hay 5 fuerzas y solo dibuja 4, y pone 4 y pone una fuerza de menos y todo queda mal,

entonces hacer el diagrama de cuerpo libre eso es fundamental. De hecho eso es una cosa que cuando hagamos los problemas de mecánica, se puntuara, el primer punto es el diagrama de cuerpo libre. Vale 0.5 o 1. Si lo tenéis mal pues a partir de ahí el problema va mal. Porque podéis ser muy bueno calculando, pero si dibujáis 5 fuerzas y en realidad eran 7, entonces faltan dos, entonces así no hay ni tu tia, entonces no.

Entonces ¿Cómo se hace para dibujar diagramas de cuerpo libre? Pues con cuidado, analizando gráficamente todas las fuerzas que hay ahí, pues realmente no hay una receta, si hubiera la receta, imaginaos, te tomáis esa pastilla, aplícale el 2x2 y ya, pues no. Cada problema tiene su diagrama de flujo libre y habrá diferentes formas de desarrollarlo, una vez que hayamos analizado todas las fuerzas, pues ya el siguiente paso es sumatoria de fuerzas en $X=m \times a$ en $Y= m \times a$. Normalmente nosotros vamos a trabajar en una dimensión y va a pasar habitualmente que esta será dos ecuaciones, pero digo, normalmente. En este curso me refiero, pero no quiere decir que no exista o que no pudiera ser distinto de dos, inclusive podríamos tener la tercera ecuación ¿Vale? O sea podríamos tener 3 fuerzas, 3 aceleraciones, 3 masas, cada una en una dirección, bueno tres fuerzas no, bueno entonces el puente, ahí no hay 3 fuerzas, ahí hay 500 y esta viga puede que no es exactamente igual a esta masa esta está mas gorda, esta está mas flaca, o sea que estas tres ecuaciones o dos, pues puede variar.

Vale, y ya que llegamos a este punto, ya que llegamos a un sistema de ecuaciones y vamos a resolver el sistema de ecuaciones y se despeja pues la aceleración, la masa, lo que quieran. A partir de aquí es matemática, esto ya no es física. Que es importante llegar a plantear las ecuaciones, esto es fundamental, después que no os va bien despejando o resolviendo ecuaciones, pues bueno, así es la vida, teneis debilidades, y despejar pues os cuesta, listo, pero si no plantéis bien las ecuaciones, por muy buenos que seáis en matemáticas olvidaros, o sea, podéis ser los mega despejadores de la vida, queno hay nada que hacer, osea, no hay nada que hacer.

Este esquema que busco aquí de esta forma, digamos esquemática, valga la redundancia realmente va a ser la metodología que vais a utilizar digamos en el 89, bueno, digamos 95 por ciento de los problemas, entonces digamos que la metodología es siempre igual. Puntos clave, lo que os decía, leéis mal el problema, poneis una fuerza de menos o de más, o la dibujáis en el sitio que no es o plantéis mal las ecuaciones. Y esto es a base de hacer problemas, problemas, problemas. Se

aprende haciendo y si solo haceis uno y llegas al parcial solo habiendo hecho uno, pues bueno, si haceis 10, 15, 25 pues bueno.

Bueno, entonces el próximo día nos vamos a dedicar toda la hora a hacer problemas y vamos a empezar por 1. Los tengo acá anotados, los problemas primero que vamos a hacer son del tema 4 del libro y alguno extra los pondré yo y luego ya las aplicaciones de las leyes de Newton están en el tema 5 pero nosotros empezamos por el tema 4. Tenéis ya unos recomendados en la parcelación, que os di en la parcelación, o sea, si os aburrís este fin de semana tenéis ahí el 4 no sé qué, el 4 de parcelación ya tenéis unos cuantos reconocidos y como a mí me gusta ir directamente a problemas interesantes voy a ir al tema 4 directamente al grano y a hacer el problema 4.43.

Digamos que este es un problema medio, no es un problema fácil ni difícil, pero que está bien para ir introduciéndonos en materia. Dice así. Dos cajas, una de 4 kg y otra de 6kg, una de 4 y otra de 6, una de 4 y otra de 6, descansan en la superficie horizontal sin fricción, descansan en la superficie horizontal sin fricción, descansan en la superficie horizontal sin fricción, de un estanque congelado, unidas por una cuerda delgada, de un estanque congelado, unidas por una cuerda delgada. Punto.

Estudiante: unidas con que?

Unidas por una cuerda delgada, una mujer con zapatos de golf, ah esto es una tontería, estos libros americanos, bueno, una mujer con unos zapatos de golf, no se si habeis visto los zapatos de golf, yo no he jugado golf pero he tenido alguna vez zapatos de golf en la mano y tienen como taquitos

Estudiante: taches

Como los de , digamos de futbol pero más chiquitos ¿Vale? Bueno, eh aplica una fuerza horizontal F , aplica una fuerza horizontal F a la masa, aplica una fuerza horizontal F a la masa, de 6 kg y le imparte una aceleración de 2,5 metros por segundo

Estudiante: ¿Cómo?

Y le imparte una aceleración de 2,5 metros por segundo, y le imparte una aceleración de 2,5 metros por segundo. Apartado A: ¿Qué aceleración tiene la masa de 4kg?, ¿Qué aceleración tiene la masa de 4kg?

Apartado B: dibuja un diagrama de cuerpo libre para la caja de 4kg, dibuja un diagrama de cuerpo libre para la masa de 4kg y calcule la tensión T en la cuerda que unen las dos cajas, calcule la tensión T en la cuerda que unen las dos cajas.

Apartado C: dibuje un diagrama de cuerpo libre para la caja de 6kg y qué dirección tiene la fuerza neta que actúa sobre esta caja, y dice: ¿qué dirección tiene la fuerza neta que actúa sobre esta caja?, ¿qué dirección tiene la fuerza neta que actúa sobre esta caja?, La de 6kg ¿eh?. Y cuál tiene mayor magnitud ¿la tensión o la fuerza? ¿cuál tiene mayor magnitud la tensión o la fuerza? ¿Cuál tiene mayor magnitud la tensión o la fuerza? ¿Vale?

Y por último, utilice el apartado B, la en el D utilice el apartado B la segunda ley de Newton para calcular el valor de la fuerza.

Bueno lógicamente ahí necesitamos una fuerza para saber cuál es mayor o menor. En el apartado D me piden una fuerza, la magnitud de la fuerza, aunque en realidad eso es un poco absurdo porque en el C ya viene necesitado para comparar ¿Vale? Bueno, cuánto ha sido el primer apartado y nos vamos ya ¿Cuánto ha sido el primer apartado?

A ver preguntas, pensad en el carrito, como se desplazó. Me preguntan la aceleración con la que se mueve este cuerpo ¿Cuánto crees que es la aceleración con la que se va a mover el cuerpo de 6kg?. Me lo dice en enunciado ¿No? bueno, aquí tocaría leer el problema, volverlo a leer y leerlo bien y entenderlo.

Bueno, simplemente eso, dejad un momento vuestro lapicero y lo dejamos aquí, un momento, esta señora gira hacia aquí con una fuerza F que no sabemos cuánto es, este cuerpo tiene una masa de 6kg, este una masa de 4, esta superficie ¿Qué superficie era?

Estudiante: de hielo

Y además me hice en un sitio ¿que?

Estudiante: Sin fricción. Vale, entonces cuando ella tire hacia aquí, como decís en Colombia “jale” en este sentido ¿Cuánto es la aceleración con la que se desplaza este cuerpo? ¿Toda la fuerza? Toda fuerza tiene como resultado, toda fuerza tiene una aceleración en el mismo sentido ¿Cuánto va a ser la aceleración?

Estudiante: 2.5

Me lo dicen el enunciado directamente, o sea no hay que calcular nada, lo dice que la aceleración es de 2.5. Como yo sé que no hay ninguna fricción sobre este cuerpo ¿Este cuerpo qué fuerzas tiene? Qué reacción tiene que los esté oponiendo ahí?

Tendría una fricción aquí, pero que es la misma que aquí sobre este mismo cuerpo que y aquí no importa la fricción, al igual que aquí, por consiguiente según la ley de Newton ¿Cuánto sería la aceleración en este cuerpo?

Estudiante: 2.5

Exacto, aquí no hay que hacer ningún cálculo, la aceleración sería la misma. ¿Entendéis lo que digo o no? Por eso acabamos de ver las leyes de Newton, pensadlo, esto es una cosa contextual, la aceleración sería la misma en este cuerpo y este cuerpo, porque si este no tiene ninguna reacción que se oponga a ese movimiento se va a desplazar todo unisonamente, esto se va a mover todo como si fuera un mismo bloque, la aceleración de este va a hacer la misma de la de este porque nos están diciendo que no hay fricción. ¿Lo entendéis conceptualmente o no?

Estudiante: Ese es el punto importante.

Bueno las otras preguntas son de cálculo, las hacemos el próximo día o las hacen más bien vosotros y el próximo día, comparamos si os dio o no os dio. Preguntas ¿No hay ninguna pregunta? Como decía un profesor mío: ¿No hay ninguna duda o es que todo es una gran duda? ¿Nada? ¿Nada de nada? Bueno, nos vemos el miércoles entonces.

En la próxima clase os pido más interacción con las actividades, os pido más interacción ¿Vale?

2 sesión

Bueno se supone que hoy era el día que me tienen que entregar el laboratorio, si no estoy mal.

Bueno el último día habíamos planteado un ejercicio que se había dictado, no sé si lo intentasteis hacer o que, era el 4-43 del libro y el decía esto, no. Bueno ¿alguien lo intentó? ¿Nadie?

Bueno también deberíamos de fijar, eh deberíamos de fijar en el primer quiz ya, que básicamente va hasta las leyes de Newton y un poco puede que haga un punto de vectores pero muy muy breve de cómo se suman vectores o algo así, como aquellos ejercicios que hicimos el primer día que daban tres vectores y tenías que hallar el cuarto o cosas de ese estilo, entonces yo os propondría que el primer quiz fuera eh, o el miércoles de la semana que viene, o sea dentro de ocho días o si queréis el viernes, no recuerdo cuando coincide el laboratorio, el segundo laboratorio, pero os lo digo, el segundo laboratorio es el trece del ocho, o sea, hoy es siete, o sea el miércoles que viene tenemos laboratorio, en ocho días, el día trece, entonces el quiz podría ser el viernes de la otra semana que entraría lo que ya vimos hasta ahí, vale?, es decir no este viernes, pasado mañana sino el viernes de la otra, que eso coincide el viernes 15 de agosto, primer quiz, el quiz sería básicamente de vectores o suma de vectores y lo que veamos de las leyes de Newton, ¿vale? Algún problema de esta dificultad, a lo mejor les pongo algo de teoría pero muy muy breve de tipo conceptual que no tengáis que hacer ningún cálculo.

Bueno, entonces el último día se había dictado el problema 4-43 del libro y el esquema era tal que así, era una señora que, había un cuerpo de 4 kilogramos, bueno y había una señora que le tiraba con su súper, esto es 6 kilogramos y la fuerza es esta, la señora tenía unos súper zapatos de golf y no sé qué y tal, ¿os acordáis?

Estudiante: si

Bueno quien le dio o lo hizo, no sé, o lo intentó, bueno así muy muy muy rápido para no perder tiempo, en el apartado A nos pedían, bueno nos daban como datos perdón, nos daban como datos de aceleración que era $2,5 \text{ m/s}^2$ y un pulso horizontal, en el apartado a nos pedían, que aceleración tiene la caja de 4 kilogramos?, aceleración de la caja de cuatro, en el apartado B nos pedían, mmm me perdí, dibujo diagrama de cuerpo libre para la caja de 4 kilogramos para calcular la tensión, en definitiva la tensión, apartado C pedían dibujo diagrama de cuerpo libre para la caja de 6 kilogramos, que tensión tiene la fuerza neta que actúa sobre ella, cual tiene mayor la tensión o la fuerza, o sea hay que calcular la tensión fuerza y a ver cuál es mayor, O sea no sabemos si este es mayor que este o este es mayor que este, y por último en el aparatado D, la magnitud de la fuerza, bueno en realidad lo necesitamos para comparar necesitamos las dos. Bueno entonces cuanto os dio?, tenéis el resultado por ahí? Se me olvido el ultimo día daros el resultado, para que lo practicareis en casa,

estos problemas se aprenden haciendo y lo ideal es que lo intentéis si no lo intentéis cuando lleguemos al quiz o lo a donde sea vais a empezar a tener problemas, entonces es importante que eso quede claro.

Bueno el apartado A ya lo habíamos respondido, cuando decíamos que daba, ¿la aceleración cuanto era?

Estudiante: 2.5 m/s^2

Y el por qué, ¿por qué era eso?, quien me lo dice? Aprovechemos el último día de clase un poco rápido pero repasemos

Estudiante: Porque se mide a través de la fuerza y según el problema le imparte una aceleración a la caja de 6 kilos con ese valor y pues al estar amarradas pues la de 4 también tiene la misma aceleración

Javier: Muy bien, ¿que opináis de lo que dice vuestro compañero? hay algo importante que dice el problema que dice sin fricción, eso es importante que lo tengáis claro, lo dicen explícitamente en el enunciado y además de eso, bueno, no no dicen nada más, como bien dice vuestro compañero en este primer apartado no hay que hacer ningún calculo como os decíamos, porque me dicen que la aceleración, si queréis lo vuelo leer, pero, eh una fuerza horizontal a la caja de 6 kilogramos y se imparte una aceleración de 2,5, es decir, ya sabemos que este cuerpo de aquí tiene una aceleración de 2,5, como bien dice vuestro compañero cuando yo tire en este sentido todo se va a mover simultáneamente como si fuera un único bloque, por decirlo así, y la aceleración que lleve este va a ser la misma que lleve este, porque todo se mueve digamos al unísono y al mismo tiempo de fricción, si hubiera fricción cambiarían las cosas o no, ¿que crees?

Estudiante: Si, cambiarían

¿Por qué? Pensa que este cuerpo tiene una masa de 6 kilogramos y este una de 4, al desplazarse la fricción que está ejerciendo este y este no va ser la misma, la superficie si es la misma la de contacto, pero cual ejerce más fricción el de 6 o el de 4?

Estudiante: El de 6

El de 6 porque tiene más masa por lo tanto va a tener más peso y por lo tanto va haber una fuerza o una atracción en contra de ese peso que va a ser mayor aquí que aquí, pero por eso la palabra clave de este problema es esta, si no tiene fricción

automáticamente todo se mueve a la vez, entonces es importante eso. Bueno entonces si vosotros acordáis yo primero os dije, un esquema para resolver problemas primero es leer bien el problema y leerlo y volverlo a leer varias veces, porque este apartado la mayoría no visteis de inmediato que ha dado con 5 así de forma simultánea, instantánea, os costó un poquito y el punto clave en este problema para leer bien es esta palabra, si me dicen que no tiene fricción automáticamente se cumple esto, después de leer bien el problema la recomendación es que: Volverlo a leer bien, apuntar los datos que ya los tenemos aquí, tenemos la aceleración y tenemos las masas, le podemos llamar este cuerpo por ejemplo A y este B, tenemos todos los datos apuntados y tenemos claro que es lo que nos piden, en el fondo lo que nos están pidiendo es esta tensión y esta fuerza y luego las compararemos, pero eso es lo único que me están pidiendo. Una vez ya haya tenido claro todos los datos del problema y el esquema del problema que es lo siguiente que tendríamos que hacer, según digamos, no sé, esa cronograma que os di para resolver problemas, ¿qué era lo siguiente que teníamos apuntado que era importante hacer?, qué harías? El siguiente pasó

Estudiante: Diagrama de Fuerzas

Diagrama de cuerpo libre le llaman, muy bien, entonces diagrama de cuerpo libre, entonces aquí hay una pregunta clave, ¿cuáles son mis objetos a estudiar?

Estudiante: Los bloques

Este, porque hay gente que me hace algún problema y me hace el diagrama de cuerpo libre de la señora, bueno la señora te puede caer muy bien pero la señora, digamos, algo suplementario del problema, sí?, la señora no está pintando nada, bueno está aquí dibujada, hay digamos unos problemas hay objetos pasivos y objeto activos, por decirlo así, entonces hay problemas en los que hay muchos adornos podéis ver poleas o cosas así que son ideales y para ese problema en concreto no están representando nada dentro del problema, entonces esto es otra cosa importante por lo que escogi este problemas que tenéis que tener claro cuáles son los objetos a estudiar en el problema, en este caso son las dos masas, ni siquiera nos dicen que masa tiene la señora, ni siquiera nos dicen si es Schwarzenegger o es una señora que no va al gimnasio, yo que sé, o sea no nos dicen la fuerza, o sea que ella tiene, entonces

precisamente eso es lo que tenemos que calcular por eso esto es nada relevante en el problema, ¿bueno?.

Bueno entonces como decimos, seguimos nuestro cronograma diagrama de cuerpo libre, aquí ya nos han enunciado una fuerza que es esta, esta no la puedo tocar, ya es un análisis del problema, o sea esa no la puedo tocar. Empezamos con este peso, con este cuerpo que le llamé B ¿Qué fuerzas tendría este cuerpo B?

Estudiante: Peso, normal, la fuerza

Tiene un peso B porque es un cuerpo que pesa, tiene una reacción al apoyo que le podemos llamar normal de B, todo esto se está moviendo hacia acá, si no hubiera, en principio había una fuerza de rozamiento o de fricción en sentido contrario al movimiento pero me están diciendo que no hay fricción, entonces la obvio ¿vale?, la fuerza no, no está en este problema por lo tanto esa es la fuerza que me dan, ¿Qué más fuerzas hay?. Dijimos que había cuatro tipos de fuerza

Estudiante: tensión

Y la tensión, es decir sobre este cuerpo, o sea, sobre el cuerpo B este cuerpo B con la señora está tirando hacia acá, el cuerpo B nota que hay alguien que está colgándose de él como un lastre, como algo que esta digamos tirando de el en sentido contrario al movimiento. Es decir este cuerpo B nota una tensión en este sentido, lo voy a llamar T_B , ¿lo veis?, ¿sí? ¿Está claro?, es bastante evidente, cuando esto se mueva así este cuerpo A está tirando sobre este cuerpo B, está ejerciendo una tensión en este sentido, ¿faltaría alguna fuerza por dibujar? Tenemos el peso, la normal, la tensión, fricción nos dicen que no hay, hemos dicho que estas son las cuatro principales fuerzas, pues nada, y esta me la dan en el problema, no es que yo la dibuje es que ya me la daban, o sea, hay no estoy inventando nada, o sea, está ahí, ya está, no voy a borrar algo que me dan, o sea, bueno pues aquí tenemos todas las fuerzas, si vosotros dibujáis una de menos lo más probable es que el problema os vaya mal, y si dibujáis de mas también, tenéis que dibujar las necesarias y eso solo se hace observando y analizando el esquema del problema, no hay una regla, no os puedo decir para todos los cuerpos solo va a haber cuatro o si hay seis o si hay dos, eso se sabe haciendo muchos problemas, no hay de otra, ¿bueno? Y ahora dibujamos el diagrama de cuerpo libre para el cuerpo A, porque vamos a hacer el diagrama de

cuerpo libre de todo el problema de una vez, vale, hagámoslo ya todo a la vez. Bueno, ¿para el cuerpo A que tendrían?

Estudiante: Esa fuerza de empuje sería la misma de tensión pero en sentido contrario a la de B

¿Esta es igual a esta?

Estudiante: Sí, o sea no, o sea, la podríamos llamar tensión, si digamos, tensión pero en vez de fuerza de empuje, ¿sí?

¿Cuál es la fuerza de empuje?, no, acá la llaman tensión, la señora tira de aquí

Estudiante: pero podría llamarle tensión?

No porque si tú le llamas aquí tensión también estarías contando esta fuerza dos veces, es la misma fuerza, ¿eso es lo que me preguntabas?

Estudiante: Pero en el bloque A

Ahora vamos al bloque A sí, estamos en el bloque A, vamos por partes, este es el bloque A este es el bloque B, haber ¿Qué fuerzas actúan sobre el bloque A?

Estudiante: Digamos la de tensión

Vamos por las más sencillas

Estudiantes: El peso, la masa

Tendría un peso y también tendría un normal, fijaros que esta normal la llama normal de A y normal de B porque son diferentes, como tienen distintos pesos tienen distintas reacciones al apoyo, eso depende del peso de cada uno, si ambas, si ambas masas fueran de por ejemplo 4 o de 6 yo le pondría llamar g a todo y m a todo porque sería la misma masa, ¿vale?, pero son diferentes. Si hubiera fuerza de fricción que dirección 16:12 sería en sentido contrario al movimiento porque hay algo importante y es identificar si el movimiento va hacia aquí, porque hay una aceleración hacia allá y por lo tanto la aceleración tiene que ir en el mismo sentido ¿vale? ¿Por qué sé que hay una aceleración hacia acá? Porque me lo dice en el enunciado y hay una fuerza que tira hacia A, nosotros, hacia acá la pared de allá, nosotros sabemos por las leyes de Newton que fuerza es igual a masa por aceleración, la aceleración es la fuerza en el mismo sentido, ¿vale? Como vector. Bueno si aquí hubiera una fuerza de fricción para este cuerpo sería así, como me dicen en el enunciado que no hay, pues no hay. Y

ahora vamos al punto que vosotros decís, si yo soy algún observador que digamos estoy en el cuerpo A y me monto aquí, yo estoy sentado aquí encima y estoy viendo que fuerzas actúan sobre A, ¿qué otra fuerza habría sobre A?

Estudiante: La tensión

Habría sobre este cuerpo A una tensión que le podemos llamar así, porque cuando estamos tirando y yo estoy montado, imaginarnos por decirlo así vulgarmente, que es un señor que este sentado aquí encima del cuerpo A, cuando esto se mueve hacia la derecha él nota que aquí hay una cuerda que lo está tirando hacia allá, alguien que este montado de ese bloque hay sentado va a notar eso, ¿Cuántas cuerdas tenemos aquí?

Estudiante: Dos, bueno ahí hay una y la otra

Aquí hay una y aquí hay otra, pero en este tramo ¿Cuántas cuerdas hay?

Estudiante: una

Como ahí hay una única cuerda ahí, no hay fricción, una cuerda y no hay fricción, sino podrían cambiar las cosas, lo que va a pasar es que la tensión en A va a ser igual a la tensión en B, en realidad, la tensión que nota este cuerpo va a ser la misma que nota este cuerpo porque es la misma cuerda ¿vale?. No van a ser diferentes, van a ser iguales, por eso si queréis yo podría haber borrado esta T_a , T_b y llamar todo genéricamente T , porque es la misma tensión ¿vale? Eso ya es una cuestión de cómo le queráis llamar, pero es bueno hacer este esquema para que os deis cuenta cual está actuando sobre cada uno. Bueno y ya, entonces ahora en el apartado B me piden calcular la tensión, ¿cómo la visteis?

Estudiante: Sumatoria de fuerzas

Podemos vosotros, exacto, la única parte que conocemos es, bueno C, aplicamos este, sumatoria de fuerzas igual a masa por aceleración, aquí no hay mucho que pensar porque no tenemos 84 ecuaciones diferente y no se cual escoger, o sea solo hemos visto esta ecuación, o sea o es esta o es esta, no queda de otra, si vamos hacia la derecha el movimiento va hacia aquí y tomamos el eje X para aquí positivo, pues sería sumatoria de fuerzas igual a M por N dirección X ¿vale?. Debo guardar la misma dirección cada vez, bueno, entonces voy a escoger un cuerpo, tengo que aplicar esto a cada cuerpo, es decir, para el cuerpo A y para el cuerpo B, cada uno de

esos cuerpos como son diferentes van a tener su ecuación correspondiente, es decir para el cuerpo A sumatoria de fuerzas igual a masa por aceleración en la dirección de X, si queréis una masa, sumatoria de fuerzas que actúan sobre el cuerpo A, voy a poner todo sub A, bueno entonces para ese cuerpo A ¿Qué fuerzas actúan sobre A?

Estudiante: La del peso

Fijaros una cosa, esta ecuación se subdivide en dos sumatoria de fuerzas en X igual a masa por aceleración, sumatoria de fuerzas en Y igual a masa por aceleración, si queréis entonces cojamos la X, en movimiento yo sé que va hacia la derecha porque me lo dicen aquí en el enunciado, cojamos entonces sumatoria de fuerzas para A en la división Y, bueno aquí tengo dos ecuaciones, ¿Por qué queréis empezar por Y o por X? ¿Cual les gusta más? Aquí tengo dos ecuaciones ¿Y? ¿Cuál les gusta más?

Estudiante: cualquiera

Por Y, vale entonces, si yo tomo el eje Y así positivo, y el eje X para aquí positivo, este es mi criterio, es decir que mis ejes de siempre ¿vale? Cuidado con eso, porque a veces cogéis y le cambiáis los ejes, es decir, es como si yo me montara en este cuerpo A y dibujara mi eje aquí Y y mi eje X ¿vale? Tal cual. Bueno entonces en Y, ¿Qué fuerzas hay en Y?

Estudiante: El peso

Entonces aplico esta ecuación sumatoria de fuerzas en Y para el cuerpo A, masa de A, aceleración en Y, tendríamos el peso ¿es positivo o negativo? Según el criterio que hicimos

Estudiante: Negativo

Negativo, entonces es menos ¿Qué más?

Estudiante: La normal

Mas la normal ¿Qué más? En Y que es toda esta línea de aquí, todo esto, solo tengo la normal y el peso, en Y, solo tengo esas dos, no tengo ninguna más en Y ¿tengo alguna fuerza más en Y o no? No, igual a N_a por A_y ¿sabemos cuántos es A_y ?

Estudiante: 2.5

No pero este A es en la dirección X, no se explícitamente si dice una dirección del movimiento, no es en Y ¿estáis de acuerdo o no?

Estudiante: si

¿Sí? ¿Cuánto da la aceleración en Y? no lo sabríamos ¿vale? Entonces vamos a hacer una hipótesis, que es la siguiente, voy a suponer, en el enunciado no lo dicen explícitamente pero en este tipo de problemas se supone esto, que es que digamos en la dirección Y no hay movimiento y por lo tanto no hay aceleración es decir la aceleración en Y va a ser igual a cero, que quiere decir eso, que en Y el cuerpo, como decís vulgarmente, no va a brincar, esto no va a ser así, o sea cuando la señora sale de aquí y tire, no quiere decir que este cuerpo A empiece a hacer esto y de como botes como una pelota y se vaya desplazando y botando el solo simplemente se traslada, es obvio ¿no? ¿Sí? ¿estais de acuerdo o no? ¿Sí?, bueno, entonces la aceleración en Y va a ser igual a cero, entonces la puedo suponer en cero, pero por algo, entonces que saco de ecuación, queda normal va a ser igual a cero. Bueno muy bien, pero no he conseguido lo que me pedían, ¿Qué es lo que me han pedido?

Estudiante: La tensión

La tensión, podéis sacar la normal que va a ser igual al peso, el peso si os acordáis es igual a mg , entonces multiplicarías 4 por 9,8 y tendrías el peso que es la misma normal, pero no hemos resuelto lo que me piden, pues bueno hemos hecho algo un poco inútil, pero bueno no está mal hacerlo, aquí nos queda esta otra ecuación, esta otra ecuación no la hemos usado, entonces como sería, nos queda sumatoria de fuerzas en X igual a masa por aceleración, aquí, entonces para este cuerpo A, que fuerzas tengo en X

Estudiante: La tensión

La tensión que le llamamos T genéricamente, ¿cuantas más tengo? Como os dije sería esta tensión de aquí, T_a que le podemos llamar genéricamente T, ¿hay alguna fuerza más en la dirección x que actúe sobre el cuerpo A?

Estudiante: La aceleración

Fuerza fuerza, estamos aquí sumatoria de fuerzas en X igual a masa por aceleración, si tienes 24 fuerzas sumáis 24, si hay una una, si hay tres, las que hayan, en la dirección X, fijaros que acabamos de desglosar la segunda ley de Newton en dos ecuaciones una X y otra Y, dijimos que la de Y no nos daba mucha información pero la de X a ver que nos da. Bueno si analizáis bien el dibujo sobre este cuerpo A no hay ninguna fuerza que vaya en dirección X, solamente la tensión, es la única que hay,

igual a la masa de A por la aceleración en X, esto me lo dice la primera ley de Newton tal cual, ¿conocemos la masa de A?

Estudiante: Si

¿Cuánto?

Estudiante: 4

¿Y la aceleración X?

Estudiante: 2.5

Puedo que nos preguntaban en el apartado que dijimos que la aceleración de este iba a ser igual a la de este, por lo tanto es la condición, o sea es así de sencillo, tan simple como 4 kilogramos por 2,5 metros segundo, va a ser igual a, tomamos el resultado, 10 Newtons, por lo tanto ya sé que la tensión ahí va a ser 10 Newtons, así de sencillo ¿bueno?

Pregunten dudas, ¿nada? Algo importante que se me olvidó decir en los pasos a la hora de hacer un problema es escoger el origen de coordenado, escoger unos ejes coordenados adecuados, esto también me parece importante porque soléis tener bastante confusión con eso, eso sería uno de los pasos que podéis apuntar ahí de cómo resolver un problema, porque yo os pregunto lo siguiente, si yo, esto es por molestar, si yo tomara los ejes coordenados así, X y Y, ¿estaría violando alguna ley física? No, si yo tomara el eje X para aquí y el eje Y para aquí ¿estaría violando alguna ley física?

Estudiante: no

¿Hay alguna regla que me lo prohíba?

Estudiante: tampoco

En la constitución colombiana que diga el profesor de física no puede, no o sea, yo tomo los ejes así porque son los que estamos acostumbrados y es un convenio ¿vale? Y siempre los vamos a tomar así en general en todos los problemas, pero podía llegar el caso hipotéticamente que en algún problema o en algún libro imaginaos que el movimiento fuera hacia aquí, yo podría tomar el eje X para aquí y me quedaría positivo y haría un cambio de signo pero el resultado final tendría q ser exactamente el mismo, ¿bueno? entonces cuidado con eso porque a veces con los ejes os ligais, mi consejo

que les doy para ser digamos clásico tradicional es que toméis los ejes como siempre los habéis tomado, Y hacia aquí y X hacia acá, todo lo que vaya en este sentido va a ser positivo y en este sentido positivo y lo que vaya en este sentido negativo y negativo, siempre y ya está.

Bueno ahora vamos al siguiente apartado, tenemos que calcular la fuerza, para calcular la fuerza vamos a utilizar el cuerpo, voy al cuerpo que llamé B, entonces tendríamos, sumatoria de fuerzas igual a masa por aceleración para el cuerpo B, voy a que esto se desglosa en dos ecuaciones, tengo sumatoria de fuerzas en X igual a masa por aceleración, en X para el cuerpo B, sumatoria de fuerza en Y igual a masa por aceleración en la dirección Y, ¿en Y que fuerzas tengo? Otra vez el peso y la normal, ¿Habría alguna fuerza más?

Estudiante: no

Es decir, me vuelve a dar lo mismo de antes, que la normal menos el peso va a ser igual a masa por aceleración en Y, vosotros creéis que esta caja se mueve en Y ¿pega brincos?

Estudiante: No

No, o sea que es cero, por lo tanto volvemos a obtener que la normal de B va a ser igual al peso, no olviden esto como por cultura general que podríamos haber hecho un anuncio que dijera cuanto es la normal del cuerpo A y del cuerpo B pues lo respondéis aquí, ¿vale?, por ejemplo para este cuerpo A ¿Cuánto es la normal? Es Ma por g, que sería 4 por 9.8, si redondeáis eso por 10, sería aproximadamente 40, ¿sí? Si está bien ese dato.

Bueno y ahora vamos con el otro este sí que es el típico un poco más el asunto, sumatoria de fuerzas en B igual a la masa de B por aceleración ¿Cuántas fuerzas hay en B actuando sobre este cuerpo? En la dirección X ¿Cuáles serían?

Estudiante: la tensión?

¿Y cuál va positiva y cual va negativa? Si tomo mis ejes como siempre Y así y X así, tendría que esta X es positiva esta X es negativa, borro esto que está un poquito recargado, tendría F que va en la dirección positiva y la tensión ¿en qué dirección va? Menos tensión que es negativa, igual a masa de B por la aceleración ¿entendéis la ecuación o no? sobre este cuerpo que tengo aquí en rojo en la dirección X actúa esta

fuerza positiva y esta tensión negativa, si queréis llamarla T_b , pero dijimos que T_a y T_b es lo mismo que T , le llamo T genéricamente, esta va positiva y esta va negativa, ¿sí? ¿Estáis de acuerdo con la ecuación o no? simplemente apliqué la segunda ley de Newton, sumatoria de fuerzas, pero en este cuerpo de acá vemos dos fuerzas actuando sobre él, esta y esta, son dos, pues aquí hay dos términos, este positivo y este negativo.

Bueno siempre que planteamos alguna ecuación es importante saber qué es lo que conocemos y lo que no, ¿la fuerza F la conocemos?

Estudiante: no

No, no nos lo dan, ¿la tensión la conocemos?

Estudiante: si

La acabamos de calcular, así que es conocida, la masa del cuerpo B ¿la conocemos? Si, ¿y la aceleración de ese cuerpo B ? Sí, es la misma que la del cuerpo A y la que nos dan en el problema, o sea que tenemos tres cosas que conocemos y una en contra, es decir esto se puede resolver, simplemente pasamos este par aquí, voy a borrar un poco, simplemente es $F - C = m_b a$, me quedaría M , igual a, paso este que está restando aquí sumando más N_b por A , es decir que esto serían 10 Newtons que nos dio antes más M_b que valía 6 por los 2,5, y esto así de sencillo da 25 Newtons

Bueno nos preguntaban que comparemos esta fuerza con la tensión, la tensión nos daba 10 y esta F vale 25, por lo tanto es mayor F que T , ¿vale? Que nos decían que lo comparáramos, pues es lógico que esta fuerza sea mayor porque yo tengo que trasladar, tiene que ser mayor, que esta tensión de 10 y es mayor que estos dos pesos, si vosotros ponéis este peso de 6, esta masa de 6 y esta masa de 4 y aquí es la equivalencia, esta fuerza tiene que ser un poco mayor que eso para poder desplazar todo.

Pregunten dudas, bueno entonces ¿cuál sería el error típico que cometéis a veces en los problemas? En este caso, un error sería que como en este problema este cuerpo está antes y la señora está tirando, vosotros empezáis el análisis por aquí, entonces llegáis y decís, fuerza más tensión igual a masa por aceleración, y os quedáis un poco ofuscados porque la tensión tampoco la tendríais, entonces tenéis una ecuación con dos incógnitas, o sea no tiene solución, entonces llegáis a este punto y os quedáis

digamos varados, ¿qué es lo que hay que seguir? utilizando el otro cuerpo, vamos al otro cuerpo que bueno lo he acabado de borrar, y vemos que en el otro cuerpo solo hay una fuerza y tengo todo para resolverlo, que es la tensión, en el otro cuerpo B teníamos esta ecuación tensión igual a Mb por Ab , aquí ya tengo, esto es una incógnita pero esto lo conocemos, ya puedo saber cuánto es eso, una vez que lo tengo lo reemplazo aquí y ya está, en realidad este problema es como si fuera un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas, esta ecuación y esta es esta, simplemente que en la segunda ecuación, la segunda incógnita ya sale de inmediato y la podemos reemplazar aquí, entonces a veces pasa eso, que uno tiene que tener la habilidad de saber escoger por dónde empezar o si veis que en este no os llega porque hay más incógnitas que ecuaciones vais a necesitar el otro cuerpo para la segunda ecuación, va a haber tantas ecuaciones como cuerpos, ¿vale?

Entonces eso os va a decir el número de variables que tenéis en este caso habría dos, la tensión y la fuerza y si tenéis cuatro cuerpos o la cosa se empieza a complicar más va haber todavía más variables. Bueno como en este primer problema fui muy despacio yo espero que más o menos queda bastante claro, pregunten dudas, nada, como veis en Y, normalmente la aceleración va a ser cero y no nos va a aportar nada, pero puede ser que en el enunciado me dijera cuanto es la normal o cuanto es el peso ¿esta todo claro?

Bueno, estoy preparando un taller basado en el libro pero no me dio tiempo de enviarlo al correo, entonces bueno por el momento hoy os dicto los problemas y ya después se los envío por mail, los podéis imprimir y los vemos a partir de ahí. Bueno entonces hagamos otro problema del libro, como digo no es significativo pero es interesante tanto sumar vectores como para repasar esto de las leyes de Newton, es el problema 4-37, el enunciado es un poquito enredado pero os explico ahorita las cosas y el dibujo no me gusta mucho, pero el problema conceptualmente es interesante, es el 4-37 del libro.

El problema dice así: dos adultos y un niño quieren empujar un carrito con ruedas, dos adultos y un niño quieren empujar un carrito con ruedas, dos adultos y un niño quieren empujar un carrito con ruedas, nos dan el siguiente dibujo, dos adultos y un niño quieren empujar un carrito con ruedas en la dirección X, o sea lo quieren mover hacia acá, en la dirección X ¿vale?

Los adultos empujan con fuerzas horizontales F_1 y F_2 , bueno pues lo pongo, los adultos empujan con fuerzas horizontales F_1 y F_2 , los adultos empujan con fuerzas horizontales F_1 y F_2 , como hacemos en la en la figura, bueno y ahora me dicen apartado A, calcule, apartado A, calcule la magnitud y dirección de la fuerza, calcule la magnitud y dirección de la fuerza más pequeña que el niño debería ejercer, la magnitud y dirección de la fuerza más pequeña que el niño debería ejercer, aquí yo ahora os hago un matiz ¿vale? Ahora a continuación, luego dice se puede despreciar la fricción, o sea que no hay fricción, el apartado B dice si el niño ejerce la mínima fuerza obtenido en el piso A, si el niño ejerce la mínima fuerza obtenido en el piso A, si el niño ejerce la mínima fuerza obtenido en el piso A, el carrito acelerará dos metros segundo en la dirección X, el carrito acelerara dos metros segundo en la dirección X, el carrito acelera dos metros segundo en la dirección X, ¿Cuánto pesa el carrito?, bueno ahí tenéis todos los datos ¿Cuánto pesa el carrito?.

Bueno, aquí el enunciado no es muy claro sino que dice cuanto es la fuerza mínima, debe ser la del niño, para que todo se siga empujando hacia él, entonces fijaros, hay un señor, bueno lo he puesto así como un muñequito de estos, que empuja en este sentido, otro señor que empuja en este sentido y todos quieren que el movimiento vaya en la dirección X, esta caja X seria como una especie de carrito, abajo tiene ruedas ¿vale?

Hay un niño que está por aquí mirando, que los ayuda y tal a mover esto, los ayudo empujando, entonces dice ayúdanos empujando pero de tal forma que todo siga en la dirección de X, eso es lo que tiene que hacer el niño, que todo siga en la dirección de X y no perturbe digamos ese movimiento, no que se desvíe el carrito o se voltee o yo que sé, y además la fuerza que queremos es que la fuerza del niño sea la mínima, ¿vale? Es decir, de tal forma que el niño ahí empuje un poquito y ya, no que sea, que se, como es un niño pues claro, no quieren que le salga una hernia o algo, no, esta primera parte como os digo el enunciado a mí no me gusta pero el problema me parece interesante, tal como lo dije en el libro.

Yo lo pondría aquí así, primer apartado, el primer apartado se podría interpretar de esta forma, vale el apartado A, digamos que se podría decir, si queremos que el carrito no se desvíe no se mueva hacia la izquierda ni hacia la derecha, queremos que el niño haga una fuerza de tal forma que la fuerza, o sea por decirlo así, la condición seria que el carrito no se desvíe, que quiere decir esto, que siga en X, recto total,

¿vale? Eso es lo que están intentando decir en el libro, a veces hay algunos apartados de este libro y de otros que son así un poco enrevesados, pensar que ese libro inglés, estadounidense lo traducen unos mexicanos y lo traemos aquí, o sea a veces hay algunas palabras, incluso yo que hablo español digamos de España, a veces en el contexto hay mucho lío, eso es lo que pasa en estos libros, entonces bueno si queremos que no se desvíe pones esa condición y luego el resto lo dejo para vosotros porque no es tan evidente ¿vale?, la condición sería la siguiente, sobre todo ahora que estamos entrenando, la fuerza en Y en 1 más la fuerza en Y en 2 más la fuerza en Y en 3 tiene que ser igual a cero, creéis que este hombre se sacó esto de la manga y tal, analizar esta ecuación, no le pongo flechas porque son componentes, quiero decir que la componente Y de este vector, la componente en Y de este vector, más el empuje del niño, que sería la tercera componente, todos tienen que sumar cero, esas tres componentes en Y, por qué razón, si suman todas las de Y cero, porque Y va así, ¿no?, si no hay ninguna componente en Y ¿Qué pasa? Pues perfecto porque el carrito sigue en X, si hubiera alguna componente en Y ¿Qué pasaría? Que en vez de moverse así en X, esto es Y, podrían dejar así y luego desviarse, entendéis lo que digo, de moverse un poquito hacia arriba y eso es lo que no queremos, porque eso es lo que me dicen explícitamente en el enunciado.

Bueno yo entiendo que esto es un poco enrevesado al principio, bueno entonces mi objetivo es que calculéis, lo que os voy a pedir es que calculéis, F_1 en Y, por cultura general F_2 en Y, bueno F_1 en Y y F_1 en X, lo comenzamos por ahí, F_2 en Y y F_2 en X y F_3 en Y a partir de esta ecuación que os acabo de dar ¿vale? ¿Cómo la veis? Pues venga eso se hace simplemente por descomposición de vectores, esto es un problema de vectores, más que un problema de la segunda ley de Newton, por lo menos este primer apartado, por eso lo saque aquí a colación para que repaséis lo de vectores y no penséis que un vector no tiene nada que ver con la segunda ley de Newton.

¿Qué haríamos? ¿Cómo haríamos este? Y sus componentes ¿vale?, es decir sería F_{1X} , esto sería F_{1Y} y aquí F_{2X} y F_{2Y} , bueno a ver cuánto os dieron, quiero esas cuatro componentes, que me digas cuanto son.

Estudiante: profe

Ah, gracias, hacéis descomposición de vectores, simplemente es eso. Haber yo voy a hacer el F_{1Y} , F_{1Y} , si esto es el seno, sería eso y esto es el coseno, es decir F_{1Y} es el seno de ese ángulo, ¿vale? , sería F_1 por el seno de 60, es decir F_1 era 100, 100 por el seno de 60, a mí me da 86,6 Newtons, tanto que os gustan los números, F_{2Y} ¿Cuánto es F_2 ?, sería esta componente de aquí, esta es la del seno que coincide con esta ¿vale? Que también es la del seno, es decir, F_2 por el seno de 30, fijaros que se ángulo 30 va hacia abajo tal como está contado aquí, entonces una de dos o pones el seno de 30 ¿sí?, o pones el seno de menos 30 ¿entendéis lo que digo?.

Si doy vuelta a este primer cuadrante este ángulo sería todo esto, es decir, 360 menos 30 me da 330 ¿estais de acuerdo?. Pues si queréis contar este ángulo de aquí va hacia abajo entonces sería de menos 30 no de 30 como tal, ¿entendéis lo que digo?. Bueno esto da, esto da 140, esto me da -70 Newtons, pero mira una cosa, una fuerza negativa, pregunta típica en el quiz, profe la fuerza me da negativa, sí que pasa, no quiere decir nada, quiere decir que va en el sentido, quiere decir que este componente va así, las fuerzas negativas tienen derecho a existir, los números negativos decir esta componente va así, lógicamente como veis precisamente tiene que ser negativa, si fuera positiva ya sería sospechosamente mal ¿vale?, ¿me seguís o no?.

Una vez que tengo esas dos pues las sumo, es decir aplico aquí esta ecuación, es decir sería $F_1 + F_{1Y} + F_{2Y} + F_{3Y} = 0$, con la condición esa que nos decían, es decir, 86,6 menos 70 coma esto, más F_{3Y} igual a cero, o sea que F_{3Y} sería 80 menos esto y menos 86,6 menos 70 de 86 con 6, negativo porque este se para pal otro lado, este sería el valor que debería hacer, o sea que el niño ese en la dirección Y debería tener una fuerza de -16,6 para que todo siguiera en la dirección horizontal, si hace justamente esa fuerza, negativa la del niño y ya queda todo el dirección horizontal.

Nos faltaría el componente X del niño, como ya estos dos son muy fuertes y no quieren que el niño empuje demasiado si queréis podemos decir que la componente X del niño la vamos a tomar como cero, entonces sería un vector que tendría solo en la dirección X, en la dirección Y componente porque en la dirección X la vamos a considerar como cero. Esta es una consideración que hacemos nosotros, ¿vale? porque vamos a suponer que el niño no empuja mucho y ya está, de todos modos no os agobiéis con eso. Por ahora vamos al apartado B.

Este sí que ya es un problema más de las leyes de Newton.

Como os digo en este apartado A ¿Cómo lo veis? Básicamente lo difícil del enunciado es sacar esta condición que más o menos yo os la doy, ni siquiera calculé las componentes X de estos dos porque no las necesito, por eso no las calculé, si las queréis calcular en vez de senos sería con cosenos, este ejemplo es para que os deis cuenta que un vector es una fuerza o una fuerza es un vector, por decirlo así, pregunten dudas, de donde saque esto o algo, ¿nada?, ¿que sería lo difícil de este problema en este caso concreto? Saber deducir el enunciado, bueno la frase no es muy clara, con esto tenemos que llegar a esta condición, digamos que en este caso como estamos empezando y yo os doy esta condición, pero si esto de aquí en adelante lo tenéis que saber por vectores, ya no hay nada que pensar, ¿vale?

Bueno, ¿hay alguna duda o no?, los veo ahí como con cara de circunstancia, no sé si es la hora de la siesta o que o no ya lo teneis todo muy claro, después cuando vosotros vengáis el día del quiz si vosotros no practicasteis e hicisteis estos dos problemas, cuatro problemas, os va a costar bastante, una cosa es verlo desde ahí sentados pero esto problemas no se hacen del viento, tienen que hacerlos.

Bueno vamos con el apartado B, esto ya es de las leyes de Newton como tal, entonces nos dan la aceleración, y nos piden el peso del cuerpo, aquí ya tenéis dos fuerzas en este sentido, componentes X, componentes Y, la fuerza del niño está aquí, y como os decía vamos a tener la consideración de X es esta, para que el niño no se hernie, vale, bueno, entonces ahora lo que os pido es que calculéis el peso, ¿Cómo la harías? Os voy a dejar unos minutos para que lo hagáis, ¿vale? básicamente tenéis que calcular, o sea sumatoria de fuerzas igual a masa por aceleración, les voy a dar una ayuda, ¿Cuál es nuestro objeto a estudiar? ¿Qué peso me están pidiendo?

Estudiante: el de eso

El de este cuerpo, sobre el actúa una fuerza, ¿Cuántas fuerzas? Pues actúan estas dos en Y, las componentes de estos dos en X, estas tres perdón en Y, las componentes de estas dos en X y tal, entonces ponemos todas y ya está, la pregunta es, que es importante ¿en qué dirección es el movimiento? Bueno lo dice en el principio, ¿en qué dirección se mueve el carro?

Estudiante: en X

En X, en Y no se va a mover, bueno pues, a ver cuánto os dio el peso, y está claro que el peso da 840 Newtons ¿a todo el mundo le dio esto? Venga tenéis que hacerlo

¿Cómo lo harías? Corro un poquito por aquí y os dejo un minuto, la idea es que lo intenten si no lo intentan nunca van a conseguirlo.

Estudiante: Toca hallar la con la formula que nos dio ¿cierto profe?, ahora tengo que sumar las fuerzas que están, la aceleración ya la tengo

Sumas las fuerzas

Estudiante: O sea hago...

Suma todas las fuerzas en la dirección del movimiento y despeja lo que no conoces.

Estudiante: O sea cojo esto y a partir de ahí despejo la masa

Sí, si si.

Bueno a partir de esta ecuación las voy a descomponer en dos, sumatoria de fuerzas en X igual a masa por aceleración, sumatoria de fuerzas en Y igual a masa por aceleración en Y, como el movimiento va solo en X esta aceleración va a ser igual a cero, es decir esta ecuación no la voy a utilizar, solo me voy a centrar en la ecuación donde el movimiento se da, que es esta de acá y sumo las fuerzas que hay en X, es decir componente a componente ¿vale?

Es una serie de fuerzas en X, voy a tener la de F_{1X} más la de F_{2X} más la de F_{3X} , que es la del niño, esta ya nos dijeron que es cero, igual a la masa por la aceleración en X, bueno pues uno estas dos fuerzas, tendría F_{1X} más F_{2X} lo divido por la aceleración y aquí obtendría la masa y una vez que tengo la masa cómo pues puedo hallar el peso

Estudiante: masa por la gravedad

El peso va a ser igual a masa por la gravedad 57:38, ya estoy cerca de F_{1X} y F_{2X} ¿Cuánto os dio? Simplemente es descomponer estas fuerzas, va ser lo contrario que aquí F_1 F_{1X} es decir la componente en X este es el seno este va a ser el coseno, es decir F_{1X} va ser la del coseno, es importante que os quede claro esto de la trigonometría porque o si no os vas a montar un lio impresionante, F_{2X} si esto es el seno esto también es el coseno, entonces ya, se ponen 58:25, entonces esas dos dan, F_{1X} que es el coseno de 60 da 50 Newtons y F_{2X} que es el coseno de 30, da igual, para el coseno da igual que pongais menos 30 o 30 sobretodo en ese punto, bueno este coseno va a dar, esto da 121,2 Newtons, sumáis estas dos, las ponéis aquí, ah! reconocemos despejáis la masa, aquí tenéis la masa lo multiplicáis por g y ya está,

la masa da 85,6 kilogramos y ya, lo multiplico por 9,8 y así debe quedar 40 Newtons,
Bueno, pregunten

Estudiante: y ¿con ese peso podemos hallar la normal cierto?

Sí, si viene así con la otra ecuación, el peso va a ser igual a la normal, en este caso, porque aquí tendríamos que para este cuerpo solo tendríamos normal y peso y ya hasta ahí más las fuerzas que tengamos en Y, en Y hay unas componentes, pero si, no nos pidieron la normal solo nos pidieron el peso y ya está.

Como veis es muy sencillito el problema, este problema es simplemente es para hacer los énfasis en los vectores, en que la fuerza es un vector, el primer tema que vimos en clase, bueno el segundo día fue un repaso sobre vectores y eso no fue por amor al arte eso fue por, porque los vectores, las fuerzas se van a interpretar como vectores, y es importante tener claro cómo se descompone un vector, ¿vale?, espero que en esta descomposición nadie tenga duda que es un seno, un coseno, si ven que hay dudas, por favor decirlo porque a partir de aquí os va a ir mal, pero muy mal, sino tenéis claro que es un seno que es un coseno, pues pregunten ahora o callen para siempre, ¿sí?

Estudiante: si la fuerza es 0?

¿cuál? ¿Cuál es cero?

Estudiante: la fuerza 3X

Es una consideración que hacemos porque suponemos que el niño para que todo esto siga en esta dirección igual en X no va hacer ninguna fuerza hace en Y, la que les decía antes que la calculamos y la de X asumimos que es cero porque es muy difícil de calcular, porque no me dicen cuanto, o sea no me dan ninguna hipótesis que me diga cuanto tienes que se la fuerza del niño para que se siga manteniendo así, lo mejor es considerarla 0, si quieres podría solucionar todo el problema porque no es muy claro. Más preguntas o dudas o algo? Lo que importa es esta parte digamos. Una vez ya considerando que esa fuerza es 0, si quereis no la pongamos, solo tengo estas dos pues ya esta, bueno nada todo el mundo lo ve claro o es que esta demasiado fácil o demasiado difícil o ¿qué? Estos son los primeros problemas, todo esto se puede complicar todo lo queráis y más hasta el infinito y más allá, es un decir.

Podéis decir, podéis hacerlo todo lo complicado que quieras, a ver, entonces ¿todo el mundo ha llegado a este peso sí? ¿A todos al final les dio esto? A quien le dio esto que levante la mano.

Estudiante: 38

Pero 38 bueno, redondeando, que levante la mano quien no llego a este resultado, ¿nadie? ¿Todo el mundo lo tiene claro? ¿sí? ¿Seguro?

Bueno, esperemos que sí, ahora es el momento de preguntar, bueno ahora vamos hacer uno más de este capítulo 4 que esta en libro y ya pasamos a otra cosa, bueno vale es que allí hay varios pero digamos que del capítulo introducción de las leyes de Newton, lo damos por sanjado, luego nos falta aplicación de las leyes de Newton pero lo veremos el próximo viernes, que paso a alguien no le dio, o ¿alguien dijo algo que escuche por ahí?

Bueno, este dice, dos bloques están unidos por una cuerda gruesa de masa kilogramos, de masa 4 kilogramos, dos bloques, este es el problema 4-54 del libro, os enviare por mail los enunciados pero a ver si los podéis conseguir, dice: Dos bloques están unidos por una cuerda gruesa de masa 4 Kilogramos, se aplica una fuerza de 200 Newtons, se aplica una fuerza de 200 Newtons hacia arriba como se indica en la figura, hacia arriba como se indica en la figura. Este problema se parece un poco al primero o sea que este lo tenéis que hacer digamos, facilón, apartado A dibuja el diagrama de cuerpo libre, dibuja el diagrama de cuerpo libre para el bloque de 6 kilogramos, para la cuerda y para el bloque, de 4, perdón, este es de 6, este es de 5, la cuerda es de 4 kilogramos, es gruesa como estas de los barcos digamos, un cabo que le llaman, esta es la cuerda ¿vale? entonces me dicen dibuja el diagrama de cuerpo libre para todo en definitiva te podrían haber dicho así, para la cuerda para la masa este y para esta masa, para todo.

Apartado B ¿Que aceleración tiene el sistema? Me piden aceleración, apartado C ¿qué tensión hay en la parte superior de la cuerda? Y también me piden la tensión en la parte media de la cuerda, ya habíamos puesto la tensión esto es una cosa extra que ponen, en general una cuerda va a ser ideal en la parte superior y en la parte media de la cuerda, en general una cuerda va a ser algo ideal que va a tener la misma tensión en todo, como el que vimos en el primer problema, eso es una cuerda irreal, pero en este caso es una cuerda real que además tiene una masa de 4 Kilogramos es

una cuerda gorda y además aquí pesa, tiene una masa de 5 y acá una de 6, entonces la tensión digamos desde aquí hasta aquí no tiene porque ser la misma que hay de aquí a aquí como la que hay de aquí a aquí, es una aproximación pero bueno, bueno venga vamos hacerlo, la aceleración si prefiero que la hagáis vosotros por vosotros mismos, la hacéis más o menos rápido, la aceleración nos tiene que dar, la aceleración da $3,53 \text{ m/s}^2$, cuando alguien llegue al resultado que me lo diga, ¿vale?

Bueno que es lo que hay que hacer, pues los pasos de siempre leer bien el problema, volverlo a leer, entender el enunciado, apuntar lo que me piden, que es lo que conozco, dibujar bien los ejes de coordenadas, es decir yo voy a suponer como siempre el eje Y hacia aquí y aquí podría suponer un eje X por ejemplo sobre este cuerpo, así, los ejes como siempre, que más voy a hacer, leer bien el problema, entender lo que me piden y lo que me dan, apuntar todos los datos, una vez que tengáis todo eso hecho, volverlo a leer hasta que os aburráis, ya lo sepáis casi de memoria, y entonces ya lo que me dicen primero es dibujar el diagrama de cuerpo libre, entonces, bueno si queréis podemos llamarle A, a la cuerda podemos llamarle C de cuerda y a este llamémosle cuerpo B, por decir algo y entonces nada vamos al diagrama de cuerpo libre para cada uno de ellos, eso es lo que tenéis que hacer.

¿Todos habéis llegado al resultado? ¿dudas? ¿Todo el mundo se apuntó en la lista de asistencia?

Estudiante: Ay, yo no

Hay que llegar una hora antes eh?

Estudiante: este dibujo

No, este dibujo lo desglosas en 1, 2 y la cuerda, haz tres dibujos y el diagrama de cuerpo libre para cada uno

Estudiante: tomo el peso, luego como la masa del cuerpo por la aceleración

Pero es que tu tienes todo este sistema, la aceleración no es de solo un cuerpo es la de todo, cuidado

Estudiante: hice uno para el bloque 1 otro para el bloque 2

Sí y otro para la cuerda, has tres

Estudiante: Bloque 1 es el de arriba bloque 2 es el de abajo, entonces estoy diciendo que normal 1 para el bloque, hacia abajo está haciendo tensión y esta es la masa por la gravedad, que es la fuerza.

bueno, el peso, si

Estudiante: Es el peso, eso es para el bloque 1, para el bloque 2 también hay una normal para arriba y una tensión, ¿cierto?

Bueno, puede ser

Estudiante: Y hacia abajo esta la masa 2 por la gravedad, para la cuerda porque yo ya estoy incluyendo de una vez, por ejemplo acá también podría incluir la tensión, sería tensión 1 porque es la cuerda que está suspendida y esta es la otra cuerda, la que sostiene los bloques, sería tensión 2

Pero tú tienes 3 cuerpos, has lo mismo para la cuerda porque es otro cuerpo nuevo que tiene masa

Estudiante: Profe, entonces tocaría ¿cómo? Hago tensión y tensión, entonces tocaría dos diagramas porque la cuerda de arriba no es la misma de la de abajo

Vale, haz dos si quieres.

Bueno haber, lo más importante, o sea un traspie del problema o una cosa importante es hacer bien el diagrama de cuerpo libre, si lo hacéis mal os va quedar todo el problema mal, o sea pagáis como os pongáis, entonces los diagramas de cuerpo libre cuando nosotros tenemos varios cuerpos como en este caso, lo mejor es hacerlos por separado, ¿vale?, entonces a este cuerpo que por ejemplo le llamé A hago un diagrama de cuerpo libre para el cuerpo A, cuerpo A, sería este bloque de aquí A, hay gente que lo dibuja como un punto, como queráis ¿Qué pasa con este cuerpo A? la fuerza F hacia arriba, pues esa es la regla que me han dado en el enunciado, y ¿tengo algo mas o se acabó esto?

Estudiante: el peso

Ese cuerpo A tiene un peso, el cuerpo A pesa, no es una cosa ahí que flota en el aire, tiene una masa de 6 kilogramos, y ¿algo más? O ¿ya ahí quedó o que diríais o qué?

Estudiante: tiene una tensión

Aquí esta cuerda que esta, ella tiene una masa de 4 hilo, igual porque recordamos es una cuerda gorda y aquí una masa de 5 que también está tirando o sea este cuerpo está notando todo esto ¿vale?, es decir le podemos llamar en este mismo punto nota una tensión, si queréis en el problema distingue digamos, en la mitad de la cuerda hay una tensión y en la mitad de la otra cuerda hay otra tensión un poco diferente, porque la cuerda tiene masa, aquí le vamos a llamar la tensión en la parte superior, ¿vale?, ¿Qué opináis si pongo también aquí una normal? ¿Estaréis de acuerdo?, por ejemplo uno de vuestros compañeros dibujo una normal, ¿Quién dice que si quien dice que no? ¿Quién dice que si? Tu también dices que si ¿no? ¿Quién dice que si, estáis de acuerdo que hay normal o no? Os veo poco participativos.

Estudiante: ¿No es la misma fuerza?, porque ahí dice que se está alzando

Esto es como si un señor que está en un barco y le tiran un cabo entonces, bueno no sé si has navegado mucho, esto es lo típico que cuando subes el ancla, imagina que este es el ancla que está amarrado a otra cosa y lleva ahí algo que está tirando hacia arriba, ¿vale?, ¿Qué es la normal? La definición, por eso el otro día la definimos, una forma de llamar la normal, también se le llama reacción al apoyo, también lo llamé así, para hacer énfasis en eso ¿estos cuerpos están siendo apoyados en algo? ¿Hay alguna superficie en contacto que los sostiene en algún sitio? hay un tipo que está tirando también arriba, si no hay ningún apoyo en ningún sitio no va a haber ninguna normal, ¿vale?, bueno la normal solo se da cuando están dos cuerpos en contacto, uno sobre otro o puede estar de múltiples formas posibles y tienen que estar en contacto apoyados, en este caso no hay nada apoyado sobre nada están digamos en el aire, el señor esta tirando hacia arriba, ahí no hay normal por ningún sitio ¿vale?, entonces cuidado con eso porque igual como os decía si pones fuerzas de menos os va mal, si ponéis fuerzas de mas también, algunos de vosotros me dijisteis que había una normal, aquí estamos para aprender no pasa nada, lo importante es que cometáis los errores ahora y no en el quiz ¿no?

Vale, seguimos con el cuerpo B ¿Qué fuerzas actúan sobre él? Vamos aquí, ¿que tiene el cuerpo B?

Estudiante: peso

Tiene un peso, el pesa ¿algo más?

Estudiante: La tensión

Nota que hay una cuerda que está tirando de él arriba, que viene de esta cuerda que viene de esta masa de aquí y viene de este señor que está tirando hacia arriba, pero él no es que note todo esto el nota simplemente una tensión hacia arriba, como el enunciado me dice que distingamos aquí y aquí y aquí y aquí, bueno le vamos a llamar tensión en la parte baja o en la parte media llamémosle T_m por decir algo, como os digo habitualmente esta tensión es igual para todo esto, como esto es una cuerda real que tiene una masa de más de 4 kilogramos, no es un hilo despreciable una cosita ahí y tal, puede haber que haya una ligera variación de la tensión aquí, digamos esto es un caso más real, no le paréis muchas bolas a eso porque tampoco es nada relevante, ¿qué más fuerzas habría sobre ese cuerpo? ¿Alguna más? Nada más, o sea pues el dibujo no dice nada más que esté actuando sobre él.

Cuerpo C, le llame C por lo de cuerda, a los marinos les gusta más que les llamen cabo, porque eso de cuerda suena como a cuerdas de reloj, siempre dicen eso, pero como Bogotá aquí en el interior de marinos poco, bueno entonces en vez de ser así en este caso tenemos una cuerda que la hemos dibujado, el enunciado me dice que digamos distingamos de la mitad de cuerda hacia arriba y de la mitad de cuerda hacia abajo, entonces ¿qué notaría la cuerda?. Si fuera un hilo despreciable ahí de cobre, bueno de cobre perdón, un hilo o no sé, un hilo de nailon o algo así que eso pesa muy poquito, y no resiste mucho la verdad, entonces se podría considerar despreciable pero no una cuerda una masa de 4 kilogramos ya nos cambia la condición ¿no? como estas cuerdas de los barcos, como os decía, cuando un barco atraca puerto y echan el cabo no es que sea una cuerditita ahí así un hilito, supongo que la habéis visto, es una cuerda de verdad, le podemos llamar peso de C, fijaros que en el dibujo a partir del medio es lo que vosotros, lo que se suele llamar, ya lo veremos, centro de masas que es el centro geométrico de ese sistema como si estuviera toda la masa ahí, bueno que más datos se acuerdan

Estudiante: tensión

Bueno del centro nota una tensión en la parte superior y aquí noto una tensión en la parte digamos inferior o m, llamamos T_s y T_m , dos tensiones distintas, si fuera una cuerda ideal pues en teoría esta tensión sería igual para toda la cuerda, pero como es una cuerda real que tiene una masa de 4 kilogramos y además no es lo mismo esta fuerza aquí, este peso aquí que este, la tensión va a ser ligeramente diferente, ¿Dónde crees que esta mas tensionado por aquí o por aquí?

Fijaos que aquí hay una masa de 6 kilogramos más una fuerza de 200 newtons, por aquí va a haber más tensión por decirlo aquí que aquí, pero bueno eso ya lo veremos en el ejercicio, pero ¿tenéis claro esto o no? como os digo con una cuerda ideal la tensión sería la misma para toda la cuerda, esta como es una cuerda de masa 4 kilogramos ¿faltaría alguna fuerza por dibujar? en alguno de los tres, estarían todas, entonces fijaros esto siempre tenéis que hacerlo de forma sistemática, haced un esquema de cada uno de los cuerpos, porque vosotros por agilizar y por correr haced un poco de flechas in situ, no se ve nada no se entiende nada, bueno y en el apartado C no sabéis si es esta flecha de arriba o abajo o de quien era y después al final os montáis un lío impresionante, entonces cuando tengáis un problema más o menos complejo lo ideal es desglosar, ¿vale?, cada cuerpo del problema tiene su masa, tiene su peso y va a ser un cuerpo independiente, aquí tenemos el cuerpo C el cuerpo A y una cuerda, si esta cuerda fuera ideal pues no pintaría nada, solamente habría estos dos cuerpos y esto más esto y se acabaría el problema porque sería ideal la cuerda no la tendríamos que considerar.

Bueno entonces cada cuerpo tiene sus ecuaciones, empezamos con el primero, sumatoria de fuerzas igual a masa por aceleración, para el cuerpo A, esto se va a desglosar en dos ecuaciones sumatoria de fuerzas en Y igual a masa por aceleración en Y, sumatoria de fuerzas en X igual a masa por aceleración en X, como es lógico, igual que pasaba antes las fuerzas en Y la aceleración en Y es igual a cero, ¿estáis de acuerdo? nos viene pasando en todos los problemas, o no ¿o que diríais?

Estudiante: si

¿Aceleración en Y es cero? ¿La aceleración en X es distinta de cero? ¿O no? ¿Cuál es el sentido del movimiento?

Estudiante: hacia arriba

Esto se mueve hacia arriba, el movimiento, o por lo menos lo intenta, ya veremos si se mueve o no, pero precisamente me piden la aceleración y hay un señor o alguien o algo no sabemos lo que es que está tirando todo esto hacia arriba, imagináros eso que estáis en el borde del barco estáis tirando el cabo hacia arriba para subir el ancla o el peso, cuando tiráis una olla y que esta olla está unida dentro de otra olla o algo así, bueno entonces haceros esa idea mental, entonces ¿el movimiento en qué dirección va?

Estudiante: en Y

En Y, entonces en este caso es contrario al anterior porque, por eso escogí ese problema, no siempre la aceleración en Y va a tener que ser cero, eso debe venir dado por el tipo de movimiento que se ejerce, es decir en este caso concreto, la aceleración en Y va a ser distinta de cero, y la de X va a ser la que va a ser igual a cero porque estamos suponiendo que eso solo se mueva hacia aquí, no está haciendo esto como una especie de S, ¿entendeis?, vale, entonces ¿Qué fuerzas tengo para este cuerpo en Y para el cuerpo A? más fuerzas en Y para el cuerpo A

Estudiante: la fuerza de tensión, el peso

Tendría una fuerza F que es positiva, va en la dirección de mi eje Y menos el peso en A menos la tensión esta que le llame T_s , igual a la masa de A por la aceleración en Y, podemos hacer un repaso de que conocemos, la fuerza la conocemos, ¿el peso de A lo conocemos?

Estudiante: si

O el peso acordaros que es igual a la masa por la gravedad, o sea que lo podemos calcular, ¿conocemos la masa? Si, ¿La tensión? y ¿conocemos la relación Y? No, de hecho es lo que nos piden en el apartado B, o sea que tengo una ecuación con dos incógnitas, pues como diría uno aquí pailas ¿no? dos incógnitas y una ecuación, podéis ser Einstein que eso no lo va a resolver nadie, necesitáis por lo menos otra ecuación, tiene q haber un mismo número de ecuaciones que de incógnitas, si hay tres incógnitas tres ecuaciones, si hay cinco incógnitas cinco ecuaciones, tan simple como eso, bueno nos quedamos hasta ahí, hasta ahí hemos llegado, no podemos seguir avanzando, sigamos con el cuerpo B, sumatoria de fuerzas en B igual a masa por aceleración para el cuerpo B, pues nada esto se desglosa en dos ecuaciones, sumatoria de fuerzas en Y para este cuerpo B la aceleración en Y, sumatoria de fuerzas en X sería igual a cero en X porque estamos diciendo lo mismo de antes todo se mueve en Y, bueno ¿Qué fuerzas tenemos en Y para este cuerpo B?

Estudiante: tensión, más tensión media, menos

La tensión media menos el peso igual a masa de B por la aceleración en Y, puedo pasar lo mismo de antes, conocemos el peso la tensión media en nada porque es distinta a esta, la masa sí, pero la aceleración en Y nada, entonces seguimos teniendo dos ecuaciones con dos incógnitas, osea que, perdón, perdón tenemos una incógnita

mas que es la tensión m , o sea que para acabar de ajustar acabamos de añadir una incógnita más, o sea que nada, nos hemos quedado con las ganas, no se puede, y ahora vamos con la cuerda, sumatoria de fuerzas para la cuerda igual a masa de la cuerda por aceleración, sumatoria de fuerzas en Y para la cuerda masa de la cuerda aceleración en Y sumatoria de fuerzas en X para la cuerda, masa de la cuerda aceleración en X, esto va a ser cero, solo nos contribuye esto, ¿Qué fuerzas hay para la cuerda en Y?

Estudiante: La tensión superior

¿Positiva o negativa?

Estudiante: Positiva

La tensión en m pues ¿es positiva o negativa?

Estudiante: negativa

- T_m en la parte media digamos, y el peso ¿positivo o negativo?

Estudiante: Negativo

Es decir menos el peso, igual a la masa por la aceleración, entonces aquí ya tendríamos incógnita incógnita, conocido, conocido, incógnita, esta es la masa de la cuerda, ¿vale?, es decir tenemos un sistema ¿de qué tipo?, esto es un sistema matemático, esto ya es pura algebra, bueno pues va a ser un sistema matemático en el que tenemos tres ecuaciones tres incógnitas, tiene solución, que creéis ¿sí o no?.

Estudiante: si

Los veo con cara de pensativos, si, el problema es si tuviera tres incógnitas y dos ecuaciones o cuatro incógnitas y tres ecuaciones, siempre tiene que haber el mismo número de ecuaciones y el mismo número de incógnitas, si tenemos eso, tiene solución, ¿Cuáles son mis incógnitas?, las que tengo ahí interrogantes, incógnitas, serian la tensión superior, la tensión media y la aceleración, lo voy a llamar A genéricamente porque la aceleración va a ser la aceleración de todo el sistema, este señor cuando tire se va a mover todo como un bloque, ¿vale?, porque en realidad como esta cuerda es tan pesada este pesa y este pesa cuando tira se mueve todo así, al unísono, ¿vale? ¿Entendéis lo que digo?

Entonces que creéis ¿tiene solución o no? si tiene solución porque tengo tres incógnitas y tres ecuaciones ¿Cómo se hace? bueno pues esto ya es, a partir de este momento se acabó la física y empieza la matemática, empieza algebra, bueno pues ya es como sois de hábiles resolviendo ecuaciones, esto es despejar en uno reemplazar en otro, volver a reemplazar no sé qué, hasta que os quede una única incógnita, hay múltiples formas de hacerlo, como si queréis hacer una matriz o no sé cómo os de la gana, yo voy a utilizar una que me gusta más que las otras por lo mismo, es decir aquí lo primero que podéis hacer es escribirlo a limpio otra vez todo, no os asustéis por este sistema, cuidado con las masas porque hay una tendencia a que las masas pensáis que son iguales, A como esta en todo el sistema lo voy a llevar genéricamente a A, pero las masas no tienen por qué T_m , T_b igual a m_b por A, y la última ecuación tengo T_s menos T_m menos T_C igual a m_c por A, a le voy a llamar en todos los sitios A genéricamente para no arrastrar A_Y porque se mueve en la dirección de Y y porque se supone que es la aceleración de todo el sistema, ¿vale? Y es la misma, entonces la llamo A.

Bueno entonces ¿aquí como la veis? a partir de este punto es donde la mitad os corcháis porque ni idea de cómo despejar esto, entonces llenáis cuatro hojas y dais un resultado todo estrambótico yo no sé qué os pasa con esto y os va mal, ¿Qué es lo importante?. Yo suelo, voy a dar un apartado que es el A, dibuje el diagrama de cuerpo libre, tenéis esto diez, el problema vale tres puntos ya tenéis un tercio, planteo las ecuaciones, si tenéis estas tres ecuaciones bien escritas aunque no tengáis tiempo en el quiz porque a veces sois afanados o porque sois tan malos despejando, ni siquiera podéis despejar ya tenéis otro punto, que luego no llegáis a la aceleración, mal pues mala suerte porque sois malos despejando, pero eso no es la parte central del problema por lo menos tenéis que llegar bien a plantear las ecuaciones, eso es muy importante, bueno entonces ahora ¿Qué se os ocurre? llegados a este punto ya tenemos las tres ecuaciones aquí puestas las tres en paralelo bonitas, ¿Qué se os ocurre?

Estudiante: Eliminación

¿Cómo así eliminación?

Estudiante: Pues arriba tiene un menos T_s , tienes un T_s positivo se van, es la ley de la igualdad. Tienes un menos T_m y arriba un T_m también.

¿Qué opináis de lo que decís vuestro compañero? ¿Tiene buena pinta? ¿Estáis todos de acuerdo? ¿Sí?. Hay múltiples métodos, yo despejar de aquí reemplazarlo aquí y volverlo a reemplazar aquí, puedo o sea, pero por ejemplo como están las tres ecuaciones yo haría lo mismo que dice vuestro compañero, es mas

Estudiante: Y al final sumas todas las masas, al otro lado de la igualdad.

Lo que podríamos hacer aquí directamente, en este caso en concreto sumar las tres, las tres ecuaciones, si yo sumo todo homogéneamente a ambos lados de la igualdad no pasa absolutamente nada, pero todo es todo, no puedo sumar ahora si ahora no y dar cosas raras, entonces si yo sumo tengo F a la izquierda menos P_a menos T_s más T_m menos P_b , los signos los mantengo ojo, mas T_s menos T_m menos P_c ¿estáis de acuerdo o no? sume todo esto, mejor dicho he puesto estos tres de forma consecutiva, igual a M_a por A más M_b por A más M_c por A , tal cual como decía vuestro compañero, al sumar hay fuerzas que se me pueden simplificar, bueno está ahí con el celular pero.

Estudiante: No si ya

Esta con esta tienen signos opuestos, cancelo, ojo con eso, esta con esta son opuestos se cancela, lo veis o no, o sea si sumo T_s más T_s da cero ¿bueno?, T_m menos T_m da cero porque son cosas iguales con sentido contrario, ¿cómo me quedaría la ecuación?. Me quedaría así: simplemente me quedaría F menos P_a menos P_b menos P_c igual a M_a tan tan tan, ¿Qué podéis hacer aquí de este lado que se os ocurre?. Lo he escrito muy abajo, espero que lo podais ver, ¿qué podéis hacer de este lado?, ¿Qué sería factor común?

Estudiante: la aceleración

La aceleración, esto sería igual a M_a más M_b más M_c por A , repasemos la ecuación que nos quedó, ¿conozco la fuerza?

Estudiante: si

200 Newtons ¿ P_a cuánto es? pues sería la masa de A por G , es decir 6 por 9,8 lo puedo conocer perfectamente, P_b también P_c también, todo esto lo conozco ¿Qué es lo único que no conozco?

Estudiante: La aceleración

Qué es justo lo que me piden, es decir ya tengo una ecuación con una única incógnita

Estudiante: eso que está multiplicando pasa a dividir

Paso esto dividiendo aquí, ojo con este tipo de cosas porque también soléis hacer cosas raras y A da lo que os se usa comunmente, es decir, $3,53 \text{ m/s}^2$, es decir comprobar lo que os da eso, o sea tiene que dar, necesariamente si no os habéis equivocado, entonces a efectos prácticos, voy a decir una cosa así por cultura general, pero bueno, esto que es todo una masa fijaros lo que es la mecánica newtoniana, esto sería equivalente a si el señor este que está en el barco tira hacia arriba para elevar el ancla se hubiera tirado de este 6, 4, 10 si tuviera un bloque de 5, todo este sistema es equivalente a este desde el punto de vista de la aceleración, ¿entendéis lo que digo?, si vosotros cogéis y dices, bueno voy a considerar todo este sistema a la suma de los tres, 6 y 4, 10 y 5, 15 y considero un único bloque tendréis F menos el peso de ese bloque igual a M por A, si hacéis esto vas a ver que la fuerza son 200 el peso de 15 que sería 15 por 9,8 igual a M que es 15 por A y haces todo aquí y os va a dar 3,53 evidentemente este método es muchísimo más fácil que este, pero nosotros lo tenemos que hacer con todo el rigor del problema porque estamos en este caso de aquí

Estudiante: 1:37:31

El peso, el peso lo vimos el ultimo día su definición en masa por gravedad, o sea que el peso de A sería la masa de A por la gravedad de A, la masa de A es 6 y G es 9,8, o 9,81, en general los problemas no nos dicen nada pero vosotros consideras g que es $9,81 \text{ m/s}^2$, esta es la aceleración de la gravedad, a ver ¿Quién se perdió? Fijaros que aun hemos hecho solo el primer apartado nos faltan tres más, entonces no se si nos va a dar tiempo, esperemos que sí, pero bueno estoy parado aquí porque me parece importante desde el punto de vista conceptual, pregunta ¿Quién ha llegado a este dato de 3,53? Que levante la mano, 1, 2, 3, todos ¿sí?

Pero que les dio para calcular ahora no es que crean que les dio, preguntas para mí no más de las elementales, el diagrama de cuerpo libre de los tres cuerpos y que plantéis bien las tres ecuaciones, porque os lo digo una y otra vez, vosotros sois unos cracks despejando ecuaciones, pero si las habéis planteado mal por muy buenos que seáis no hay nada que hacer, además que a partir de este momento de aquí en adelante esto es matemática ya no es física, una vez que las tenéis planteadas ya es resolverlo, hacer el cálculo, como le queráis llamar, lo importante es el concepto de

hacia dónde va cada fuerza, que es cada cuerpo, como contribuye, y estamos aplicando la segunda ley de Newton, fijaros que aquí la componente X es cero, pasa lo contrario de antes, antes estamos moviendo en horizontal y ahora nos estamos moviendo el vertical, y en un plano inclinado nos moveremos en la combinación de los dos. Bueno, entonces vienen los siguientes apartados, ¿Cuánto os dio? Os dejo un minutico ahí. A ver ¿Qué nos preguntaban que ya se me olvido?

Estudiante: la tensión en la parte de arriba?

Me preguntan aceleración, que tensión en la parte superior y en la parte media, ¿Cómo lo harías?

Estudiante: Pues como ya tengo las incognitas y la aceleración en A, puedo despejar Exacto, muy buena respuesta, por eso utilice las tres ecuaciones

Estudiante: es lo más importante

Ya tengo la aceleración, si fijáis una vez que tengo la aceleración, por ejemplo de esta ecuación, automáticamente puedo hallar T_m , es la única incógnita, sin hacer ningún calculo extra, y de la primera ecuación por ejemplo, voy a hallar T_s y ya está ahí ¿vale? Simplemente seria así de sencillo, ¿me seguís?. Por eso una vez que tenemos las tres ecuaciones planteadas ya el resto no hay nada más que hacer, desde el punto de vista contextual, ya sea calculo pero no física ¿vale?, entonces fijaros de la ecuación esta una vez que ya tengo A puedo hallar T_m , os digo el valor de cuanto da, la tensión da, la tensión esta T_m , seria, no, la que tengo aquí, esta de las dos tensiones

Estudiante: ¿la sumatoria de las 2?

T_m da 93,3 Newtons y la otra, T_m , T_s perdón, da 120 Newtons, hacedlo y despejad, lo voy a hacer yo para que no os penséis que lo estoy inventando, por ejemplo en esta de aquí que es la más sencilla, si yo cojo esa ecuación tendría T_m menos P_b igual a M_b por A, cómo hallo T_m , pues simplemente despejando, M_b por A más P_b , M_b es la masa de B que es, ya me acuerdo, 5 kilogramos, la aceleración nos dio 3,53, el peso de B seria 5 por 9,8 y eso os tiene que dar unos 93 y pico, ¿os dio? ¿Le dio a alguien? ¿Tienen alguna de estas dos tensiones?

Estudiante: si

¿Esta y esta? ¿Sí? Bueno, ya hay alguien que le dio ¿alguien más? entonces fijaros, así seria para hallar la tensión de T_m se despeja ahí, y la tensión de T_s una vez que

tenemos la de T_m tenéis dos opciones, la despejáis de aquí de la primera o de la tercera, la que más os guste, como queráis, es a gusto de ustedes, esta dio 93,3 y esta dio 120, tanto si uséis esta ecuación o como uséis esta el resultado tiene que ser exactamente el mismo, eso no puede influir con la ecuación que utilicéis, ¿Quién llega a alguna de las tensiones? ¿Quién llega a alguna de las dos? A la que sea, vosotros ¿sí? ¿Sí? Vosotros ¿no? ¿Hay un error de cálculo? calculo que pasa, ¿no?, revisalo Como os digo lo más importante desde el punto de vista conceptual es que las tres ecuaciones queden bien planteadas, estas tres, ¿vale? lo que estamos diciendo ahora es despeje, como allá tenéis muchas tensiones, letras y cosas a lo mejor estoy reemplazando lo que no es, por eso es importante ponerle los subíndices, fijaros que

Estudiante: No da lo que usted dice

¿No da ni 120 ni 93?

Estudiante: Me da 66,6

Esa es la de T_m

Estudiante: Da 66,67

Esperen la de T_m ¿no da 93? ¿a nadie? ¿No está bien, no?

Estudiante: No, T_s si da

Da 120 ¿no? Si cogemos T_s entonces sería esta de aquí, ¿vale? entonces tenemos que volver a hacer T_s , sería F menos P_a menos T_s , igual a M_a , entonces aquí despejaríamos menos T_s , simplemente pasándolo para acá, o pasando el T_s para ahí positivo, y me quedaría F menos T_a menos M_a por A , esta es la que dices que da, os dio 120, ¿a todos? Si queréis hagámoslo, sería 200, P_a sería 6 por 9,8 y esto sería 6 por 2,53 y eso da 120 clavado, os dio a todos, bueno ahí no hay nada de discutir, y ahora vamos con esta otra para hallar lo de T_m , si yo hallo T_m sería, voy a borrar un poco por acá, ¿vale?, voy a dejar ya la ecuación que voy a utilizar, sería esta de acá, sería T_s menos T_m menos P_c igual a M_c por A , es decir T_s menos P_c menos M_c por A es igual a T_m , es decir T_s que nos dio 120, P_c que es el de la cuerda que son 4 por 9,8 y esto sería 4 por 3,32, este cálculo ¿cuánto da? 120 menos 4 por 9,8, 4 por 3,53 ¿Cuánto os da?, ¿los 63 esos?

Estudiante: 66.68

Vale, 66,68, vale entonces tenéis toda la razón, veamos ahora una cosa que es la siguiente, que es por lo que a mí me daba distinto, cuatro, mmm, acá es cinco, ya ya se, ya se había una cosa en la cuerda que no me cuadraba y es la siguiente, si vosotros consideramos pero esto ya es una cosa muy fina, eh, si vosotros consideramos la cuerda que pesa 4 kilos, aquí es como si tuviéramos 2 kilos y de aquí a aquí otros dos kilos, ¿vale?, es como si subdividiéramos la cuerda de la mitad hacia arriba una masa y de la mitad hacia abajo otra masa, si vosotros ponéis la masa de la cuerda aquí de dos kilos de vez de 4 os va a dar los 93 que yo puse acá, bueno, es una cosa un poco más fina que el sentido de que aquí estamos contando la cuerda hacia abajo y nos olvidamos de esta parte de la cuerda, y en realidad es como si consideramos que la cuerda tuviera 2 kilos, si no me creéis hacedlo, ponéis aquí un 2, en vez de 4 dos, 2 por 9,8 y dos por esto ¿Cuánto os va a dar eso? hacedlo, 120 menos 2 por 9,8 menos 2 por 3,53, es decir daría lo que yo os puse antes, como os digo esto es una cosa ya, digamos, más fina y en este sentido que nosotros estamos considerando la cuerda como subdividida en dos, una cosa sería la parte superior, que en realidad en la parte superior nota todo el peso, pero del medio hacia abajo la cuerda es como si solo notara esta parte, como la cuerda está dividida en dos son 4 pues dos de la mitad pa arriba y dos de la mitad pa abajo, en la parte superior no, en la parte superior nota todo, los cuatro, pero del medio hacia abajo solo nota dos, porque la parte de arriba de la cuerda ya, no la contamos, ¿entendéis lo que digo?

Entonces al poner los 2 kilos aquí es lo que da este valor. Como es digo eso ya es algo muy específico porque esta cuerda, no es una cuerda ideal sino es una cuerda real, y además la hemos subdividido en dos tramos, eso no sería lo habitual, esa es la razón por la que la tensión de aquí a aquí considerando esto 2 kilos, en realidad sería esta y no la de 66, bueno es un detalle ahí que bueno no es muy relevante pero sí que es interesante tenerlo en cuenta, de todos modos esto en realidad sería lo normal, si no hubiéramos subdividido la cuerda en dos, vale, cuidado con esto, ¿me entendiste esto último? ¿Queda claro?

De todos modos vuelvo y insisto ¿Quién tiene dudas en estas tres ecuaciones? ¿Quién? Que ya acabamos, eso es el punto clave del problema, quiero que repaséis esas tres ecuaciones y si alguien no las entendió, entonces es cuando ya pueden empezar a tener problemas hacia los problemas.

Bueno quedan 5 minutos, me gustaría contarles una cosa y ya nos vamos, ¿alguna duda con respecto al problema?. Bueno, en la parcelación teneis más problemas propuestos, yo me comprometo a enviarlos unos por mail, ahora lo que os queda es hacer trabajo por vuestra cuenta, si vosotros no lo intentáis por vuestra cuenta, no va a ser tan fácil ganar la materia, vuestro compromiso es, vuestro compromiso es que le dedicéis unas horas por vuestra cuenta.

Bueno ya acabando por ultimo os quiero comentar, salvo un poco de teoría pequeño pero me parece importante, sistemas en equilibrio, ¿Qué quiere decir esto?. Qué pasa si sobre un sistema, apuntad, si a partir de la primera ley de Newton, en la primera ley de Newton, pasa lo siguiente: os voy a decir a continuación, si una partícula, apuntad, si una partícula o un objeto, una masa como queréis llamar, si una partícula está en reposo o se mueve, si una partícula está en reposo, en reposo, o se mueve a V constante, en un sistema de referencia inercial, si una partícula está en reposo o se mueve a velocidad constante es un sistema de referencia inercial, coma, ¿Qué creéis que va a pasar con la fuerza?, la fuerza neta que actúa sobre ella, la fuerza neta que actúa sobre ella será, o bueno no, debe ser, mejor dicho, debe ser cero. Por fuerza neta hago sumatoria de fuerzas, si hay 84 fuerzas aplicadas sobre un sistema pues esas fuerzas deben ser cero. ¿Qué quiere decir esto?, en la práctica en un sistema en equilibrio lo que va a pasar es que, el sumatorio de fuerzas en ese sistema, va a ser igual a cero, sumatoria de fuerzas va a ser igual a cero, y por consiguiente esto va a dar lugar a sumatoria de fuerzas en X igual a cero, sumatoria de fuerzas en Y igual a cero, sumatoria de fuerzas en Z si las hubiera, igual a cero, ¿sí?, pensad una cosa si un sistema, si algo, una partícula, se está moviendo con velocidad constante o si su velocidad es cero cualquiera de los dos, ¿qué quiere decir que la velocidad sea constante? ¿Cuánto es su aceleración?

Estudiante: cero

Cero, y si la velocidad es cero su aceleración también es directamente cero, acordaos de la segunda ley de Newton, si yo tengo sumatoria de fuerzas, igual a masa por aceleración, si la aceleración es cero pues la sumatoria de fuerzas es igual a cero, bueno ¿entendéis lo que digo o no? ¿Sí?, eso es lo que estamos diciendo, esto va a pasar en los sistemas que se denominan en equilibrio, ¿vale?, es decir, un sistema en equilibrio es como, os dibujo un ejemplo y ya nos vamos todos, suponed un sistema en equilibrio, hay muchos, muchísimos, o sea todos los que quieras y más, imaginaros

este sistema, esto es un ejemplo, yo tengo una cuerda, una especie de viga una cuerda, una cuerda, y de aquí cuelgo un objeto, esto es la pared y esto es el techo, por ejemplo estos es un ejemplo del libro, que tiene un motor de un carro así suspendido, cogieron el carro le levantaron el capó y arrancaron el motor y lo dejaron ahí colgado, entonces aquí tengo tres cuerdas distintas, una, dos y tres, porque son diferentes, esta tiene un ángulo de, este ángulo va a ser de 60 grados, me dicen ahí, este está en modo horizontal y este está en horizontal, son tres cuerdas distintas, entonces aquí podría hacer un diagrama de cuerpo libre, para en este punto, aquí hay una especie de arandela, para este cuerpo, que le podemos llamar no se 1, si queréis, y un diagrama de cuerpo libre en este punto, eso lo haremos el próximo día, si os fijáis, aquí vamos a tener sumatoria de fuerzas en X igual a cero, sumatoria de fuerzas en Y igual a cero, pero eso no quiere decir que las fuerzas que ahí hayan sean iguales a cero cada una, va a haber, por ejemplo aquí ¿qué habría?, llamémoslo una tensión 1, una tensión 2 y una tensión 3, la suma de todas ellas da cero, pero no quiere decir que esta tensión sea cero, ni esta ni esta, si no esto se caería, es decir las fuerzas son de tal forma, que la suma de todas ellas va a dar cero y por lo tanto el sistema está

Estudiante: En equilibrio

En equilibrio, pero no quiere decir que cada una de esas fuerzas individuales sea cero, ojo no confundáis eso con lo que estoy diciendo ¿entendéis lo que digo?. Bueno, el próximo día resolvemos este ejemplo y vamos a profundizar más en las aplicaciones de las leyes de Newton, el viernes, haremos algunos problemas más, un poquito de teoría, algunos problemas más, ¿alguna pregunta? ¿Nada? ¿Dudas? Espero que los problemas que hicimos hoy quedaran medianamente claros, el próximo laboratorio es.

Estudiante: De hoy en ocho

De hoy en ocho, si, es decir, te lo confirmo, el próximo laboratorio es el día 13 de agosto, la segunda práctica es preparación de, hablando de laboratorios me tenéis que entregar hoy la guía, el informe, bueno preguntas, ¿no hay ninguna pregunta? Sobre algo

Estudiante: Profe, entregamos con esto

No, solo el informe, recibo informes de laboratorio.

3 sesión

Buenas tardes. ¿Qué tal? la clase preparada para hoy, vamos a ver qué vimos el viernes, el lunes fue festivo, bueno. Entonces para continuar en lo que estábamos, si os acordáis del último día habíamos hablado de: “Sistemas en Equilibrio”. Hablábamos de “Sistemas en Equilibrio Traslacional”. Bueno, equilibrio que se basaba en los sistemas de sumatorias cortas o de igual a cero.

Bueno y habíamos definido que un sistema de equilibrio era el que tenía una velocidad constante; o la velocidad también era cero, indicaba automáticamente que su aceleración era cero y por lo tanto, su fuerza también era cero, ¿bueno?. Como os decía no quiere decir que su fuerza como tal sea cero sino sumatoria de fuerzas en cero. ¿Vale?

Y este tipo de equilibrio, el último no lo dije pero es bueno que lo apunteís. En este curso vamos a ver dos tipos de movimiento, fundamentalmente: traslación y rotación. ¿Vale?, rotación es uno con giros ¿Vale? en este equilibrio hablo, de equilibrio de traslacional, es decir, el cuerpo puede girar o rotar pero no tiene porqué trasladarse, hablamos de aceleración convencional es decir, les hablo de lo que conocemos.

Bueno y entonces en eso nos habíamos quedado y yo os había puesto un ejemplo rápidamente el último día en clase. Un ejemplo que, teníamos un, teníamos el siguiente esquema; teníamos un objeto, decía que esto sacaba un ejemplo del libro que, en realidad es, motor de un carro que lo levantaban para ver si estaba dañado, lo que sea, no voy a entrar en detalles, pero teníamos el siguiente esquema. Tenemos: estos son cuerdas o cables y aquí un objeto colgado, en este caso el motor del carro, los tres están unidos por una especie, digamos de arandela, acero, o algo así, como queréis ponerle ¿bueno?. Si queréis una especie de arandela, aro, un dispositivo donde se unen tres cables o tres cuerdas.

Decíamos que este ángulo era de 60° y los otros ángulos pues no nos decían nada, ¿no?. Nos decían que esto eran 4:01. Y si queréis, como os gusta hacer todo numérico, vamos a, creo que tengo datos, de esto. Si queréis poner dato numérico para que, ah no, no tengo ningún dato. Bueno, pues nada. El único que tengo es 60. Sabemos que este motor pesa un peso P , genérico y ya está. Voy a ponerle P .

Bueno entonces, lo que decíamos el último día es lo primero que vamos a hacer es no nos dan ningún dato, lo primero es hacer el diagrama de cuerpo libre. Fijaros que

en este esquema que tengo aquí dibujado sencillo, tengo tres cables, cuerdas o lo que queráis distintos; o sea, ésta aquí es distinta a ésta aquí, distinta a esta aquí; cada una es diferente, cada una es diferente por lo tanto, si cada una es diferente se supone que cada una va a tener una tensión distinta ¿vale? O sea que tengo tres tensiones.

Y por otro lado, tengo digamos un objeto a estudiar o un cuerpo a estudiar; a estudiar es digamos el objeto ese que le llamamos N en el motor ese del carro. Pero también voy a analizar que pasa en el punto donde confluyen las cuerdas. Esto se hace habitualmente en este tipo de problemas. El punto donde confluyen las fuerzas que hace que ahí le llegue todo, todo sea digamos tensionado; ¿Qué punto qué es? ¿Qué es? donde todo se permanece en equilibrio porque confluyen las fuerzas y vamos a hacer con este o la arandela ésta o no sé cómo llamarle a ese, esa cosita ahí donde se amarran las tres, es decir voy a hacer esto. Entonces vamos a analizar en esos dos puntos, para esos dos objetos.

¿Estáis situados, sí?, los que han llegado tarde se deben juntar con ustedes-

Bueno entonces empiezo con el objeto, con el motor este; y hagamos el diagrama de cuerpo libre de cubo aquí N. ¿Qué creéis que fuerzas actúan sobre él? el peso que se llame P, como lo conocemos.

¿Algo más? ¿Sobre este cuerpo actúa otra fuerza más?

Estudiantes: Sí, hay una tensión.

Hay una cuerda aquí o cable que está unido ahí y que en este punto va a hacer una tensión T sobre el objeto. ¿Están de acuerdo?

Estudiantes: Sí

Bueno, ahora le vamos a poner un nombre a casa cosa, y ahora vamos a, digamos al lado del círculo, no sé cómo llamarlo, aro o arandela, o no sé, que es este de aquí; voy a considerarlo como si fuera un objeto, no una gran masa, el objeto ese esta influido con tres cuerdas o tres cables y va a ser un punto interesante del problema para analizar. ¿Vale?, entonces yo tendría o tengo, en ese cuerpo, tengo, una así, otra así y otra así.

Entonces en este aro o arandela ¿Qué fuerzas confluyen?, aquí hay una tensión, aquí hay otra tensión y aquí hay otra tensión. Ahora estamos en el punto de vista de él, de este señor ¿vale?. ¿Estáis de acuerdo o no?

Estudiantes: Sí.

Hay tantas tensiones como cuerdas. ¿Qué pasa? cada una es diferente, o sea esta va a notar que el techo la está amarrando ahí, aquí que esta pared la está amarrando ahí y aquí que este peso está tirando hacia abajo. Es decir, que hay tensiones distintas.

Entonces le podemos llamar T1, T2 y T3. Es importante hacer énfasis que cada cuerda tiene una tensión diferente; esta T es un 3 y si fijáis es la misma porque es este mismo tramo de cuerda, entonces aquí le voy a llamar también T3 ¡A ver! Porque es esta misma de aquí, porque es el mismo tramo de cuerda.

¿Quién está perdido? El diagrama de cuerpo libre va a ser muy importante para este, para este... problema. Si lo hacéis mal os va todo mal; si vosotros le pasáis el esquema que os había dicho en otro, en un problema o un ejemplo, es muy importante dibujar unos ejes coordenados, entonces vamos a dibujar unos ejes de forma adecuada.

Tengo dos objetos. La masa y el aro ese. El aro ese es como si fuera un objeto de masa despreciable porque no me dicen “junto a la masa” porque se supone que es algo pequeño; se supone que es acero lo que queráis porque están llegando tres cables y esto a lo mejor pesa 1 kilos, o sea tiene que ser un aro consistente, pero bueno no nos dice nada más. Un ejemplo genérico, ¡eh!

Bueno, entonces los ejes de coordenadas para este cuerpo, de aquí que es el del motor ese; lo voy a dibujar así: entonces el eje Y y el eje X, lo voy a dibujar como siempre, bueno no pasa nada, pongo los ejes en el centro. Y del otro objeto dibujo unos ejes también, X y Y, pues los dibujo ahí porque me parece el sitio más razonable, es decir en el centro del objeto, no lo voy a dibujar de otra forma y tomamos el eje X y Y como siempre ¿vale? no los tomo, no sé de otra forma bien rara.

¿Hasta ahí estáis de acuerdo o no?

Estudiante: Sí señor.

Bueno, entonces. Si nos fijamos, esta T3 va en la dirección de Y, el peso va de forma negativa, este va a aquí, o sea ahí están todas las tensiones. En realidad sobre este cuerpo, las tensiones no serían así, o sea si yo me centro en mi cuerpo, las dibuje al revés, perdonad. Es mejor situarse en algún punto de vista del objeto, ahora estoy en

el aro, el aro que nota, no que alguien la está empujando hacia aquí, hacia aquí, hacia aquí sino quedaría así todo comprimido. ¿Qué nota el aro?

Estudiante: la suma

Qué esa tensión tira así, esta tira así y esta tira así ¿estáis de acuerdo o no? ¿Sí? Entonces bueno, es bastante lógico porque el aro este, o sea estos dos están en equilibrio entonces hay una fuerza que los está teniendo en dirección amarrado a la pared, esta este peso y esta este amarre que lo está amarrando al techo; no están todas confluyendo así, sino notaría que todo esto empuja sino que queda en equilibrio, entonces ojos con el sentido de las fuerzas.

Y lo por último me dicen que este ángulo no es de 60° . Por trigonometría yo podría deducirlo ahí, es decir, si yo dibujara ese ángulo de 60° , sería si yo hago algo así, este sería de 60° . ¿No? Es este mismo ejemplo. ¿Lo veis o no? ¿Sí?

¿Dónde está también ese ángulo de 60° ? ¿Lo veis en algún sitio más?

Estudiante: Opuesto por el radio

¡Muy bien! sería este de aquí. Este ángulo y este son iguales porque este es paralelo a este y este sería el ángulo y como dice tu compañero opuesto por el reloj. ¿Todo el mundo lo ve? Esto es importante porque os equivocáis mucho con los ángulos. Entonces voy a, este ángulo es igual que este, si queréis podéis trabajar con este, voy a trabajar con este porque es el ángulo que eventualmente está más acostumbrado a usar. Pero que sepais que este es equivalente a este por trigonometría básica, ángulos complementarios.

Bueno, entonces ahora que ya tenemos el diagrama de cuerpo libre, el siguiente paso ya es escribir las ecuaciones. Aquí para el motor este, para este este cuerpo que está aquí colgado sería sumatoria de fuerzas, igual a masa por la aceleración. En el problema me dicen que está en equilibrio, está estático, estático. Esto en realidad, cuando sumatoria de fuerzas es igual a cero, es una parte de la física que se llama la estática; los de Civil tienen una materia sola que se llama así, o sea pensaron que esto es muy complejo. Cuando pasamos por un puente queremos que permanezca estático no que se caiga o se rompa un cable cuando pasamos por ahí.

Entonces dijimos que estoy va a ser igual a cero por que permanece constante, dejamos sumatoria de fuerzas igual a cero para el cable; para el objeto este, el motor

tenemos sumatoria de fuerzas en X, tenemos sumatorias de fuerzas en Y igual a cero.
¿En X qué fuerzas tendríamos? ¿Hay alguna fuerza que actúe sobre este motor, sobre este objeto en X?

Estudiantes: No

No. En realidad esta ecuación ni siquiera existe para este caso concreto porque no hay ninguna fuerza en X. En Y ¿Cómo quedaría esa ecuación?

Estudiantes: 14:35.

Es decir, esta es positiva, eso menos el peso. Bueno, eso sería la primera ecuación que tendríamos ¿bueno? No podemos hacer más ecuaciones para este cuerpo. Vamos con el otro objeto que es el aro ese ahí donde confluyen las cuerdas. Bueno vamos a hacer lo mismo como esta en equilibrio, sumatoria de fuerzas igual a cero. Eso va a hacer dos ecuaciones, sumatoria de fuerzas en X y sumatoria de fuerzas en Y. Como os digo la suma de los totales es igual a cero pero cada una de las fuerzas es distinta de cero. No tengo que ser, aquí hay fuerzas en X, sí. o sea esta ecuación va a haber fuerzas en X y fuerzas en Y. Siempre que tengáis alguna fuerza con un determinado ángulo lo primero que tienes que hacer ¿es? ,descomponer, porque no deja de ser un vector.

Aquí esta fuerza va en la dirección de Y, negativa. Esta va en la dirección de X, negativa. Pero esta tiene dos componentes, entonces lo primero que vamos a hacer ¿es? descomponer. Es decir, descompongo este, en esta componente de aquí que va a hacer T_{1X} y esta componente de aquí que va a hacer T_{1Y} ¿Lo veis?

Entonces ahora vamos con sumatoria de fuerzas en X. ¿Cuánto sería T_{1X} ? primero. T_{1X} va a ser:

Estudiante: Parte de T_1 por el coseno de 60.

Por el coseno de 60. Entonces T_{1Y} , T_1 por el seno de 60. ¿No?. Bueno entonces ahora vamos a describir las fuerzas que hay en X para ese objeto deseado. ¿En X qué tendríamos? En la dirección de X.

Estudiante: T_3 o ¿ T_1 , ahí?

¿ T_1 ?

Estudiante: Si. Coseno de 60.

Coseno de 60, bueno, muy bien.

Estudiante: Menos T2

Menos T2 ¿Hay algo más en X para este objeto?

Estudiante: No.

No. Entonces esto sería, todo igual a cero. Esto sería la primera ecuación en X. La pongo en rojo, $T_1 \cos 60$ menos $T_2 = 0$ ¿Y en Y qué tendríamos?

Estudiante: T_1 seno de 60.

$T_{\text{sub } 1}$ seno de 60

Estudiante: menos 17:34*.

Igual a cero. Bueno pues ya tenemos un sistema digamos, del mismo estilo del del otro día, es decir, tres ecuaciones con cuatro incógnitas. Uno, dos, o sea, tenemos como incógnitas y como tales: T_1 , T_2 , T_3 y P . O sea, cuatro incógnitas, tres ecuaciones. O sea que aquí no se puede resolver, nos tienen que dar un dato o algo. Que de hecho no me lo han dado, esto es un tema abstracto, teórico y no me lo han dado.

Si queréis darle con algún dato, no lo tengo con ningún dato pero si lo podemos hacer. Suponiendo que esto sea, no se, un objeto bastante pesado. Suponer que yo os digo que el peso de ese objeto vale: 500 newtons. O que tiene una masa, bueno, dejémoslo en peso de 500 newtons, suponer que ya ahora conocemos el peso de del objeto, entonces ahora, cómo lo hariais, ahora ahí ya es despejar.

T_3 igual a P . Paso este para aquí restando entonces ya sé que T_3 serían 500 newtons. Ya conozco T_3 lo puedo remplazar. ¿Y qué ahí despejaríamos?

Estudiante: T_1 .

T_1 . ¿Sí? y una vez que tengo T_1 ¿qué hay que hacer?, lo remplazaríamos aquí y despejaríamos T_2 ¿lo veis? ¿sí?, hacedlo si queréis. No tengo el valor porque es un valor que me acabo de inventar ahí pero bueno. Entonces T_3 es igual a P ya nos dicen que es 500 newtons, esto es un dato del enunciado y pues nada!. Simplemente remplazaríamos aquí T_3 y pasaríamos esto para aquí o T_3 pasa aquí positivo y despejaríamos T_1 . Y en el que tenemos T_1 lo remplazaríamos aquí y despejaríamos T_2 ; y así sería digamos la metodología del problema.

Entonces por el momento hemos digamos, visto dos tipos de problemas generales. Unos en lo que sumatoria de fuerzas es igual a masa por aceleración y otros que se van a llamar sistemas de equilibrio estático o la estática, que es una parte de la física importante. Que no va haber traslación en las que sumatorias de fuerzas va igual a cero pero porque sumatoria de fuerzas igual a cero no quiere decir que cada una de las fuerzas sea cero, ojo con eso.

Bueno ahora si vamos a hacer uno numérico, ya lo tengo datos digamos para que lo practiquemos; pero la metodología va a ser la misma. No es del libro pero es de otro libro que es un muy ejemplo clásico que me gusta bastante y si queréis os lo doy.

Un semáforo que pesa. Problema. Un semáforo que pesa 122 newtons, cuelga de un cable unido a otros dos, cuelga de un cable unido a otros dos, cuelga de un cable unido a otros dos, tal como se muestra en la figura. Entonces me preguntan, ojo a la pregunta. Estos cables no son tan fuertes como el cable vertical, estos cables no son tan fuertes como el cable vertical y se romperán como tal el vertical. Y se romperán si la tensión en ellos supera los y se romperán si la tensión en ellos supera los, quedó mal la fotocopia, pongámosle 10 newtons a ver si lo, si supera los 10 newtons por decir algo. Bueno, punto.

¿El semáforo permanecerá colgado o alguno de los cables se romperá?, ¿El semáforo permanecerá colgado o alguno de los cables se romperá?. Esa es la pregunta que hay que responder. 100, ya encontré el dato, 100, en vez de 10 newtons 100 newtons. ¿El semáforo permanecerá colgado o alguno de los cables se romperá?. Esa es la pregunta que hay que responder.

Bueno, el esquema del problema es este que tengo dibujado ahí, eso me lo dan como dato ¿vale? Es raro el semaforo pero en pueblos, en Estados Unidos entonces en las calles hay unos semáforos que están colgados digamos como esto, suspendidos digamos, no están ahí amarrados a un poste.

Entonces tenemos este esquema, este ángulo es de 53° de T de 37, este no lo sabemos; este vemos que T1, T2 y T3; sabemos el peso del semáforo que es 122 newtons y me dicen si estos tienen una tensión mayor de cincuenta y de cien newtons ¿qué pasaría si se rompe o no? ¡Pues nada!, hay que hacer eso, hay que hacer el problema. Entonces es un problema digamos análogo al que acabamos de hacer ahora. Vais a coger este esquema, vais a plantear el diagrama de cuerpo libre para el

semáforo y para este puntito aquí central donde confluyen las tres, que sería como si fuera el aro, planteen las ecuaciones tenéis todo porque tenéis que hacer esta tensión y podéis despejar. Y a ver qué pasa id haciéndolo y a ver como os va.

Vuestro objetivo final es hallar: T_1 , T_2 y T_3 .

Si T_1 y T_2 , cada uno de ellos son menores de 100 newtons entonces el semáforo digamos soporta, aguanta bien. Si son mayores de 100 newtons pues a lo mejor el semáforo puede ser que se caiga. Bueno, id haciéndolo, la metodología es exactamente igual a como acabamos de hacer el ejemplo este de de clase pero este ya es con dato numérico ¿vale?, tenéis todo exactamente igual.

En el problema que llamaban cables. ¿No?. Bueno, vamos a hacer el diagrama de cuerpo libre para esos dos objetos. El punto este donde confluyen los cables y donde esta el semáforo. Bueno, ¿qué es lo que hay que hacer?. Primero, leer bien el problema, volverlo a leer bien, apuntar los datos que me dan y apuntar lo que me piden. Una vez tenemos todo eso claro, el siguiente paso es hacer un esquema de cada uno de los cuerpos que ahí aparecen y hacemos el diagrama en cuerpo libre. Es decir, hacemos el diagrama en cuerpo libre del semáforo y del punto donde confluyen los cables. También es importante coger unos ejes, adecuados. El problema es prácticamente análogo al ejemplo que acabamos de hacer, ahora ya tenemos dos ángulos en juego pero es, análogo, y además aparecen también, eh, tenéis que jugar un poco con vectores; descomponer vectores y tal, bien, ahora ya tenemos dos vectores cada uno con sus componentes. Una vez que tenemos eso hecho bien, pues planteamos las ecuaciones.

Bueno, ¿cómo vais? ¿todo el mundo lo hizo?. T_1 a mí me da: 73,4 newtons, T_2 : 97,4 newtons y T_3 : 122 newtons. ¿A todos os dio lo mismo?

Estudiante: No

Pero te falta despejar una x y luego la otra y luego si reemplazas acá

¡Ey! lo consideramos ya aquí en el segundo cuadrante, o sea, estamos considerando esto es en realidad sería si quereis el ángulo de menos 37 pero bueno, con el coseno no pasa nada, eh, lo puedes considerar así, el ángulo de 37 entra directamente, o sea el ángulo de 37 es lo mismo que el ángulo de 180 que nos, eso, te tiene que dar lo mismo el coseno si tienes calculadora. En el seno si cambia, me refiero, podéis trabajar con ese otro ángulo que es todo éste, o éste, haciéndolo con el este ángulo

o con todo este te tiene que dar lo mismo, hazlo como quieras. Lo que está claro es que esta componente va la dirección negativa, eso sí que es importante.

En el fondo esto es un problema de vectores, de descomponer vectores, o sea por eso dijimos que el paso de vectores y es importante que eso tiene que quedar claro. ¿Alguna duda?, ¿cómo van?.

Estudiante: 36:14

Este es el ángulo, pero en el lado opuesto pues da 160, ahí aplicas coseno, siempre es así para todo esto. Este es el seno, este es el coseno, teneis cuidado con eso, que es muy importante.

Bueno repasamos un ratito entre todos y ahí si hacemos el despeje, despejar, despejar. Primero que queden claro los pasos, tengo aquí un problema, tengo lo que me preguntan, tengo lo que me piden y hacemos un esquema de los dos objetos, es decir, el semáforo y el punto donde confluyen las cuerdas. El semáforo hacemos el diagrama de cuerpo libre y todo el mundo está de acuerdo que es este ¿sí?, es el mismo que en el ejemplo anterior y en donde confluyen que sería este punto de aquí, donde confluyen los tres cables sería este punto de aquí, ojo con los ángulos que hay gente que se confunde. Si queréis podéis trabajar con este ángulo directamente pero a mí me parece mejor trabajar con el complementario, es decir los ángulos que aparecen ahí son: Este y este, estos dos que acabo de dibujar en rojo; este es igual a este y este es igual a este. Como queráis poner en cualquiera de los dos. Pero no confundirlos ángulos con los internos de acá, eso es importante. Y luego aquí siempre que tengáis un vector de esta forma siempre en general, lo primero que tenéis que hacer descomponer las componentes y tener claro qué es el seno y qué es el coseno.

Bueno entonces, como estamos en estática vemos que esto no se está moviendo, no hay que diga ¡hombre! podría llevar una trampa de viento y moverse o una cosa así, podría pasar eh, pero el problema no es así; en algún momento dentro este tipo de problemas tiene que aparecer una palabra clave que nos diga está estático o está en equilibrio. Este tipo de palabras claves que nos van a aparecer en el enunciado y nos van a dar pistas. No penséis que algo está estático cuando no lo está, o que todo se está moviendo cuando puede estar estático, ¿entendéis lo que digo?, eso ya depende del enunciado y el esquema del problema. En general todo va a ser igual a masa por aceleración y si ese cuerpo esta con una velocidad cero, es decir en equilibrio, como

en este caso, en el enunciado va a aparecer una palabra des ese estilo. Una vez ya lo tenemos identificado, ya vamos al problema.

Bueno hacemos el diagrama de cuerpo libre, aquí vamos, es este y aquí este, prácticamente trans, digamos el dibujo de lo he transpasado allí, fijaros que en este punto confluyen los tres cables, o sea están actuando estas tres tensiones: T3, T1 y T2. Ahora 40:21 ¿Hasta ahí es que vamos, no?

Para el primer objeto, el semáforo, pues simplemente tengo: T3 menos P, igual a cero. Y me dan el dato del peso, así que no me tengo que inventar nada, como lo de antes que era teórico. Ya se que T3 vale 122 newtons, vale, esa es la primera condición que sale.

Vamos con el otro. A la sumatoria de fuerzas igual a cero se descompone dos ecuaciones una en X y otra en Y. Empiezo con la de X, por ejemplo. Escojo las componentes de X; para este componente tendría: T1, esto es el coseno de este ángulo, como esta componente apunta a la dirección negativa del eje X en mi eje como lo coji por eso tiene menos del ángulo, este signo, más la otra componente que es esta, que apunta a la dirección positiva ¿Hay alguna componente más en X? no, igual a cero.

Y ahora vamos con Y. Aquí hay una componente en Y positiva que sería el T2 por el seno; otra componente en Y positiva en este caso es positiva, T1 por el seno y esta que es negativa por eso pongo $-T3$ ¿Vale?. Una vez ya planteadas las dos ecuaciones, ahora de aquí en adelante, bueno, son tres; ya es matemáticas, carpintería o no sé como le queráis llamar, depende de los países. Entonces ahora T3 lo conozco, vale 122, lo puedo reemplazar. Ya tenemos dos ecuaciones con dos incógnitas, estoy, esto es importante hacerlo, lo podéis hacer como queráis.

Tengo esta: T1 y T2; T1 y T2 y T3 vale 122. Lo podemos reemplazar de una vez. Entonces aquí lo podéis hacer como os digo, como queráis. Es decir, yo cojo por ejemplo, despejar de esta ecuación T1, reemplazarlo aquí y de aquí despejar T2, sería una opción por decir algo, si queréis hagamos eso.

En la segunda tengo que T1, seno de 37 va a ser igual; paso lo otro para el otro lado, menos T2 seno de 53; como os digo esto es matemática; y más T3. Lo voy a dejar como, como la T y al final lo reemplazo. Y por lo tanto T1 va a ser igual a menos T2, seno de 53, más T3 dividido entre el seno de 35.

Y ahora lo reemplazo en la de arriba, no es que sea muy bueno este ejemplo no, pero podría haber hecho de forma más fácil. Entonces me quedaría, como hay un menos, esté menos afecta a todos; entonces quedaría así: menos, menos T2, seno de 53, más T3, seno de 37 por el coseno de 37, más T2, coseno de 53, igual a cero.

Y ahora ya, acordarse que T3 es un número, pues ya tengo eh, tengo, T2 solo en esta ecuación; entonces ya puedo despejarlo, podría. Bueno, aquí tengo el coseno, yo lo que haría es que aquí es mejor hacerlo todo con calma. Este coseno lo multiplico por este y por este ¿me seguís? ¿sí?, por todo lo de arriba. Y paso todo lo que tenga T2, perdón lo que tenga T2 y paso todo para el otro lado y ya despejo, y ya está. Hay que hacerlo rápido porque estamos en lo conocido y lo conocido, esto es matemática.

Bueno cogí un camino un poco largo, podría haber otro, lo se, este menos afecta todo, me quedaría más T2 seno de 53, y por el coseno de 37 que estaría multiplicando; menos T3 porque está multiplicando menos a todo todo, coseno de 37 y todo esto dividido entre seno de 37. Y más T2 por seno de 53. Primero hice el cálculo ¿vale?, igual hacedlo.

Y ahora, si queréis multiplico todo. Hagamos esto, bueno aquí ya está todo. Si multiplico toda esta ecuación por el seno de 37, este seno con este se me va y me queda eso ahí, me quedaría: seno de 53, coseno de 37, menos T3 por seno de 37, más T2, coseno de 53, seno de 37, igual. Y ahora esto que no tiene T2 lo paso para otro lado, sumando. Es decir, queda un poquito largo pero pasa nada ¿eh?

¿Me seguisteis en los cálculos o no?. Cuidado aquí que este menos afecta todo lo que está en paréntesis, o sea menos por menos más, y menos por más menos; y este coseno está multiplicando a todo lo que está en paréntesis arriba. Es decir quedó el coseno y el coseno multiplicando. Y ahora llegados a este punto, qué se os ocurre hacer.

Estudiante: Factorizar T2

Sacar factor común a T2, sacar factor común a T2, a todo esto; igual a T3 coseno de 37 y después que se os ocurre hacer. Entonces esto que está aquí pasa para aquí dividiendo y ya está; Bueno. ¿Me seguisteis en los pasos o no? A partir de este momento esto es cálculo, ya no es física. Os tiene que dar $T2 = 97.4$. Una vez que tenemos T2 pues ahora podemos ir aquí, reemplazarlo T2 y T3, T3 ya lo conocíamos, tenemos nuestra ecuación despejada, y ya tenemos T1. ¿Habéis llegado a este

resultado? Bueno, intentadlo. Este ya es despeje, o sea despeje matemático puro y duro, o sea, a partir de aquí ya es despejar, es bueno que repaseis este tipo de cosas de despeje.

¿Preguntas? o sea, ¿cuál es para vosotros?, para que lo hagáis y el próximo día me preguntáis ¿Vale?. Es bueno que llegéis con eso, veréis que yo he hecho unos pasos intermedios, vuestra tendencia es que cogéis siempre y empezáis a: multiplico esto por esto, cambio de signo, paso esto para aquí haces todo a la vez en un único paso. Lo cual los puede llevar a error, es mejor hacer cosita a cosita. Aquí multipliqué por el menos, multiplique por esto, pase este 37 es como si lo hubiera multiplicado todo por seno de 37, entonces me quedó seno de 37, como queráis hacerlo, luego paso esto a un lado, esto lo dejo ahí, así.

Pregunta y dudas. Como veis esto es calculo, son letras, son X Y, u otras pero el sentido es exactamente el mismo, pero lo importante es que estas tres ecuaciones las hayáis planteado bien, es lo que más me preocupa. Pregunten dudas del problema ¿Nada o esta todo claro? ¿Alguien ha llegado a estos dos resultados de casualidad?, que levante la mano ¿Nadie? ¿Nadie nadie?, bueno, intentadlo, o sea, os lo dejo pa' la casa.

Bueno entonces me preguntaban una cosa muy concreta, ¿Qué me preguntaban?, pero no lo recuerdo; si la tensión era mayor de cien, es decir, si en ellos supera los cien, es decir si cualquiera de los dos supera cien. Si veis esta da 73 y esta da 97, ninguno de los dos, llega a 100, esta cercano pero no llega cien newtons. Por lo tanto lo que me preguntaba alguien de los cien newtons, no llegan a cien newtons; por consiguiente es una pregunta del final“¿El semáforo permanecerá colgado en esta situación o alguno de los cables se romperá?” ¡Pues no!, permanecerá colgado, colgado ¿vale?.

¿Cómo sería que se rompiera? Si pasaran los cien newtons. Imaginaos que te dan 97 y era 127, pues en este caso se rompería según la condición de cien newtons que había dado; porque supera los cien newtons. ¿Entendéis lo que digo? es decir, ellos están diciendo que: para que el semáforo se mantenga allí es un criterio de la norma de semáforos de Estados Unidos, yo qué sé, inventáis lo que queráis. ¿Qué les dicen? “Si esto supera los cien newtons, tenemos problemas.” Entonces calculamos las dos tensiones y nos damos cuenta que no superan, por lo tanto el semáforo permanece

ahí sin problemas. Este está cerca pero no hay llega a 100. Como os digo, si en vez de dar 97 os diera 127 por decir algo, alguno de los dos, superaría los cien newtons y entonces se rompería, no aguantaría eso, ¿vale?, inclusive porque os veo como con cara de circunstancia, miremos el otro apartado si quereis.

¿Qué pasaría si los dos ángulos son iguales, cuánto sería T1 y T2?, eso es otra pregunta que nos hacen ahí, la anotamos en su momento. ¿Qué pasaría si los dos ángulos son iguales? Apartado b, o c, no sé. Si los dos ángulos son iguales ¿Cuánto sería T1 y T2?, iguales me refiero a que imaginaos que aquí los dos son de 53 o los dos de 37, como queráis. Bueno esto se puede simplificar. Al final si los dos ángulos son iguales lo que pasaría, se puede hacer matemáticamente ¿vale?, lo podéis comprobar.

Que T1 va a ser igual a T2. Sin los dos ángulos iguales se simplificaría, las cosas. Por ejemplo aquí, bueno, en este, ya tenemos T3 ¿vale?, fijaros esta tablita que tengo aquí, me dice: Seno de 53 y seno de 37, imaginaos que ambos es seno de 53 o seno de 37. ¿Qué pasaría? Seno, coma, seno, se cancela y quedaría este igual a este pero en sentido contrario. ¿Sí? ¿Entendéis lo que digo?, es algo tan sencillo como esto pero es un poco para hacerlos pensar, que si los dos ángulos fueran iguales las tensiones serían iguales. Es una cuestión geométrica. Lo que pasa es que este es 53 este 37. Se supone que éste que está más cercano a 90 T2, veis que está más cercano a 90. Esta tensión va ejercer digamos, más fuerza, más tensión que esta. ¿Entendéis lo que digo? Y de hecho se comprueba; fijaos aquí da 97 y aquí da 73. El cable que está más cercano a la vertical pasa a forjar más peso y más tensión, este está un poquito más porque este es 53, este 37, fijaros que esperaban poco mayor que este, como lógico, ¿Entendéis lo que digo?, sería ilógico que éste teniendo menos ángulo que dieran al revés, que tuviera más tensión, cuanto más próximo a la vertical tiene más tensión ¿Si? , ese tipo de cosas es bueno razonarlas. ¿Preguntas?. Primero que todo os habíamos quedado ofuscados en el despeje este y habín visto que dio ¿No?, hacedlo para la casa con calma y el próximo día me lo preguntáis pero tiene que dar, esos valores estaban testeados, tiene que dar.

Estudiante: a mi me da 73,6.

Bueno es que hay es que hay que hacer redondeos pero te da 73.

Estudiante: Y en el otro me da 97.7

Lo mismo, sí. Sería válido, o sea no te compliques por los decimales, depende de la calculadora, depende de cómo lo tomas y a veces en los libros redondeen pero bueno, estaría bien, no te preocupes por eso. ¿A alguien más le dio de casualidad? ¿No? Bueno.

No os agobieis con los cálculos estos, ¿No?, pero bueno aquí lo tengo ya detallado es solo pasar esto aquí dividiendo y ya está. Pero ¿a nadie le dio?, bueno, esto es cálculos, no física. Bueno, si queréis comprobémoslos. Entonces sería: T_2 igual a T_3 , coseno de 37 dividido entre seno de 53, coseno de 37, más coseno de 53, seno de 37. Y acordaos que T_3 vale 122; esto da T_2 , parecido a eso ¿Alguien lo hizo con calculadora o no?

Estudiante: si

¿Sí? ¿Le da?

Estudiante: si

Bueno, ya hay una testigo que le da. Traeros una calculadora a clase porque es importante. Bueno, preguntas. ¿Nada?, repasad vosotros los cálculos, lo importante es que entendéis las tres ecuaciones, eso a mí me parece clave; y el esquema del problema en general, claro. Bueno, vuelvo un poco por aquí; pensad en esto que les dije si queréis lo podemos comprobar, si los ángulos son iguales las tensiones son iguales, eso no cambia acá.

Bueno, vamos a ver el último apartado de teoría que nos queda digamos para ya cerrar las ecuaciones de Newton. Continuamos ya con todas completas y definir ya todo lo último que nos queda de forma clara ¿vale?. Muchos libros le llaman digamos aplicaciones de las leyes de Newton, le podemos llamar aplicaciones pero en el fondo es coger las leyes de Newton y seguir aplicándolo a más sistemas, a ver qué pasa; y sistemas cada vez más complicados.

Eso es lo que vamos a ver a continuación, ¿puedo borrar lo del problema? ¿Sí?, ¿seguro?, bueno, vamos a ver algunos casos particulares de las leyes de Newton 57:02 y fijaos que podemos definir ya lo que acabamos de ver. Dos tipos de situaciones, una situación que es una sumatoria de fuerzas que es igual a cero; dijimos que esto venía dado porque la velocidad es constante o la velocidad es directamente cero lo que significa que la aceleración es cero, y esto que llamábamos, le podemos llamar estática, esto es una parte de la física que se llama estática o equilibrio de

traslación. Y la segunda parte, es cuando las fuerzas son, digamos sumatoria de fuerzas es distinto de cero, las fuerzas están digámoslo, así: desequilibradas, la aceleración es distinta de cero y tenemos la segunda ley de Newton.

Vamos a re tomar este y nos vamos a focalizar aquí. Esta parte se llama dinámica, es decir hay traslación. Esto es súper mega extenso, osea, como os digo, ¿Cuántos hay aquí de Civil?, bastantes, la mayoría, el resto es de Industrial. ¿De qué programa sois?

Estudiante: de industrial

Si vosotros veis vuestra parcelación creo que en el siguiente semestre tenéis una materia que se llama estática, una materia que es sólo estática. Pensando en lo que digo del puente, ¿no? o sea esta da tanto de si puede ser tan complejo, aquí solo nos estamos centrando en la traslación también puede ser la rotación ¿Vale?, los torques, todo eso, todo lo que es el tema es tan complejo como tal que ya tenéis una materia solo dedicado a eso. Aquí estamos sentando las bases.

Bueno entonces, ahora vamos a retomar el caso de dinámica, vamos a dar unos ejemplos sencillos, que vamos a utilizar en problemas que nos van a servir de base; pero a mí me gusta empezar definiendo, nosotros nos vamos a centrar aquí, ahora en dinámica y vamos a empezar con una fuerza muy especial. Pero es bueno definirla, la que se llama la fuerza de reforzamiento o también fuerza, de fricción. La definimos de forma muy general cuando definimos los cuatro tipos de fuerza que vamos a ver en este curso, pero es bueno enfatizar sobre ellos.

Bueno, la fuerza de fricción ahí queda de esta manera, ¿por qué será?, tomo un objeto, el que sea, en contacto con una superficie, apoyado sobre una superficie y tenía una serie de fuerzas allí , ¿Cuáles eran?, el peso, debido a que hay una reacción al apoyo, hay una normal, imaginaos a que hay alguien que tira con una fuerza en este sentido ¿Qué es lo que le va a pasar a ese objeto?. Va a haber una reacción por el hecho de estar en contacto en sentido contrario al movimiento. Supongamos que este es un movimiento, el movimiento va hacia acá voy a poner acá una fuerza opuesta o fuerza de fricción ¿Vale?.

En muchos libros esta fuerza de fricción la anotan con una f minúscula se puede llamar así, y de hecho vamos a definir dos tipos de fuerza de fricción. Una fuerza de fricción que la vamos a llamar f_s , pues así la llaman los libros, nosotros en castellano lo podemos llamar fuerza de fricción f_e , esta sub s significa fuerza de fricción estática;

en castellano sería como una e, en inglés estática, static es como una s. ¿Vale? Y otra es una fuerza de fricción que le vamos a llamar fuerza de fricción dinámica o cinética, normalmente le llaman cinética, si fuera en castellano sería fc, nosotros utilizaremos, digamos el símbolo universal f_k , k significa cinética y sería en 1:02:20* ahora si se puede con una letra acá.

Entonces van a existir dos tipos de fuerza de fricción, una que le vamos a llamar estática y otra que le vamos a llamar cinética. ¿Vale?, bueno, ¿cómo las vamos a distinguir?, pues de las siguiente forma. Y ¿Cómo las vamos a definir?, cuando yo, imaginaros que yo, tiro de esta cuerda, de este objeto con mi mano aquí; bueno, imaginaros que este soy yo o cualquiera. Aquí hay un señor igual que aquella señora en aquel ejemplo del golf, con el que teníamos esta parte del golf o sea esta cosa de hielo, alguien está tirando. Es decir, yo imaginaos que también, cojo esta mesa y empiezo a tirar, cuando yo tire de aquí, va a haber un rozamiento con el suelo, eso no es instantáneo. Yo empiezo a tirar si queréis un mili segundo o un nano segundo, lo que queráis; y hay un instante que empieza a moverse pero yo empecé tirando y al principio no se movió, en el instante, en el primer instante. Entonces yo, digamos que la fricción se da debido al contacto entre esta superficie y la superficie donde se apoya ¿No?

Si nosotros hiciéramos un zoom, me daría cuenta, de esta superficie y de la superficie de esas, lo llevamos al microscopio, tenemos una superficie por muy pulida que este esa mesa, una superficie sería así, y la otra sería también algo así. Esto sería la caja y esto sería eso. Por muy pulida que este, nunca estará pulida al cien por cien, si queréis lo vemos en un súper mega microscopio lo vais a ver así, no lo vais a ver recto por decirlo así. Entonces cuando yo intente mover y empiece a tirar, desde el instante inicial y no va a dejar que se mueva y digamos al segundo o a los pocos segundos, ya empieza el movimiento. Eso suele pasar en una gráfica de este estilo ¿vale? en función del tiempo.

Si yo tengo la fuerza, aquí tengo el tiempo, yo aplico una fuerza f la que sea, hay un instante a partir del cual yo voy aumentando la fuerza; yo estoy en el tiempo cero, voy aumentando la fuerza, aumento, aumento, aumento porque cuando yo tire, tiro y empiezo con poquita fuerza; mucha, mucha, mucha hasta que la puedo mover pero yo no tiro así, no soy superman. Ya una vez la muevo, vaya aunque sea un segundo, lo que queráis, la fuerza va aumentando, con el tiempo la fuerza va aumentando; ves

que aumentando porque cada vez es mayor esta fuerza, va aumentando, aumentando, aumentando, aumentando y llega un punto en que empieza el movimiento ¿Vale? Y el movimiento va a ser así porque digamos hay fricción.

Entonces hay dos formas. Esta de aquí que se va a llamar, la zona donde nosotros tendríamos la fuerza de fricción estática, bueno sería el punto máximo, ¿No?, aquí va a parecer la cinética a partir de aquí y aquí es lo máximo de la estática. Y aquí sería f_s máxima, entonces esto sería la zona estática y esto sería la zona dinámica; o mejor dicho en la terminología que estamos utilizando, dinámica o cinética ¿No?. Bueno, entonces pensar en eso, que nosotros cuando empezamos con el rozamiento, digámoslo así, no es algo instantáneo; cuando yo empiezo, yo aquí estoy tirando aunque no me lo creas y aquí hay rozamiento pero es estático ¿Cuándo habrá rozamiento dinámico?, en el momento en el que la mesa se empieza a mover, ahora es solo dinámico pero cuando yo estoy tirando y no alcanzo a moverla, ese rozamiento es estático ¿Vale?, pero existe también y se puede cuantificar.

Bueno entonces, es eso va aumentando la fuerza y va aumentando, y va aumentando y a partir de aquí empieza el movimiento, esto sería parte estática y parte dinámica. Entonces la parte estática va a venir dada, esta va a ser la definición, la fuerza de fricción estática va a venir dada por un coeficiente de fricción estático; lo voy a poner así, número igual y va a depender de la normal, es decir, la fuerza y el apoyo. Acordaros que la normal es la fuerza de reacción por el hecho de estar dos superficies en contacto, entonces va a depender de la normal. Y la dinámica, cuando ya tengamos el movimiento va a ser la fuerza de fricción dinámica que le vamos a llamar f_k igual a μ por el coeficiente de fricción dinámico o $1:08:10^*$ entonces va a ser la definición de las dos fuerzas que vamos a utilizar.

En el caso igual, este siempre va a ser menor que este, cuando ya sean iguales, esta estática se transformaría en la dinámica. Es decir, estaríamos justo en este punto. Hay un punto a partir del cual se empieza el movimiento, ¿Entendéis lo que digo?, de aquí a aquí es estático y de aquí a aquí es dinámico, en el momento en el que ya sea igual se transformaría en esta, en dinámico. Bueno entonces, este μ_k , μ_s se llama coeficiente de fricción estático y μ_k se llama coeficiente de fricción cinético o dinámico. ¿Vale?, tiene lo que llamamos la normal, entonces la fuerza de fricción va a depender en el caso estático cuando no hay movimiento de este coeficiente por la normal y va a ser menor igual. Y la dinámica ya va a ser igual va a venir dada por esa expresión.

Pues es bueno distinguir estas dos tipos de fuerza ¿Vale?, acordaros que ambas siempre se van a poner en movimiento, o sea si lo mismo hace acá se va a oponer al movimiento; es decir, en realidad si yo la dibujara, digamos de forma más correcta, en los libros muchas veces la dibujan así, sería una fuerza en este sentido genericamente ¿vale?, al principio va a ser estática y cuando ya empieza el movimiento va a ser dinámica. ¿Sí? Entonces ya depende en que esta 1:10:03*.

Bueno aquí tengo apuntado por ejemplo, un valor, para que veáis de qué estamos hablando; es decir, el coeficiente de fricción este μ , tanto sea estático o dinámico, va a estar normalizado entre cero y uno. Es decir, siempre va a tener un valor entre cero y uno. Es lo que se considera y está tabulado en los libros y tal, de forma genérica, y va a ser adimensional, ¿Qué quiere decir que sea adimensional?, que no tiene unidad ¿Vale?, que si en un libro os dan un coeficiente de fricción y os tiene que dar 84 es un error seguro. Si vosotros en un problema os piden calcular coeficiente de fricción y os da 84, lo tenéis mal seguro; os tiene que dar o cero cinco, o cero ocho, o cero tres o como máximo uno. ¿Sí? Pero no os puede dar 84 por decir ese número, por decir otro.

Cuando el coeficiente de fricción es muy pequeño, casi cero, que es el que la superficie está muy pulidas, sería algo super mega pulido, que le echaron ahí aceite, le echaron de todo y lo dejaron con un punto de fricción muy bajito. Cuando el punto de fricción es proximo a uno, que eso rasca, no sé cómo decirlo, que chirria, que eso para deslizarse uno sobre otro eso es súper malo de deslizarse, una de esas dos superficies. Por ejemplo, teflón con acero, imagináis que tenéis teflón con acero, teflón con acero, bueno es que lo tengo apuntado en inglés con estilo, es decir no sé si sabéis qué es teflón; teflón es por ejemplo el recubrimiento de las sartenes para que no se pegue, o sea es un recubrimiento, una especie de plástico entre comillas con un polímero especial que hace que eso se deslice muy bien. Entonces si yo cojo un bloque de acero y lo muevo sobre la superficie del teflón se supone que el coeficiente de fricción debe ser relativamente bajo. ¿Entendéis lo que digo?, en este caso el coeficiente de fricción tanto estático como cinético, dan aproximadamente iguales y dan 0,04. Esto está tabulado en los libros no es que yo me lo sepa de memoria, depende de qué esté en contacto con qué, pero fijaros que es un valor muy bajito, fue 0,04 porque se supone que el teflón es algo antiadherente especial que deja deslizar muy bien una cosa contra otra.

Si yo les pongo a acero con acero bueno, se me olvidó cómo era esto. Bueno, hacedlo con el acero, pensad uno que acero ahí con una superficie de piso de acero y estés empujando, eso debe hacer un ruido ahí “jrsrs” brutal. ¿No? ¿Que creéis que esto sea? ¿Bajito o alto?

Estudiante: alto

Alto, por ejemplo, os tengo un dato de estático, aún no empezó el movimiento, es decir, imaginaos una persona o una grúa, o una máquina está empujando y está empezando a empujar pero aún no ha alcanzado a mover el bloque, pues sería 0.74, cuando ya el bloque empieza a moverse sería 0.57, sigue siendo bastante alto pero ya no tanto. Es decir, el cinético y en general siempre va a ser más bajo que el estático. ¿Por qué razón?, bueno en un principio intentas una cosa para que se mueva y opone más resistencia y cuando ya empieza el movimiento como que se desliza más suavemente. Entonces fijaros que aquí hay casi dos puntos de diferencia. Esto va ser 1:14:27 y así nos podría dar una superficie de qué y con qué la combinación de superficies puede ser inficita, eso está tabulado no tenéis que saber nada de memoria, tranquilos, dependiendo del problema pues, sería lo que tengáis.

Bueno, a veces por abuso del lenguaje como ya estamos en movimiento, es decir estamos en dinámica o en traslación, no nos hablan de coeficiente de fricción ni dinámico, ni estático, nos hablan de coeficiente de fricción a secas. Es decir, que un problema cuando bajemos en el bus nos va a decir: un bloque se mueve por una superficie ta ta ta, y dicen, con un coeficiente de fricción μ , igual a 0,7 o 0,4, por decir algo. ¿Vosotros qué creéis?, que este es el caso. No me están diciendo μ_s ni μ_k , ¿Sería estático o dinámico?.

Estudiante: Los dos.

Podría ser los dos, exacto. Pero desde el principio me dicen que se mueve o que se desplaza, es decir la parte estática ya la obviaron y ya está en todo en movimiento. ¿Entonces en ese caso sería? Dinámico. Entonces muchas veces, ya dije, con mi fuerza de fricción igual a μ , por la normal. Y aquí suprimen, la s y la s no la ponen ¿vale?, entonces habitualmente a no ser que se diga lo contrario cuando vos escuchéis hablar de coeficiente de fricción a secas, sin ningún adjetivo y os pregunte fuerza de fricción; diría que es bueno preguntar por la fricción cinética o por la fricción estática, hay dos, eh, dos. Cuidado con eso, si no os dicen nada, si no se especifica

nada en el problema vosotros podéis saber por supuesto que me están hablando de la fuerza de fricción cinética. Y por lo tanto vais a utilizar esta ecuación, ya no se le pone el sub s, el sub k, perdón. Porque ya, como ya se supone que está en movimiento para ahorrar letra la gente no le pone el sub k, ni dice nada del sub k ni de cinético ni de nada de nada; un poco por abuso de confianza.

Entonces cuando os pase eso, que sepáis en todo momento que estáis en el dinámico, no en el cinético. Y deberían si fueran rigurosos poner un sub k y aquí un μ_k , pero a veces en el libro llaman directamente μ a secas. Si a mí me ponen un μ , yo me quedo, ¿y eso qué es, un cinético o un estático?, deberían ser más estrictos. Cuando no ponen nada, pues ya automáticamente nosotros suponemos que es cinético siempre, por lo tanto tenéis que utilizar esta ecuación siempre. A no ser que os digáis específicamente, oye estamos en el estático, entonces no. Pero siempre que no os digan nada, vosotros podéis suponer esta ecuación siempre. ¿Queda claro? ¿Sí?, por eso muchas veces por abuso del lenguaje pues le llaman coeficiente de fricción a secas y no precisan cinético o estático, pero que os quede claro a cuál se están refiriendo.

Bueno, pues esta es digamos la parte con respecto a la fricción porque la fricción va a ser, la fricción va a ser digamos una cosa que va a surgir a partir de ahora y que va a hacer, o sea, nos está persiguiendo, lo voy a hacer, van a haber siempre superficies en contacto de unas con otras y la función 1:18:17*. Pero esto era una cosa que me parece importante resaltar, pero el apartado se llama Aplicación de Leyes de Newton. Entonces para ver aplicaciones de leyes de Newton, voy a echar aquí una carreta de ejemplos varios y no sé qué; lo mejor es coger un ejemplo bueno y significativo de leyes de Newton. Tengo dos seleccionados que me parecen muy buenos para estudiar aplicaciones de leyes de Newton.

Entonces vamos a coger, digamos este apartado que hemos estudiado digamos de forma teórica, lo vamos a estudiar a partir de dos ejemplos claros; que si los entendéis bien, pues digamos que por lo menos el 80% de los problemas típicos que se van a utilizar en un curso de mecánica de este estilo, de nuestro nivel lo vas a poder resolver. El 80 no, el 90, yo digo. Entonces estos dos problemas van a ser muy buenos.

Entonces el primer ejemplo clave, es este de aquí. Tenemos este esquema, vais dibujando el esquema, lo vamos a hacer de manera genérica, sin datos, luego para

eso hay problemas, los problemas están para eso, bueno, si queréis os digo. Una bola de masa m_1 y un bloque de masa m_2 , esto es como para contextualizar. Un bloque de masa m_2 , se unen mediante una cuerda ligera, se unen mediante una cuerda ligera, se unen mediante una cuerda ligera, que pasa por una polea sin fricción de masa despreciable, que pasa por una polea sin fricción de masa despreciable. El bloque se encuentra sobre un plano inclinado sin fricción. Vamos a ver con fricción pero vamos primero a hacerlo sin fricción y luego con fricción; vamos paso a pasito, poco a poco.

El bloque se encuentra sobre un plano inclinado sin fricción de ángulo α . Y me piden calcule la aceleración y la tensión. Como este es un ejemplo genérico estándar, lo vamos a hacer sin números, sin nada. Entonces primero, a pesar de que os acabo de explicar lo de la fricción; antes que nada vamos a hacerlo sin fricción y después vamos a hacer otro ejemplo con fricción. Nuestro objetivo es identificar las leyes de Newton bien, y buscar aplicaciones de las leyes de Newton.

Bueno, en el esquema me dicen automáticamente que A va hacia acá; este se mueve hacia acá y este se mueve hacia acá. Visto el dibujo sin hacer ningún cálculo ¿Qué masa creéis que es mayor, M_1 o M_2 ?

Estudiante: M_2

Para que todo este sistema se mueva en este sentido es obligatorio que M_2 tiene que ser mayor que M_1 , sino eso es imposible. ¿Estáis de acuerdo o no?, aquí no me están diciendo que nadie tire, empuje o tire con un cable o algo, lo que me dicen es que no hay fricción. ¿Vale?, entonces estamos en adjudicaciones de leyes de Newton.

Lo primero que vamos a hacer es: vamos a ver cómo se aplican las leyes de Newton en un problema o esquema de este estilo. Bueno entonces, si lo queréis ver como un problema; lo primero que haríamos es ver bien el problema, entender bien qué es lo que me pide, entender los datos que me dan, en este caso no me da datos porque como digo esto no es más que un problema, una cuestión teórica. Y el siguiente paso a seguir ¿Cuál sería?, cuando ya tienes todo súper mega claro ¿Qué hacéis?

Estudiante: Diagrama

Muy bien. ¡Pues venga! Haced el diagrama de cuerpo libre del cuerpo M_1 y el diagrama del cuerpo libre del cuerpo M_2 . El de M_2 yo lo hago, lo voy a hacer aquí en el en el tablero, pero vosotros hacedlo en otro dibujo aparte ¿Vale?, para utilizar

tablero, no por otra cosa. Pero lo hacéis en otro dibujo aparte, o sea vais a copiar esto en otro dibujo. Listo, hasta ahí estáis situados.

Bueno el diagrama de cuerpo libre para el cuerpo M1. ¿Cómo lo hicisteis?

Estudiante: tiene un peso, una tensión

¿Cuántas cuerdas hay en este problema?

Estudiante: una

¿Cuatro?, además de eso ¿Qué nos dicen de cuestión clave?

Estudiante: no tiene fricción

Que esta polea no tiene fricción, o sea es una polea ideal, no tiene masa. Entonces fijaos en una cosa, los únicos objetos que tengo que estudiar en este problema son: Este de bola M1 y este cuerpo M2. Si la polea no tiene masa ¿Cómo voy a revisar un cuerpo que no tiene masa?, un cuerpo que no tiene masa, pues no, es como si no existiera, pues es una polea y ya, una polea de plástico que pesa 1 o 2 gramos, casi no se nota.

Bueno, aquí ya nos quedó el diagrama de cuerpo libre para este cuerpo, perfecto. Siguiente paso, diagrama de cuerpo libre para este otro cuerpo. Acordad de dibujar unos ejes coordenados, eso es importante, yo sobre este cuerpo hay que dibujar un eje Y así y un eje X aquí; y sobre este cuerpo una Y así y un eje X así. Hay gente que los dibuja de otra forma y es válido también; la forma es coger los ejes coordenados, lo hace el autor del problema no, y no hay ninguna regla. Bueno entonces sobre este cuerpo M2 que esta sobre ese plano inclinado, quiero que dibujéis el diagrama de cuerpo libre, es decir, qué fuerzas están actuando sobre él.

¡Venga! ¿las tenéis ya dibujadas?

Estudiante: si, el peso

Acordaos el peso siempre es así, hay gente que lo dibuja así, un error gravísimo, cuidado; el peso siempre va hacia el centro de la tierra, o sea vertical, ¿algo más?.

Estudiante: la normal

La normal es la reacción al apoyo, es decir tiene que ser perpendicular a la superficie. Es decir, la normal, la puse de verde aunque tengo poca tinta verde de esta, así, cordaos sino igual repaséis vuestras notas, la normal es la fuerza de reacción al apoyo

y siempre tiene que ser perpendicular al apoyo, perpendicular; si dibujáis la normal así, nos va todo el problema mal, si dibujáis el peso así nos va todo el problema mal, y hay gente que lo hace.

Estudiante: Profesor una pregunta: ¿Y lo que es coordenado no se pondrían ahí?

Si queréis los podéis dibujar así.

Estudiante: o sea, no hay problema.

No, no habría problema. Se te giraría todo pero no habría problema. Yo siempre las hago así porque me parece más cómodo, pero si tú lo prefieres en el otro sentido. ¿Qué más vueltas hay?

Estudiante: Una tensión

¿Estais de acuerdo con el compañero?

Estudiante: si

¿En qué sentido iría?, T ¿vale?, que es la misma T, que esta T aquí porque es la misma cuerda porque la polea sigue aquí. ¿Estáis de acuerdo hasta ahí? lo que estamos haciendo es clave; si dibujáis mal estas cuerdas os da todo mal. O sea esto es un paso esencial, siempre que tenemos algún vector con un determinado ángulo en un eje de coordenadas, ¿Qué hay que hacer con ese vector?, cuando yo tenía esto y tengo aquí T1, y os digo que esto vale, no sé

Estudiante: descomponer el vector

Muy bien, ¿qué podemos descomponer aquí?, lo único que tienen determinado aún no es el peso. Vamos a hacer lo mismo que estamos haciendo ahora, es decir que veis en este esquema, yo voy a trasladar ese dibujo aquí. Tengo Y, X y tengo un peso así, perpendicular, ¿Lo veis?, bueno entonces, la siguiente cosa, ¿este ángulo de aquí como lo puedo trasladar a ese ángulo de ahí?

Etudiante: ¿a la otra esquina?

Tengo este, bueno, y tengo exagerándolo así, un angulote, hay un algún sitio en el que este ángulo α sea igual a ese ángulo, aquí si queréis como dicen en Colombia podéis jugar al pinochazo, solo tienes dos opciones 50%, o es este ángulo de aquí α o es este ángulo de aquí, uno de, de los dos, pero solo esos dos. No puede ser, no se ¿esto cuánto es?

Estudiante: 90

90 ¿esto?, o sea, esos ángulos no, no confundir de qué estamos hablando. Estamos hablando del ángulo que pone el peso para poder descomponerlo; cuando yo tengo esto aquí, necesito saber este ángulo para poder descomponerlo sino tengo este ángulo no lo puedo descomponer. Si a mí me da este vector así y me dicen descomponlo y yo, muy bien, ¿Y qué?, con un vector así en abstracto no puedo hacer nada. ¿Entendéis lo que digo o no?, necesito el ángulo

Bueno entonces, ¿Cuál de las dos creéis que es? ¿Este? o ¿Este? o ¿Quién lo ve claro? o ¿Quién no lo ve claro?, están muy callados, eso es un mal signo. Decís algunos que es este ángulo, ahora bien, ¿Por qué? porque aquí este es el 50%, pero bueno.

Estudiante: porque 45 y 45

¿Si te pusiera este ángulo de 30 ¿Cómo lo verías? O de 28 o de, es 28,32. Puede ser, es posible. ¿Cómo lo veis?, bueno, esto es trigonometría. Vamos a hacer analogías; hay muchísimas formas de ver esto, o sea yo suelo explicar una pero podéis hacerlo como queráis.

Tengo esto, esto y el peso así; esto sería mi eje Y, mi eje X. Entonces la pregunta es: si este ángulo o este ángulo ¿Si? hasta ahí estamos de acuerdo. Mi plano inclinado es este y éste, vuestro plano inclinado es paralelo ¿A qué eje?, en el que está descendiendo. ¿A qué eje es paralelo?, al eje X ¿No?, ¿Sí o no?, este es el eje X paralelo al plano inclinado.

Estudiante: a bueno si

¿Sí o no? ¿Y es perpendicular a quién?

Estudiante: Al ángulo, al Y

Al Y, es decir, el plano inclinado es perpendicular aquí forma 90° . ¿Lo veis? ¿Sí o no?, entre el plano inclinado y eso, ¿Y ahora quién es perpendicular? ¿El peso es perpendicular a quién?, el peso es perpendicular a la otra cara del plano inclinado, pero no es perpendicular a Y, sería perpendicular a esta otra cara ¿Lo veis o no?, es decir, el peso aquí es perpendicular. Entonces si este es perpendicular a esta cara y este es perpendicular a esta cara, este ángulo tiene que ser igual a este ángulo; por

perpendicularidad. ¿Cómo? Imaginaos, yo tengo este plano, yo tengo este, ¿Cuánto forma?

Estudiante: 90 grados

90°, si yo traigo más perpendiculares a cada lado, es decir, esto y aquí este ángulo ¿Cuánto es?

Estudiante: 90.

90, este ángulo es perpendicular a este, nuestra regla no no es válida solo para perpendicularidad. Si yo cojo este y este, y ahora voy a trazar una perpendicular a cada lado; es decir, esto es perpendicular y esto es perpendicular. Bueno me queda un poco mal la perpendicular, está un poco torcida pero, veis, esto es perpendicular y esto es perpendicular. ¿Estáis de acuerdo o no? Esto forma 90° aquí aunque me quedó un poquito torcido y esto forma, vamos a ponerlo aquí abajo; forma 90 aquí. Entonces ¿este ángulo va a ser igual a cuál? ¿A este de aquí o a este de aquí?, que son iguales. ¿Lo veis?, por esas dos perpendicularidades, en este dibujo o en este, si vosotros os fijáis, el peso es perpendicular a este lado y este perpendicular a este lado; es decir, el ángulo que forman estas dos perpendiculares sería esta de aquí que es igual a esta de acá. No veo muy claro que lo veáis. También puede ser por ángulos complementarios, se puede hacer por muchísimas formas.

La conclusión es que siempre va a ser este ángulo el que va a ser el mismo que este. Si vosotros cogéis el otro os va todo el problema mal porque donde ponéis un seno, deviais poner coseno y al revés, les va a dar un resultado distinto. Entonces ojo con esto.

Bueno, después de este rollo de perpendiculares, que no os convence mucho la verdad pero creanme que es cierto. Ya tenemos el ángulo identificado; una vez que tenemos el ángulo identificado ¿Qué podemos hacer ya por fin?, descomponer el vector; es decir, mi vector P lo descompongo en la componente esta de aquí y lo descompongo con esta componente de aquí. Igual que hace aquí. ¿Estáis de acuerdo o no?, esta componente ¿Cómo se llama? Px. ¿Y esta componente cómo se llama?

Estudiante: Py.

Py, ¿Px tal como tengo yo dibujados los ejes va en dirección positiva o negativa del eje?

Estudiante: Negativa.

Estudiante: positiva

Negativa, este signo también, os suele confundir mucho, bueno ya voy a borrar un poco esto de las perpendicularidades y ya tendríamos todo dibujado; no faltaría una fuerza más ni nada. Volvemos a este primero y ¿Qué tendríamos?, estamos en aplicar leyes de Newton, tenemos sumatoria de fuerzas igual a masa por aceleración, ahora el cuerpo, cuerpo M,1 ¿Cómo se traduce esta ecuación, cómo me quedaría?

Estudiante: sumatoria de fuerzas en Y

Sumatoria de fuerzas en Y igual a masa por aceleración en Y. Que en realidad esta va a ser A porque es la misma aceleración para todo el problema ¿Vale?, y aquí acordaros que es el cuerpo M1. Bien. ¿Qué fuerzas tenemos en M1?

Estudiante: La P

Positiva o negativa

Estudiante: menos P

¿Algo más? Igual a M1 por A. ¡Ojo con las masas! Porque vosotros ponéis M genéricamente y luego reemplazáis la masa del otro cuerpo; os va todo mal, por eso os pongo M1 y M2, hay dos cuerpos en juego, si hay tres, tres; cada uno con su masa.

También nos faltaría sumatoria de fuerzas en X igual a masa por aceleración. ¿Hay algún movimiento en X para este cuerpo M1?

Estudiante: No.

No, o sea que esta ecuación me quedaría cero, esta ecuación no me está aportando nada. Entonces en realidad la única ecuación que tendría sería esta.

Incógnitas: T, que me lo pide y la aceleración. Se supone que la masa o el peso lo podría calcular, o me lo daría pero es un problema genérico, o sea que tengo como mínimo, necesito una ecuación más, porque si no, nada.

Vamos con mi otro cuerpo M2, que es este de aquí; M2 está aquí en el centro no. Sumatoria de fuerzas igual a masa por aceleración. Estamos en aplicaciones de las leyes de Newton. Es decir, sumatoria de fuerzas en X ¿En qué cuerpo estamos?, en M2, M2 por A, en X; y sumatoria de fuerzas en Y igual a M2 por A en Y. Tendríamos

una aceleración en X y una aceleración Y. En X, empezamos. ¿Qué fuerzas hay en X?

Estudiante: P_x coseno de α

P_x , que sería la componente de X ¿Vale?, pongámoslo primero P_x , genericamente. Ahora vamos al ángulo, yo sé que tiene una componente X en la dirección positiva, hasta ahí estamos de acuerdo. ¿Hay alguna fuerza en contra?

Estudiante: menos la tensión

La teníamos aquí; aquí acordaros que hay una $-T$, igual a masa por aceleración. La aceleración va a ser la misma en todo el sistema, le vamos a llamar A_y , ¿la misma que en el otro cuerpo?. Ahora el Y, ¿Qué tendría el Y?

Estudiante: $-P +$

Exacto, aquí pongo la normal, como bien dice uno de sus compañeros, tenemos: P_y , más la normal igual a M_2 , por A_y , ¿Cuánto creéis que es A_y ?, ¿El cuerpo como baja?, tenéis que analizar el movimiento.

Estudiante: cero

Él se está moviendo así, el cuerpo este no está bajando dando brincos, está deslizando; en Y ¿De cuánto sería la aceleración?

Estudiante: cero

Cero ¿Vale?, porque me dicen que el movimiento es en este sentido, esto se traslada así todo, esta no está dando brincos. Otra cosa es si este bajara y quedara dando brincos. Bueno entonces, tendría esta ecuación. Ahora vamos a ponerlo en términos de $1:40:36^*$ P_x ¿Cuánto es?

Estudiante: seno de α

El seno es el cateto opuesto a este ángulo; el seno sí, es el cateto opuesto, sería esta componente; es decir, sería P_x ¿Estáis de acuerdo?, es decir, P que es la hipotenusa por el seno de α , $-T$, igual a M_2 por A. Y P_y ¿Cuánto sería?, P, por el coseno de α .

Estudiante: ¿la normal?

La normal va a ser igual al peso porque esto es igual a cero, paso para aquí sumando, da normal a peso; si queréis pongámoslo así para que no se despisten; de esta ecuación saco que la normal es igual al peso y la normal va a ser igual a P coseno α .

Esta ecuación no me está aportando nada en sentido que si me pide la normal, lo reemplazo. La que necesitaría sería esta otra para tener cuánto es T , cuánto es $1:41:55$, pero lo que necesitaría es T que es lo que me piden y ya, o sea, en realidad con estas dos recuadras, esta y esta, ¿Tendría un sistema de qué?, o sea, esta ecuación dos y esta ecuación uno, tendría un sistema con uno y dos ¿Que son cuánto?, dos ecuaciones y dos incógnitas. Y a partir de ahí pues calcularía lo que me piden en el problema, es decir $1:42:17$ ¿Si? Dos ecuaciones, dos incógnitas, un sistema sencillo; esta y esta ¿Si?, pero se incluyen los datos numéricos que sea necesario y ya está.

Preguntas sobre el ejemplo de aplicaciones de las Leyes de Newton. ¿Cómo lo ves? Esto es un problema clásico que se supone ya habéis hecho no sé si en bachillerato o donde sea, pero ahora lo estamos analizando con todo el detalle.

Bueno, planteo un ejemplo más y lo dejamos ahí. No creo que nos dé tiempo de resolverlo, lo dejamos ahí y vamos a pasar a hacer un pequeño ejemplo. Preguntas sobre el primer ejemplo de aplicación. ¿Nada?. Bueno, os he hablado de la fricción y de estos problemas sencillos, pues evidentemente me $1:43:11$. Vamos a ver el ejemplo dos clave de la aplicación de las leyes de Newton.

Me dice lo siguiente, bueno, por cierto para quienes quieren practicar despejes, A va a quedar de esta forma; para este ejemplo que acabamos de hacer lo intentamos ¿Vale? , bueno peso es M por G ¿No?. Es este sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas, tanto si despejáis T como si despejáis A , no se tiene que llegar de forma genérica a estas dos ecuaciones que acabo de poner allí. Ya he reemplazado el peso por MG , recordaos que el peso es igual a MG . Si estoy en cuerpo uno pues sería $M1$, bueno, eso os queda como ejercicio para que los entrenéis cuando despejes.

Mientras tanto, vamos con el ejemplo dos clave. Para entender y repasar las aplicaciones de las leyes de Newton. Relativamente parecido al anterior; bueno, tenemos un bloque de masa $M1$, un bloque de masa $M1$ esta sobre una superficie horizontal rugosa, un bloque de $M1$ está apoyado sobre una superficie horizontal rugosa y está conectado a la bola de masa $M2$. La polea es ideal, y ahora me dicen que al bloque le aplica una fuerza F con un ángulo α , con la horizontal; un fuerza F que tiene un ángulo α con la horizontal. Tal cómo está la figura punto, y además también me dicen que hay un coeficiente de fricción cinético, coeficiente de fricción

cinético entre el bloque y la mesa. Me piden calcular A , es decir la aceleración. Me piden calcular A que es la aceleración.

Vamos a hacer una cosa, os voy a, vamos a dibujar el diagrama de cuerpo libre, lo dejamos ahí; vamos a hacer una cosa antes de irnos y vosotros plantéis las ecuaciones para el próximo día ¿Bueno? y a ver si planteáis las ecuaciones bien o no. ¿Listo?

Bueno, ¿Cómo sería el diagrama de cuerpo libre para la bola?, es muy sencillito ¿no?, igual que antes. ¿Cómo sería para la bola?

Estudiante: el peso y una tensión

Es la misma cuerda porque la polea es ideal, tendríamos el peso 2 de la bola y una tensión. Acordaos que el peso es igual al MG , vale, porsí no lo dije mucho, y ahora vamos con el cuerpo M_1 , ese sí que tiene un poquito más de, de historia. Bueno, ¿Qué fuerzas actúan sobre el cuerpo M ?

Estudiante: Peso

Peso M_1

Estudiante: la normal

La reacción al apoyo que la vamos a llamar normal, si queréis le podríamos poner F_1 pero como se ve que está apoyado le voy a poner M 1:47:59*. Aquí hay una fuerza F que además está formando un ángulo, es decir, esta fuerza como está formando un ángulo α que puedo decir automáticamente, ¿Va a tener qué?, dos componentes, si tomo un eje Y y un eje X aquí, esta va a tener una componente, que le vamos a llamar F_x y va a tener una componente que le vamos a llamar F_y ¿Estáis de acuerdo?, ¿Faltaría algo más?

Estudiante: sí, una tensión

¿Sí?, una tensión que en qué sentido iría, contraria, así una tensión ¿Qué? T ya está

Estudiante: y una fuerza de fricción

¿El movimiento en qué sentido me dicen que va? Bueno no puede intuir; va a así el movimiento, ¿entonces la fuerza de fricción cómo sería?

Estudiante: contraria al movimiento

Contraria al movimiento, la podemos dibujar aquí abajo; como me hablan de coeficientes de fricción cinéticos; bueno, ya los borre, voy a mirar una fuerza de fricción cinética y les voy a llamar f_k y la f la pongo en minúscula ¿Vale?, fijaros que es un problema sencillito y tal, este cuerpo tiene: una, dos, tres, cuatro, cinco fuerzas; o sea y eso que es sencillo ¿Lo conté bien? una, dos, tres cuatro y cinco fuerzas, ¡cinco!, un cuerpo con cinco fuerzas, si contamos la descomposición de las fuerzas serían siete, bueno no, seis; cuatro, cinco, seis con la descomposición, o sea bastantes fuerzas. ¿Vale? Nos queda para vosotros para el próximo viernes para que apliquéis en este cuerpo de aquí sumatoria de fuerzas igual a masa por aceleración, que en general estés solo va a tener sumatoria de fuerzas en Y, igual a masa por aceleración. Y aquí voy a tener dos, voy a tener fuerzas igual a masa por aceleración, sumatoria de fuerzas en X igual, masa por aceleración en X, sumatoria de fuerzas en Y, igual a masa por aceleración en Y.

En X ¿cuánto va a ser...? Perdón. En Y ¿Cuánto va a ser la aceleración de este cuerpo?

Estudiante: cero

Vale. Entonces esta va a ser cero la aceleración porque volvemos a lo mismo, suponemos que no brinca en este sentido. Entonces os queda como ejercicio para vosotros el ejercicio para el próximo día, para que halléis esa, esta va a ser igual a la que hicimos pero quiero que halléis esta de allí. Cuidado que va a haber una fuerza de fricción dinámica o cinética, es decir que va a venir dada por μ_k por la normal. Os debéis acordar de eso, lo acabamos de ver en teoría. ¿Sí? La tenéis que reemplazar en esta ecuación cuando avanceis ¿Sí?, entonces queda para vosotros para qué plantéis esa ecuación y el próximo día la vemos. Lo hacéis en cinco minutos pero hay que tener mucho cuidado porque es algo delicado.

Preguntas ¿Nada? ¿Esta todo más o menos claro? Si sabes que son dos ejemplos relativamente sencillos, clásicos para entender la aplicación de las Leyes de Newton, lo que se suele decir en todos los libros, las leyes de Newton son dos, o sea son muy sencillas, reacción y reacción para simple ley de Newton que la están aplicando todo el tiempo; pero aplicarlas como tal, las aplicaciones de ellas mismas ya no es tan trivial, quizás fijaros este ya tenemos cuatro, cinco, seis fuerzas en juego y hay que

hacerlo con mucho cuidadito ver los signos, ver los ángulos, de todo. Entonces esos es lo que tenéis que hacer despacio.

Bueno, preguntas. Entonces ahora al final os queremos pasar unos test del conocimiento a ver qué pasó con las leyes de Newton, a ver cómo lo ves. Es así muy rapidito, respondéis de forma muy breve no hace falta que pongáis nombre y me lo entregáis y cuando acabéis os podéis ir. Es un poco una evaluación que estamos haciendo, de más o menos como nos estan quedando los conocimientos después de cada curso, sobre todo un curso tan importante como este.

Bueno podéis a hacer unas preguntas mientras vais haciendo eso.

Estudiante: Profe

Dime. ¿A no te di? Qué pena contigo.

Estudiante: tranquilo

Bueno, como no tenéis dudas, mientras haces eso os voy a dejar aquí como quedaría esa situación ¿Vale? Pero como para que lo comprobéis, pero yo quiero que lo intentéis en casa, me refiero al ejercicio, mientras tanto vosotros id haciendo eso ahí.

El viernes que viene si no estoy mal tenemos laboratorio, el miércoles es 13 creo, el segundo laboratorio es propagación de errores, para que lo lleveis y lo vayais viendo, dentro de ocho días el primer quiz; como aún no hemos hecho problemas tan sofisticados porque el miercoles tenemos el laboratorio y el viernes solo tenemos una hora más, hemos hecho problemas mas sencillos de suma de vectores y eso, de todos modos ir repasando los problemas de la parcelación ¿vale?. Yo los los enviaré por mail, estoy preparando un fichero para eso, para que tengáis los enunciados pero si tenéis el libro, prácticamente son enunciados del libro de este y a lo mejor sacare uno de otro libro. Bueno, pensad una pregunta. Os recuerdo que vayáis haciendo problemas por vuestra cuenta y repaséis los que vimos en clase. ¿Vale?

Por supuesto, ahí, cómo quedaría al final las dos ecuaciones de este último ejercicio pero las pongo solo como comprobación, ojala muchos no los copies, simplemente el próximo día lo vemos para que entendáis cómo hemos llegado a estas dos ecuaciones. Es sencillo pero es importante que lo hagáis por vosotros mismos. Si en este tipo de problemas empezais a ver cosas que no entendéis, o no entendéis bien que es un seno un coseno, o el signo en sentido en que van o cosas así, pará ahí y

venid a buscarme en las tutorías o intentad razonarlo bien porque si ahora tenéis problemas con los ángulos o los sentidos, a medida que vayamos complicando los teoremas, la cosa se complica más, o sea a medida que avancemos en el curso pues peor, entonces ahora es el momento de atacar bien las dudas porque luego las dudas van como creciendo, ¿No? y entonces la cosa se va a complicar.

Bueno, ¿Alguna pregunta?, los que acabáis os podéis ir ya. Nos vemos el miércoles en el laboratorio.

4 sesión

Hola, buenas tardes ¿cómo les va?, que tal la semana, ¿entretenida?, ¿han ido a muchas conferencias?

Estudiante: si

Eso está bien que aprovechen. Bueno, lastimosamente hoy tenemos el quiz en la segunda hora, así que esta primera hora vamos a aprovechar para hacer algunos problemas más y para repasar y resolver algunas dudas que tengáis, si no hay lío ¿bien?

Estudiante: si

Si no alguna duda y os acordáis, recordad que es el último día que tenemos un problema planteado los ayude también a repasar, lo podemos repasar rápidamente, por lo menos como se llegó a esta ecuación, no se si lo habeis intentado, vamos al siguiente esquema.

Si no recuerdo mal yo os puse aquí las ecuaciones, básicamente es lo que quería repasar, nos decían que el movimiento va así, en este sentido, hacia aquí va la aceleración, nos decían que aquí había una fricción con un coeficiente μ_k y 2:42, podemos tomar unos ejes de coordenadas si queréis así, como siempre y pedían la aceleración.

Bueno, entonces repasémoslo rápidamente. Creo que ya habíamos hecho el diagrama de cuerpo libre, pero bueno, repasémoslo. El diagrama de cuerpo libre para este cuerpo M2 ¿Cómo sería?

Estudiante: hacia arriba

¿Y para este cuerpo en el segundo?

Estudiante: el peso hacia abajo

Peso

Estudiante: la fuerza que va ahí

La fuerza esta que va así

Estudiante: la tensión y la fuerza de fricción

¿Cuál?

Estudiante: la fuerza de fricción

O sea F_r , la que acabo de dibujar.

Estudiante: y la tensión

Muy bien, entonces para este cuerpo sumatoria de fuerzas es igual a la masa por aceleración, cómo se transformaría en ecuación

Estudiante: sumaría la tensión

Suponemos en Y, si esta se mueve en Y igual a 0, y ahora vamos con este de aquí

¿Entonces cómo quedaría?

Estudiante: $F_1 - P = m \cdot a$

Dejamos que este cuerpo, entonces cuánto sería sumatoria de fuerzas para este cuerpo 2, sería 0 porque no se mueve en X, vale, entonces quedaría así: $M_2 = A - T - P$, lo que estamos considerando fijos, directamente con respecto a los signos es lo que va en el, algunos lo consideran así, lo que va en el sentido del movimiento, dicen que es positivo, lo que va en contra del movimiento, es negativo. Nosotros en realidad estamos utilizando signos pero de forma indirecta, porque estamos cogiendo los ejes convencionales, pero que pasaría si yo tomara esos ejes convencionales y este cuerpo bajara, sería peso menos tensión, sería al revés, ¿vale?, entonces mucho cuidado con eso porque a veces os podéis confundir.

Hay libros que consideran ese criterio, entonces se puede así sería, el peso menos tensión igual a masa por aceleración, como la aceleración va en contra del movimiento, le pondrían aquí un menos a la aceleración, haremos un problema de estos más adelante a medida que lo vayamos complicando. Por eso es muy importante que al menos pongas los ejes bien, una de estas primeras que he hecho del problema es dibujar estos ejes, entonces todo el mundo sabe que los ejes son así

peo es bueno enfatizarlo, porque os despistáis. Dibujáis los ejes en un sentido y los del cuerpo en el sentido contrario. Los ejes tienen que ser iguales para todo el problema ¿Vale?, entonces cuidado con eso.

Bueno, el cuerpo uno era relativamente fácil, vamos con el cuerpo dos. Hablando de los ejes lo que voy a hacer es tomar aquí eje X, eje Y aquí tengo un ángulo α y lo que voy a hacer es, cuando tengo un vector, siempre lo voy a descomponer a subcomponentes; es decir esta componente de aquí que le podemos llamar F_x va a ser igual a F por coseno del ángulo y este componente de aquí va a ser F_y que va a ser F ¿por qué?, por seno del cateto opuesto, lo de los ángulos tienen que quedar claros a estas alturas, bueno, entonces ya teniendo esta fuerza totalmente descompuesta, hacemos sumatoria de fuerzas en X $m \cdot a$, sumatoria fuerzas en Y $m \cdot a$. Acordaos que estamos en el cuerpo uno, ¿vale?, cuánto es la aceleración en Y del cuerpo uno?

Estudiante: sería fuerza

No, escuchad mi pregunta, la aceleración en Y del cuerpo uno.

Estudiante, no, cero

No pega brincos como si fuera una pelota, entonces esta aceleración en Y que está aquí, va a ser igual a 0. ¿Vale?, entonces directamente sumatoria de fuerzas en Y es igual a 0.

Entonces empezamos por donde queráis, por X o por Y ¿Por dónde queréis empezar?

Estudiante: por X

Por X, vale, entonces irme diciendo ¿Qué fuerzas hay?, $F \cos \alpha$ que va en el sentido positivo ¿eh?

Estudiante: menos tensión

Menos la tensión, menos la fuerza de rozamiento

Estudiante: igual a cero

¿Igual a 0?, ¿igual a que?, vale, ¿algo más, falta algo en X?, vale ¿En Y?

Estudiante: la normal, el peso

Menos el peso igual a 0 ¿así?

Estudiante: no, por cos del ángulo

¿Positivo o negativo?

Estudiante: positivo

F por el seno del ángulo, igual a cero, suponer que yo habría dibujado esta fuerza así, bueno, supongamos hipotéticamente ¿qué pasaría con los componentes?, está aquí, está aquí, es decir, la componente X sigue siendo positiva y la componente Y, negativa. ¿Vale? Entonces aquí se le pondría un menos, en el caso hipotético que así fuera, entonces mucho cuidado con esos sentidos. En el quiz mucho cuidado.

Bueno esto es lo que tenemos y por otro lado a pesar de que en el quiz no entra la parte de fricción, pero bueno esto nos sirve para el futuro, la fuerza de fricción o de rozamiento, en este caso cinética, a qué era igual la definición.

Estudiante: a fuerza de rozamiento sobre

No, no, fuerza no, coeficiente, coeficiente de rozamiento

Estudiante: coeficiente de rozamiento por la normal

Muy bien, entonces yo puedo perfectamente reemplazar ahí el F_r por ese valor, ¿vale?, lo único que he hecho es reemplazar, la fuerza de rozamiento de fricción por un $\mu_k \cdot N$ de la definición. Vale ¿Sí?, la definición, bueno ¿Qué podemos deducir de esta ecuación? ¿Podemos deducir algo de esta segunda? ¿Que lo podamos utilizar en esta primera?

No, no cualquiera, una fuerza extra. Podemos despejar aquí la normal, la normal va a ser igual al peso menos $F \sin \alpha$, ¿estáis de acuerdo o no?, lo único que hice fue pasar este para aquí sumando y este por aquí restando ¿sí?. ¿Y qué puedo hacer con esa normal?

Estudiante: reemplazarla

Si vosotros veis en esta ecuación, esa que acabo de cuadrar en rojo ¿ven la normal en algún sitio? aquí ¿la veis?, o sea yo puedo reemplazar su valor, entonces en realidad me quedaría esta ecuación. $F \cos \alpha - T - \mu_k \text{ por } T1 - F \sin \alpha = M1 \cdot a$, veis que lo único que he hecho es reemplazar la normal ahí. Ahora si queréis, esto ya es calculo pueso, me quedaría $F \cos \alpha - T - \mu_k \text{ por } T1$ menos por menos, $F \sin \alpha = M \cdot a$, esta es la del cuerpo uno y bueno, así me quedaría la ecuación final; esta y esta y la otra

ecuación que tenía era esta de aquí, entonces fijaros, normalmente en un problema me va a dar la masa del cuerpo uno, la masa del cuerpo dos, este ángulo y esta fuerza, estos normalmente van a ser datos en el problema, entonces aquí por ejemplo, fijaros, conocería la masa, conocería el peso que es igual a masa por gravedad, conocería este ángulo, conocería esta fuerza, este ángulo, esta fuerza, mis únicas dos incógnitas serían el peso y la aceleración.

¿Vale? Entonces tendría un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas. Yo por ejemplo podría de esta primera despejar la tensión pasando este peso para aquí y sumarlo y la reemplazaría aquí y ya me quedaría una única ecuación en términos de la aceleración ¿Vale? y ahí despejaría la aceleración. ¿Me seguisteis o no?, lo hago en un momento, pero esto ya es cálculo, no es física; entonces este T lo reemplazo aquí entonces me queda: $F \cos \alpha -$, es decir, este menos está actuando sobre todo, ojo con los signos porque os tendéis a confundir mucho, tenemos $\mu_k T_1 + \mu_k F \sin \alpha$ igual a $M_1 a$, ¿me seguisteis?, lo único que he hecho es reemplazar esta tensión aquí, la reemplazo y ahora tenemos un problema convencional, los ángulos nos los dan, está tensión nos la dan, los pesos, los cálculos, lo único que tendría en esta ecuación serían la aceleración, entonces por ejemplo puedo pasar, de todo en un lado, paso para el otro lado la masa, cuidado con eso, siempre hay que dejar los subíndices, no es lo mismo el peso del 2 que el peso del 1, no es lo mismo la masa del 1 que la masa del 2. Son cuerpos diferentes, hay los poneis genéricamente y luego confundís si era M_1 o era M_2 ; vale?

Y luego al final aquí sacamos factor común a la masa, perdón a la aceleración y simplemente sería, paso estas dos masas dividiendo todo esto y ahí ya tendría la aceleración sola que es lo que me piden, ¿vale?, bueno como os digo, esta última parte es cálculo, así que no interesa tanto. Las preguntas claves ahora son ¿quién no entendió como se llegó a estas dos ecuaciones?, o sea a esta que está aquí esta sencillita, y a esta que la fuimos modificando y se transformó en aquella, este es un momento de preguntas, bueno, os dije que lo intentarais el último día, todo el mundo lo intentó y mas o menos le quedaron claras ¿sí?, como decimos en el quiz no entran fuerzas de fricción ¿vale?, para que sea más fácil. Estamos a un quiz de la primera parte, en la segunda ya entramos con todo.

Preguntas y dudas ¿No hay ninguna duda?

Estudiante: profe, uno puede digamos, es que yo la había hecho por suma de ecuación, digamos, me parece mas sencillo, ¿también lo puedo hacer así si llego al mismo resultado?

Si, tu hazlo como te de la gana

Estudiante: es que así elimino una

Eso es lo que he hecho yo aquí, tengo esta ecuación y esta ecuación, son dos ecuaciones con dos incógnitas y a partir de ahí ya es cálculo, lo resuelves como tú quieras. Yo he hecho lo mismo también, he despejado T y lo he reemplazado aquí, no se cómo lo hiciste tu, lo podéis hacer de múltiples formas, aquí no hay reglas ¿Vale?

Bueno el tema 5 a pesar de que tienen las leyes de Newton, bueno por cierto, se envió un mail con una lista de problemas ¿A todo mundo le llegó? El tema 5 del libro hay una cantidad de problemas muy interesantes, o sea, si los dejáis una lista de 20 o algo así, una lista bastante grande, la idea es que todos esos que puse son, digamos, problemas interesantes, clásicos, cualquiera de esos es muy relevante. Bueno, como esta primera parte dijimos que solo va a entrar suma de vectores, vectores, las leyes de Newton sin fricción y sistemas en equilibrio, digamos lo que vimos al principio hasta el tema 4 por decirlo así. Digamos lo más fácil, y si hay problemas más complicados los vemos de repaso, porque si están incluidos en este quiz que vamos a ver ahora, pero no veremos ningún problema tan complicado como este, van a ser más sencillos, vamos progresivamente.

Bueno vamos a hacer uno de sistemas en equilibrio que podría entrar en el quiz que me parece interesante, es el problema 566 y dice así: ¿tenéis vosotros algún problema que resolver o alguna duda que solventar o qué? Si queréis y teneis algo me lo decís ¿Vale?

Dice, bueno se supone que eso que les envié es para que lo impriméis, esa es como la idea, el bloque A de la figura pesa 60 Newtons, el bloque B de la figura pesa 60 Newtons, el coeficiente de fricción estático, ya sé que es con fricción y no entra en el quiz, pero bueno da igual porque es un problema muy complejo, el coeficiente de fricción estático entre el bloque y la superficie, el coeficiente de fricción estático entre el bloque y la superficie, donde descansa es de 0,25. Coeficiente de fricción estático 0,25.

El peso de B es de 12 Newtons y el sistema está en equilibrio, y el sistema está en equilibrio, preguntan, calcule la fuerza de fricción ejercida sobre el bloque A, apartado A, fuerza de fricción sobre A y apartado B, el peso máximo con cuál sistema permanecerá en equilibrio, el peso máximo de B, de B máximo con el cual el sistema permanecerá en equilibrio. Lo repito, ya sé que tiene fricciones y en el quiz no entran fricciones, pero es un problema muy interesante desde el punto de vista de estática, más conceptual y me parece útil incluso hasta el quiz. En el quiz pudiera ser muy parecido pero que no hubiera fricción, por ejemplo, por decir algo.

Entonces si hacemos el más difícil pues el más fácil obviamente lo tendremos claro, bueno entonces tienen un cuerpo A, bueno esperen lo dibujo si queréis para distinguirlo, un cuerpo A, un cuerpo B, me dicen que el sistema está en equilibrio, aquí está amarrado como si fuera una especie de gancho y esto está en la pared ¿vale? y en este punto todo está en equilibrio, me dan el peso de A, el peso de B y me dan el coeficiente de fricción estático, os había dicho que había dos tipos de fricciones, una o coeficientes de fricción, una estática y otra dinámica, no sé si os acordáis.

Bueno, entonces lo que me piden es la fuerza de fricción sobre A y cuánto es el peso máximo para que este sistema esté en equilibrio, es decir, si este cuerpo B tiene 12 de Newtons y este tiene 60 ¿no?, me parece mucho, hummm sí. Imaginaros que yo a este cuerpo B cojo y le empiezo a poner pesitas, es decir, arrobos, a lo mejor por un momento no pasa nada, si le pongo otra no pasa nada, si le sigo poniendo ¿Qué creéis que va a pasar llegado un momento?

Estudiante: va a comenzar a moverse

Pasará esto, que llegará un punto que esto hará este movimiento y dejará estar en equilibrio ¿Entendéis el esquema o no?, entonces me dicen, digamos esta última pregunta lo que tenéis que interpretar por decirlo así es ¿cuántas pesitas puedo seguir poniendo de tal forma que esto permanezca en equilibrio?, llegará un momento en que se desequilibrará y ya no soportará tantas pesitas que yo le ponga, esa es la pregunta que me están haciendo en el apartado B ¿Entendéis lo que digo?

Bueno, vamos a hacer el apartado A, vengán ir planteando, por el momento lo de siempre, leer el problema bien, volverlo a leer, entenderlo, entender lo que me dan, entender lo que me piden, siguiente paso diagrama de cuerpo libre ¿Vale?, el diagrama de cuerpo libre lo podéis hacer desde ya, aunque haya fricción estática pero

el diagrama de cuerpo libre podéis hacerlo desde ya, eso sirve para el quiz; y además del diagrama de cuerpo libre si os atrevéis el siguiente paso es plantear las ecuaciones, si vosotros leéis bien el enunciado por lo menos este apartado A ¿qué pasa en este problema? ¿qué me están diciendo en el problema? ¿que el sistema está cómo? ¿En qué está?, en equilibrio, esa es la palabra clave que hay que tener claro, automáticamente si un sistema está en equilibrio ¿Qué pasa con la aceleración?

Estudiante: cero

Cero, es decir en forma más genérica sería, sumatoria fuerza igual a masa por aceleración, pero como está en equilibrio, ojo, la aceleración es 0, es decir, mi ecuación va a ser sumatoria de fuerza es igual a 0. Esta es toda la ecuación que tenéis que utilizar en el apartado A, bueno ir haciéndolo, bueno esto toma un minutillo o tres.

Bueno, entonces como dijimos el primer paso siempre es el mismo en este tipo de problemas de dinámica, es hacer el diagrama de cuerpo libre, si lo hacéis bien os irá bien, si lo hacéis mal, os irá mal, así de simple. Vamos entre todos, diagrama de cuerpo libre para el cuerpo A. ¿Qué fuerzas actúan sobre él?

Estudiante: el peso

Este cuerpo tiene un peso que es P_a , hasta ahí estamos todos de acuerdo, debido a que está apoyado en una superficie, existe una reacción al apoyo que llamamos la normal, tensión ¿en qué dirección?, le podemos llamar T_a ¿Vale?, va a ver una fricción en este caso estática a pesar de que esto está en equilibrio, está en reposo que hace que al apoyarse en esa superficie, que hace que está tirando algo ahí al estar apoyado en la superficie pero sin moverse ¿Vale?, es decir, en este sentido va a ver una fuerza de fricción o de rozamiento que podemos poner así, F_s de estática. Muchos libros la fuerza de fricción la suelen poner con F mayúscula ¿Vale?, en minúscula, yo la suelo poner con F mayúscula. No pasa nada con eso, si la queréis poner en f minúscula no pasa nada. Alguna fuerza ¿más o menos? ¿Estáis de acuerdo con eso o no? ¿Sí?, la fuerza de fricción va en sentido contrario al movimiento, el movimiento si lo hubiera ¿en qué sentido sería? hacia aquí, si lo hubiera, es decir hay una fuerza estática que lo está frenando en sentido contrario. ¿Sí?

Bueno el cuerpo B ¿Qué fuerzas hay sobre el cuerpo B?

Estudiante: el peso hacia abajo

Peso, la normal ¿no?

Estudiante: no

Ah bueno, no los he pillado

Estudiante: una tensión

¿Esta tensión va a ser la misma que la tensión en A?

Estudiante: no

No, es un tramo de cuerda diferente, aquí puede estar tensionada a este lado y aquí puede estar más flojo ¿Entendéis lo que digo?, son tramos de cuerda distintos, lo voy a llamar T_b , en el momento que le den otro con un nombre diferente, sobreentendiendo que son tensiones distintas. Lo mismo que las masas, que la llamais m a todo pues os estas equivocando porque se va a pensar que en la misma en todo el problema y esto no es cierto, y por ultimo este tercer punto que le llamamos C , no hay ninguna masa ni es nada, pero es donde confluyen las tres cuerdas que esto va a ser importante analizarlo, porque esto va a ser una confluencia de fuerzas. ¿Entonces qué pasa en ese punto?, bueno, voy a dibujar unos ejes, es conveniente dibujarlos, los vamos a utilizar. Y y X , dibujo dos ejes como siempre, es muy importante que lo tengáis claro en todos los problemas, por eso hago el dibujo así: X y Y , quiere decir que vamos a tomar este criterio para todo el problema, puede ser que en otro problema tomeis otro criterio, pero es importante que los ejes queden claros.

Bueno ¿en este punto C hay alguna fuerza actuando o es un punto ahí que está en el aire?

Estudiante: Una tensión A

Una tensión A ¿en qué sentido iría?

Estudiante: en este sentido

¿Hacia atrás?, una tensión A

Estudiante: y una tensión b hacia abajo

¿Se acabó la historia o? tensión c ¿El ángulo de cuánto?

Estudiante: 45

¿Me lo dan como dato o qué?, es decir, esta tensión C automáticamente ¿qué puedo hacer con ella?

Estudiante: descomponerla

Voy a tener una tensión T_{cx} , una tensión de T_{cy} ¿vale?, siempre las vamos a descomponer, bueno ¿falta algo más en el diagrama de cuerpo libre?, en principio está todo, si tenéis esto bien tenéis un tercio del problema bien. Surge una pregunta, entonces no hacen ningunos dibujos, que no se entienda nada. O sea, dedicáis unos minutos que va a ser bueno para vosotros. ¿Vale? y para mí cuando califique, porque a veces lo que haceis parece un jeroglífico.

Bueno, apartado B; vamos al tema, no hemos ni empezado el problema. Bueno, decimos que sumatoria de fuerzas, dijimos que en este problema va a ser igual a 0, tenemos dos componentes; sumatoria de fuerzas en X y sumatoria de fuerzas en Y, bueno los voy a escribir en este trocito a ver si me cabe. En X para este cuerpo A, o sea la tensión menos la fuerza de fricción estática igual a 0 ¿sí? ¿Alguna ecuación más? ¿En Y qué va a pasar?, la normal menos el peso igual a 0. ¿Si estais de acuerdo hasta ahí?, cuerpo este, sumatoria de fuerzas ¿en qué dirección se va a mover este cuerpo?, según mis ejes ¿el cuerpo B?, o sea ¿en la dirección de qué eje?, solo en la dirección del eje Y, no vamos a suponer que se mueve en la dirección del eje X ¿vale?. Entonces solo tendríamos una ecuación para Y, es decir en este caso sería tensión menos el peso igual a 0 ¿sí? ¿estáis de acuerdo? y en el punto C este tenemos fuerzas que confluyen desde distintos puntos.

¿Cuál?, en este punto dices ¿aquí?, si esto fuera hasta aquí habría una reacción de la pared y otra aquí, pero este punto normalmente no lo vamos a considerar, a no ser que no te digan, que te digan explícitamente que en el problema lo podéis descomponer. Básicamente lo que va a pasar en la pared es que la pared está tirando en este sentido y por la tercera ley de Newton hay una fuerza en este caso la, la composición de esta que va a compensar esto, y entonces esta va a ser igual a esta a no ser, te podrían preguntar, si te preguntaran específicamente cuanto es la reacción de una pared entonces los haríamos, si no normalmente no se hace ¿vale?, pero bueno, está bien la pregunta. Bueno seguimos el ultimo cuerpo, esto ya hemos confluído fuerzas de distintos sitios, vamos a tener sumatoria de fuerzas en X igual a

0 y sumatoria de fuerzas en Y igual a 0, más un cuerpo subnudo, subnudo se le llama, subnudo donde confluyen diferentes fuerzas.

Bueno ¿en X qué voy a tener? Voy a tener menos T_a , decís, empiezo con las positivas, empezaría con T_{cx} , es decir ¿cuánto va a ser T_{cx} ?

Estudiante: coseno

Esto es un seno entonces va a ser T_c por el coseno de 45, es A positiva menos T_a igual a 0 y la otra ecuación va a ser T_c seno de 45 menos T_b igual a 0. Bueno y ahora ya empiezo a, bueno esto ahora lo he hecho todo de forma automática sin ni siquiera, como dicen, centrarme en lo que me piden vale, este problema que es relativamente sencillo fijaros, sacamos una, dos, tres, cuatro, cinco ecuaciones, es sencillito pero cinco ecuaciones ¿vale?. Yo me pongo muy serio ¿alguna pregunta o? bueno, listo; entonces ahora ya tenemos planteado las ecuaciones, diagrama de cuerpo libre y como consecuencia de eso, las ecuaciones.

Retomamos el problema ¿qué me pedían?, la fuerza de fricción estática, ¿de qué cuerpo?

Estudiante: Del A.

Entonces ahora yo me centro en el problema. ¿en algún sitio de esta ecuación aparece fuerza de fricción estática?, aquí, me están pidiendo esto, es mi incógnita, es decir, si yo supiera T_a o sea de esta ecuación puedo saber inmediatamente qué escribo aquí. A por decir de, que T_a menos fuerza de fricción estática igual a 0, o sea T_a es igual a fuerza de fricción estática, si puedo calcular que es suba, ya resolví el primer apartado.

¿Tengo T_a en algún sitio donde calcularlo?, por ejemplo aquí tengo T_a , pero para calcular T_a necesito T_c , o sea me complico un poco la cosa. Aquí tengo T_c y necesito T_b , o sea que necesito varias cosas ahí, como que se me empieza a complicar un poco la cosita ¿Entonces qué podemos hacer?, veis que hay varias ecuaciones, por otro lado hay una ecuación que no hemos utilizado que es la fuerza de fricción estática que es T_a , si repasáis vuestros apuntes yo suponía que era menor o igual que μ por la normal, lo repasáis cuando hicimos la definición ponía eso. Vamos a considerar en este caso, la desigualdad, vamos a considerar la igualdad, esto vamos a considerarlo así ¿vale?.

Y la fuerza de fricción estática va a ser mucho más normal ¿De qué cuerpo estamos hablando? De A y conocemos M_a ¿lo podemos calcular?, en esta ecuación dos $M_a - P$ igual a 0, o sea que M_a igual a 0. Conocemos el peso de A? no lo decían, 60 newtons, entonces aquí directamente podemos reemplazar 0,25 por 60, ya tenemos la fuerza de fricción estática ¿vale? 0.25×60 yo lo debo tener por algún sitio, os digo cuanto es, humm 15 newtons ¿vale?.

En el apartado B me pide el peso máximo para el equilibrio, de todos modos fijaros yo de hecho he aplicado la ecuación aquí directamente, eh, pero lo podría hacer en otro método, es decir, yo sé que la fuerza de fricción estática tiene que ser iguala T_a , voy a hallar T_a ¿Cómo? Con las otras ecuaciones. Si queréis hagamos eso ¿cómo lo podemos hacer?, bueno, pues sería este ejemplo, ya es jugar con las ecuaciones ¿Cómo se les ocurre hallar T_a ?, esa es mi pregunta.

Si nosotros fijaros tenemos $T_b - P_b = 0$ ¿La veis? T_c va a ser igual a, P_b , me dan ese dato de P_b , una es que tengo P_b lo reemplazo aquí, de aquí podría sacar T_c , de aquí de una vez tenga T_c lo reemplazo aquí y de aquí saco T_a . Lo pongo aunque me miréis con cara de, ahora pasad todas las ecuaciones a limpio y empezad a jugar con ellas. $T_b - P_b = 0$ implica que $T_b = P_b$, me dicen que P_b es igual a 12 Newtons, ya sé que es igual a 12 Newtons, una vez que tenga T_b sé que T_c seno de 45 menos T_b es igual a 0, es decir, T_c va a ser igual; este pasa para aquí sumando y el seno de 45 dividiendo y esto da T_c 17 Newtons. Y una vez que ya tengo T_c lo reemplazo con esta otra y saco T_a . Y T_a

Estudiante: da 12 newtons

Da 12 Newtons, exacto, fijaros una cosa, este es el punto al que voy, dijimos al principio que la fuerza de fricción tenía que ser igual a T_a , es decir por una lado nos da 12 Newton y por otro nos da 15 Newtons. Fijaros que son diferentes ¿Vale?, entonces ahí hay una especie de incongruencia, bueno a ver, lo repaso un momento. Habéis pillado eh como eh, ¿cómo calculé las tensiones? ¿alguna pregunta con eso?, eso es simplemente eh, osea jugar con las ecuaciones ¿Queda alguna duda? ¿No?, ¿de cómo se llegó a los 12 Newtons estos? De T_a ¿no? ¿Seguro? ¿Seguro? ¿Seguro? ¿Seguro? ¿Seguro? ¿SÍ?

Estudiante, también se puede hacer acá, usted puede despejar acá la tensión

Ah sí, no había visto esa ecuación. Uf. Muchísimo más fácil, ah bueno, fue la que yo puse aquí, si T_b igual a 12 Newtons, pero yo aquí estoy hallando T_a , o sea T_a 12 newtons, T_b 12 Newtons y T_c 17 Newtons. ¿Vale?, bueno entonces la pregunta es ya conceptual y lo dejamos ahí para hacer ese quiz con calma. ¿Por qué estas dos fuerzas son diferentes? ¿Por qué nos da diferente?, digamos esa tensión, que esa fuerza de fricción, esa sería la pregunta que nos tenemos que hacer, eso está muy, ¿Qué?

Estudiante: porque lo hicimos por diferente método

No!, pero me debería igual por un método que por el otro ¿no?, la pregunta en el apartado B es ¿Cuál es el peso máximo que podemos poner aquí para que, se alcance digamos el equilibrio, pues realmente eso lo acabamos de responder ¿cuánto creéis que sería el peso máximo que yo puedo poner?, me acaban de dar que esta tensión es 12 ¿Vale? ¿Sí?, bueno, la dibujo aquí, esta tensión de aquí que es T_a , bueno hagámoslo con respecto a esto, esto sería T_a , T_b y T_c . Lo hago en un sitio para que se vea más claro, entonces esta tensión A es 12, esta C es 17 y esta es la de B también es 12, pero me está dando coeficiente de fricción por este método, por la definición 15. ¿Cuánto es la diferencia entre este y este, este es 12 y este es, es, es 12 también, 12 y aquí es 17, pero aquí hay algo que me está frenando que me dice que puede llegar a ser 15 ¿Entonces cuánto pesos creéis que puedo llegar a poner aquí para que siga estando en equilibrio?, me salgo un momento, yo si aquí le voy poniendo estos granitos, bueno granitos no, son pesas ¿Vale?, es decir yo aquí podría poner hasta tres Newtons más, en el momento que yo ponga 15, me igualo con qué, con este otro 15, entonces este 15 digamos no es capaz de soportar y a partir de ese momento sera cuando empezará a bajar, o sea lo máximo que yo puedo poner aquí será 15 porque va a ser igual a este que yo tengo acá ¿entendéis lo que digo?, ese es el punto clave, eso es lo que, o sea la respuesta es apartado B. ¿Cuál es el peso máximo que yo pondría aquí?, sería 15 porque igualo este con este. Y la respuesta del apartado A sería, como tiene que ser igual a la tensión, tiene que ser los 12 Newtons, vale; porque aquí estamos aplicando la tensión, ahora si me dijeran cuánto es la fuerza de fricción aplicando la definición de la propia fuerza, sería 15.

Estudiante: osea pero poniendo ya los 12 newtons es el peso máximo de b

Claro, exactamente. Pregunta y dudas, tranquilos que esto de fricción no entra ahí ¿Queda más o menos claro o no? ¿sí?, bueno, entonces para que les rinda guarden todo, pongan una hoja en blanco, calculadora y hagan dos filas, tres derecha hasta la pared.

Profesor 2C

Vamos a hacer un ejercicio parecido al que hicimos en la primera clase, para que ustedes escriban cositas para saber que sabemos ¿ok?, 10 minutos! Contados a partir de la fecha, hágale pues. Guarden los celulares por favor, eso no traigan celulares aquí a nada.

Listo? Ubíquese por favor y empiece ¿Cómo le va?, donde quiera, ahí está, tome. Vamos, a ver ustedes, ustedes, ustedes, rapidito, yo veré. 10 minutos, siéntese por favor donde guste, contéstemelo eso, ya sabe que no lleva nombre ¿no?, eso no lleva nombre.

Estudiante: Menos mal

Menos mal!, Menos mal que no lleva nombre sino, jum. Bueno, solitos por favor, solitos, sin nombre, sin código, sin nada de esas cosas. En ese primer punto dice conteste las preguntas ¿No? No es decir sí o no, sino ojalá un sí o un no y alguna cosita que acompañe eso ¿No?, porque es que el sí y el no, no dicen nada.

¿Cómo le va?, por favor conteste la prueba.

Estudiante: esta primera imagen tiene como una grua

Si, está halandola ahí, si.

Yo a ustedes les hablé de las tres escalas, macroescala, meso escala y micro escala osea macromundo, meso mundo y micro mundo.

Celulares nada

Estudiante: yo cómo se que esto se está moviendo o n

Obvio que se está moviendo.

¿Quiénes terminaron ya? ¿Quiénes terminaron ya? ¿Si?, a ver, dos minuticos más, dos. Es que es por tiempo, la idea es que esto está por tiempo y que eso se podría hacer en diez minutos, pero bueno, demos dos más. ¿Listo? ¿Listo? sino pues no hay

problema, no hay problema, ya vamos a recoger, si no alcanzamos no hay problema. Si no alcanzó, no hay problema. Listo.

Muy bien, entonces acabamos. Yo supongo que con este pequeño ejercicio podemos decir de qué se trata la charla de hoy; eh ¿Me lo pueden decir? De qué se trata la charla de hoy, de qué es el tema. Dígamelo

Estudiante: fuerza

Fuerza ¿Quién más?

Estudiante: aceleración

Aceleración ¿Quién más?

Estudiante: movimientos

Movimientos ¿Qué más?

Estudiante: fuerzas

Sí, ya me dijeron fuerzas ¿Qué más?

Estudiante: desplazamiento

Desplazamiento, inercia

Estudiante: acción y reacción

Acción y reacción. Bueno, muy bien. Ahí hay una lluvia de ideas que puede ser interesante. Voy a empezar mi charla con un contexto pequeño para que podamos avanzar. El contexto de hoy lo voy a enmarcar en la última charla que hicimos en donde hablamos de los tres mundos en la penúltima, los tres mundos que trabajamos en ciencia, a ver si la recuerdan ¿Cuáles eran? ¿Cuál?

Estudiante: macroescala

Macroescala, bueno esto me genera un macromundo para analizar, no es cierto, eso fue lo que dijimos ¿qué más?

Estudiante: mesoescala

La mesoescala, esa mesoescala me genera un mesomundo para analizar. ¿Cuál era el otro?

Estudiante: microescala

Y microescala, los de este lado no los conozco. Microescala, que eso me genera un micromundo ¿estamos?. También habíamos hablado, dijimos que los físicos, los químicos y los biólogos puros no nos metemos mucho aquí, realmente estamos en estos dos extremos, ¿por qué?. Porque es que la mesoescala que está en el medio de esos dos mundos, o sea el mesomundo, es el de todas las carreras que hacemos en este planeta, por ejemplo los ingenieros trabajan en el mesomundo, ustedes como ingenieros civiles hacen son construcciones, edificaciones, puentes, hacen represas, hacen hidroeléctricas, hacen edificios, bueno.

Los otros ingenieros los electrónicos, hacen instrumentos, que se dedican a la robótica, hacen otro tipo de cosas, los industriales están dedicados a procesos, generalmente están en las empresas manejando personal, etc. Y bueno pues, de eso se trata, que ustedes trabajan en la mesoescala, o sea en el mesomundo. En eso que está observable, en eso que está a mi alcance, ¿no es cierto? y ese submundo que lo puedo percibir fácilmente a través de los sentidos y es un mundo en el cual yo puedo hacer predicciones y es un mundo en el cual de alguna manera yo puedo ser muy intuitivo con las cosas que van ocurriendo y que quiero explicar.

Bien, pero en este macromundo la cosa es un poco distinta, porque entonces vamos, nos salimos de este planeta a buscar externamente que hay y a comenzar, a indagar sobre eso que hay mucho más allá, mejor dicho, ese macromundo en últimas es el universo ¿Verdad?, pero si yo ahora me meto aquí en esta talega y hago un efecto gusano y me voy por allá ¿por dentro y me vuelvo pequeñito y cada vez más pequeñito y me meto entre los granos de arena y ahora entre esos granos de arena escojo uno y me empaco allá y comienzo a irme más hacia el fondo, hasta que llegue a ver átomos, tengo la posibilidad de llegar seguramente, estoy imaginando que veo átomos, que soy capaz de observar los electrones, que veo núcleos con sus protones y sus neutrones, y que veo a los neutrones y a los protones con sus componentes los quarks, es decir, miren hasta donde me puedo ir, entonces estoy en el micromundo.

Era normal y natural que en esto, que aquí en esta macroescala, en este mesomundo, pues alguien o muchas personas se dedicaran a estudiarlo, a analizarlo, a entender los hechos que ocurren en ese mesomundo, o sea en esto que tenemos aquí alrededor. De todos ellos fueron colocando pedacitos y pedacitos y pedacitos de la historia de la humanidad acompañando digamos históricamente y secuencialmente lo que iban comprendiendo; hasta que llegó alguien que lo hizo digamos casi de manera

completa y recogió todo lo que se necesitaba prácticamente para explicar la mecánica que se generaba entonces, o sea las cosas que él podía explicar y que quizá otros ya habían visto. Y ese señor se llamó: El señor Isaac Newton.

Bien, este señor Newton entonces hace algo que es espectacular. Newton crea un cuerpo matemático, en otras palabras este señor genera una teoría que hoy se le conoce con el nombre de: Mecánica clásica. Entonces él crea la mecánica clásica y con esa mecánica clásica él lo que hace es entonces explicar este mesomundo, esto es lo que hace. Pero ayudado de una teoría, ayudado de un cuerpo matemático, entonces tenemos a una persona que es capaz de concentrar todo ese saber que teníamos anterior a él y aquí está el señor Isaac Newton, les doy una fechita: Nace en 1642 y muere en 1727.

Dice la historia de su vida que no fue tan buen estudiante en el bachillerato como se pensó, en la universidad fue otra historia, dice su historia también y su vida que él no se casó jamás, murió de más de 70 años y tuvo por ahí sus romances, pero unos romances más bien perdidos por ahí, no se gestó nada, no se le conocieron hijos, eso no significa entonces que no haya sido lo suficientemente varonil, no, para nada, para nada, simplemente él lo que hizo fue dedicarse a hacer ciencia, a sus 22 años es capaz de crear el cálculo que ustedes manejan, el diferencial y el integral, no como está hoy, pero sí lo dejó bastante bastante avanzado, creado de una vez. Ya la cosa de la textura fina de ese cálculo se mejoró después, pero él es el creador del cálculo. Pues eso es lo que vamos a tratar de hablar hoy, qué hizo él, qué fue lo que fundamentó para poder explicar muchas de esas cosas que ocurren en este mesomundo.

¿Está claro?, bien; para eso podría hacer una primera observación, quiero que ustedes me acompañen a hacerla y hablemos un poquito de esa observación que vamos a hacer ahora, esta primera observación la número 1 es la que está aquí en el piso, es un montaje muy sencillo y un experimento muy sencillo que hizo el señor Galileo Galilei, y vamos a ver si ustedes me ayudan a redescubrir lo que él hizo, pero sobre todo lo que él dijo acerca de esto, bueno vamos a necesitar aquí ayudantes así qué bueno, aquí por favor.

Me ayuda y vamos a hacer lo siguiente, yo voy a soltar aquí esta canica, aquí por ejemplo, desde aquí, la vamos a dejar que ruede a ver hasta donde lo hace, dejémosla

ir ¡No! ¡No la tranque! ¡No la tranque!, bueno tranquilo, es que no le dije que no lo hiciera, el culpable soy yo, la verdad el culpable soy yo, no lo vaya a hacer por favor, vea esta vez no se quiso ir por el cartón devuélvala por favor, a ver si lo logramos. Es que estas esferitas de 50 pesos son así muy económicas entonces me la juegan mal, vuélvala a mandar, no es que para eso es el ayudante, ¿Sí o no? no no, a mí no me venga a decir por donde tengo que manejar, ahí se sostuvo un poquito más.

Listo. ¿me hace un favor? usted corta un pedacito de cinta y la pone en el piso para no utilizar marcadores ni nada en el piso y usted la pone en el piso para saber hasta donde fue y aquí ve la cinta. Regáleme la esferita otra vez ¿Vale? devuélvala para acá, eso. Bien, yo voy a hacer ahora lo siguiente, voy a colocar esta tela aquí, eso es lo que voy a hacer y voy a soltar la esfera nuevamente. La cinta, la cinta, la cinta ¿Pero qué pasa secretario?, encima de la tela ¿cómo la va a poner encima de la tela hombre? Cómo la va a poner encima de la tela, ahí al ladito, aquí, aquí, la culpa es mía, la culpa es mía que no le dije como es la vaina. Vamos a quitar todo, quitemos todo y ahora si hágase contra el asiento allá, donde estaba sentado. Mirémola, ponga la cinta, listo muy bien, gracias. Vamos a mirar entonces a donde fueron los tres intentos de esta esfera.

Una está aquí, ahora si voy a marcar encima de la cinta, la otra está pero la última ¿Cuál fue? esta. Listo ¿Y la otra dónde está?

Estudiante: ahí

¿Más por acá? No le veo ola. Ah ya ya ya. ¿Si ven? Pusieron al ciego a qué hiciera las cosas ¿Si ven?, ese es el problema tan terrible en poner al que no puede en colocarse a hacer las cosas, pero mírenlo. Esto lo hizo Galileo Galilei en el año 1605 por ahí, o en el 1608 y yo espero que ustedes lo vean, miren la diferencia, con tela, miren donde está el otro, con cartón, ahora sin nada ¿Qué puedo deducir?

Estudiante: que la fuerza de rozamiento va a ser mas grande depende de material

Bien ahí hay una posibilidad, aquí me dicen no, lo que pasa es que el coeficiente de fricción varía según el material, voy a anotárselo. El coeficiente de fricción varía según el material, listo ¿Quién más tiene algo para decir?

Estudiante: según la superficie

¿Cómo?, bueno, según la superficie, vamos a ayudarlo aquí, según la superficie. Listo
¿En qué cambia esto lo qué había?

Estudiante: el rozamiento del cuerpo con la superficie

¿Cómo? ¿El rozamiento del cuerpo qué? A ver, sígale sumando, ahí hay fricción ya
tenemos claro que hay fricción, que hay rozamiento, síganle sumando

estudiante: que cuando hay una fuerza siempre hay una fuerza contraria

¿Cuándo hay qué? ¿Y esa fuerza contraria dónde está? ¿Quién era?

Estudiante: la fuerza de rozamiento

La fuerza de rozamiento, bueno el caballero dice esta fuerza de rozamiento es
contraria al movimiento, esto, esto, uy no, lo de Galileo nos va a quedar chiquitico.
Primer descubrimiento serio de este rollo es que esta fuerza que hace que pare la
esfera, que hace que vaya disminuyendo el movimiento como alguien lo dijo por aquí,
¿quién lo dijo?, que va disminuyendo el movimiento, es que esa fuerza es contraria al
movimiento ¿Cierto? ¿Estamos de acuerdo?, eso está claro.

Sigan sumando, están a un paso de descubrir la ley; o sea ¿qué puedo decir?, de una,
de una ¿Qué puedo decir ahora?, ley, vamos a determinar una ley. Ley, díganmela,
unan eso que han dicho a ver si lo logran. Vamos. Les ayudo con esto, comiencen
diciendo: ¿Qué pasaría si?

Estudiante: a toda acción hay una reacción

No no no, cuidao, para allá si no vamos todavía. ¿Qué pasaría si? ¿Qué pasaría si
qué?

Estudiante: si no hubiera esa fuerza de fricción

Eso, ¿cómo se llama su nombre? Elkín vea, miren a Galileo ahí sentao, vea. Mire,
¿qué pasaría, qué pasaría si? si no existiera, si no existiera esa fuerza de fricción.
Dígalo, usted lo dijo ¿Qué pasaría?

Estudiante: que la canica continuaría

Pues la canica continuaría mucho más lejos, ¿verdad que si?, pero mucho más lejos.
Si ella no existiera ¿entonces hasta donde es la posibilidad de que esa esfera siga?,
hasta el infinito. ¿Ustedes vieron de qué forma se desplazó esa canica? ¿Cuál era la
tendencia de esa canica? Su forma geométrica, en línea ¿Qué? ¿Ah? Recta. De

desvía un tato por la fricción y esto, pero idealmente debería ser en línea? Recta. Oigan, saben ustedes acaban de escribir ni más ni menos, ustedes y no tienen que ir a leerlo en ninguna parte, sólo recordar esto, les voy a organizar esas ideas como aparece en su libro y que algunos recitamos pero que no entendemos.

Antes de hacerlo aquí voy a mostrar un detalle más, cuando Galileo propone esto, él lo propone porque quería decirle a Aristóteles que había muerto hace más de mil años, no tanto, a ver este es de 1700 – 1600, no sí más de mil años, 1600 años, 1900 porque Galileo, porque Aristóteles está antes. Bueno. Aristóteles decía lo siguiente: el movimiento de los cuerpos se origina a causa de una fuerza ¿es cierto? ¿Es cierto o es falso?

Estudiante: es cierto

Es cierto, entonces la embarramos, entonces la acabamos de embarrar, porque ustedes me acaban de decir aquí, Galileo me acaba de decir que no, que si elimináramos esa fuerza, se movería infinitamente ¿Y cuál fuerza habría ahí? ¿Cuál fuerza va ahí?

Estudiante: nada

Ninguna, no no, si quiere salgámonos de la tierra y vayamos allá al macromundo y lo hacemos allá lejos. Miren ustedes como es de terrible entender uno las cosas. Aristóteles, si no hay fuerza no hay movimiento, si no hay fuerza no hay movimiento, mire lo que este acaba de decir; ¿Qué es lo que él dice? ¿Qué sin fuerza puede haber? movimiento. O sea que si yo retiro las fuerzas que actúan sobre esa esfera incluida la fricción, si las retiro, ella se podría mover en línea recta y a velocidad constante.

Estudiante: pero debe haber algo que inicie el movimiento

Tocó el punto que faltaba, debe haber algo que cause ese movimiento, eso si, que lo inicie como usted lo dice, si no hay quién lo inicie, ¿su tendencia qué es?

Estudiante: que no haya

Que no haya movimiento, completamos la ley y la hicieron ustedes. Por eso cuando usted va al libro ¿Qué dice?, mire, mire como está escrito allá ¿no?, todo cuerpo tiende a permanecer en el estado en que se encuentre, bien sea de reposo o de movimiento rectilíneo y uniforme, eso dice la ley en los libros, pero el problema no es aprenderse la retaila de la ley, el problema es entenderla tal como es ¿Estamos?

Entonces estamos redescubriendo la primera ley de Newton que no la hizo Newton, la hizo Galileo Galilei, pero Newton la colocó dentro de su libro en donde explicó la mecánica, ese libro tiene, se llama el principia o los principios de Newton. Bien.

Entonces ya tenemos como expresar a ley de inercia, es una ley que no se puede demostrar por ninguna razón, ¿por qué?, porque no puedo eliminar las fuerzas y como no la puedo eliminar, pues no puedo demostrarla. Tengo que ayudarme un poco de la abstracción mental y entenderla, si yo pudiera retirar la fricción entonces ella se movería en línea recta y en velocidad constante, pero como vamos a ver más adelante, en el movimiento circular por ejemplo, si no entendí la ley de inercia, no podré entender qué pasa con los objetos que se desprenden de un movimiento circular, por ejemplo; como decir usted en un parque está montando allá dando vueltas y se le safa la silla entonces tendríamos que ir a buscarlo, ah en alguna parte tiene que estar. Y hay que ir a buscarlos y un físico lo primero que pensaría es: ¿En qué punto se desprendió él?, y pensaría en la ley de inercia, es decir, no lo va a buscar debajo del motor de la cosa esa, no; lo va a buscar siguiendo una trayectoria rectilínea desde el punto donde se despegó, allá es que lo va a buscar, bien.

¿Hay alguna pregunta de ustedes aquí de esto sobre la ley de inercia? Y es ley, cuando es ley y es ley general se cumple para todos los cuerpos. ¿Hay alguna cosa que ustedes todavía? Bueno, entonces vamos a hacer una cosa, vamos a hacer una segunda observación.

Segunda observación, bien, para esa segunda observación necesitamos secretarios, avispados, avispados. Bueno este es un carrito ¿No?, pues normal, ustedes lo ven, no tiene nada de raro y vamos aquí a, a que nos acompañen dos compañeros, gracias, muy amables, si eso fue rápido, si profesor, ya voy, dos compañeros, por las buenas, gracias, por la buenas le dije, eso, muy bien, siéntese aquí tranquilo, eso, pueden tomar fotografías si quieren, de todo, si, no, es en serio, tómenlas y me mandan fotografías al correo, en serio, pueden sacar los celulares, tomar la foto.

Tome, usted va a tener esto por favor, ¡eso!, así paralelo al piso ojalá si puede, al piso, aquí paralelo. Bueno, usted aquí, aquí, aquí, siéntese. Usted lleva el carro y lo suelta, cuando yo le diga. Ya.

Usted qué sintió?

Estudiante: Nada.

¡Ay hermano! Váyase, váyase ¿Cómo no va sentir nada?

Estudiante: pues el tirón de

Entonces si sintió, si sintió el tirón. ¿Cómo se llaman esos tirones? ¿Ah?

Estudiante: fricción

Tensiones o fuerzas. Listo, tome; ya observaron ¿Verdad?, voy a duplicar la fuerza. Estos cauchos están calibrados, significa que los corte iguales, que los compré en el mismo almacén, fueron cortados de los mismos tres metros que me vendieron, estoy duplicando la fuerza ¿Lo está lanzando del mismo sitio? Aquí frente a esta b, mírela, no se le olvide ¡suéltela! ¿Quiere trancarlo aquí?, ah no tan macho, tan guapo pues. Listo, vamos para la tercera, mucho cuidado, es probable que nos parta un dedo, con esto debemos tener mucho cuidado, colóquelo allá, dele, y es en serio que se los digo, espérese que me da hombre, listo, hale, hale, ¡suéltela!

Newton hizo eso ¿qué dijo Newton? ¿dijo ayayay? ¿qué dijo? ¿qué conclusión sacó inmediata? No caminen, caminen, imagínese hacemos esto y no, nada. ¿Qué dijo él? Arriesgue sin miedo

Estudiante: la acción ejercida sobre un objeto va a generar una reacción adversa

¿Por qué? ¿En dónde estaría la acción y la reacción ahí?

Estudiante: la acción sería soltar el cable y la reacción fuera que el carro fuera traído por la tensión ahí

Vamos a esperar un poquito porque ahí hay una confusioncita como grande ¿cómo?

Estudiante: que a mayor tensión más fuerza

Tensión y fuerza son sinónimas. Yo pensé que lo iba a decir

Estudiante: a mayor tensión mayor aceleración

¿A mayor tensión qué? mayor cambio en la velocidad y el cambio de la velocidad es ¿Una? aceleración. ¿Cómo fácil de observar, verdad? Y esto no lo logró la humanidad como en 30mil años y si lo hizo Newton, se dio cuenta de esto y el lo escribió así, no se vayan. Todo toca decirles, ¿Saben qué dijo él? la aceleración es directamente proporcional a la fuerza ¿Verdad que si lo podía decir? Lo vieron no?, si claro, se podía decir y él lo dijo, él no le tuvo miedo, lo dijo. Ustedes como les da miedo no lo dicen. Ponga un caucho, sólo uno

Ahora vamos a ponerle esto encima, tire, miren a dónde llega, ahora con eso, mismo sitio, con esto, mismo sitio, con esto, mismo sitio, con esto, ya menos. Entonces, ¿qué podemos concluir?

Estudiante: a mayor peso, menos aceleración

Muy bien, que la aceleración es directamente proporcional a la masa, y estas dos ideas Newton las escribió de esta manera, vamos a ver, ya sabemos que la fuerza es directamente proporcional a que

Estudiante: a la aceleración

Y qué más sabemos

Estudiante: que el peso es proporcional a la aceleración

Ojo aquí, la masa es una propiedad intrínseca de los cuerpos, unos tenemos mas masa, mas adelante vamos a hablar de eso, en cambio el peso es qué, ¿porqué aquí en la tierra nos mantenemos en el piso pero en el espacio han visto que uno se eleva?

Estudiante: la fuerza de gravedad

Bueno, entonces Newton escribió esto de esta manera, todos lo conocen $F = m \cdot a$, entonces, del caso de la masa la tierra y de la fuerza llamada peso vamos a hablar mas adelante.

Bueno, vamos por la segunda ley, que dice la fuerza es igual a la masa por la aceleración, aquí, vamos a hacer una tercera observación, ¿listos?, ¿Voluntarios?, muchas gracias

Beno, con esta última experiencia ustedes van a enunciar la última ley de Nweton porque son tres listo, aunque ya han hablado de ella, vamos a ver, bueno, ¿qué tenemos aquí?, ¿han visto esto?

Estudiante: si, es un resorte, como una pesa

Esto se llama un dinamómetro, es un instrumento de medida que sirve para medir fuerza, ojo, ¿qué vamos a medir?

Estudiante: fuerza

Bueno, entonces vamos a hacer un experimento muy, muy sencillito, usted quédese aquí y tiene el dinamómetro así, ¿estamos?

Estudiante: si señor

Bueno y usted va a tener este otro y va a halar con fuerza, entonces él se mantiene ahí y usted tira para acá, ¿estamos?, los otros dos señores, van a ser nuestros ayudantes, nos van a decir, qué se marca en el dinamómetro de cada lado y ya con eso ustedes van a formular la tercera ley.

Entonces, cuánto nos da, qué le marca a cada uno exactamente:

Estudiante: 5.2

Estudiante: 5.5

Bueno, que alguien venga y nos diga que ve en los dos, ustedes ahí quietos. ¿Qué ve usted?

Estudiante: 5.4 y 5.3

Bueno, este ya los ve mas cerca, bueno, siempre hay errores experimentales, los dos no ven lo mismo pero el aparato marca lo mismo, aunque el dinamómetro trae también un pequeño error, bueno, ¿Qué deducimos de esto?, ¿qué podemos decir de esto?, pero si todos los vieron, recuerden que él estaba quieto, solo él se movió

Estudiante: ahí si sería que a toda acción se opone una reacción igual

Si, ahí si sería ¿cómo?, ¿qué acción y qué reacción?

Estudiante: se ejerce tensión, hay una tensión

¿Al caucho?

Estudiante: si

Entonces qué se está ejerciendo ¿una fuerza?, ¿en qué sentido?

Estudiante: de ambos lados

O sea ¿cómo sería?

Estudiante: Ah no

Vamos a llamarlas fuerzas, él ejerce una fuerza cuando hala, cuando se mueve, y aquí nuestro colega, ¿qué pasa?

Estudiante: esa es la reacción

Muy bien, vimos que marcaba lo mismo, , es decir que la fuerza de reacción es igual a la fuerza ejercida, esto lo enunció Newton, eso se llama ley de acción y reacción, es decir, vamos a escribirla: si un cuerpo A ejerce una fuerza sobre B, si un cuerpo A ejerce una fuerza sobre B, a esto le vamos a llamar una acción, entonces B ejerce una fuerza sobre A que es de la misma magnitud pero en sentido contrario, a esa última la vamos a llamar reacción. Son dos fuerzas opuestas, son opuestas y actúan sobre cuerpos distintos.

Bien, tienen unos minutos para anotar, que les encanta anotar pero luego les voy a preguntar sin apuntes de qué se acuerdan porque esto debe quedar claro, ustedes mismos formularon las leyes, lo pueden hacer solos.

Entonces ya reconstruimos las tres leyes de Newton y ¿todas nos hablan de qué?

Estudiante: fuerza

Y ¿han escuchado diferentes fuerzas?

Estudiante: si

¿Cuáles han escuchado?

Estudiante: rozamiento, peso, normal

Bueno, estamos listos, vamos a poner en orden todo eso, y ahora me voy a ir hacia el sitio que les dije al comienzo cuando tome la bolita esta y les dije me voy a meter dentro de esta talega y voy a hacer el efecto gusano y me voy a meter dentro de los átomos y ya en los átomos voy a hacer dos cosas: voy a ver el átomo externamente y luego me voy a meter al núcleo, eso es lo que quiero hacer; miren si yo estoy en el exterior de átomo entonces yo comenzaría a estudiar los electrones, allá girando alrededor del núcleo y entonces comenzaría a darme cuenta y a preguntarme, oiga ¿por qué es que se mueven los electrones alrededor del núcleo? o ¿por qué no caen, si están siendo atraídos hacia el núcleo que es positivo y él es negativo?.

Luego me acerco al núcleo, ¿Por qué el átomo, por qué en el núcleo los protones no salen disparados si todos son positivos y se repelen unos a otros?, es decir, el núcleo no podría tener estabilidad, pero la tiene. Voy y miro esos electrones, bueno y los empiezo a estudiar las fuerzas que actúan allá, este tipo de fuerzas que están en el átomo, que me responden, a esto que he estado hablando, cuestiones de electrones,

cuestiones de protones, cuestiones de neutrones, etc. esta se maneja o está relacionado con lo que llamamos las fuerzas fuertes.

Me voy a meter al núcleo, estoy en un núcleo pesado, núcleos pesados son aquellos que miden una cantidad de protones un poco alta, hablemos de 75 para arriba, el uranio, el plutonio, estos elementos tienen una cantidad de neutrones que se desfasan un poquito del número de protones entonces se desestabilizan si yo estuviera allá entonces empezaría a sentir una cosa rarísima, entonces vería que de pronto el núcleo comienza a deshacerse, así, así de fácil comienza a deshacerse de protones o de neutrones, y eso es a lo que le llamamos que el núcleo se vuelve radioactivo, entonces para átomos de esos radioactivos, esos pesados, algunos de los pesados, entonces tenemos radioactivos, estos pesados, están relacionados con unas fuerzas que llamamos fuerzas débiles.

Bien, esto entonces a qué nos lleva? A que podemos hablar de cuatro grandes fuerzas de la naturaleza, ¡describámoslas!

Fuerza gravitacional, allá están los elementos que he colocado. La segunda: la fuerza electromagnética, la tercera: La fuerza fuerte ya saben en donde está ubicada, en el átomo. Y la fuerza débil, también en átomos. Listo, estas son las cuatro fuerzas de que hablamos nosotros en física.

En últimas entonces, nosotros lo que hacemos es o lo que ustedes van a trabajar en este curso de mecánica va a estar más que nada relacionado con la fuerza gravitacional, en un altísimo porcentaje y con fuerzas electromagnéticas en otro porcentaje, aquí no vamos a tener nada que ver con fuerzas fuertes ni con fuerzas débiles porque esto pertenece ¿a dónde?

Estudiante: al átomo

Al micromundo y ya habíamos dicho que aquí no íbamos a ir a nada. Entonces vamos a estar en un altísimo porcentaje en el campo de la fuerza gravitacional, vamos pues ahora a seguir haciendo unas aclaraciones sobre esto que estamos hablando.

Yo quisiera que ustedes me ayuden a construir entonces el concepto de fuerza, después de todo esto que hemos hablado, de las tres observaciones que hicimos ¿Cómo vamos a, qué vamos a escribir como concepto de fuerza? Como si alguien me dijera, oiga, ¿Qué es una fuerza? ¿Qué puedo decir que es una fuerza?

Estudiante: como un esfuerzo de un cuerpo

¿Cómo?, un esfuerzo

Estudiante: una acción

Una acción, ¿qué más?

Estudiante: un tipo de energía

Un tipo de energía, hum, no, la energía si está relacionada un poco más adelante pero no lo debemos relacionar con fuerza exactamente, no. Por aquí nos desviamos mucho pero ya hay un punto de partida, ya casi lo logramos, pues sacamos las tres leyes, fueron capaces de escribir tres leyes ¿ah?, cómo no vamos a poder sacar un concepto de fuerza, a ver.

¿Qué es una fuerza?, alguien que sea capaz de decir, una fuerza es como esto, no, ¿qué? hable.

Estudiante: yo creo que una fuerza es digamos, no se, sería una capacidad

Han dicho muchas cosas, pero sáquenme de una duda ¿La fuerza es una causa o un efecto?

Estudiante: una causa

Bueno, si estamos, si estamos en el mesomundo, si, lo podemos dejar ahí, entonces ¿qué escribiríamos de fuerza? ¿fuerzas qué?, es una, son dos, ¿son todas? ¿Ah?

Estudiante: todas

Es toda causa, que actúa sobre un cuerpo, ¿Para qué?

Estudiante: para modificarlo

¿Ah? ¿Puede ser no?, para modificarlo, eso que usted está diciendo ¿O para qué más? ¿qué podemos hacer con una fuerza?

Estudiante: desplazarlo

No, si, pero ¿qué mas?, ¿qué podemos hacer con una fuerza?, esto ¿de quién es?, ¿es suyo?

Estudiante: si

Bueno, gracias, voy a modificarlo de posición, es decir, a cambiarle su velocidad, es decir, qué puedo hacer con eso? Dígalo, dígalo, dígalo

Estudiante: modificarlo, deformarlo

Lo puedo deformar, cambiar de estado, cambiarlo de lugar, cambiarlo de posición, estas son las dos cosas fundamentales que podemos hacer con la? Fuerza, bien. Así que yo creo que hablando de fuerza podemos dejarlo ahí, yo creo que, bueno.

Ir más allá de pronto en este momento no pero la idea es que ya tenemos las tres leyes y hemos logrado tener una conceptualización muy cercana a lo que hicimos y a lo que es una fuerza. Yo quiero ahora mismo hablar del concepto de masa, ¿por qué? porque ya dijimos que la aceleración es directamente proporcional a la fuerza y es inversamente proporcional a la masa y eso es la segunda ley ¿Sí o no?, listo, entonces hablemos un poquito de la masa. Para cerrar este ciclo sobre las leyes de Newton, les he dicho que mantengan los celulares en silencio.

Bueno, vamos a volver sobre esto, ¿qué es la masa?

Estudiante: el espacio que ocupa un cuerpo

¿La masa es un espacio? Listo. Yo lo voy a colocar aquí y después lo negociamos a ver qué pasa.

Masa, masa, materia, listo, ahora aquí voy a escribir: la masa es materia, listo. Quién da otra opinión ¿Qué da más? ¿Por aquí? ¿La masa es qué?

Estudiante: una cantidad

¿Perdón? ¿Una cantidad de qué?

Estudiante: de materi

Entonces pongamos aquí, añadimos aquí cantidad, es una cantidad de materia

Estudiante: que conforma un cuerpo

Que conforma un cuerpo, listo, esto es la cantidad de materia que conforma un cuerpo. Miren, es muy difícil definir en física, en ciencia pura casi que no se puede definir nada, muy difícil, realmente uno lo que hace es intentar de alguna manera conceptualizar y poderse comunicar con los otros y tener alguna idea común de la cosa, pero no es fácil, no sé si tendré tiempo de la definición de la, del ejemplo de la definición del tiempo de Einstein y San agustín ¿lo hicimos en la primera charla?

Estudiante: no

¿No?, para que vean ustedes lo difícil que es hacer lo que estamos haciendo, es muy difícil, la verdad es difícil, pero ehay que intentarlo para tener un lenguaje que nos permita comunicarnos, y es una anécdota para tener esto en cuenta. Cuando uno lee la vida de Albert Einstein, en estados unidos la anécdota que se cuenta es con su conductor, dice Albert Einstein que la pregunta más difícil que le hicieron a él fue su conductor que lo miraba por el espejo retrovisor, entonces Einstein como se quedó ahí, dijo bueno, que será lo que me mira este señor, tengo que saber qué es la miradera, pues.

Hasta que por fin Einstein dice ¿qué es lo que te ocurre? ¿qué te pasa?, le dice no doctor no sé me da pena, me da como pena preguntárselo, pero es que, como le dijera, yo quisiera saber doctor ¿qué es el tiempo?, dice Einstein que es la pregunta más difícil que le hicieron en su vida, tanto que le pidió 8 días para darle la respuesta, y él en su anecdotario dice que esperaba no llegara ese día, porque llegó el día y no sabía que decirle y además se pasó el tiempo y ahoa pues peor, si porque ya se le pasó el tiempo y nada que contestó.

Hasta que por fin se le acerca Einstein y le dice: Mire, fulanito, la verdad el tiempo es lo que mide un reloj, a ver señor Einstein, imagínese el conductor, a ver señor Einstein ¿usted me pidió 8 días para eso?, yo lo sabía, pero lo que no podía entender el conductor es que definir el tiempo es un imposible, pero me voy a ir a 1300, más de 1300, San Agustín, San Agustín, su majestad usted que sabe tanto de la vida y de tantas cosas, me hace el favor y me dice ¿qué es el tiempo?, y dice San Agustín, que después de meditarlo, contestó, escuchen la respuesta: si me lo preguntas no sé lo que es, si no me lo preguntas, yo sé lo que es. Caballero, ¿se lo repito?, si, es que hace más de 1300 años que lo dijo entonces uno no logra cogerlo de una, dijo: si me lo preguntas no sé lo que es, si no me lo preguntas, yo sé lo que es. ¿Ya la cogieron?

Es decir ¿qué quiso decir San Agustín?

Estudiante: que no sabía

¿Ah?, ¿cómo que no sabía?

Estudiante: que sabía pero no sabía cómo decirlo

Ah, qué sabía para sí, pero para los demás nada. Si no me lo preguntas yo sé lo que es, o sea está diciendo, sabe qué, no cansé aquí, porque cada quien tiene una idea de lo que es el tiempo, y no se lo pregunten porque nunca va a ser capaz de decírselo. Y eso fue en 1300 y en 1950, no en 1948, en el 50 o en el 53, se lo preguntan a Einstein, entonces tampoco puede hacerlo y ¿qué querían? ¿Qué yo sí?, ¿sí?, ¿estaban esperando eso?

Definir fuerza, definir masa, todas las definiciones en física son apenas unos acercamientos que se han venido haciendo, un lenguaje que se ha venido manejando y que todos debemos ir comprendiendo y entendiendo para estar como en un mismo nivel, para que todos entendamos ese mismo lenguaje, eso es todo. Por eso definir masa, se han inventado muchas formas de definirlo, pero la que más se ha quedado ahí estancada y que le parece a todo el mundo que lo complementen ellos, es esta, es la cantidad de materia de un cuerpo y salió de ustedes, sólo que la tenemos que ir amarrando, cada quién tiene una partecita, es como si el saber estuviera repartido en muchos y eso es cierto, o sea, aquí se ve la verdad.

Pero quiero que miren una cosa, la masa que interpretamos, eso sí, desde dos perspectivas distintas, miren ¿cómo es su nombre?

Estudiante: Juan camilo

Juan Camilo, se va a reunir con el compañero, eso como no vino el viernes, pues vino hoy; entonces se van a tomar unas cervezas, una gaseosa, entonces se emborracha, yo no he visto a nadie, a nadie, que quiera coger un borracho y lo levante y lo ponga en los brazos y lo lleve al taxi, yo no he visto a nadie y ya estoy viejo ¿qué hacen?

Estudiante: lo arrastran

Eso es lo que hacen, entre dos lo arrastran y es cierto, usted no puede coger la nevera de su casa y menos si es un nevecon de esos grandotes, y decir ay dónde va la nevera, dónde va la nevera, sí, como no. ¿Qué hacemos? ¿Qué hacemos? ¿Quieren saber una cosa?, es la misma masa, es la misma masa; pero no es lo mismo vencer su inercia ¿cierto?, que vencer su problema de orden gravitacional, por eso la masa se considera de dos perspectivas, masa inercial y masa gravitacional.

La masa gravitacional es la que yo venzo contra la gravedad, esta, alzando, aquí venzo mi masa, la masa gravitacional de esta mesa y otra cosa es su masa inercial, los esfuerzos que tengo que hacer ¿son? diferentes. El ejemplo del borracho no se

puede olvidar, esta es la que vence, venzo yo, la gravedad y esta inercia decimos, por eso algunos definen la masa como la resistencia, si la resistencia al movimiento, se resiste a ser movido el cuerpo entonces a eso le llaman masa inercial; entre más masa tenga un cuerpo, más inercial se vuelve, más resistente al movimiento se vuelve, espero que estas dos cosas, después cuando empecemos a verlas ya en cada uno de sus momentos en los que se va a necesitar, usted la tenga clara, la pueda evocar y va a decir: Sí! Ya me acordé, usted por allá lo planteó, nos lo dijo y a mí se me olvidó, pero que le vamos a hacer, bueno, esa sería la idea.

Quiero decirles que yo encuentro la masa, la masa la encontramos en el mundo macro. Sí, la encontramos en el meso y la encontramos en el ¿qué?

Estudiante: En el micro.

En el micromundo, bien y la cosa cambia sustancialmente, que yo esté hablando de masas en el macromundo estoy hablando de la masa de una estrella, del sol, de la masa de una galaxia, de un cometa, de un hueco negro, etcétera, etcétera, etcétera. Son masas absolutamente gigantescas. Si nos pasamos al meso, la masa así grande que uno pueda ver, bueno, bueno podrá ser una montaña, hablamos de millones de toneladas, de un edificio de 120 pisos, las grandes cumbres, eso tendrán centenares de toneladas, pero comparada con estas, éstas son masas gigantescas, esas son masas ahí de alrededor, y estas son masas sumamente pequeñas del orden de, del orden 1×10^{-10} , 1×10^{-20} , 1×10^{-31} , la masa de un electrón, 1×10^{-27} , la masa de un protón o de un neutrón, entonces esto de la masa hay que pensar en donde estamos hablando, ustedes, hemos dicho van a estar aquí, no se preocupen o sea vamos a hablar de la masa de una maleta, la masa de un cubito por un plano inclinado, la masa de un carrito, la masa de una canica, esas masas son las que vamos a trabajar, o sea, ni aquí ni aquí, ¿estamos?.

Bien, yo creo que esto podemos dejarlo aquí y vamos a hacer ahora un barrido de síntesis aquí, rápido, una lluvia de palabras. No puede mirar nada, cierre su cuaderno, cierre su cuaderno, cierren todo, ay de que usted no diga nada, se convertirán tristemente en penitencia, no se pueden rendir, así que ponga cuidado, no se pueden rendir, yo llevo hablando hora y treinta minutos, bueno, hemos estado charlando, la misma cosa. Dele

Estudiante: no es lo mismo la peso que la masa

Estudiante: a mayor tensión mayor aceleración del cuerpo

Estudiante: la masa es inversamente proporcional a la aceleración

La masa es inversamente proporcional ¿Quién dijo eso? ¿qué fue lo que dije yo de eso? Mire como está confundiendo todo, ¿ah?

Estudiante: la aceleración es directamente proporcional a la fuerza

Listo ya salió. Listo, dele.

Estudiante: Fuerza es igual a masa por aceleración

Sale, bien.

Estudiante: se unen dos fuerzas

¿En dónde? ¿En dónde?

Estudiante: no que una fuerza tiene otra opuesta

Listo, sale.

Estudiante: la fuerza peso se contraresta con la normal

Sale, sí ¿y eso qué es?

Estudiante: acción reacción

¿Ah? 25:00 25:42 ¿ah?

Estudiante: las leyes de Newton

La primera

Estudiante: si nada se opone sigue igual

Listo sale

Estudiante: paso

¿No se acuerda lo que hicimos? ¿Qué fue lo que hicimos para la segunda? Miren, miren, miren, esto fue lo que hicimos con la segunda, miren ¿Usted dónde estaba cuando hicimos eso?

Estudiante: Espere, espere la segunda, la aceleración es directamente proporcional a la fuerza

La aceleración es directamente proporcional a la fuerza, y ¿qué más? No me diga que olvidó la mitad

Estudiante: la aceleración es proporcional a la masa

Ah, la aceleración es proporcional a la masa, dele. Penitencia, penitencia, penitencia y si no habla penitencia, dele.

Estudiante: la fricción se opone al movimiento

No usted qué? ¿Qué dijo? ¿Penitencia?, tiene que hacer un escrito de esta clase, como de 20 páginas, así que acuérdesese.

Estudiante: hay cuatro fuerzas, la electromagnética es una

Ahhh, este se salvó. Bien, yo espero de verdad, que las tres leyes de Newton hoy, junto con las concepciones de masa, fuerza, aceleración no tanto porque eso no nos interesaba mucho, pero si aceleración, perdón, masa y fuerza. Necesitaba que ustedes lo tuvieran esos conceptos y esas tres leyes de Newton que no se les olvide, ¿Vale?, ¿las repasan?, hasta luego.

2 sesión

Alumno: Profe una pregunta, el quiz es este viernes?

Este viernes no es el quiz hay que prepararlo para la semana entrante.

El primer quizá está programado dentro de las primeras leyes de Newton, fuerza, magnitud, lo que hemos visto, lo que vamos a ver hoy y es el primer parcial.

Bien, buenas noches, son las 6 en punto, así que ya hay quorum, faltan 12 estudiantes ya no podemos hacer más paro.

Bien la idea es que ustedes me ayuden hacer el recuento muy rápido, de la charla del día viernes, ese eso lo que vamos a seguir trabajando hoy, es decir el recuento que vimos acerca de ¿qué fue?

Estudiante: las leyes de Newton

Las leyes de Newton, bien entonces, bien, estoy escuchando, estoy escuchando esa lluvia de conceptos aprendidos y de cosas aprendidas, listo la primera ley, que se le llamo

Estudiante: La ley de inercia

La ley de inercia, que decía ¿qué decía?, no sin mirar, yo quiero que no miren, a ver si recuerdan algo, como las hicimos, hicimos cositas, ¿Usted se acuerda qué hicimos para la ley de inercia? ¿Qué hicimos?

Estudiante: Se utilizó una bolita en el centro con una carreterita

Sí, con la carreterita y una tablita y ¿qué pasó?

Estudiante: se hizo una fuerza contraria para que se detuviera

Eso es, se usó una fuerza contraria para que se detuviera

Estudiante: entonces la ley dice que todo cuerpo tiende a estar en estado de reposo sino se le aplica alguna fuerza

No pero le falta algo, ¿de reposo o de? movimiento, ¿movimiento qué? si no se le aplica una fuerza,

Estudiante: movimiento rectilíneo uniforme

Si no se le aplica una fuerza externa, eso, si se acordó, ahora sí, era acordarse del experimento, del montaje qué hicimos.

Entonces la ley de inercia está claro de lo que dice. Lo que descubre Galileo en contra de ¿de quién fue? a quién fue que contradijo Aristóteles a ver si se acuerdan?, vea Galileo. Ay si ahora si Aristóteles, ahí se acordaron. Galileo contradice a Aristóteles, de alguna manera aclara una situación que estaba muy confusa y era que, Aristóteles lo que planteaba era que ¿era que qué? ¿Qué planteaba él?

Estudiante: que no había movimiento sin fuerza

Que no había movimiento sin fuerza; y este señor le dice, un momentito, si hacemos una abstracción interesante acerca de las fuerzas aplicadas sobre el sistema es más justo decir, no, si es posible que haya movimiento sin fuerza, sólo que necesitaríamos ¿que? eliminar las fuerzas que se oponen a ese movimiento que en ese caso sería ¿qué fuerza?

Estudiante: ¿magnética?

La de fricción, la fuerza de fricción. muy bien, muy bien, ya tenemos la primera ley recordadita, vamos a recordar la segunda, porque hoy hay continuidad a este tema,

entonces yo necesito refrescar lo que se hizo. En que decía la segunda ley o que hicimos para esa. Aquí, a ver ¿Cómo es su nombre?

Estudiante: Julian

Cuéntenos ¿Cómo fue que se habló de la segunda ley? ¿Cómo se llamó?

Estudiante: hablamos de la fuerza

No, pero ¿cómo se llamó la ley?, Yolanda, Alberto ¿qué? ¿Sobre qué centramos exactamente la segunda ley? ¿Usted se acuerda lo que hicimos?

Estudiante: con el carrito y diferentes cauchos

Sí, pero ¿qué hicimos? léame aquí ¿Qué fue lo que hicimos?

Estudiante: Colocamos unas ligas

Unas ligas, correcto

Estudiante: con un carro la presionamos

Con un carro. Muy bien ¿Y qué fue pasando?

Estudiante: colocamos mas ligas y su aceleración fue creciendo

Su aceleración. O sea, que lo que descubrimos es que la fuerza ¿era qué? directamente

Estudiante: proporcional

Proporcional ¿a qué? a la aceleración ¿no? La aceleración es directamente proporcional a la fuerza o la fuerza es directamente proporcional a la aceleración.

Bien, pero antes de eso habíamos hecho otra cosa, con el carrito. ¿Qué es lo que hicimos? O hicimos otra cosa no sé si va primero o después, ¿Qué más hicimos? ¿Ah?

Estudiante: le pusimos peso

Le pusimos peso adicional, masa adicional a ese carro ¿Y qué hice yo? pase por todos los puestos ¿qué? ¿arrastrando qué?

Estudiante: cuadernos

Todos esos cuadernos gruesos, cogí todos esos cuadernos gruesos y lo fuimos poniendo al carro y nos dimos cuenta que cuando la masa aumentaba ¿Qué le pasaba a la aceleración?

Estudiante: disminuís

La aceleración disminuía, y escribimos esa doble observación diciendo entonces que la aceleración es igual a la fuerza sobre la masa y aquí está claro lo que estamos diciendo, y es que la aceleración es directamente proporcional a la fuerza e inversamente proporcional a la masa. ¿Lo recuerdan todos? ¿Listo?, bien, hubo una tercera ley ¿cierto? ¿Qué hicimos en esa tercera ley?

Estudiante: fue la de acción reacción

Fue la de acción y reacción, pero, ¿Qué hicimos para poderla observar así como rápidamente? ¿Ah? Déjemelo a él a ver si es capaz de recordar ¿A ver, qué fue lo que hicimos? espere a ver si recuerda porque si no recuerda no estaba en la clase, estaba haciendo otra cosa.

Estudiante: Corrimos un puesto ¿Algo así?

¿Corrimos un puesto?, eso ¿No?, ¿Esta mesa?, no, se le olvidó. Ahorita se va acordar, póngale cuidado cuando se lo diga. ¿Qué fue lo que hicimos para la ley de acción y reacción?

Estudiante: Con el dinamómetro, aplicamos una fuerza a cada costado y se notaba que en el otro costado pues había la misma fuerza

Esa, ¿Se acordó?, si claro. Dos compañeros trabajaron aquí cerca a ustedes, uno cogió un dinamómetro uno hizo fuerza hacia la derecha y el otro hacia la izquierda, fuimos y verificamos cuanto había marcado cada dinamómetro y ¿Cuánto marcó?

Estudiante: lo mismo

Lo mismo y entonces nos dimos cuenta que la ley de acción y reacción era real, siempre que yo tengo una acción debo ir a buscar una reacción y eso lo cumplimos diciendo una frase muy bonita, ¿cuál fue?

Estudiante: siempre que hay una fuerza tiene que haber otra

Eso nunca existen las fuerzas ¿Qué?

Estudiante: solas

¡Solos! Si tu encuentras una acción, busca la reacción porque allá debe estar. ¿Estamos?, bien, creo que no hicimos nada más, hablé un poquito por allá de las fuerzas, de los cuatro tipos de fuerzas, y dijimos que una de esas fuerzas era de ¿de qué? ¿ustedes iban a trabajar en qué? ¿en qué sitio?

Estudiante: en el meso

Eso, ustedes los Ingenieros siempre van a trabajar en el meso mundo y que los científicos, los químicos, los físicos, los biólogos, todos los que se dedican a ciencias puras trabajan, unos en el macro mundo y otros en el micro mundo y ellos lo que hacen es surtir a los ingenieros para que los Ingenieros cojan esas creaciones teóricas y experimentales que hacen los científicos, para que ustedes las apliquen y se llenen de plata y los científicos entonces, les dan la medallita que dice qué ellos descubrieron esto, bueno, a veces también algo se ganan y van por el mundo. Pero lo más importante de todo eso es que producen algo en beneficio de la humanidad ¿está claro? y de eso se trata, que siempre que uno vaya a producir algo, se vaya pensando en qué eso que produce, vaya en beneficio social, cultural. ¿Está claro? ¿Bien?, vamos para hoy qué es lo que vamos a hacer.

Entonces ya están las tres leyes: Esta la llamamos ley de acción y reacción, hasta aquí vamos. Y bueno, las cuatro fuerzas que hablábamos ¿Qué fueron cuáles?

Estudiante: Gravitacional

Ley de Gravitación, electromagnética

Estudiante: fuerte y débil.

Fuerte y débil, este las dijo todas, muy bien. Vamos hoy a tomar notas, se la pasa copiando, pero bien, se la pasa copiando y la tiene fresca, bueno, vamos a tomar notas, en primer lugar hoy lo que yo quiero hacer es hablar un poquito de las unidades de esas magnitudes que trabajamos, es decir, hablar un poquito de las unidades de la fuerza, de las unidades de masa y de las unidades de aceleración, así que vamos a hablar de unidades antes de la parte gruesita que hay hoy, que está allí en el pupitre, tenemos los elementos con los que vamos a hacer el talleresito de hoy para acompañar estas charlas, con eso sabemos.

Bien, en las unidades de masa internacionales que se operan en todas partes, creo que todos sabemos cuál es.

Estudiante: kilogramo

El Kilogramo, hay otras unidades de masa, pero como les digo, estas unidades no van, no son muy utilizadas, así que tenemos que regirnos por el kilogramo. La unidad de fuerza que vamos a trabajar, que se trabaja siempre es Newton, este Newton, es lo mismo que decir un kilogramo por 1 metro sobre segundo al cuadrado, por eso, kilogramo por metro sobre el segundo cuadrado, cada vez que lo encontramos lo reemplazaremos por la letra N de newton, en honor a esa unidad, a Isaac Newton, pues no faltaba más que la física se hubiese pasado por encima de esto, entonces la unidad de fuerza de aquí en adelante será de Newton.

Los ingenieros trabajan con una unidad, perdón

Estudiante: pero eso se aplica es a la , a cuando cuando la masa es constante ¿cierto?, porque hay otra.

Mire lo que pasa es que los ingenieros trabajan con una unidad, que es el kilogramo fuerza y esa unidad de kilogramo fuerza, tienen que reducirla o sea un kilogramo fuerza hay que multiplicarlo por 9.8, para que le dé en Newton, ahora bien, cuando la masa no es constante, estamos trabajando una cosa que se llama teoría de la relatividad, es el único sitio en donde ustedes como ingenieros no tendrían la masa constante, pero para eso tendrían que estar trabajando por allá en el macro mundo. ¿Cierto?, entonces si allá habría que trabajar en la teoría, que ya no es la teoría de Newton, sino la de Einstein. Yo no le creo que aquí lo lean pero como les dije, les dije quiénes eran los responsables de cada una de esas mecánicas ¿No?, la mecánica Einsteiniana, la mecánica Newtoniana y la mecánica cuántica, o sea en el mundo micro.

Y la unidad de aceleración pues supuestamente nosotros aquí no vemos la aceleración todavía porque en esta universidad primero se ven las leyes de newton y luego se ven las leyes de movimiento como tal en cinemática, pero debo darles las unidades y decirles que estas unidades son de metro por segundo cuadrado o sobre segundo al cuadrado, como quieran; y ahí están las tres unidades que requerimos para cuando vayamos a resolver problemas ideales de los textos.

Bien, me paso a Romano tres, Romano tres hace referencia hoy a cuáles son las fuerzas que ustedes van a utilizar en este curso, las que vamos a utilizar. O sea de aquí no se va a salir esto porque no es que sean las únicas fuerzas, hay más pero las

otras que existen se van a trabajar en la física de su micromundo, están en electromagnetismo, siguiente curso que van a tomar algunos; algunos tomaran ondas dependiendo su carrera, otros tomaran electromagnetismo allá verán las otras fuerzas, aquí vamos a dar las fuerzas completamente mecánicas y ellas son, para irnos en orden, entonces, el peso, la tensión o las tensiones como quieran, será una, la fuerza de reacción al apoyo y la mayoría de los textos quiero decirles que la llama fuerza normal, pero yo personalmente por no muy amante de ese nombre, porque es que normales son todas, entonces pareciera ser que la gente pueda confundir el termino normal con que no tiene defectos, o que no tiene, entonces yo prefiero cambiarla, porque siempre que uno le pregunta a los estudiantes que entiende usted por normal, entonces como que no está claro que eso es, qué normal su sinónimo en matemática y física es perpendicularidad.

Entonces, de aquí en adelante si ustedes utilizan el termino normal o bien reacción al apoyo tendremos que estar pensando en que esa fuerza normal o de reacción al apoyo, siempre va a estar a 90 grados de la superficie donde está apoyándose, siempre. Ya lo vamos a ver ahorita, por ahora esta fuerza de reacción al apoyo la vamos a anotar con la letra N, es un vector, el peso con la letra W, ponemos una línea la tensión con una T mayúscula y su vectorial encima, todas son vectores por que las fuerzas son vectores y nos quedaría faltando la fuerza de fricción, que también se le conoce con el nombre de rozamiento, finalmente los libros hablan más de fricción que de rozamiento y ellas son la f_s vector y la f_k vector, ahora vamos a mirarlas una a una estas fuerzas y la manera de llevarlas a la práctica.

Bien, para poder desenrollar un poquito este caso, estos tipos de fuerzas, las cuatro fuerzas que vamos a trabajar, entonces vamos hacer un romano 4 que nos va a decir aquí como representamos esas fuerzas. En los libros a esta representación gráfica le llaman diagramas de cuerpo libre, entonces coloque, son los mismos diagramas de cuerpo libre y vamos a ver como se dibujan, como se representan esas fuerzas porque nos van a ayudar mucho a comprender los problemas que vamos hacer y los ejercicios que vamos hacer, nos va ayudar mucho saber representar fuerzas, vamos a empezar con el peso. Entonces vamos a representar el peso, el peso es muy sencillo de observarlo, porque el peso se define como la fuerza que hace la gravedad sobre todo en los cuerpos, si yo retiro este cuerpo de aquí, lo traslado, cuando yo venga en un rato, ese cuerpo denominado péndulo, cuando yo venga el estará en una posición de

equilibrio de donde lo saqué, el solo volverá a ir, la tendencia entonces de la tierra es hacer fuerza sobre los cuerpos en dirección radial hacia el centro de la tierra, se dice que si yo soltara este cuerpo y el pudiera penetrar la tierra, necesariamente debería ir al centro de la tierra, necesariamente, porque la fuerza de gravitación es de carácter central y radial hacía el centro de la tierra ¿están comprendiendo ese concepto?. ¿Sí o sí?

Estudiante: Sí

Bien. Si abriéramos un túnel a través de la tierra que pasara por el centro, pues sería como más interesante, de seguro, lanzarse a ese túnel y poder pasar por el centro de la tierra y darse cuenta que la fuerza que va a sentir usted nunca va a ser lateral, sino que siempre va a ser a lo largo de ese túnel que abrimos por ese centro de la tierra para pasar por ese punto cero, entonces sería interesante que no vayamos a perder de vista eso y es la razón, esto de que la tierra siempre hala los cuerpos hacia su centro, es la razón para que siempre gravitemos teniendo el peso hacia abajo no hacia el lado porque no lo hace la tierra así, ni hacia este costado, ni hacia arriba, ni a 10 grados no, siempre hacia abajo. No importa en qué posición este el cuerpo ni donde se encuentre, el peso siempre se dibuja hacia abajo ¿Lo han entendido?

Vamos a dibujarlo así de acuerdo a lo que hemos pensado de este cuerpo y vamos a dibujar el peso entonces de cualquiera de estos cuerpos que están aquí, por ejemplo este block, entonces consideremos que este bloquesito que he traído para hacer ahorita un tallercito con ustedes, es un bloquesito que de una vez lo pueden ir mirando, por aquí es madera, por aquí es pana, por aquí es corcho y por aquí es lija, o sea tiene 4 superficies distintas, y ese bloquesito lo voy a colocar sobre esta mesa. Cuando yo coloco ese bloquesito sobre esta mesa, yo tengo toda la libertad de dibujarlo, bueno primero dibujar en donde está apoyado por que si no está apoyado, está en el aire o está suspendido, serían dos formas de obtener ese cuerpo, ¿no? O bien está en el aire o bien está suspendido, no tiene más, o va por el aire o está suspendido. Entonces yo voy a dibujar ese cuerpo, el bloquesito, aquí lo tienen, está aquí, de masa m , él tiene una masa m y yo debo dibujar o representar esa fuerza, la fuerza del peso, la voy a representar. Ahí está, es ese el peso y siempre hacia abajo, vamos a suponer que este bloquesito me lo entregan en esta posición, a esto se le conoce con el nombre de plano Inclinado, pues si este es un plano horizontal y este es un plano inclinado, pues sí, no?, se inclinó.

Si ustedes lo vieran yo también puedo dibujar ese bloquesito en esa regla y lo voy hacer, ahí está la regla que utilicé, aquí está el bloquesito de masa m , y yo lo que quiero es dibujar el vector peso, miren la posición bien distinta de este caso al anterior, voy a dibujar el peso, busco un punto central del cuerpo y dibujo el peso, hacia abajo, no me interesa entonces en qué posición esta ese cuerpo, sino que realmente el dibujo del peso hacia abajo. ¿Está claro? Bien, entonces ya sabemos dibujar el vector peso, yo puedo medir ese peso, entonces el peso se puede medir y lo vamos hacer. Yo recuerdo que, una de las ideas previas se les pidió que dibujaran un dinamómetro, por ahí tengo las ideas previas y algún día yo se las mostraré, porque ustedes habrán de cambiar esas ideas que tenían de lo que es un dinamómetro, entonces y además para que se usaban, ustedes pueden ver es un resorte, sencillamente es un resorte con una escala que ha sido calibrada en un taller y entonces me entregan aquí la escala en gramos y en newtons, como les decía nuestra escala siempre es en newton.

¿Me hace un favor? va a pesar ese bloquecito y nos cuenta cuánto pesa el bloque que, fíjense una cosa, yo no traje una balanza, como ustedes me lo dijeron y el peso, que capturaban los captaban por medio de una balanza, no es cierto yo no traje una balanza, ¿qué traje? un dinamómetro, o sea que ya sabemos cuál es la unidad de la fuerza y con que se miden las fuerzas, se miden con un dinamómetro, el caballero nos va a decir cuál es ese peso y yo lo voy a anotar en el tablero de una vez, porque si conocemos el dato no debemos perder la oportunidad, vamos a decir cuánto pesa ese bloque.

Estudiante: no veo

No se ría porque si yo lo pongo a usted

Estudiante: le puede pasar lo mismo

Exacto, bien, entonces tiene, tiene cinco divisioncitas, haber les explico a ustedes, aquí está el cero y tiene 1, 2, 3, 4, 5, aquí está el uno y la flecha el marcador está aquí para que todos participemos ahí está el marcador, ¿cierto?. O sea que entre cero y uno ¿cuánto vale cada divisioncita de esas?

Estudiante: 2 no, 0,2

02, es decir si esto es 02, ¿aquí estamos en cuánto? En 08 Newtons, muy bien, muchas gracias, 0.8 newton, eso es lo que mide este bloquecito, pero además yo puedo hacer una cosa ¿yo puedo medir el peso con un aparato o puedo calcular el

peso?, son dos cosas distintas, lo puedo medir o lo puedo calcular, entonces hemos hecho el trabajo aquí, medir pesos, pero yo lo puedo también ¿qué?, calcular.

Y entonces por primera vez acudo a las leyes de newton, y digo: ah, con las leyes de newton yo puedo decir que la fuerza es igual a la masa por la aceleración, claro eso es lo que yo puedo decir, porque eso lo saco de la segunda ley, lo saco de la segunda ley, estoy utilizando la segunda ley en este instante. Y eso fue lo que nos pidió newton, ahí les dejo esas tres leyes, utilícenlas para que le expliquen al mundo cada vez que la necesiten pero, háganlo bien, mejor dicho no coja la primera cuando debe utilizar la segunda y no coja la tercera cuando debe utilizar la primera o sea que lo que tenemos que aprender es cuando diablos debo utilizar cada una de las leyes ¿está claro?, bien.

Listo, esto ya me sobra y vamos a mirar entonces como calculo el peso, la fuerza que hay de aquí hacia abajo, esta fuerza ya no es cualquier fuerza, la conozco ¿quién es?, el peso, listo, lo que estoy haciendo es cambiando simplemente la letra que representa el tipo de fuerza que estoy utilizando en este caso es el peso, la masa sigue siendo la masa pero esta aceleración ya no es cualquier aceleración ¿cuál es?

Estudiante: la gravedad

La gravedad, esta aceleración no es cualquier aceleración, es la gravedad y entonces tengo una definición matemática para calcular el peso, el peso se calcula con masa por gravedad. ¿Qué necesitaría conocer? la masa. La gravedad universalmente sobre la tierra se maneja con 9.86, cierto, no es que sea la misma en todos los sitios de la tierra, pero en general se ha tomado como una constante para cualquier sitio de la tierra. Entonces aquí lo tienen donde entonces esta gravedad equivale a 9.86 metros sobre segundo al cuadrado y eso es una definición para todo el planeta tierra, para todos los terrícolas que queramos hacer ese cálculo o que querramos utilizar la gravedad, la aceleración de la gravedad.

Listo, este es el peso, acabo de decir que la gravedad no es la misma en todos los sitios de la tierra, por esa razón el peso de un cuerpo, ¿qué le pasa?

Estudiante: ¿Varia?

Ah, si ya no es la misma, entonces al peso ¿qué le pasa?

Estudiante: ¿Varia?

¡Varia!, el peso de un cuerpo cambia de un sitio a otro y esa gravedad, para ser más claros, le sucede lo siguiente: si esta es la tierra ¿cierto?, bueno, nosotros sabemos que la tierra no es así, esto es una historia mal contada. Que lo hacemos así de carrera para no dibujar el Everest, para no dibujar el océano atlántico, para no dibujar otras cordilleras, para no dibujar otras lagunas, océanos y todo lo que haya, porque la tierra realmente es bien distinta a una esfera. Bien distinta a una esfera, nada que ver. Incluso los océanos, eso no está aquí en la superficie, ustedes saben que esos tienen allá en la también eso es más o menos, allá está el océano con sus recobecos. Pero bueno, la idea es que si este es el centro de la tierra y yo estoy aquí en este sitio, puedo levantarme, irme de la tierra, y en la medida que me voy alejando de este centro de la tierra a medida que me voy alejando de la superficie, voy perdiendo gravedad. Pero qué pasará si yo ahora abro el túnel y comienzo a perforar y a irme al centro de la tierra, ¿qué pasara con esa gravedad?.

Estudiante: aumentaría

¿Por qué aumentaría?

Estudiante: pues porque estoy más cerca

O sea que yo llego al centro de la tierra y peso por lo menos tonelada y media o ¿qué? ¿Cómo sería la cosa? ¿cuál sería la lógica ahí?, miren, vayan mirando, vamos a suponer que llegamos al centro de la tierra, entonces lancemos nuestra circunferencia y entonces ahora, ¿qué cantidad de masa terrestre me está jalando hacia el centro? ¿más o menos?, menor, si yo llego aquí, entonces miren la tierra ahora como es para mí, miren, si yo llego hasta aquí esta sería mi tierra, y miren la masa que está atrayendo hacia el centro, ¿qué es lo que debe ocurrir realmente?

Estudiante: Disminuir

Que disminuya, ¿Cuándo yo llego al centro de la tierra cuánto pesaría?, teóricamente cero. O sea que la aceleración de la gravedad disminuye cuando me alejo de la superficie y cuando me acerco al centro de la tierra.

Estudiante: Porque la línea del ecuador tiene una variación de gravedad también en cuanto al peso.

¿Por qué?

Estudiante: Hay una parte en Ecuador, que es por donde pasa la línea del Ecuador y ahí tienen unas cosas que para pesarse uno y dicen que por eso, o sea que por x cosa que pasa en la línea, la gravedad es menor y se supone que uno pesa menos ahí como un kilo menos si no estoy mal o algo, o menos de pronto pero si varia.

Bueno. Miren, cuando yo hablo de la línea ecuatorial, la línea ecuatorial primero no pasa por ahí por donde nos dicen, esa no pasa por ahí.

Estudiante: ¿No pasa por Ecuador?

Sí, por Ecuador sí, pero no por ahí, eso es para ir a tomarse fotos, eso es un negocio, yo he estado allá, yo he hecho, yo llevé mi péndulo, yo hice mis cálculos de gravedad y no es tal cosa eso es pura carreta, además porque cuando uno está allá y se habla con los geógrafos ecuatorianos que le dicen la verdad a uno y dicen, no eso está aquí a ciento doce de kilómetros de aquí, en un sitio que no es accesible para la gente, entonces ¿qué hizo Ecuador? se inventó este sitio y entonces la gente va y se toma una foto y dice que estuvo en la mitad del mundo. Pero para contestar a su pregunta

Estudiante: jajaja, no pero bie, si, realismo muchachos realismo

Para contestar a su pregunta, no es eso lo que me da el valor de la gravedad, la línea ecuatorial se supone que es el máximo valor de la circunferencia terrestre que está ahí pasando por Ecuador, pero no es solamente en Ecuador, es en toda esa circunferencia, en el mundo entero. Entonces no sería solamente en Ecuador sino en miles de sitios, millones de sitios alrededor de esa cinta, ¿no? Pero no es eso lo que define, realmente lo que define es que si yo me alejo de esta superficie y yo voy al everest o a algún sitio aquí, por ejemplo si estamos en Bogotá para hablar más cerca, estaremos aquí a 2640 metros más cerca de las estrellas, como decía una propaganda, lo que estamos es, lo que hemos hecho de la costa atlántica hasta aquí es levantar realmente todos estos 2640 metros, poco a poco los hemos venido levantando, hasta que llegamos aquí a la capital de la república. Pero lo que me dice es, a que altura estoy sobre ese nivel del mar, sobre esa superficie terrestre, eso lo que considero es el nivel del mar y sobre eso se mide la aceleración de la gravedad. Entonces no es si estoy en Ecuador o si estoy en la línea del Ecuador pero estoy en una montaña gigantesca, a tres mil, cuatro mil metros de altura, pues claro la gravedad es menor que si estoy al nivel de mar. Pero fíjese usted que uno va a fijarse en eso y

no podría ser allá donde está la mayor gravedad del planeta, o la menor, bueno espero que hayamos podido aclarar una pequeña duda ahí y vamos a continuar.

Bien, entonces el peso lo importante es que si cambia de un sitio a otro, ¿qué es lo que no me cambia?

Estudiante: ¿La masa?

La masa, la masa es mi masa, claro que alguien que quiera tejer fino le diría, no, no, no espere un momentico, si usted suda está perdiendo masa porque el sudor se evapora y entonces está perdiendo masa, sí pero tendríamos que ir a la balanza así como el ala de la mosca que hablamos alguna vez, el primer día ¿se acuerdan?, que hablábamos de la masa de la mosca, eso necesitaríamos una balanza que fuera ¿Qué?

Estudiante: muy sensible

Muy sensible, sí señor. Que fuera muy sensible y no, no, no, no es eso tampoco lo que vamos a hacer aquí, bien, entonces lo que si vamos a decir es que el peso cambia pero la masa se mantiene constante, quitándole todos esos elementos que les estoy diciendo, vamos a mantener siempre la masa constante, bien, entonces ya tenemos el peso y masa en esta relación que tengo yo aquí.

Vamos a hablar ahora de otra fuerza que es la tensión, mi segunda fuerza que voy a hablar ya no es el peso, voy a borrar, voy a poner el 12 aquí y va a ser la tensión. Vamos a ver que es una tensión fuera saber que es una fuerza que la vamos a poder medir, entonces vamos a ver que es la tensión, para eso les pido el favor aquí a 2 estudiantes que me colaboren. Uno de ustedes dos va a sostener aquí, necesito un esfero, eso, la idea es la siguiente, este es un aviso, este es un semáforo, esto es una lámpara ¿y saben una cosa? esos son los problemas que están en los libros. Un lámpara está suspendida en el techo no sé qué si sé cuándo, forman dos cuerdas no sé qué si se cuándo. Halle el peso de la lámpara. Si porque ya sabemos que el peso lo podemos calcular, ¿vale?

Como yo sé que usted se va a cansar, más que aquí está apoyado. Yo sé que usted se va a cansar, yo lo que quiero pedirles es un favor, el tiempo es limitado y lo que quiero dar es oportunidad. Necesitamos medir con urgencia, pero con mucha urgencia, esa tensión. Mírenla, está tensión, que está tensionada la cuerda se lo puedo mostrar, mírenla ¿si la ven?, hace exactamente como la cuerda de una guitarra;

véanlo, véanlo, luego está tensionada ¿Sí o no?, necesitamos medir tensión 1 y tensión 2, el que me diga cómo puedo medir esas tensiones le doy un bono. Usted me lo dice, mida estas versiones así de este tamaño, mídalas así, a ver, háganle, muestre yo le tengo para que pueda participar, ustedes también, necesitamos medir ¡Ingenieros!, necesitamos medir esta tensión ¿Cómo la medimos? ¿Con qué la medimos? ¿Con qué se miden las fuerzas?

Estudiante: con un dinamómetro

Ahora quien viene y me dice tome, mídalo así. ¿Cómo las mediría usted?

Estudiante: pues sencillo, reparto la cuerda y pongo el dinamómetro en el punto de pivote y ya

Ah, ¿usted me está pidiendo que yo rompa mi cuerda? Si, como no

Estudiante: o coloca un dinamómetro acá, no se

¿Cómo así? ¿Se corrió?, me está diciendo cómo hacerlo

Estudiante: ya le dije, me presta un bisturí y le muestro.

Yo se lo presto me dice y yo se lo presto. Pregúntese a ver ¿Seguro que será así? Pero dígalo. Si quiere arriesgar, arriesgue. Usted pone este dinamómetro aquí. ¿Así me está diciendo ¿no?

Estudiante: Sí, así.

Si, si, pues caro, agarra la cuerda y lo pone usted ahí ¿qué va a medir? ¿Qué le mide ahí?

Estudiante: El peso de la varilla, o sea el peso de la varilla me da la tensión no?

Y este hombre está, está más caliente que el agua de una olla express, este hombre está a 160 grados ahí.

Estudiante: ahí me merezco el bono

No, no se lo merece porque tiene que decírmelo completo. A ver, a la una, a las dos ¿Nadie? ¿Nada?

Estudiante: pues como fuerza igual a masa por aceleración

No, es que no la vamos a calcular, usted me está hablando de un cálculo y yo le estoy hablando de una dimensión.

Estudiante: ¿el peso de la varilla no?

No, lo que vamos a hallar es el peso de la varilla eso si lo vamos a hallar.

Estudiante: Por eso, o sea lo que nos muestra ahí es el peso de la varilla, la tensión es el peso de la varilla.

No, si tranquilo, yo les estoy entendiendo. Yo puedo poner aquí bueno, esto no me sirve usted porque se pasó, mire, pero bueno, sí, usted hallaría el peso de la varilla, pero es que de eso no estamos interesados, no es en medir el peso sino en calcularlo, a través de las tensiones de las cuerdas que eso es lo que queremos.

Estudiante: Si un extremo, estirarlo hacia la otra punta de la varilla ¿no?

¿La tensión hacia dónde está dirigida?

Estudiante: Hacia abajo.

¿La tensión?, ¿Hacia dónde está?

Estudiante: Hacia arriba

¿Pero en qué dirección?

Estudiante: Perpendicular.

¿En la dirección de qué?

Estudiante: del dedo

De la cuerda, bueno sí, de este dedo, pero de este ¿no?. Si estamos de acuerdo, usted me mostró fue este dedo y estamos aquí por arriba. Pero llegamos al mismo punto, miren. Ustedes dicen en dirección de este dedo pero yo les digo bueno, cómo lo vamos a medir, ¿nadie?, entonces lo vamos a medir.

Bueno, yo lo que quiero es que ustedes me entiendan, primero, aquí hay una fuerza y todas las fuerzas que estén a lo largo de cuerdas, de cables, de varillas, se les llama tensiones y yo lo que voy a hacer es medir esta tensión y esas. Voy a dejar el problema planteado por hoy y después lo vamos a resolver matemáticamente, este problema ¿ok? listo. Pero ahora sí, díganme ¿amigos?, digamos, voy a contarles como se hacía, usted llegó a la mitad, quieto ahí

Estudiante: medio punto

Si yo quiero medir una tensión tengo que introducir la medición a lo largo de esa tensión y si no como las voy a medir. ¿Me están comprendiendo?, meto el medidor como si fuera otro pedazo de cuerda.

Estudiante: lo que yo le dije

Si lo que usted me dijo, veinte testigos que saben que eso no es lo que usted quiso decir, listo y aquí lo que hacemos es un buclesito así todos sabemos que es el bucle, listo, listo, ahí está. Acomodamos este para acá, lo que se hizo y hacemos lo propio con el dinamómetro, entonces hacemos esto y vamos a colocar este aquí y lo amarramos igualito, a otro lado. Siga ahí haciendo fuerza, ¿qué pasó?, listo, suéltela, suéltela, ¿qué tal?, ¿qué tal?, mire la medida de este, mire la medida de este, ambos están midiendo, qué chévere cuando yo soy capaz de ser creativo para buscar métodos de medición, esto es muy importante, ah y se van a ir y yo quedo aquí solo

Estudiante: profe, si hubiéramos puesto el dinamómetro aquí

Eso fue lo que hicimos ya

Estudiante: Si pero solo uno

Pues eso va a ser muy fácil, si usted tiene razón de que yo puedo dividir entre dos, tome, dele la medida a este, en Newton, dele la escala en Newton.

Estudiante: 3.4

Estudiante: 3.2

Estudiante: Están descalibrados.

Ah, están descalibrados, esos son los ingenieros que necesitamos para que se nos caigan todos los edificios.

Estudiante: No está tan mal.

Sí, tranquilo, no está tan mal, 3.2 y 3.4 es casi lo mismo, sí en toneladas es lo mismo, como no. Venga porque no hemos medido no hemos hecho nada, ahora si tome su esfero ahí. Ustedes va a hacer este gráfico, este grafico lo van a hacer porque después vamos a hacer el problema. Entonces hagamos el grafico, el gráfico fácil quedó así. Aquí está la varilla, nuestra misión es calcular el peso, calcularlo, este peso; y nos van a dar dos ayudas fundamentales este ángulo, este ángulo, esta tensión 1 y esta tensión 2, de una vez les estoy diciendo como se grafican las tensiones, ahí está, ya

expliqué cómo se hacían los diagramas de cuerpo libre del solo peso, ahora estoy incluyendo una fuerza más que es la tensión entonces estoy haciendo diagrama de cuerpo libre del peso más dos tensiones que hay ahí ¿Está claro?, eso, ya saben. Como ustedes necesitan el Angulo α_1 y el α_2 , se los vamos a dar. Yo no me meto, si todo sale mal, es culpa de sus compañeros. Mida aquí el ángulo de, denos el valor de α_2 y yo se lo escribo aquí:

Me tocó ir a comprar transportador porque, no les pedí, tengo como 200 transportadores en mi casa y cada vez se me olvidan y me toca ir a comprar uno, miren a ver

Estudiante: 45°

Yo no se, $\alpha_2 = 45^\circ$

α_1 , están escribiendo por favor, están escribiendo. ¿Ya escribieron las tensiones o se las volvemos a dictar?

Estudiante: 3,4 y 3,2

Esta midiendo 3.4, osea tensión 2= 3.4 newtons. Y esta

Estudiante: 3.4

¿Ahora se igualó?, bueno, eso dicen ellos, tensión 1 = 3.4

estudiante: $\alpha_1 = 70^\circ$

¿Cuánto? ¿70 grados?, pero por qué se van a caer los edificios, yo no me equivoqué sino de 45 a 70.

Estudiante: no, 70

Bueno α_1 : 75, bueno, bien. ¿ya está cansado?, solo un ratico más.

Estudiante: ¿y el otro?

¿Cuál otro? ¿Qué busca?

Estudiante: Mi esfero.

Ah, su esfero bueno, pero déjeme mi transportador aquí. El si pide lo de él pero lo mío si no

Estudiante: profe pero no dice que tiene 200

¿Está claro lo que estamos haciendo aquí? dos cosas. Primero, aprendiendo a graficar fuerzas en un sistema, esto es un sistema y ya les dije, esto es un semáforo, una lámpara, un aviso, no sé, qué se yo. Pero esto es lo que se hace en la vida cotidiana. Entonces miremos esto, la pregunta ahí es ¿cuánto pesa la varilla? ¿cuál es el peso de la varilla? , no vamos a resolver el problema, ahorita no estamos haciendo problemas. Pero si ustedes lo miran, los problemas salen de la vida cotidiana. Los problemas no son inventados por alguien en un escritorio, salen de la vida cotidiana, que después se inventen 30 iguales cambiándoles los datos eso es otra historia, pero los problemas son eso. Siempre es una tabla y la tabla se la cambio por una varilla, la varilla se la cambian por una tablita con un mico que va caminando aquí con un racimo de plátanos, todos esos problemas son los mismos, pero con diferentes figuritas. Y a ustedes les ponen el mico y ya no pudieron, no, eso hay que cambiarlo, eso se va a poder hacer.

Ay, si yo lograra que ustedes hayan entendido como se grafican las tensiones, chévere. Porque aquí está la tensión a lo largo de la piola. La tensión es la reacción al peso, es casi que la reacción al peso, porque si está el peso hacia abajo debe haber una fuerza hacia ¿dónde?, hacia arriba en alguna dirección hacia arriba. Bueno, muy bien, podríamos ir pensando ya en descomponer estas fuerzas, pero no, lo vamos a dejar ahí para cuando hagamos problemas, que será el problema a resolver el día viernes precisamente. Bien, vamos a dejarlo ahí porque yo estoy hablando es de las fuerzas. Entonces ya hablamos de dos tipos de fuerza ¿Cuáles?

Estudiante: peso y tensión

Peso y tensión, voy a hablar de la tercera fuerza, la ¿qué?, ¿la fuerza qué? la reacción al apoyo. Bien, entonces mi tercera fuerza es: Reacción al apoyo. Pues bien, la reacción al apoyo es ni más ni menos que una aplicación de una de las leyes de newton ¿de cuál?

Estudiante: de la tercera

De la tercera, ¿que dice la tercera?

Estudiante: que toda fuerza debe tener una

Que a toda acción se opone una reacción. Veamos, no vayamos tan lejos, si yo hubiese dejado este dibujo así para mostrárselo al mundo entero, se habrían reído de este profesor, porque si yo pinto una fuerza ¿que debo buscar? la otra y la otra debe

ir de sentido contrario; la tengo que dibujar así y tiene que ser de igual magnitud pero de sentidos contrarios. Por eso aparece la normal, la normal aparece es para justificar la tercera ley de Newton, entonces no es que se la inventaron los físicos a los ingenieros, no es que había que colocarla para respetar la tercera ley. No se le olvide esa norma, si usted tiene una fuerza piense en la otra y tiene que responderla, una ayuda más en este punto, cada vez que tú vas a dibujar una fuerza, tienes que pensar y decir a que interacción obedece. Me explico, yo dibujé aquí primero el peso ¿por qué le dibujo el peso al bloquesito?, porque es una interacción entre la tierra y el bloquesito. Es la fuerza de atracción gravitacional, entonces mejor dicho usted no puede dibujar una fuerza que no sea capaz de explicar, mejor no la dibuje porque para que, si no la puede explicar para qué la dibuja, incluso si el problema me queda mal hecho, que me quede mal hecho, pero yo no puedo pero yo no puedo dibujar fuerza que no pueda explicar, entonces: el peso ¿A qué obedece?, a la interacción ¿entre qué? Siempre dijimos que para que haya una fuerza debe ser una interacción entre dos cuerpos. Entonces ¿entre quién?, el peso es la interacción entre el bloque y la tierra. El peso obedece a la interacción entre dos cuerpos, el peso es la interacción entre el bloque y ¿quién? la tierra. La normal ¿es la interacción entre quienes?

Estudiante: El bloque y la superficie

Entre el bloque y la superficie. Entonces la dibujo y completé mi tercera ley. Voy a dibujar la fuerza que falta aquí ¿hacia dónde la dibujo?

Estudiante: en diagonal

¿En diagonal así? ¿Sí? ¿Por qué, si acabamos de decir que debe ser ¿Cómo?

Estudiante: Perpendicular

Igual y en el sentido contrario. Entonces ¿por qué me la van a dibujar así?

Estudiante: Porque usted dijo que tiene que ser perpendicular a la superficie

¿Ah?, porque tiene que ser perpendicular ¿A quién? a la superficie en contacto, y la superficie en contacto es esta; mírela, pero entonces estamos violentando la tercera ley, que dice que debe ser igual y de sentido contrario, pregunto ¿la estamos violentando?.

Pero mire no me quedo igual y de sentido contrario, pues si, pues si, no la estamos violentando pero ¿por qué? ¿Quién me lo dice? ¿Cómo hago para contestar esa pregunta? ¿Estamos violentando la segunda ley o no la estamos violentando?

Estudiante: no

Pero mire, si me dice que tiene que ser igual y de sentido contrario. Si, pues si, no la estamos violentando pero ¿porqué?, quien me lo dice, cómo hago para contestar esa pregunta, está violentando la tercera ley o no, cómo hago para decir no, no la está violentando

Estudiante: Porque tiene componentes

Dígalo caballero!

Estudiante: porque tiene una componente

Porque está normal tiene componentes, si señor, aquí tiene una componente y aquí tiene otra componente, sí señor ahí están las dos componentes, una componente horizontal y una componente ¿qué? vertical, entonces, ¿cuál es la que satisface la tercera ley? la normal don ¿Dónde? en Y. No es la normal sobre X no, ya hablamos de vectores, eso debe estar listo, entonces claro, esta normal en Y es la que hace que no se esté rompiendo la tercer ley ¿Está claro?, que chevere, si uno va entendiendo esto, todos estos conceptos, que le sirven para resolver problemas la cosa va a ser mucho más fácil. Listo, esto de aquí, hemos hecho ya un tratado sobre la normal. Voy a preguntar una cosa ¿Cómo hago el diagrama de cuerpo libre de este sistema? Aquí está la arepita esa y una bolita.

Estudiante: Peso y tensión.

Listo, peso y tensión, entonces, dibujemos el peso, peso hacia abajo y tensión hacia arriba ¿qué le faltaría?

Estudiante: nada

¿Y la normal?

Estudiante: No ahí no se ve normal

¿Por qué?

Estudiante: porqu no hay superficie y la tensión sería la contraria al peso

Porque cuerpo que no está ¿qué? apoyado, cuerpo que no esté apoyado, cuerpo que no tendrá normal. Este cuerpo está suspendido no apoyado y la fuerza se llama de reacción al apoyo ¿usted tiene normal en este momento en su cuerpo? Sí, peso y normal porque está apoyado, bien esta descripción es clara, cuerpos suspendidos no tienen normal.

Vamos a la cuarta fuerza, la cuarta fuerza y última de hoy, que son las que me dan todo lo que me falta, es la fuerza de fricción, la fricción, bien, vamos hacer lo siguiente, quiero que hagan una observación ustedes, espero que estén entendiendo la idea, sino me avisan. He colocado una cintilla aquí, un pedazo de cinta de enmascarar, mientras ustedes pensaban yo hacía mi ejercicio, y siempre voy a poner este bloque así, siempre lo voy a hacer así, entonces yo lo que quiero hacer es mirar en que momento este bloque se desprende, estoy cambiando la superficie. Fricción, miren ahí, miren ahí, voy a ponerle masa, ya puedo sacar todo esto, no lo necesito, observen una cosa, observen la escala del dinamo, a ver si la alcanzan a ver desde allá.

Este cosito que se mueve ¿Si lo ven? ¿lo ven? Listo, miren esto, miren, ahí está marcando pero el cuerpo no se está moviendo ¿Lo alcanzan a ver? está marcando, miren, miren, está marcando más, miren, miren, marca más y no se mueve, ya, se movió, no, más, todavía le pongo más fuerza y él no se mueve, mire debo dibujar una fuerza ¿hacia dónde? hacia acá y ¿qué dice la tercera? busque la otra ¿cierto? de para allá debe haber otra. Miren como aplico la tercera ley, la aplico es para explicar las cosas, no es para aprendermela de memoria sino para que yo pueda explicar lo que está pasando, miren, más todavía. Miren, miren, miren, miren; por fin movió, yo puedo seguirle colocando peso hasta que llegue el momento ¿En que qué? en que no se va a mover, le hago y le hago y no se mueve, ¿Dibujamos eso?, dibujémoslo, aquí está la superficie de contacto, aquí está el bloquesito ¿me hacen un favor? dibujan las fuerzas que están ahí, ¿primero que?

Estudiante: Peso, normal

Peso, ¿Cuál otra?, normal, correcto. Entonces, peso enseguida ¿qué? na normal (reacción al apoyo) ¿enseguida qué?

Estudiante: La fuerza

¿Qué fuerza?

Estudiante: la que sumercé hacía

La que yo hacía, sí, correcto. ¿A dónde? para allá ¿cierto? listo, ah, entonces la fuerza del sujeto F ahí está desequilibrada la tercera ley ¿Sí o no? está desequilibrada ¿Qué tengo que hacer? equilibrarla ya para atrás entonces ¿Qué hago? una fuerza ¿que se llama cómo? fuerza de fricción, listo, está equilibrado el sistema. He hecho el primer diagrama de fuerzas de cuerpo libre completo, no me falta nada, está equilibrado por x, está equilibrado por y, estoy respetando la tercera ley. ¿Qué característica tiene la fuerza de Fricción? ¿Qué característica tiene?

Estudiante: se opone al movimiento,

Se opone al movimiento, cuando a usted lo están llevándolo, halándolo así ¿usted que hace?, se pone así a ver si la fricción del piso lo ayuda para no dejarse llevar, ¿si o no?, usted lo que hace es una fuerza pero una fuerza hacia atrás la mas berraca para no dejarse llevar, ¿Cuándo usted frena su carro lo que hace la llanta contra el pavimento? , es una fuerza en sentido ¿qué? contrario. Usted espera que si se va a estrellar esa fuerza va a llegar grande grande grande porque si llega a ser chiquitica pues se estrella, por eso cuando usted pisa una cascara de plátano en la calle, chao, te vi en el suelo, ¿por qué?, por qué perdiste ¿Qué? ¿Qué fue lo que perdimos? fricción, perdimos fricción. Se disminuye la fricción y al suelo. Un ser humano no está acostumbrado a andar ni sobre el aceite, ni sobre cascaras de plátano, ni de naranja, ni de nada de esas cosas.

Bien, quiero avanzar un poquito más en estas fuerzas. Hay dos fuerzas de fricción, una que la llamamos estática que es esta, la fuerza que hemos hecho ahorita, que es la fuerza que se opone al cuerpo para no dejarse llevar, para no dejarse mover, entonces F_s la vamos a llamar fuerza de fricción estática y la segunda es F_k , de cinética. Esta es fuerza de fricción dinámica, o cinética la llaman otros. Bien, ¿Por qué? Porque diferente es que yo no me deje mover, que no me deje llevar porque hay buena fuerza estática, a que yo me deje llevar, cuando un cuerpo, cuando un carro frena ¿no? esa fricción es una fuerza que no es estática, es dinámica, tan dinámica que queda marcado todo el caucho que perdió en la fricción queda marcado en el piso, sobre eso es que la policía va y mide cuando hay un accidente, eso hay que ir a medir cuanto dejó, cuál fue la marca de la frenada y eso es muy importante porque nos va a decir cual velocidad llevaba aproximadamente ese sujeto, eso es muy importante, como quedó después de esa estrellada, y la dirección en que quedó es muy importante, y eso es mecánica y es lo que vamos a aprender a hacer.

Por eso las sentencias de tráfico no las dicta un abogado, jamás, el allá hace sentencia, sí, se le considera asesinato en segundo grado, ¿sí?, que usted tuvo la culpa, no un momentico que no, ya el juez sabe que si la tuvo, ¿Por qué? porque ellos contratan físicos, y los físicos son los que hacen los cálculos de accidentabilidad en esos casos. Que son los que determinan a qué velocidad iba usted, así usted haya dicho que iba a 40km los cálculos científicos dice que va a 75km, no puede decir mentiras porque la física no lo va a dejar. Como les parece, la fricción ahí cuenta para ganarse un premio, y harto, en carretera cuando hay muertos, 20, 15, 18 muertos, 20 heridos, eso cuesta mucho dinero, entonces hay que ir allá y tomar los croquis y esos croquis tiene que quedar muy bien levantados, por eso, si ustedes tienen un accidente alguna vez, lo primero que tienen que mirar es el croquis y verificar que como levantaron el croquis, el policía que atendió el caso, debe ese croquis coincidir con lo que usted está viendo y con lo que sucedió. Por eso a usted le pueden escribir si quedo a 1.20 metros cuando estaba a 3.50 y eso ya está grave porque entonces está la medición mal y el físico ¿qué hace?, coge esos datos y con esos datos los confunden, hay que saber de física para todas esas cosas.

Vamos a trabajar ahorita fricción estática, la fricción estática, tiene ecuaciones, yo quiero decirles lo siguiente, yo voy a dar las ecuaciones, pero solamente para una cosa, la fuerza de fricción estática se escribe como μ_s por M, esa es una ecuación que se saca de la experiencia, eso no es que alguien se la inventó, no, jamás. Y la fuerza de fricción dinámica o cinemática, como la quieran llamar, esta se calcula así: Lo único que cambia es la letra μ , μ_s , μ_k y se llaman esos coeficientes de fricción estática y coeficiente de fricción dinámico. Entonces μ_s es el coeficiente de fricción estático y el otro es, el μ_k es el coeficiente de fricción dinámica.

Este es el que hace que el cuerpo no se mueva cuando yo le estoy aplicando una fuerza, es el que se resiste, es el coeficiente, esa fuerza y entre más alto sea ese coeficiente más se va a resistir el cuerpo a que lo muevan, osea más voy a tirar del dinamómetro y el cuerpo no se me mueve, en cambio este, es al contrario, es el coeficiente que nos muestra que ese cuerpo se está moviendo, no estaba en reposo, es el coeficiente en función de movimiento entre dos superficies, por ejemplo esta, cuando usted hace así, háganlo. Ay del que no lo haga, le bajo un punto, quiubo!, a la 1, a las 2, a las 3, eso, pero duro, duro, duro, ¿qué hace uno con ese calor? ¿qué

hace uno con ese calor por las mañanas?, se calienta las orejas, la fricción dinámica produce ¿qué?

Estudiante: calor

Yo siempre le he dicho a mis estudiantes que todos los seres vivos tenemos un olor característico, mejor dicho, el mico huele a mico, no huele a gallina, las paloma huele a paloma, el perro huele a perro, el gato huele a gato y los seres humanos olemos a ser humano, si tú quieres saber a qué hueles cuál es tu aura olorosa, si tú quieres saber, por qué tienes 60 años como yo y no has conseguido novia, eso debe ser por algo. Y yo si lo descubrí, aproveché la fricción dinámica y una noche, esto es una porquería, pero si tú quieres saber a qué hueles, hazlo, esa noche llegué a mi habitación, me eché saliva en el brazo y luego me dijeron: frótese y huelo, eso lo produce la fricción dinámica. Ese calor combinado con tu saliva dicen que da el olor tuyo, que asco, ¿no lo han hecho?, apliquen la fricción dinámica esta noche, tiene dos cosas la fricción dinámica; primero se opone al movimiento y pero además es productora de calor, ¿chévere, no?, dos cosas interesantes.

Por eso es que los ingenieros luchan en todos los procesos de servomecanismos, en todos los trabajos de maquinaria, luchan por evitar la: fricción. Porque eso produce un desgaste, entonces ustedes los ingenieros andan mirando, a ver lubricantes, a ver esto a ver lo otro, a ver que coloquemos esto, que esta es mejor, que la otra que esta tiene una temperatura de ebullición más alta o más baja, la que tenga temperatura más alta me va a servir más que la otra porque si va a empezar a echar humo a los 10grados para qué me sirve, para nada, no me sirve que necesito que sirva hasta los 180 todavía no suceda eso, la calidad del lubricante, etc. Si, eso hacen los ingenieros, la fricción es brutal, si ustedes miran las carreras de fórmula uno o de carros cualquiera, la fricción es sumamente importante, pero importantísima, eso tiene unos cálculos que hace que la llanta justo tenga la fricción necesaria para que el carro no pierda velocidad, pero tampoco derrape en las curvas, está en el mínimo. Por un lado al máximo y por otro al mínimo, como lo quieran ver. Vayan en esos campeonatos de motociclismo ustedes ven que esos tipos tiemblan en esas motos y uno dice: uy, se va a matar, ¡que se van a matar! es más, se caen a esa velocidad y se paran, eso es todo, eso es todo. Esos tipos han creado una perfección de conocimiento de su máquina en cuanto a fricción, que es que no fallan en nada, para que se caiga es que

esta salado es impresionante y es pura fricción. Si quieren más ejemplos, es que de fricción todo lo que quieran.

Mi hija la llevaron hace unos días, es que tengo una hija, tampoco crean que soy tan salado, la llevaron del colegio allá donde unas monjas y hay una monja dice que es científica, y es interesante porque las sacan a eso de las 11 de la noche, todas con sus aparatos a tomar fotografías del firmamento y es interesantísimo porque ven unas cosas que la gente las llama estrellas fugaces, pero esas no son estrellas, si fueran estrellas, hace mucho hubiéramos desaparecido, imagínense si el sol es una estrella, un millón cien mil veces más grande que la tierra en tamaño y no soportamos ni la quemada, ni pa que hablamos, pero hablan de las estrellas fugases, la monjita les metió en la cabeza a las niñas que esas son estrellas fugaces y cual me he visto yo para meterle en la cabeza a la hija mía que ya tiene 12 años, o sea que yo la pueda convencer, que no es una estrella fugaz, sino que sencillamente es un meteorito y que los meteoritos cuando entran a la atmosfera entran en fricción con el aire, esa fricción los enciende, entonces esa fricción los quema y como los quema, crean esa colita que se ve de las famosas estrellas fugases, que son meteoritos que se queman en el aire. Ni siquiera llegan a la tierra, meteorito llegan más de un millón de meteoros a la tierra por año, pero el 95% de ellos se queda en la atmosfera porque se desaparece por fricción, se prende y se quema y no llegan a la tierra porque si llegara ay yayay, yo les cuento, de pronto van caminando y los mata un meteorito, esa sería una de las noticias, muerto por un meteorito, pero no, tranquilos, son muy pocos los que llegan, mañana no van a trabajar porque no es que me dijeron de los meteoritos, no, ¿Estamos de acuerdo ya con esto? sí hay cosas que podamos aplicar, no es para escribir en un cuaderno, mejor dicho, la ciencia no es información, no quiero venderles esa idea, la ciencia no es información, la ciencia es apropiación de ella para explicar el mundo. Si ustedes lo miran a titulo de información, pues vaya mírenlo y para qué vienen a clase, pero aquí lo que yo quiero vender es: apropiémonos de eso. Bien, voy a hablarles de las aplicaciones de las leyes de Newton.

Ya les he hablado de algunas, pero son muy generales, pero vamos a hablar de aplicaciones de esas leyes de newton. Aplicaciones de leyes de Newton: Ya les he hablado de algunas que son generales, pero vamos a hablar de algunas que son de orden universitario, que a veces las preguntan mucho, molestan con ellas, entonces vamos a hablar de ellas, aplicaciones de las leyes de Newton.

Bien, de la primera aplicación que voy hablar es de la polea, la polea, pero de la polea simple, porque eso poleas hay por cantidades, hay muchas pero eso ya es para su trabajo de ingeniería cuando avancen en sus carreras, allá les van a dar todo eso, pero aquí vamos a trabajar sobre esto. ¿Compañeros? ¿dónde están mis compañeros que me están ayudando ahora? ¿compañeros?

Explíqueles que es una polea. Pero hable, usted puede

Estudiante: pero yo no se

Yo tampoco, a ver, esto es una polea, mírela bien, sus compañeros llegaron temprano y me dijeron que yo que estaba haciendo, esto, miren, ¿qué es lo que estamos haciendo ahora?, ¿qué es lo que estamos haciendo?, ay, mire lo hacen y no saben qué hicieron.

Tranquilos, yo les perdono todo eso, pesamos este cuerpo ¿cuánto midió? 0.8, además ya lo habíamos pesado ¿verdad? antes, 0.8. Y nosotros lo que queremos saber es: Oiga, esas tensiones que estamos haciendo aquí ¿cómo se transfieren? y eso es lo que ellos nos van a mostrar, a qui por ejemplo, yo les tengo la polea, yo les tengo la polea y ellos hacen el resto. Eso, ahí, halelo ahí.

Estudiante: 0.8

Entonces con el dinamómetro medimos la tensión en la cuerda y nos da 0.8, lo mismo. Ya está la polea armada, pasamos la cuerda, él está halando el dinamómetro para medir la tensión en esa cuerda y le dio ¿Cuánto? 0.8, es decir, lo mismo, lo mismo que pesa. ¿Cuál es la función de la polea? sí, ahí hay tensiones, estamos aplicando tensiones y las tensiones nos sirven para demostrar la segunda ley y que, sí, pero ¿qué? ¿Para que nos sirve entonces una polea?

Estudiante: ¿Disminuir el peso?

0.8 y 0.8, la fuerza que él está haciendo es 0.8 ¿Qué es lo que hace exactamente esa polea? ¿Quién me ayuda?

Estudiante: hacer un contrapeso

Estudiante: ¿Cambiar de lugar un objeto?

Eso, dele a ver, eso, ¿Qué hace entonces una polea?, ustedes lo vieron, porque ya vimos que la polea no disminuye la fuerza, es la misma.

Estudiante: Disminuye la tensión

Que no! que es 0.8 y 0.8, pero como así me está viendo y que disminuye la tensión.
¿Entonces que es lo que hace?

Estudiante: facilitar el movimiento

Estudiante: subir y bajar

Sí, sí, subir y bajar, pero venga, si me entendieron ¿hacia donde dibuja esta tensión? hacia arriba y este vector hacia dónde? Hacia abajo, ¿Entonces qué es lo que hace una polea?, usted es el obrebo, del, dele, dele a ver, suelte a ver, échela al fuego, échele otra vez allá, súbale, súbale, súbale. ¿Qué hace entonces la polea?

Estudiante: cambiar eso

Si señor, invierte la dirección de la fuerza, pero al pobre obrero no le bajo, si eso pesa 50 cuantas tiene que hacer ¿30? ¿Si o no? ¿Cuantas tiene que hacer? Si esto tiene 50 ¿cuánto tiene que hacer allá? Pues 50, no ve que el dinamómetro marca lo mismo. O sea que el obrero lo único que hace es intercambiar fuerzas y por eso le pagan, así que la maquina es una maquina simple que sólo intercambia la dirección de las fuerzas. ¿Estamos de acuerdo con lo que hace una polea? Listo.

Vamos a dibujarlo, qué fue lo que hizo exactamente o que fue lo que hicimos exactamente, entonces aquí está la polea y está sostenida aquí, aquí colocamos un objeto y aquí hicimos una fuerza. Esta fuerza hacia abajo, luego entonces la tensión va hacia arriba y hacia abajo qué iría perdón? el peso. Listo, segunda vez que hacemos ¿Cómo se llama esto? ¿Qué? diagrama de ¿qué? decuerpo libre y estamos viendo el elemento, viéndolo trabajando, no me estoy inventando nada, todo lo estoy haciendo observado. Yo aquí no estoy inventando ninguna fuerza, mire, este diagrama lo hicimos aquí, este lo hicimos aquí, y usted vaya y mire los libros y esos son los diagramas que hay.

Bien, muy bien, entonces ya sabemos que una polea lo que hace es, las poleas invierten la dirección de las fuerzas, no hacen nada más. Listo, esa es una primera aplicación, las poleas. Y estamos aplicando segunda la ley de newton, fuerza igual a masa por aceleración, eso lo hemos aplicado aquí, así que esto se explicaría con la segunda ley de newton.

Vamos con un segundo ejemplo, el plano inclinado, esta es la segunda aplicación, el plano inclinado y para eso necesito que ustedes me presten atención porque voy a hacer matemática. Ojo aquí, miren lo que voy a hacer. Voy a colocar mi bloque aquí y voy a mirar para que me sirvan las leyes de Newton en el análisis de este plano inclinado, voy a ver cómo utilizar esas leyes de Newton para conseguir una cosa que nos va a dejar sorprendidas, a las personas, a las personas. Vamos a quedar todas sorprendidas, si no se llegan a sorprender con esto, se van pa la casa. No tendría sentido sino se sorprenden, yo con lo viejo que estoy y cada vez que hago esto, me sorprendo más, van a ver como quedo de sorprendido, me toman la foto, es en serio.

Ahí está el plano inclinado con un ángulo α , aquí está el bloquesito, dibujo las fuerzas que vean allí ¿Qué son cuáles?

Estudiante: el peso

Hacia abajo, el peso, muy bien.

Estudiante: la normal

La normal o reacción al apoyo ¿Hacia dónde?

Estudiante: perpendicular

Perpendicular a la superficie en contacto.

Estudiante: la fricción

¿La fricción hacia dónde? ¿El cuerpo desliza hacia dónde? Hacia abajo, ¿hacia donde dibujo la reacción? en sentido contrario uy, ustedes aprenden volando, f_k no va a ser esta, f_s . Listo, ¿Hay más fuerzas? ¿Sí?

Estudiante: la contraria a f_s

Si pero de dónde me va a salir la contraria, aquí vamos a meter el plano cartesiano, observen plano cartesiano, papapapapa, eje X, eje Y, ahora vamos a descomponer una fuerza, ¿cuál hay que descomponer?

Estudiante: el peso

Entonces vamos a descomponer el peso, claro que no está ni en X ni en Y, y eso ya lo aprendimos, se descompone lo que no está en los ejes. Entonces aquí esto me dará W en Y y aquí esto me dará W en X. ¿está la tercera ley satisfecha? si! Una para allá, otra para acá, una para allá, otra para acá. Tercera ley, estamos aplicando, tercera

ley. Bien, ahora voy a aplicar la segunda por vectores, entonces ¿Qué puedo decir? , sobre el eje Y lo que puedo decir es que W_x , ésta que sería negativa, $-W_x$ es igual a la fricción, esta ¿Estamos de acuerdo con eso? listo, en el eje Y que pudo decir que esta?

Estudiante: la normal

La normal es igual a ¿qué?

Estudiante: al peso en Y

Al peso en y, estamos de acuerdo ¿Cierto?

Estudiante: Negativa

Si claro, pero eso sería igual a $m \cdot W_y = 0$ ¿lo quieren así?, sumar y restar, entonces vamos a hacerlo porque hay que darle gusto, vamos a hacerlo entonces por vectores, me parece interesante, según esto, este sería positivo, entonces escribo: fuerza de fricción menos ¿Quién? Menos W en X es igual ¿a quién? Por la segunda ley, tengo que utilizar la segunda ley porque estoy con fuerzas, esta fuerza que usted está usando ¿A qué se iguala? segunda ley.

Estudiante: A masa por aceleración

A masa por aceleración, sí señor, pero, esto sería ¿Cuánto?, bueno, dejémoslo ahí, masa por aceleración. Como el bloque yo lo voy a analizar es en el momento en que se despega, si el está quieto hay un momento en que ¿Qué? Se despega, yo lo voy a analizar en el instante en que se despegué, o sea todavía su velocidad es cero. Por eso si puedo igualar a cero aquí para algunos que lo dijeron, o sea la ecuación me quedaría: $F_s - W_x = 0$. Es decir esta F_s , paso este para el otro lado y me queda W_x , negativa pasa a positivo. O sea que este F_s me queda, hoy dijimos que el peso, bueno este peso en X ¿qué sería? W , este ángulo α que está está aquí lo paso acá. Entonces W_x que es ¿Seno o Coseno?, busquenlo acá

Estudiante: Coseno

Coseno, si señor porque no está pegado al ángulo, entonces, este W_x acuérdesse de los signos del vector este W_x es $= W \cdot \cos \alpha$. ¿Estamos de acuerdo? Listo, esta es la ecuación de F_s . Ahora en Y , en Y que me queda, esto es la sumatoria de vectores en X , sumatoria de vectores en X , vamos a hacer una sumatoria, a sumar los vectores ¿Están en dónde? en Y , entonces arriba la normal, menos W en ¿qué?

Estudiante: en y

En y, los oigo hablando poco, están perdidos o qué, ahí en el eje Y no hay movimiento porque no se mueve en el eje Y entonces es igual a cero, tampoco hay aceleración. O sea que la normal es igual a W_y , es decir, la normal es igual a $W \cos \alpha$ y esta es la segunda ecuación, voy a llamar esta 1 y esta 2.

Voy hacer un truco matemático, esto si ya es un truquillo, no, dividiendo miembro a miembro, tenemos que F_s sobre N , estoy dividiendo estas dos ecuaciones miembro a miembro, es igual a $W \sin \alpha$ sobre $W \cos \alpha$, los pesos cancelan ¿cierto que sí? y me queda F_s sobre N es igual a la tangente de ángulo α , en otras palabras F_s es igual a N por tangente de α , pero ¿quién es F_s ? F_s ¿dónde lo escribimos? es μ_s por la normal, entonces reemplazo un valor y me quedaría, μ_s por la normal, es la normal por la tangente del ángulo, la normal cancela y entonces lo que me acabo de encontrar es que la tangente del ángulo es igual al coeficiente de fricción. Hey, ¿qué pasó aquí? Ey, esto es admirable, esto es emocionante, mírenme como estoy de emocionado ¡¡¡Asombroso!!!

Como les parece a ustedes que ahora yo puedo armar un tabla de coeficientes de fricción. Mírela, mírela, mírela, madera-madera, tatatatata tin, ahí quieto alguien viene y me pide el ángulo aquí, o sea que esto de hallar coeficientes de fricción es lo más bobo del mundo, la segunda ley de newton me acaba de decir toma, te voy a ayudar a hacer una cosa ¿quieres hallar coeficientes de fricción? sólo tienes que utilizarme, utiliza mi segunda ley aquí y veras al descubrimiento al que llegas: La tangente del ángulo siempre me dará el coeficiente de fricción, cojo la calculadora, tomo la tangente de ese ángulo que medí y tengo el coeficiente de fricción entre 10 superficies, entre madera-madera, entre lija-madera, entre tela-madera, entre lija-madera y claro ustedes lo vieron ahora lo que dice el ejercicio, el ángulo siempre será, ¿que?

Estudiante: diferente

Diferente, claro para cada superficie, entonces ustedes hoy podrían aquí coger, bueno midamos el ángulo, entonces podemos sacar el coeficiente de fricción entre madera-lijas, madera-corcho, madera-tela, madera-madera, ya tendríamos, hemos empezado la tabla de cuatro, cuando ustedes van a una universidad, grande por allá, de esas que se dedican mucho a la investigación, encuentran una cosa que se llama el INDEX, es un libro con 10000 páginas, sumercé lo pide prestado y buscan donde diga

coeficientes de fricción y se encuentran con 1000 coeficientes de fricción, los ingenieros se dedicaron a esto, los ingenieros son unos bandidos, entonces claro, cogen tran el ángulo, tran, tran el ángulo y luego cogen el vidrio, vidrio-madera, vidrio-lijas, vidrio-corcho, vidrio-vidrio, vidrio-no sé qué, vidrio-porcelana, vidrio-caucho, vidrio-plástico y dele, dele y comienzan a amar esas tablas y luego las venden.

Así que el que fabricó el INDEX, le compro a los ingenieros las tablas que fabricaron y entonces lo que hicieron fue medir el ángulo y sacar las superficies, vivos, ¿pero de dónde sacaron eso?, del pobre newton, ¿le dieron ni las gracias siquiera?, no para que, no se necesita. Señoritas y caballeros, hemos visto poleas y hemos visto plano inclinado, que son dos aplicaciones, como lo vieron, muy amplias de las leyes de Newton. Solamente me quedaría hablar de un experimento corto que se llama la ley de Hooke que sería una tercera aplicación que son los resortes en estado estático, que no alcancé hoy, me he quedado un poquito, pero lo veremos la próxima clase antes de empezar a hacer problemas, en 10 minutos haré la explicación y ahí estarían mis tres aplicaciones de leyes de newton que estaba interesado en mostrarles.

Hasta luego y felicidades.

3 sesión

La idea es la siguiente para trabajar es que ustedes deben tener sus copias con problemas y yo se los voy resolviendo, o sus copias hace rato, supongo que ustedes las tienen a la mano porque si no se van a quedar sentados sin hacer nada y si no las tienen yo ya le estaría diciendo a alguien que vayan y las compren y le doy los \$800 que valen y voy y las traigo, ¿si las consiguieron?, sus copias por favor, ¿las tienen?, ¿usted tiene sus copias?, sería muy saludable, porque si no me dañan el taller no puedo hacer nada, ustedes son como olvidadizos, y si entonces a ver si sacamos las copias pronto, ¿usted tiene sus copias?

Estudiante: si, acá las tengo profesor.

Ah bueno, ¿ya las tiene?, ¿usted las tiene? ¿usted? ¿usted va a salir?, bien, mire, 5 minutos.

Bueno vamos a hacer un pequeño recuento, de lo que hicimos el día miércoles, para poder avanzar hoy, a ver que recordamos, ojala no miren sus apuntes, ojala pudiera ser solo lo que ustedes recuerden, porque ahora podrán abrir sus apuntes, no hay problema, por ahora, el problema es cuando usted vaya al parcial y no sepa nada si

es grave, hoy todavía pueden tomar su tiempo, hay vamos, recordemos rápidamente que hicimos, ¿como se llamaba el tema el día miércoles?

Estudiante : Diagrama de fuerzas, aplicaciones de las leyes de Newton

Aplicaciones de la ley de Newton, si, eso si fue, lo que pasa es que eso tiene sus colaterales, en realidad fue aplicación de las leyes de Newton, bueno ahora si comencemos a hablar de todo eso que se trabajó, que hicimos, en todo eso vemos tipos de fuerza, mecánica, vimos fuerzas, no creo que necesiten escribir, cuales vimos de esas fuerzas,

Estudiante : peso, fricción,

Vimos el peso, la tensión, la reacción al apoyo, bien que más,

Estudiante : rozamiento

Y fricción o rozamiento, muy bien, esa la vimos en dos

Estudiante: estática y dinámica

Estática y dinámica, bien muy bien, seguimos viendo esos tipos de cosas, ¿que hicimos en tensión?, para ver ¿que era una tensión?

Estudiante: lo de una varilla

Una varilla si, se supuso que era una lámpara, que era un semáforo o que era un aviso colgante, bueno eso hicimos, que recuerdan de eso ¿que dificultad hubo en ese momento?

Estudiante: ¿la tensión?

La tensión pero que, exactamente ¿cuál era la dificultad para medir la tensión?, no se encontró una estrategia rápida así como si uno dijera, oiga vea la pille de una, no, el profesor tuvo que entrar a hacer una ayudita para que todos entendiéramos, el instrumento de medición tiene que entrar, en el sistema para medir y si no pues cómo mido, no hay nada que hacer, si, y luego en fricción pues, vimos estática y dinámica, creo que lo hicimos con un bloquecito, ¿lo recuerdan? Que tenía varias superficies, y dentro de eso utilizamos esa fricción estática, para hacer algo que, recuerdan los dejo asombrados, ¿que fue qué?

Estudiante: calcular el coeficiente de fricción

Calcular el coeficiente de fricción μ_s , con la estática, eso se puede usar porque veíamos que era para hacer, tablas de fricción y de rozamiento, para diferentes tipos de superficies en contacto, creo que ustedes tenían una tarea, desde el punto de vista de la fricción dinámica, y era establecer un impacto con su olor personal, yo no sé si lo hicieron o no

Estudiante: si perfeccionaron el método

Si, vimos que esto reducía entonces, la dinámica dos cosas específicas que era por un lado calor por el otro lado resistencia al movimiento, ¿recuerdan?, estamos pensando por allá, utilizándolo otra vez porque del miércoles a acá han pasado 48 horas y hasta donde yo tengo entendido, la memoria a corto plazo dura 19 minutos, y si lo miramos son varias veces que contamos 19, 19 19, así que sientan el objetivo de este pequeño recuento, para que esa memoria vuelva a estar en juego y volvamos estar bien como se oye, bien que paso en ¿el esquema? ¿de esto lo que hicimos, ya está ahí todo?,

Estudiante : las poleas.

Las poleas, ¿perdón? las poleas, si señor dijimos de las poleas, que esas poleas lo que sirven, las poleas simples, sirven para cambiar la dirección de la fuerza que se hace, entonces las poleas, primero que son una máquina que la llaman maquina simple, por allá en Alemania, aún yo recuerdo que los profesores que son chéveres, lo mandan a hacer a uno una polea, y uno se divierte allá con su polea, levanta cosas y bueno, entonces sí, sí, hicimos maquinas simples, llamada polea, y vimos que ella lo que hace es invertir, la dirección de la fuerza, esto es muy interesante, porque nos damos cuenta en este tipo de cosas que la fuerza si es un vector, eso es muy importante cambiar esas tensiones, resulta muy importante, también la dirección de la fuerza de fricción, vimos que esa fuerza siempre es opuesta al movimiento.

Al movimiento es opuesta a veces uno desearía que esa fuerza fuese grande para algunas cosas y que los ingenieros lo que hacen era buscar que fuera mínima en algunos casos, pero no en todas partes, a veces uno quiere que esa fuerza sea grande, por ejemplo un lanzador de garrocha no está interesado en que su garrocha se deslizara por el piso, por nada del mundo, porque no saltaría entonces necesitaría, necesita una buena fricción, para que él pueda lanzar su garrocha, ya los veremos más adelante, cuando estemos en energía, pero bueno aquí, uniendo esto, creo que

unimos en dos chalas, hemos tenido las leyes de Newton y luego mirar sus aplicaciones, quiero reconocerles una cosa aquí y es que hay algunas aplicaciones que no se han visto, por ejemplo, para los ingenieros civiles curvas peraltadas y no peraltadas, son aplicaciones pero no se pueden ver en este momento porque requieren de movimiento circular, requieren de haber hecho cinemática, y como no la hemos hecho, entonces la voy dejar para verla allá, curvas peraltadas como aplicación, no las vimos.

Por ejemplo, no vimos por ejemplo péndulo cónico, los péndulos cónicos son muy interesantes porque son una aplicación de las leyes de Newton también, sólo que allí tendremos que hablar de las fuerzas centrípetas, y para hablar de fuerza centrípeta tengo que hablar de aceleración centrípeta y para eso tengo que hablar de movimiento circular y como no lo hemos hecho, y no se ha hecho cinemática, ese será el tema que viene en la siguiente charla, aquí esta todas, estas dos aplicaciones que no se vieron, bien por lo demás creo que esta es la síntesis de lo que se hizo, pequeña charla también que hicimos, y hoy lo que vamos a hacer es trabajar problemas.

Antes de que arranquen a hacer problemas, que es el tema de ahora, yo quiero venderles esta idea, los problemas de aplicación que vamos a ver tienen ciertas características, la primera situación que vamos a ver es que estos problemas son de carácter ideal, estas cosas es importante que las conozcan, ¿que significan que son de carácter ideal?, que no lo estamos haciendo en realidad, como hemos hecho aquí los talleres o ese tipo de cosas, estos son talleres, que se preparan, que surgen de la realidad, que se supone con algunas características que aún no han sido medidas, que no han sido verificadas, pero que se colocan allí para que uno practique las teorías, son en todo dinámica matemática, entonces miremos aquí.

Lo segundo de estos problemas de aplicación, es que nos sirve lo que les dije, para poner algo, poner en practica más bien, las leyes de Newton, no se puede valer cualquier tipo de ley que se haya observado, se lea, se trabaje, los vamos a encontrar de dos formas, estos problemas, los vamos a encontrar, de orden cualitativo, y los vamos a encontrar de orden cuantitativo, es decir, algunos problemas van estar cargados un poquito de conceptos, y otros van estar cargados un poco más de las parte matemática, eso es lo que vamos a encontrar, los cualitativos generalmente vienen con gráficas, para analizar curvas, gráficas en general, mientras que estos son directamente para aplicar las leyes, primera, segunda y tercera leyes,

excepcionalmente la segunda ley es la que más se aplica en esto desde el punto de vista matemático, si cualitativo y cuantitativo, cualitativo quiero decir que se encarga más hacia la parte conceptual y cuantitativo se encarga más hacia la parte numérica.

Bien y una cuarta situación que quiero plantearles ahí, es la siguiente, creo que no les di a ustedes, la ecuación de Newton, fuerza igual a masa por aceleración, en su versión de ecuación diferencial, y voy a escribir la norma, cuando nosotros decimos que la segunda ley se empezó a escribir ecuacionalmente como masa por aceleración, fíjense que no he escrito el vector y lo he dejado escalarizado se llama eso, en escalar, esta fuerza la puedo escribir como la masa, por la segunda derivada de la posición respecto al tiempo, esto es a lo que llamamos escribir la segunda ley en ecuación diferencial, vale la pena que lo tengan en cuenta, donde la variable X representa, ojo no es una variable en sí, representa una función de posición, eso significa entonces que la aceleración es la segunda derivada de la posición, eso lo que quiere decir es esto, esto no es que sea cuadrado, hay que tener claridad en eso, esto lo que está diciendo es que la segunda derivada de la posición con respecto al tiempo, no es que sea el tiempo al cuadrado ni la posición al cuadrado nada de eso, es la forma de escribir la segunda derivada.

¿Ustedes ya hicieron curso de derivación cierto?, si, entonces imagínense, si yo tengo por ejemplo para poder aclarar esto y que no se me vaya a quedar en el tintero, si yo tengo una función $f(x)$ de la forma $y=3X^2$, y me pidieran un favor de que tome la segunda derivada de y respecto a x , entonces la primera sería, $f'x$, o como ustedes los escribían automáticamente, $Y'x$, o como lo estoy escribiendo aquí primera derivada de y respecto de x , se escribe de y de x , todo es una formulación matemática, si ya vieron diferenciales, de tal manera, que estoy diciendo en todas estas tres formas, estoy diciendo que voy a sacar la primera derivada de $3X^2$ cuadra, ¿lo que me da cuánto?

Estudiante: $6x$.

$6x$, ¿están comprendiendo lo que quiero decir?, entonces no estamos hablando aquí de cuadrados de nada, no, son el número de veces que estoy derivando, voy a tomar la segunda derivada de x , a bueno esta primera derivada de x es lo que se conoce en física como la velocidad, o sea yo derivó la ecuación de posición y su resultado me da la velocidad de la partícula, así de fácil, cuando yo tomo la segunda derivada de la

posición, es decir y segunda, esto lo escribo, *segunda derivada de y respecto a x*, y lo escribo así, o lo escribo así, o lo escribo así, pero para efectos de la presentación matemática se utiliza este sistema, ¿cuanto es la segunda derivada de 3?

Estudiante : 6.

La segunda derivada de 3 es 6, y esto es la aceleración, entonces ¿qué fue lo que hice aquí? escribí en esta presentación masa por aceleración, pero acabo de decir que la aceleración es la segunda derivada de la posición, acá la tengo respecto al tiempo, aquí fue respecto a la posición, es simplemente mirar respecto a quien estoy derivando, allá estoy derivando respecto al tiempo, en cambio aquí derive respecto a la posición, ¿está claro?, si me hubieran dado la posición en función del tiempo me habrían $3t^2$, por decir algo, me la hubieran dado en función del tiempo, pero esta posición este y me la dieron en función de la posición, entonces me la pueden dar en función de la posición o en función del tiempo, siempre que derive voy a estar en la primera velocidad o en la segunda derivada la aceleración, por eso se escribe la segunda ley de Newton, en forma de ecuación diferencial así...

Estudiante : ¿cómo sería el ejemplo si no la dieran en función de tiempo?

Lo mismo, vuelvo y le digo, simplemente, quedaría $f(x)$ es igual a y

¿y la respuesta sería?

La respuesta sería δt , no tendría cambio matemático, ¿cierto?, para nada, bien, esto que no los explique la semana anterior, porque estábamos envoltados, con aplicaciones ahí la tienen, vamos entonces a trabajar lo que vinimos a hacer el día de hoy, el día de hoy ustedes se van hacer por parejas, parejitas, y procuramos separarnos, distribuirnos por todo el salón, para que no nos interrumpamos ahí pegados, y entonces comencemos a movilizarnos.

¿Usted con quien va a trabajar? a ver el que ya esté emparejado venga y se hace aquí, rápido, porque si no nos coge la noche, haber prontico, busquen su pareja, ustedes ¿los dos?, listo, aquí, ¿quiénes van a trabajar? ¿Ustedes los dos? ¿Usted? miren allá hay un compañero solo, miren los dos allá, o aquí, miren allá en esa esquinita, no me interesa que queden tan pegados, porque para hablar con ustedes no puedo hacerlo, ¿usted con quién va trabajar, los dos?, listo, ¿usted? ¿Los dos?, listo, allá, lo más lejitos que pueda, eso, ustedes pueden en la parte de atrás por favor,

ah mire ahí viene una niña mire, si quiere hágase ahí, es un ejercicio simplemente de trabajo no más, mira, ¿no te quieres hacer con el compañero?

Bueno, listo, bueno muy bien ahí estamos todos, vamos a mirar cual es, cual es la técnica de trabajo, para mirar cómo vamos a aprender a manejar las leyes de Newton, en aplicación a problemas ideales, eso es todo lo que vamos a hacer, entonces yo les voy diciendo el problema numero tal, ustedes dicen listo lo hacemos rápido, si alguno de ustedes termina me llaman, ya listo lo tenemos, yo lo que hago es que voy y verifico que usted haya trabajado bien, la idea no es que me llamen a que yo les haga el ejercicio, no porque entonces para eso no me hubiera puesto a hacer todo esto, para eso los hago todos en el tablero, el que ve hacer no aprende, el que ve hacer no aprende, es muy importante entender eso, yo puedo gastarme 20 años viendo a un panadero hacer pan y no lo aprendo a hacer, cuando lo vaya a hacer no puedo, eso tiene sus tejemanajes, es decir hay que meterse involucrarse, meterse en el juego, aprender a jugar, ¿ok?, bueno esa es la idea, entonces vamos a hacer el primer problema, ustedes me llaman si el grupo si la pareja lo tiene bien, uno de ustedes pasa y se lo explica a sus compañeros, yo hice esto, pero eso va a ser así cada ejercicio es a 3 minutos, a 3 minutos, a 3 minutos, eso es como en la vuelta a Francia, si usted no llegó dentro del tiempo no clasifica, ¿no?, eso así, vamos a darle entonces, entonces el primer ejercicio, el primer ejercicio, que quiero que hagan

Estudiante : Profe ¿que si lo hacemos en una hoja o en el cuaderno?

Pues es bueno que lo hagan en sus cuadernos de apuntes porque les van quedando pues su tanda de problemas obvio no, es como la idea, eso no es para entregar nada, es para ejercitarnos cosa que el día del parcial usted, no llore, si no usted diga vea lo sé hacer, todos los problemas en física casi son una repetición de la repetidora, que es lo que nos cambian un poquito los contextos, un poquito los datos y no más, lo van a ver, al fin y al cabo ya saben que es lo van aplicar, tienen las herramientas en sus manos, se llaman las leyes de Newton, listo, usted se puede hacer allá mientras llega alguien, bueno va el primero entonces hagan el número 1 del capítulo 5º, vamos con el más más más, ¿más que?, se supone que es el más sencillo del capítulo, problema uno del capítulo quinto, yo veré, el primero que termine me llama y yo voy y lo verifico, el número uno del capítulo cinco, número uno capítulo cinco, número uno capítulo cinco, si dice que una fuerza (f) aplicada un objeto de masa M_1 ¿ya?, produce una

aceleración de 3 metros por segundo cuadrado, el uno del capítulo cinco, ese el 45, ahí dice ola, pero ¿por qué no lo busca?

Mire, por aquí debe decir, eso entonces no es, pues siga buscando, ¿cómo así que no sacamos las copias?, mire ustedes ya llevamos tres semanas, a ver ¿quién tiene por ahí unas copias que faciliten?, se las presten, se las vendan, algo, ¿listos? Bueno, está corriendo el tiempo, a ver quién va a hacer ese ejercicio, es bueno que hagan dibujos del problema para que se ayuden, hacer dibujos es bueno, si se necesitan, vamos a ver, en este momento tenemos casi asistencia plena, son 24, aquí la idea es que socialicen conocimientos, solos tuve la experiencia de que no tienen con quien hablar, se frenan mucho, así terminan haciéndolo, esa es la esperanza que tengo vamos a ver si aquí funciona.

Estudiante: aquí en este problema donde nos dan las aceleraciones y nos piden calcular masa, pero no tenemos la fuerza, entonces según lo que veo se sabe que la aceleración es inversamente proporcional a la masa, ¿podría sacarla?

¿Nadie?, estoy esperando, ¿ustedes? ¿Nada? no, no hay ayuditas, porque la idea es que usted lo luche, un cerebro que no lucha es un cerebro que después yo se lo hago en el tablero y no capta nada

Estudiante: toca hacer el diagrama de cuerpo libre

¿cómo? ¿Por qué? No, ¿dígame por qué?

Estudiante: para encontrar la fuerza

¿Qué le pasa a la fuerza? Eso ya, esa es la misma

Estudiante: pero la masa es diferente

Pero la masa es diferente, correcto, entonces qué tal si la cuadra, que tal si la mira, como van ustedes, ¿qué ideas hay por ahí?, a ver ¿ustedes que han hecho?

Estudiante: estamos calculando el peso

¿Peso? Por qué peso? imagínese usted hizo calculo diferencial y integral y no sabe lo que es una razón, bueno hizo diferencial, lo mínimo, y eso sí que se hizo allá, si hay algo que les haya dado dar dolor de cabeza fueron las razones de cambio.

Bueno, vamos a mirarlo un poquito porque veo que no llego nadie al número uno, bueno, es importante mirar eso no, al número uno nadie, o sea que, voy a arrancar a

ver, miren muy importante que ustedes hayan pensado como hacerlo, en este momento no es importante que usted lo haya hecho, no es importante, si lo hizo maravilloso, si no lo ha podido hacer eso es normal, pero lo más importante es que usted haya tenido la opción de pensarlo de alguna manera, cuando uno piensa y se equivoca, ahí es que uno aprende del error, yo no aprendo del error si me paso a la caracas sin mirar y me aplasta un Transmilenio ahí yo no aprendo del error, estoy en el cementerio, pero no aprendo del error, yo aprendo del error cuando lo hago así este mal, y después entonces mi cerebro, porque esa mente es muy poderosa, entonces la mente dice: ah, si ve eso era que usted no había debido hacer, en cambio aquí felicitaciones, eso sí lo hizo bien, y entonces uno va cotejando, pero tiene que tener algo en el cerebro y si no nunca va a aprender nada.

Vamos a mirarlo, entonces para eso yo lo voy a leer, o alguien me lo lee, mejor, quien lo tiene ahí que lo lea, léalo por favor

Estudiante: una fuerza f aplicada a una masa m_1

una fuerza (f) que no conozco, entonces voy a pintar aquí mi masa M_1 , y le estoy aplicando una fuerza por ejemplo así, F , listo

Estudiante: produce una aceleración

Una aceleración? listo este cuerpo produce una aceleración a_1 , ¿de cuánto?

Estudiante: $3m/s^2$

$3m/s^2$, listo ya tengo mi dibujo

Estudiante: la misma fuerza aplicada

La misma fuerza, aplicada ¿a quién? a un cuerpo de masa, M_2 , es la misma f , que pasa con este

Estudiante: produce una aceleración de $1m/s^2$

Me produce ahora una aceleración de a_{sub2} , ¿de cuánto?, $1m/s^2$, es decir parece que hay mayor masa ¿no es cierto?, ¿por qué?

Estudiante: porque disminuyo la aceleración

Porque disminuyó la aceleración, eso lo sabemos hace rato es la ley de Newton, si se aumenta la masa se disminuye la aceleración, si se disminuye la aceleración se

aumentó la masa, obvio, entonces lo dibuje más grandecito solo por simular, es más grandecito y tiene más masa

Estudiante: calcular la razón M1 y M2

A, valor de la razón ¿qué? ¿M qué? M1, eso es una razón, una razón es una división, para los que por ahí me estaban preguntando que es una razón, cuando yo hago una razón lo que estoy haciendo es una división, bien, vamos ver en un problema yo tengo que enfocarme siempre en la pregunta, no lo olviden, en la pregunta, que es esto, valor de la razón. Y debo enfocarme en la otra parte, en lo que yo sé de ese problema, que es lo que se, que es lo que tengo en mis manos para poder resolver ese problema, ¿cierto?, entonces, que es, bueno ah y otra cosa, los datos, la información que me dan es muy importante, porque la información forma el contexto del problema, o sea que da un contexto, entonces digamos que son como tres cosas las que me dan a mí aquí el poder de trabajar un problema, primero que yo tenga clara cuál es la pregunta que me hacen, clarita, segundo que yo sea capaz de entender el contexto en el cual me están dando ese problema, y tercero que yo sepa decirme, como diría el de la televisión, a mí mismo, ¿cierto? oiga, que es lo que yo sé que elementos tengo para manejar este problema.

Entonces comencemos, ¿tenemos la pregunta clara?, ahora si todos las tienen clara, es decir me están pidiendo una razón, ¿me están diciendo cuanto le da M1/M2?, ¿está clara la pregunta?, listo, sigo, ¿está claro el contexto?, ¿qué le dice a usted ese contexto?, a dos objetos, ¿estamos de acuerdo? si, más o menos es esto, mirémoslo a ver si tengo el contexto claro, yo le aplico esta fuerza a este objeto, y le voy a aplicar esa misma fuerza a este objeto, ¿la cogieron?, ¿sí o no?, oui, vea eso tengo hasta franceses, si entonces, vea ya tengo claro mi contexto, le aplican una misma la fuerza a dos objetos distintos, y lo que ocurrió es que uno tenía una aceleración mayor a la otra, tengo mi contexto claro, tercera cosa yo sé lo que voy a utilizar aquí?, o sea yo puedo escribir: ¿sé que fuerza es igual a masa por aceleración?, si lo sabemos, ¿cierto? ¿Sabía que era la segunda ley la que tenía que aplicar?, creo que nadie falló ahí, todos estaban ciertos de que iban tras la segunda ley.

Bien, pues esta es la que vamos a aplicar, voy a aplicarla para el primer objeto, entonces escribo, fuerza aplicada al primer objeto, ¿cómo me queda esa fuerza aplicada al primer objeto? ¿Cómo escribo eso? F igual, eso dícteme

Estudiante: F igual

¿a quién?

Estudiante: a masa uno

A masa1, no todavía no, por la aceleración, ¿qué? 1, ¿alguien no está de acuerdo? ya le apliqué la segunda ley al primer objeto, ¿está claro?, se la voy a aplicar ahora al segundo objeto, fuerza f, porque es la misma, aplicada al segundo objeto, ¿estamos de acuerdo? esto lo voy llamar 1, ecuación 1, ¿cómo me quedo? fuerza igual ¿a quién? A M2 por A2, y esto es la ecuación número 2, escuchen lo que voy a decir, Fabio es igual a Jacinto, y Fabio es igual a José, que concluyo, que Jacinto es igual a José, ¿me lo está comprendiendo?, ¿sí o no? f vale esto, esa misma f vale esto porque esas dos fuerzas son iguales eso me dicen los datos del problema, entonces si Fabio es igual a Jacinto y Fabio es igual a José, es porque Jacinto y José ¿son qué? Iguales, por eso voy a decir igualando uno y dos, igualando uno y dos que es lo que tenemos, díctemelo por favor, que escribo, que M1 A1, ¿qué? Siga

Estudiante: es igual a M2a2

Es igual a M2 A2, ¿todo el mundo está de acuerdo conmigo?, ¿qué me están pidiendo, discúlpeme?

Estudiante : la razón.

¿La razón de quién?, M1M2, entonces ¿qué hago aquí?, ¿qué escribo? M1 sobre M2, la paso para acá, es igual a A2 sobre A1, Eureka, Eureka, agh!!, todo lo que nos pusimos a hacer si no, uy es que esto si es terrible, hálese las orejas, sáquese sáquese si quiere, entonces me dijeron halle la razón M1M2, ¿y esto me da cuánto?, ¿cuánto?, 3, y fíjense que no hay unidades, porque la aceleración aquí sería metro segundo cuadrado, aquí sería metro segundo cuadrado, las unidades se cancelan porque las razones no tiene unidades, la razón simplemente me dice, lo que estamos diciendo es que la razón es de 1 a 3, mejor dicho que me está diciendo la respuesta, para que esta fuerza produzca 3 y aquí produzca 1, se necesita que la masa esté en relación de 1 a ¿qué?, a 3, porque si usted quiere despeje de aquí M1 y vera que M1 le da, ¿cuánto? 3 veces M2, ah si yo quiero esas condiciones si necesito que me de una relación, de 3 a 1 en aceleración entonces tengo que buscar una relación ¿de qué?, de 3 a 1 ¿en qué? en masas, y eso como es de coherente con la segunda. ¿Ley?, la aceleración es inversamente proporcional a la masa, lo que estoy es

aplicando lo que me dijeron allá, yo no estoy aquí haciendo, inventando nada, sino diciendo Newton voy a aplicar lo que tú me dijiste, eso funciona bien en ingeniería.

¿Cómo les va en la segunda parte?, ¿alguien la hizo ya?, y fíjense una cosa, fíjense una cosa, me toco a mi hacer el problema, pero el segundo si lo van a hacer ustedes, yo se, ¿cuánto les dio el B?, ¿quién lo estableció?, ¿quién lo hizo?, a ver, a ver, a ver, no creo, puede que sí, como puede que no, ¿ya hicieron el dibujo? sí, si ni siquiera han hecho el dibujo, no ven que ustedes son tercicos, hagan el dibujito, y verán como ese dibujo les va a ayudar a resolver el problema.

Estudiante : profesor, ¿se aplica la formula?

¿cuál formula?

Estudiante: es sólo A sobre 3

Pero ¿qué es lo que están pidiendo?

Estudiante : la razón de, el valor de la razón $M1/M2$.

No eso ya lo hicimos.

estudiante: pero si yo despejo acá ¿no quedaría $1/3$?

Si eso fue lo que me dio, ¿cuánto me dio?

Estudiante : 3, ¿luego no da $1/3$?

Ah sí tiene razón, era $1/3$, ¿ $M1$ es la que vale 1? ah si, hay que corregir eso, mire allí quedo mal, eso quedo mal aquí, por favor yo puse aquí el 3, a no $M1$, ¿es el que tiene 3 de aceleración?, ahí está bien, ah no perdón un momentico, $A1$ es el 3, si, si, si, aquí tiene, esto es $1/3$, si esto es $1/3$, si porque observen bien $M1$, es el que tiene aceleración 1, y ese es 3 y $M2$ es el que tiene 1, es $1/3$ no $3/1$ sino $1/3$. Por favor corrijan, la relación es $1/3$ no 3, bien la segunda, ¿ya? ¿Sí?, un dato mal colocado en la ecuación, un dato mal colocado, ¿que piden en la segunda parte?, dice b, si se juntan las masas, $M1$ y $M2$, calcule la aceleración con la acción de la fuerza f , que es lo que vamos a hacer.

¿Ya hicieron el dibujo? ¿Este es 1 cierto? ¿sí o sí? y el otro lo podemos hacer por ejemplo de color azul, aquí, ahí estaría $M2$, ¿vale? esta $M1$ y $M2$, están juntos, esto es lo que nos mandaron a hacer ahora, y le están aplicando la misma fuerza, no cambiaron la fuerza es la misma, ¿ahora que decimos? ¿cómo aplico la segunda ley

ahí?, ¿que digo? ¿que dice esa segunda ley?, ¿que es lo que dice? que fuerza es igual a masa por aceleración, pero ojo a lo siguiente los engancharon, si los engancharon, las aceleraciones para las dos es la misma, entonces ahora tengo, la aceleración es la misma y la fuerza es la misma para ambas, mejor dicho, ya no preocupo por dos cuerpos me preocupo por uno solo, es decir lo tengo es esto, ¿lo comprendimos? entonces ¿cómo escribo ahora?, que fuerza es igual ¿a qué? Dígalo, Masa 1 + Masa 2 por la aceleración, ¿y que no están preguntando?

Estudiante : la aceleración.

La aceleración, ¿quién llega?, falta un pasito, solo den un pasito, dígamelo

Estudiante: reemplaza m_1 o m_2

Vea aquí salto la liebre, miren lo que él dice, yo reemplazaría M_1 o M_2 , ¿dónde? ¿De dónde lo va sacar? ¿De aquí, que va decir entonces? ¿que qué? que $3M_1$ ¿sí o no? paso esto para acá, es igual ¿a quién? ¿a quién? a M_2 , o sea que aquí este M_2 lo puedo sustituir, vale ¿que sí?, háganlo, ya este caballero prácticamente nos sacó al otro lado del charco, entonces hágale pues.

¿Ya que les dio?, ah muchachos ¿qué vamos a hacer? muy lento esto, muy lento.

Estudiante: mientras cogemos el tiro

Mientras cogen el tiro, nos van a dar las 11 y no hacemos ni 3 problemas hoy, ¿qué les dio ahí?, díganme ¿qué les dio? ¿Qué les dio? ya hicieron el reemplazo, ¿ya reemplazaron a M_2 ? ¿Sí? ¿Qué les dio?

Estudiante : fuerza= $4M_1$ por la aceleración.

¿fuerza es igual a quién? A M_1 , este M_2 lo volvió $3M_1$, y esto lo multiplico por la aceleración, fuerza es igual entonces ¿a qué?, a $4M_1$ por la aceleración, ¿y ahora qué?

Estudiante : se despeja aceleración porque necesitamos

Entonces usted dice pues despejamos la aceleración que sería fuerza sobre $4M_1$, ¿y qué?, que nos dieron, dígame que nos dieron, ¿estamos metidos en algún problema?

Estudiante: toca hallar la aceleración

¿Cómo?

Estudiante: reemplazando

¿En dónde? ¿Aquí? ¿Qué hago? ¿Aquí aceleración sería f que sería, masa por aceleración sobre $4M1$? ¿y qué hago ahora?, o sea que cancelo la masa, la aceleración perdón, y esto me daría que $4M1$ es igual a la masa, pues eso ya lo hicimos aquí, dijimos que sí, esto era la masa

estudiante : ¿no se le podría dar un valor a la fuerza? Y ya que es el mismo

No, a mí no me han dado ningún valor de fuerza para eso, ¿cómo? ¿Cómo queda?

Estudiante: así

¿Así? decir que fuerza es igual a $4M1$ por la aceleración? o que la aceleración sería igual a esto

estudiante : esa es la incógnita que tenemos que hallar

Esa es la incógnita ¿que qué?, que tenemos que hallar, no nos dan nada, como se llama una respuesta de esas, ¿dejarla qué? ¿Cómo?

Estudiante : Dejarla indicada

Indicada o expresada, ¿y por qué la dejo indicada o expresada?, por falta de, ¿por falta de qué?

Estudiante: datos

De datos, pasen al siguiente problema, hagan el número 2 pero yo veré volando, si déjelo así, déjela expresada, el 2 que está encerrado, si el siguiente el número 2, el número 2, no hagamos el número 7, número 7, bueno a ver cómo nos va con ese 7

Estudiante : profe una pregunta ¿digamos que esa parte sin el 4 son 3 metros sobre segundo, no lo podría separar del $1/4$ y después multiplicarlo por esto, para que me diera $\frac{3}{4}$?

¿cuánto le da esa división?

Estudiante : esto me da 3 m/s, y multiplicado por $\frac{1}{4}$ y despejo, eso es igual a la aceleración, le da $\frac{3}{4}$ de segundo

¿cuánto le da?, ¿esa división le da 0,75?

Estudiante: si

La razón es que si, la razón es que si lo que pasa es que si nosotros, cómo le digo, si el grupo en si no llega con la razón del ejercicio, no lo puedo dejar pasar, ahora miramos y les decimos como obtener eso, si eso da 0.75

Estudiante: es que tenía la duda

Miren que los he pasado a un campo un poco diferente, ¿a dónde los mande?

Estudiante: a vectores

¿a vectores por qué? , como se llama eso, por componentes, eso vectores por componentes, ¿y qué le están pidiendo?

Estudiante : La resultante

Y ¿cómo halla la magnitud?

Estudiante : 6/5, a no es raíz?

Ajá, dele, dele que ya la cogió, a ver ustedes, ¿quién más? Por aquí ya la cogieron facilita

Estudiante : es la resultante de ambos vectores, J y Y .

Hágala rápido, hágala rápido, aquí hay otra pareja que la cogió, bien, bien, bien, bien, ya hay otra parejita ahí que la cogió vea, ya sabe por dónde ir

Estudiante : profe, profe,

Muestre a ver cuánto le dio

Estudiante : como hasta ahora nos están dando forma de vector

Vaya hágalo, rápido, bueno aquí tenemos una respuesta, aquí tenemos una respuesta, hágala aquí por favor, problema numero 7 ya esto hecho en su totalidad, bueno vamos a ver que nos dicen, aquí a hay compañeros que han podido resolver el ejercicio, y de es que se trata esto, no que el profesor los haga si no que ustedes saquen a flote ese saber que ya tienen, entonces el problema que era lo que decía.

Estudiante : hallar la magnitud y la resultante de una fuerza aplicada

Hallar la magnitud y la resultante de una fuerza aplicada a una masa de 3 kg, si su aceleración está dada por el vector $2i+5j$, esa j es minúscula, no se les olvide, y son versores, hay que ponerles un gorrito a eso, la i va así y la j va así, porque son versores, bueno dele, muy bien, entonces, no escribió que era lo que iba a hacer, fuerza

= masa por aceleración, vectorialmente hablando mire, muy bien ahí está el ejercicio hecho el número 7, con vectores, vean ustedes lo que menos me imaginé en vectores les fue mejor que en escalares, casi nada, salí ahí pues medio quemado, pero bien vale la pena.

Vamos a pasar al ejercicio número, vamos a ir al ejercicio número 18, vamos a ir al ejercicio número 18, rapidito por favor, ejercicio 18, prontico porque no voy a alcanzar, muy demoraditos, demoraditos, demoraditos, ya vamos uno, uno, uno hizo el profesor uno hicieron los estudiantes, vamos al tercero.

Estudiante : ¿esto lo llamo tensión?

No esto es una fuerza, para que lo vaya a llamar tensión si ahí ya tengo los nombres

Estudiante: yo había pensado hacerlo así, sumatoria de fuerzas X y sumatoria de fuerzas en Y la igualo a masa por aceleración, como acá w es igual a masas se cancelan la masas, ¿cierto? Pero lo que no sé es si aquí la sumatoria de fuerzas va MG , la normal y la fuerza 2

No no no no no, usted ahí está es acudiendo a una partícula que se mueve con esas dos fuerzas, ahí no le están diciendo que está apoyado en nada, ahí no está apoyado en nada, a ver ustedes, ¿cómo va la cosa?

Estudiante: porque tenemos estos datos, despejamos la aceleración

¿y luego que les está pidiendo?

Estudiante : la aceleración, encuentre la aceleración de a y la de b .

Estos son vectores, no son escalares, yo veo vectores, usted está trabajando como si fuera un escalar, bien ¿y ustedes qué tal?, ahí van llegando, si, ¿qué paso?, a ver.

Estudiante : es que toca trabajar siempre y cuando todos los términos tengan masas.

Empezando por ahí, está cancelando mal, quien más está por ahí listo, ¿ya? O si no pasamos rápido a hacerlo, ¿usted que como va?

Estudiante: lo que tengo es que sacar la fuerza resistente a esta aceleración

Si, correcto, no más, eso es lo que tienen que hacer, es idéntico solo que aquí está en 60 grados y el otro de 90, solo que este, hay varias formas de resolver eso, uno lo puede hacer por vectores o lo puede hacer como usted lo está pensando, metiendo el

plano cartesiano y descomponiendo fuerzas, como quiera, ahí tiene dos formas para hacerlo, bueno.

Estudiante : ¿yo puedo despejar la aceleración?

Ah sí, en todas partes de puede despejar la aceleración, claro, ¿15 y 20 no? ¿F1 vale 20? ¿Listo? ¿estamos de acuerdo? miremos a ver porqué veo que ya es suficiente el tiempo, espero que la cojan rápido como lo vamos a explicar, este problema lo pueden hacer de dos maneras, o lo hacen como vectores libres y al hacerlo como vectores libres, pues a esto le tendrán que dar de todas maneras una dirección sobre x y sobre y, lo mejor sería entonces si lo hacen así tomar aquí f_1 , decir que esto es igual a 20 newtons, y tomar aquí f_2 y decir que esto es igual a 15 newtons, sabemos que este ángulo es de 90 grados, y aplicar ¿cuál ley? ¿cuál ley vamos a aplicar? ¿la 1ra o la segunda o la 3ra?, la segunda, nos dicen que fuerza es igual a masa por aceleración, pero, pero me dan ¿qué? las fuerzas y me dan la masa, ¿verdad? ¿cuánto es la masa de esto?

Estudiante: 5

5 kg, entonces miremos bien, yo puedo estas fuerzas mirarlas desde el punto de vista vectorial yo puedo hacer lo siguiente, decir que la fuerza que hay aquí es 20, ¿sí? ¿en qué dirección?, en i ¿cuál otro vector tengo? ¿más qué?

Estudiante: 15j

Más 15j en la dirección k, y que eso es la fuerza, vectorialmente hablando, estoy sumando esos dos vectores y digo que esto es igual a masa por aceleración, si yo hago aquí pasar la masa acá ¿me quedaría cuánto?, ¿4 que? $4i$ ¿y aquí cuánto? ¿Cuánto? $3j$, y esto es igual a, es decir la aceleración que me están pidiendo es $4i + 3j$, ah, que la tengo en vectorial y quiero hallar su valor resultante si es que quiero dar el valor ya finiquitado, pues sabemos que eso lo expresaría como la raíz cuadrada de 4 al cuadrado más 3 al cuadrado, y esa a me estaría dando 5 metros por segundo cuadrado, para anotar unidades.

Y de la otra forma que habría es meterla en el plano cartesiano y hacer sumatoria de fuerzas en x, sumatoria de fuerzas en y, y hallar la resultante, hagámoslo por la segunda forma, entonces, ¿en x que tenemos?, tendríamos $f(x)$ aquí, que sería fuerza1, que sería igual a que

Estudiante: fuerza por aceleración

A masa por aceleración, esta es la sumatoria en x , no hay más si no una fuerza, bueno pongámosle fuerza 1, f en x en ultimas, es f en 1, que sería igual a qué? A masa por aceleración ¿esta es la sumatoria en dónde? En x , no hay más sino una fuerza, yo puedo tomar la sumatoria en y , y entonces decir que eso es f^2

Estudiante: menos el peso

No, ¿por qué? no aquí no hay peso, no le vayan a meter peso, porque eso no está colocado en ninguna superficie, ese cuerpo que ustedes ven está en el aire, no está soportado en nada simplemente estamos hablando del sistema como está ahí, ahí no me hablan de peso ni de nada de esas cosas, hablan de cuál es el resultante de lo que está ahí, y nada más ¿esto cuanto me da en $f(y)$? ¿masa por quién? ¿Por aceleración? ¿Sí?, y entonces de aquí que puedo hacer, ¿qué podemos hacer aquí? ¿Qué puedo hacer aquí? ¿ f_1 cuánto vale?, si ¿pero cuánto vale f_1 ?

Estudiante: 20

20 es igual a masa por aceleración, así que $20/5$ ¿me da cuánto? 4, ¿qué?

Estudiante: 4

A si, No pero no no no no, un momentico que aquí estoy haciéndolo como no es, bien, tengo sumatoria en x y sumatoria en y , mi fuerza resultante a ¿que es igual?, a fuerza en x al cuadrado, más fuerza en y al cuadrado, y ya las puedo hallar entonces se cuánto vale $f(x)$, así que por fuerza resultante me voy a $f(x)$ al cuadrado, pero $f(x)$ a ¿qué es igual?, ¿esta masa que es cuánto?, esta es 5 por a , o sea ¿me daría cuánto? 25 al cuadrado ¿estamos de acuerdo?, esta sería fuerza f_1 , que es, ah no, es 20, estoy equivocado aquí, discúlpeme, $f(x)$ ¿qué es cuánto aquí?, este 20 ¿qué sería al cuadrado me da cuánto?, esto me da 400, pero aquí tengo variación, tengo una variable y no voy a poder salirme por ese lado, pensé que lo podía hacer por un segundo paso pero creo que no lo puedo hacer, no, no porque me meto en líos ahí con una variable, toca dejarlo aquí, pensé que ese lo podía hacer por otra forma ahí, pero no, pensé que podía hacerlo por dos caminos ese ejercicio, pero dejémoslo así, no no me da porque ni me ajusta la ecuación aquí, dejémoslo hasta aquí por vectores, dejémoslo ahí quietico, porque por un segundo lado no me da, me meto a hacer ahí y no voy a llegar a ninguna parte, está el ejercicio, si lo queremos hacer el segundo entonces lo metemos con cosenos, lo que pasa es que ahí entraríamos a hacer el

teorema de Pitágoras, como lo estoy haciendo ahí, yo lo haría para este segundo caso por ahí, el segundo caso por ejemplo lo tenemos así, me dicen cuanto forma el ángulo de esto, uno está aquí y el otro está aquí, ¿es así?, si aquí esta f_1 y aquí está f_2 , este tiene 60 grados aquí, y este es f_2 , este es 15 y este es 20, este por descomposición vectorial, este nos daría, aquí puedo descomponer este vector ¿se acuerdan de esto? si, ¿sí o sí? f_2 en x y este sería, f_2 en y , y este lo puedo trabajar por cosenos, vectorialmente, como lo hicimos la vez pasada, entonces este podríamos hacer este, la f_x ¿cuánto me daría aquí?, me daría f_1 ¿más cuánto? ¿ f_2 en qué?, lo recuerdan ¿sí o no? mire aquí me quedaron dos vectores, f_1 y f_2 en x , ¿estamos de acuerdo?, o sea que este f_x ¿cuánto vale? ¿Cuánto vale f_1 ? ¿Qué se me hizo? 20, ¿Cuánto vale f_2 en x ?, vale f_2 ¿por quién?

Estudiante: coseno

Por coseno, correcto, por coseno de 60, acuérdense que si está pegado al ángulo juega con coseno si no está pegado juega con seno, aquí tenemos ya $f(x)$, y este $f(x)$ lo podemos dejar como 20, mas f_2 coseno 60, coseno de 60 es 0,5, y si yo multiplico ese 0,5 por f_2 cuánto da, 7,5, así que $f(x)$ me da 27,5, y ya tengo el primer elemento para meter en el ¿en el que?, en el vector resultante, busquemos ahora la sumatoria en y , las fuerzas en y ¿cuáles son?, solamente hay una que es f_2 en y , así que f_y me da f_2 , ¿por qué?

Estudiante: por el seno

Por el seno de 60 grados, correcto, y que este f_y me da f_2 que vale 15 multiplicado por el seno de 60, que es 0,866, el seno de 30, 0,5 el seno de 60 viene a ser 0,866, ¿cierto? ¿cuánto nos da 15 por 0,866?

Estudiante: 12,99

12,99 arriesguémoslo a 13,0, para evitarnos esos decimales, ¿cierto? estamos redondeando, ¿y cómo nos queda el f en y ? el f total, el f resultante nos queda $f(x)$ cuadrado más $f(y)$ cuadrado, para aplicar lo que allá el compañero quiere que se aplique, el teorema de Pitágoras, entonces ahí se los estamos aplicando, esto, esto yo lo dicte, no se me vengan a hacer los gringos, esto lo dicte en vectores, ¿sí o no? esto lo trabaje en vectores, ¿cómo qué no? les di el vector resultante, les di los 4 pasos, sumatoria de fueras en x sumatoria de fuerzas en y , el día que hice vectores,

fue una clase que hice, media clase toda de vectores, fue la segunda clase, sí señor, si no vino, aquí hay gente que sabe que yo di vectores, ¿sí o no di vectores?

Ahí los tienen, véalos, eso era, ustedes llegaron tarde, llegaron dos días después, entonces claro están perdidos, claro, cuales vectores, ese es el problemita, ¿no?, entonces cuanto nos dio esta fuerza resultante, por favor ayúdenme allá con calculadora, $f(x)$ me da 27,5 pero elevado al cuadrado, y aquí me da 13,0 pero elevado al cuadrado, ¿cuánto da el total de esto?

Estudiante: 30.42

30,42, así que si quiero la aceleración ya la puedo hallar, cierto que sí, porque la aceleración a que sería igual, a fuerza/masa, y si la fuerza es 30, 42 y la masa es 5, tenemos aproximadamente, ¿cuánto?

Estudiante: 6,08

6.08, podríamos ir a $6,1 \text{ m/s}^2$, fíjense un problemita aquí que quiero que lo vean, si ustedes no asisten a las clases miren el lio en que se meten, porque uno queda aquí hablando solo, hablando solo literalmente, no falten, no falten, vengan, siempre vengan, bien ustedes van tener un trabajito este fin de semana muy agradable, que es hacer, a ver van a hacer estos, de ese capítulo solamente háganme estos, yo quedaría feliz si lo logran, 26, 27, 30, 32, de esta unidad si, 26, 27, 30, 32, 38 y 44, son 2, 4, 6 ejercicios nada más, pero si ustedes los resuelven, si son capaces de hacerlos, 26, 27, 30, 32, 38 y 44, la mayoría de los que están ahí subrayados, son de vectores, todo es de vectores, entonces les pido un favor, los estudiantes que no estuvieron en vectorial, en la charla de vectores, péguensele a los compañeros que les faciliten esos apuntes porque sin eso no van a ninguna parte, la física es toda vectorial, casi toda, un 80% 90% es vectorial, lo veo, entonces por qué me estaba diciendo que estaba como perdido ahí

Estudiante: porque no vino

Ah porque no vino, claro, bueno miren, ahora si me hacen un favor ustedes, se ubican como estaban al comienzo separaditos, separaditos, ya no por parejas, sepárense, esto no necesitan, sepárense, sepárense, sepárense, o usted hágase aquí adelante ¿listos? bueno vamos a hacer una pequeña pruebita, no es calificable todavía, tranquilas y tranquilos, es una pruebita para mirar cómo hemos avanzado, a ver hasta donde hemos llegado, tienen 10 minutos para resolverlo, háganlo bien, concéntrense,

necesitamos que se concentren, que lo hagan bien, córrase más para acá, eso, ahí está bien, ahí está bien, no necesitan colocar ni nombre ni código, nada, repito es una pruebita para ver cómo hemos avanzado, sumerce se pasa aquí, y nada más, en silencio por favor, 10 minuticos, bueno vamos a ver que hemos logrado, usted se pasa para este lado, que queda mejor, ustedes los dos deben separarse, un poquito más para allá, listo, ¿ le entregue su prueba?, ¿a usted tampoco?, listo, listo.

Figura 2. Mapa conceptual Primera ley de Newton

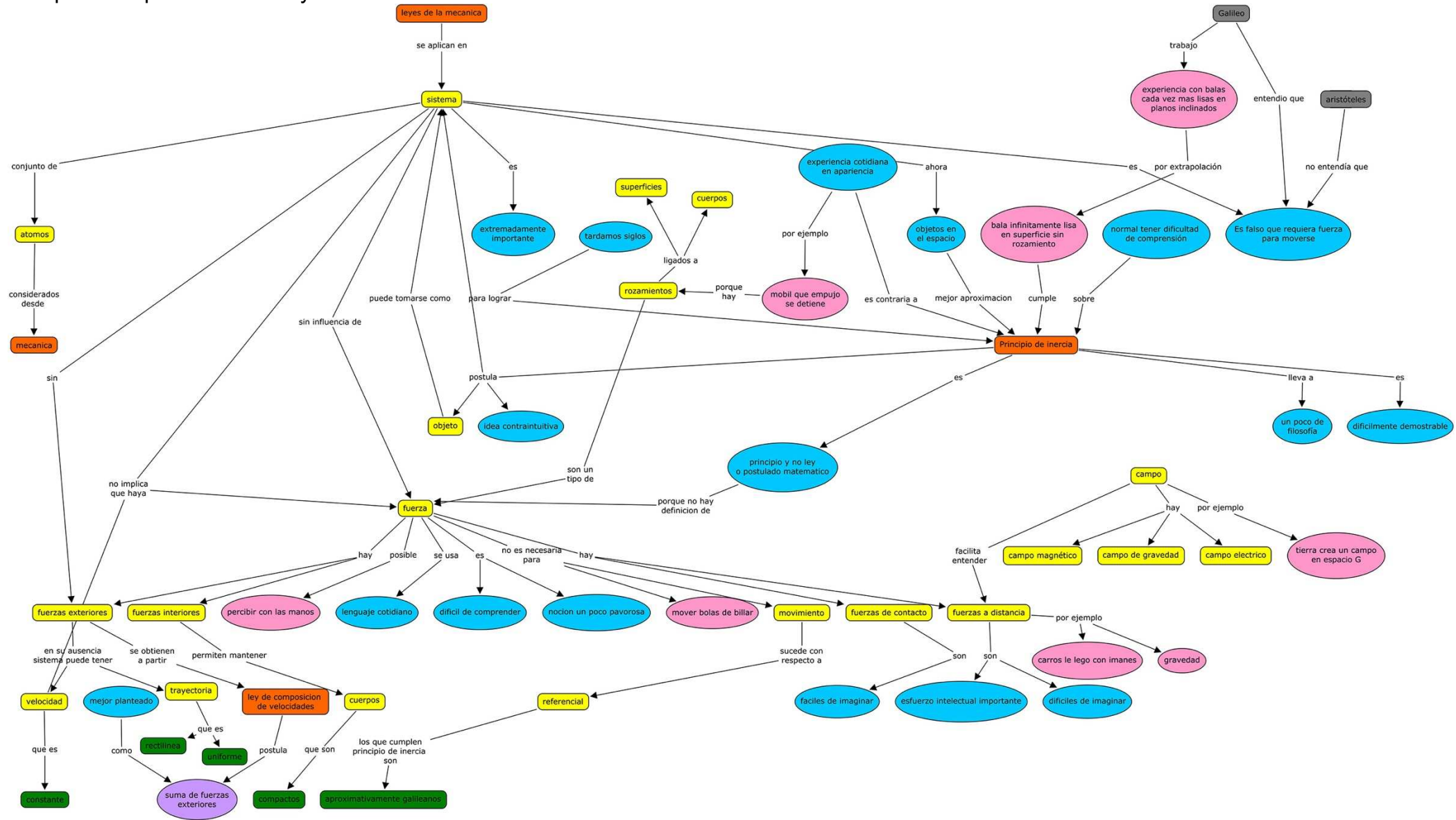


Figura 3. Mapa conceptual referencial

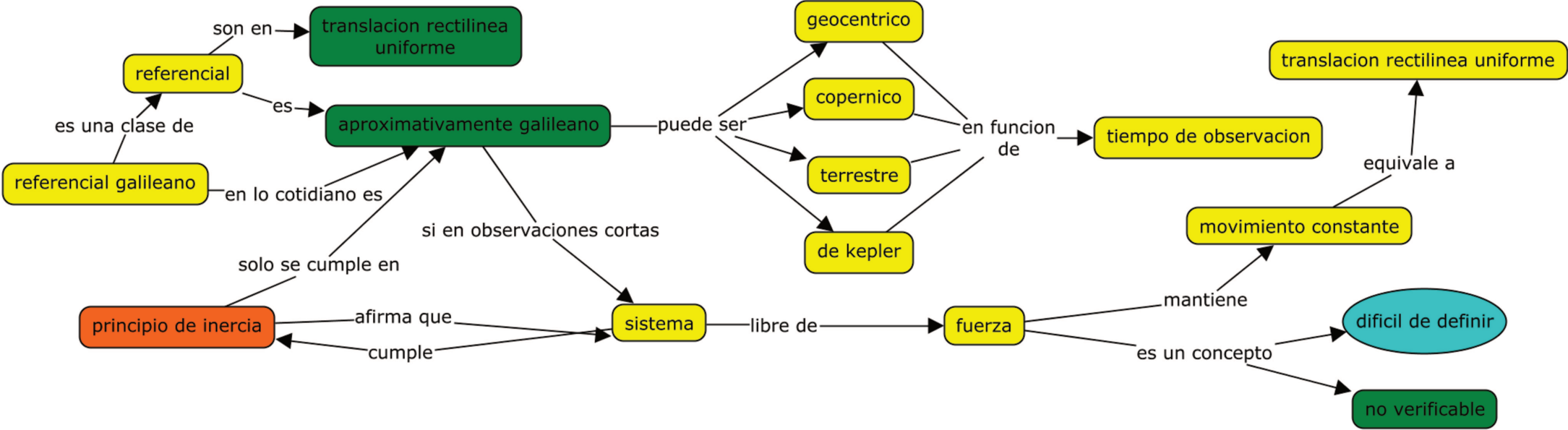


Figura 4. Mapa conceptual cantidad de movimiento

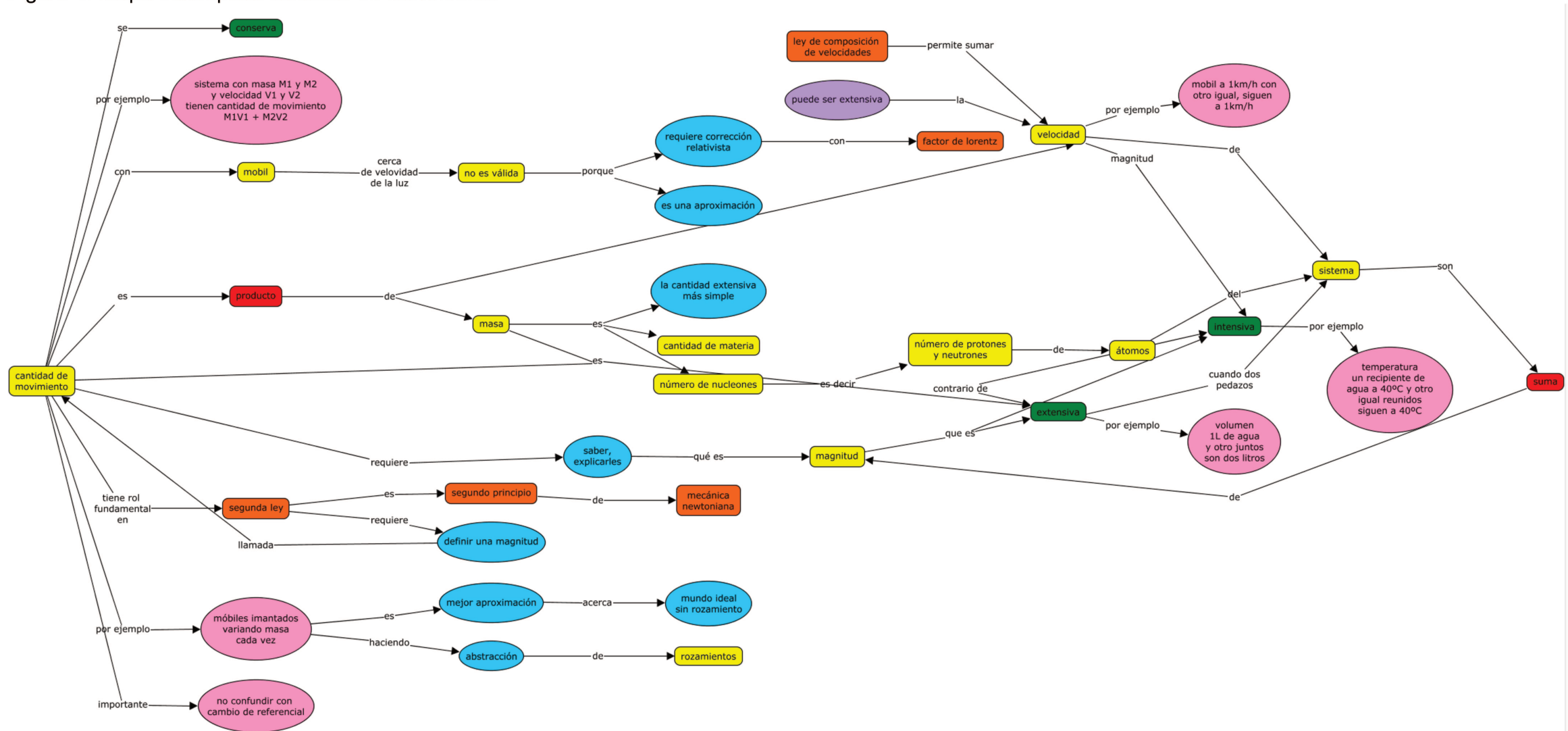


Figura 7. Mapa conceptual Ley de la Gravitación

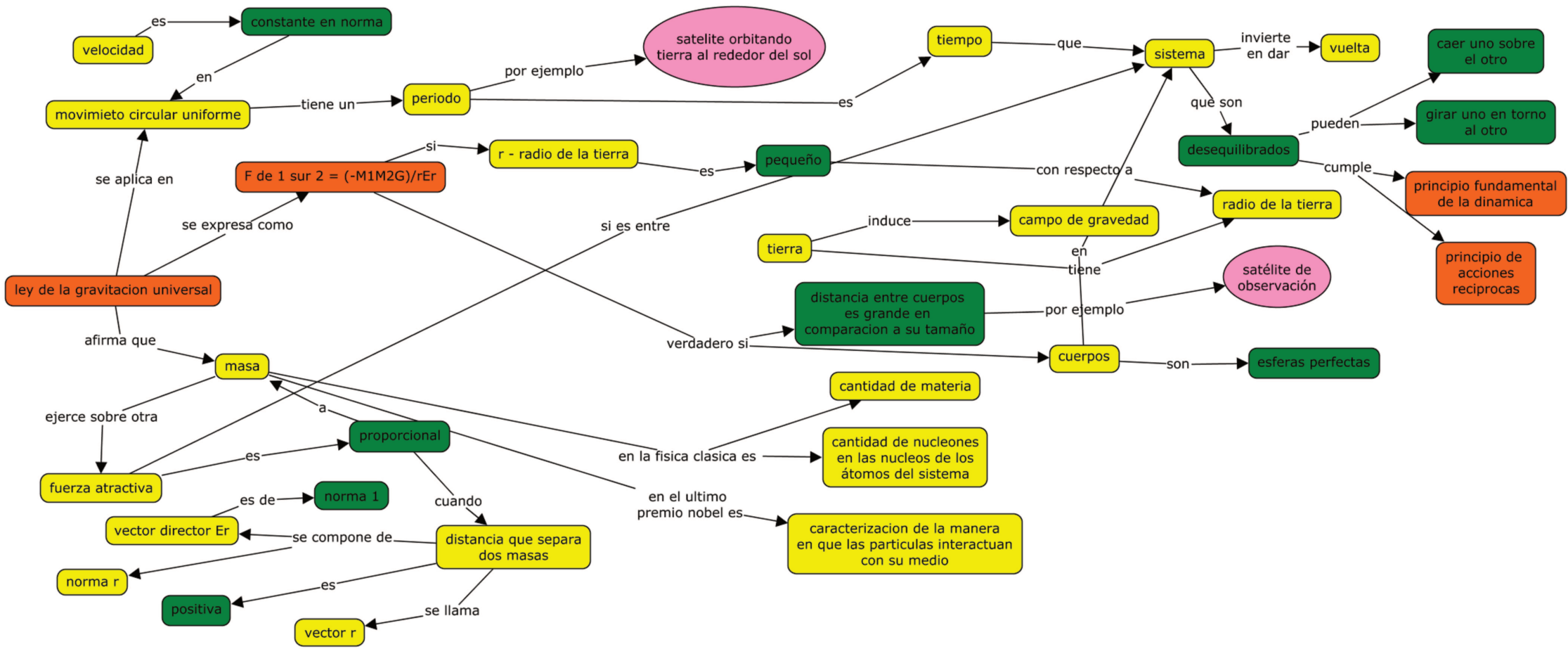


Figura 8. Mapa conceptual Ley de Coulomb

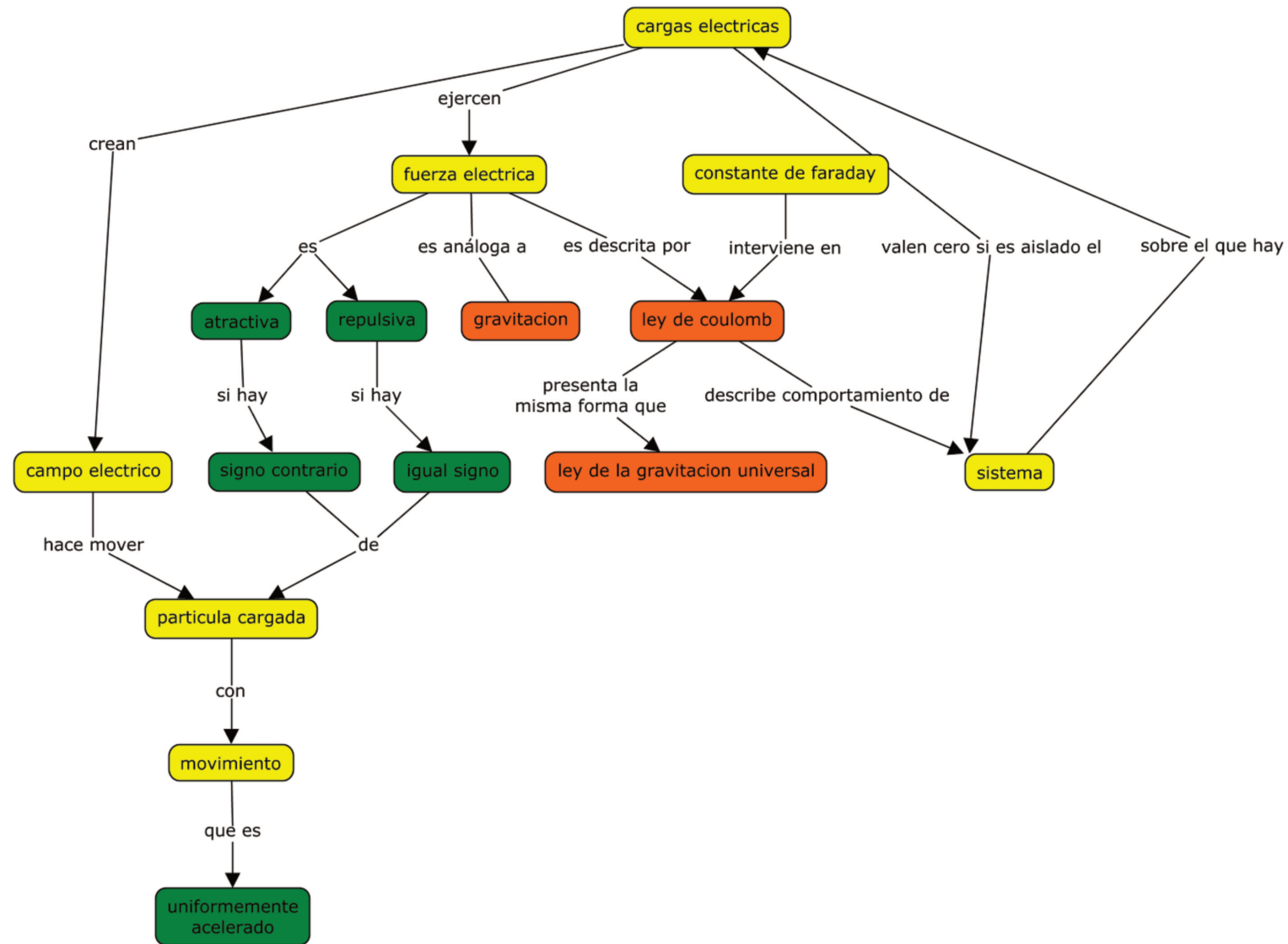


Figura 9. Mapa conceptual Rozamiento

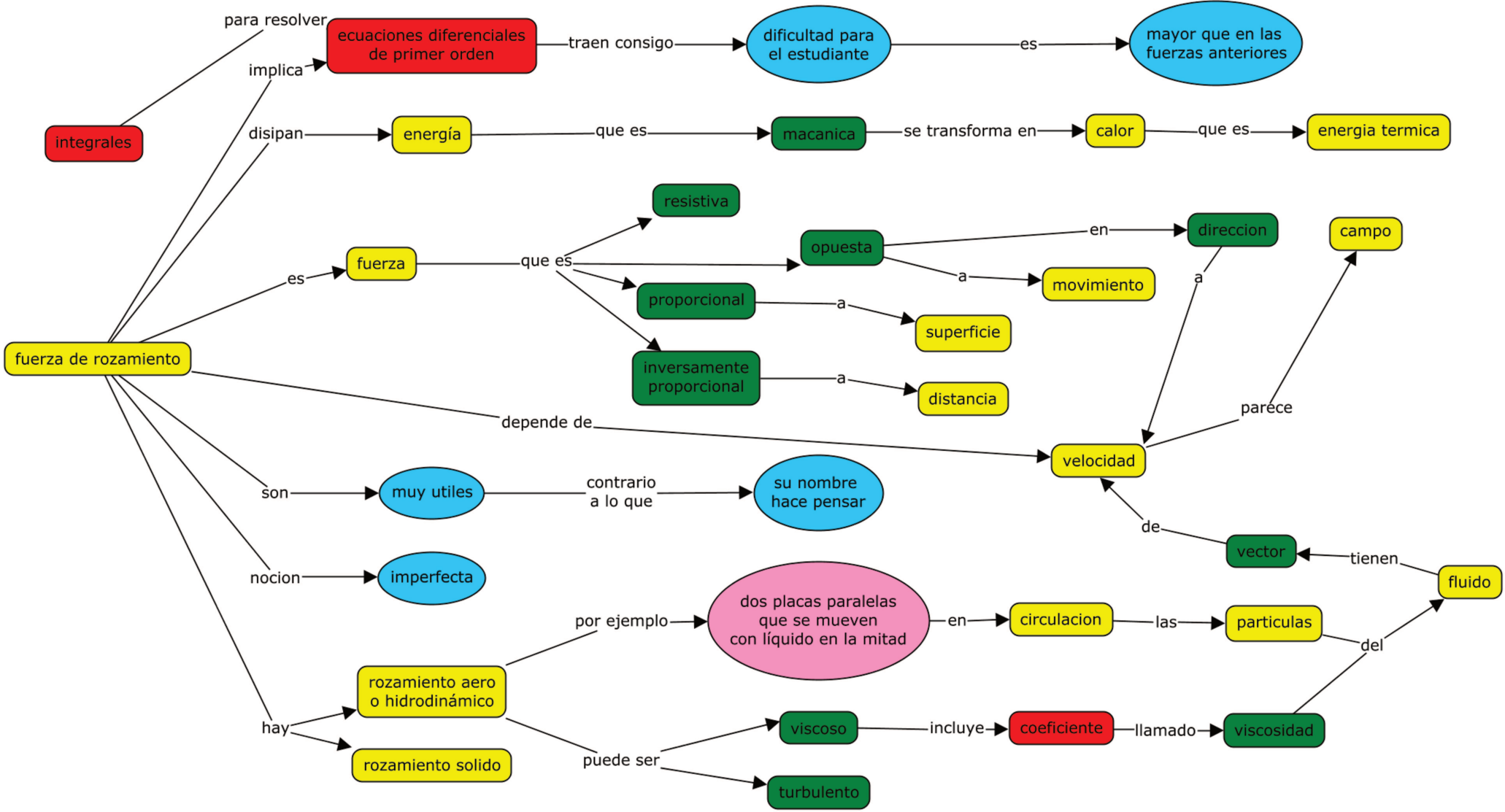


Figura 10. Mapa conceptual fuerzas de recuperación

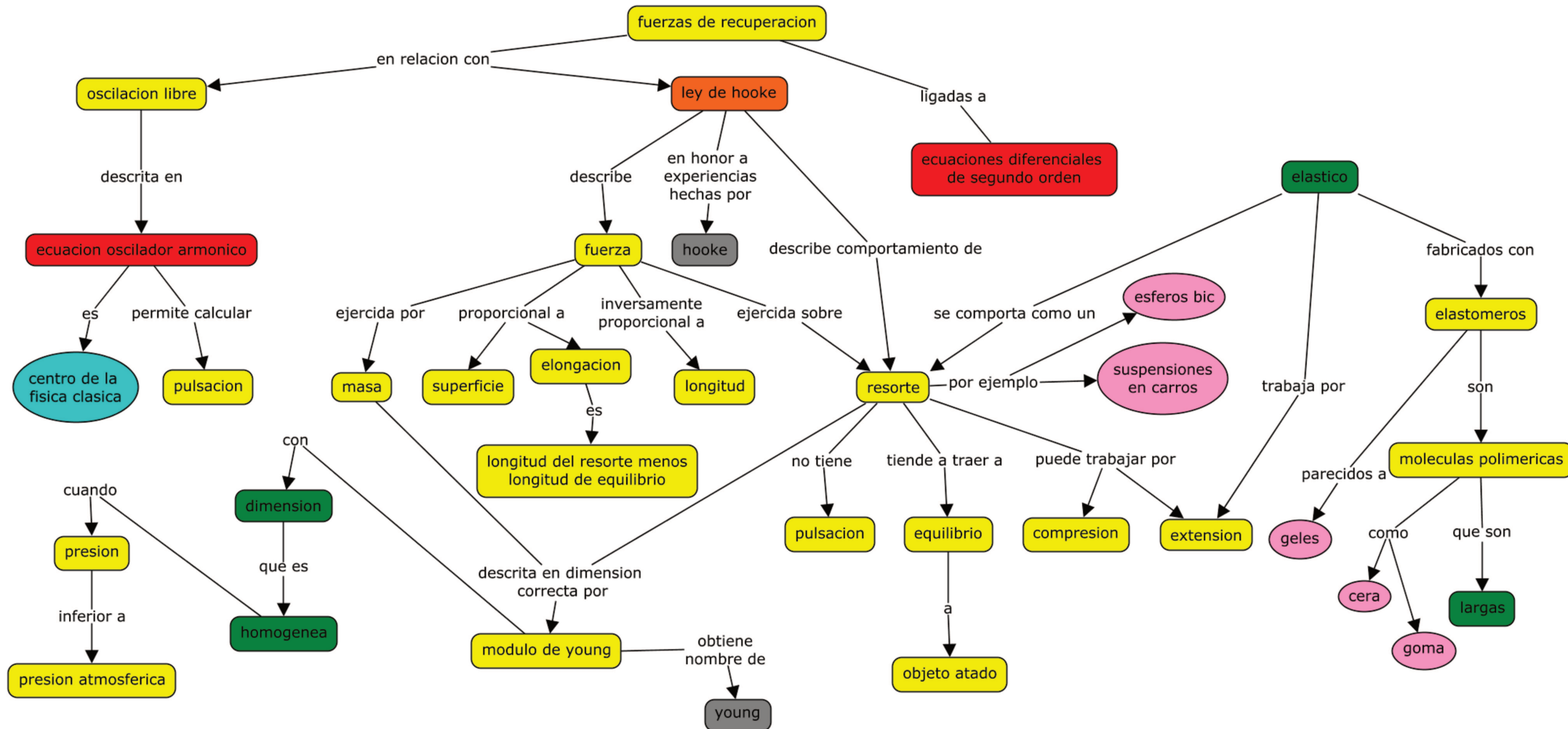


Figura 2. Mapa conceptual Referencial

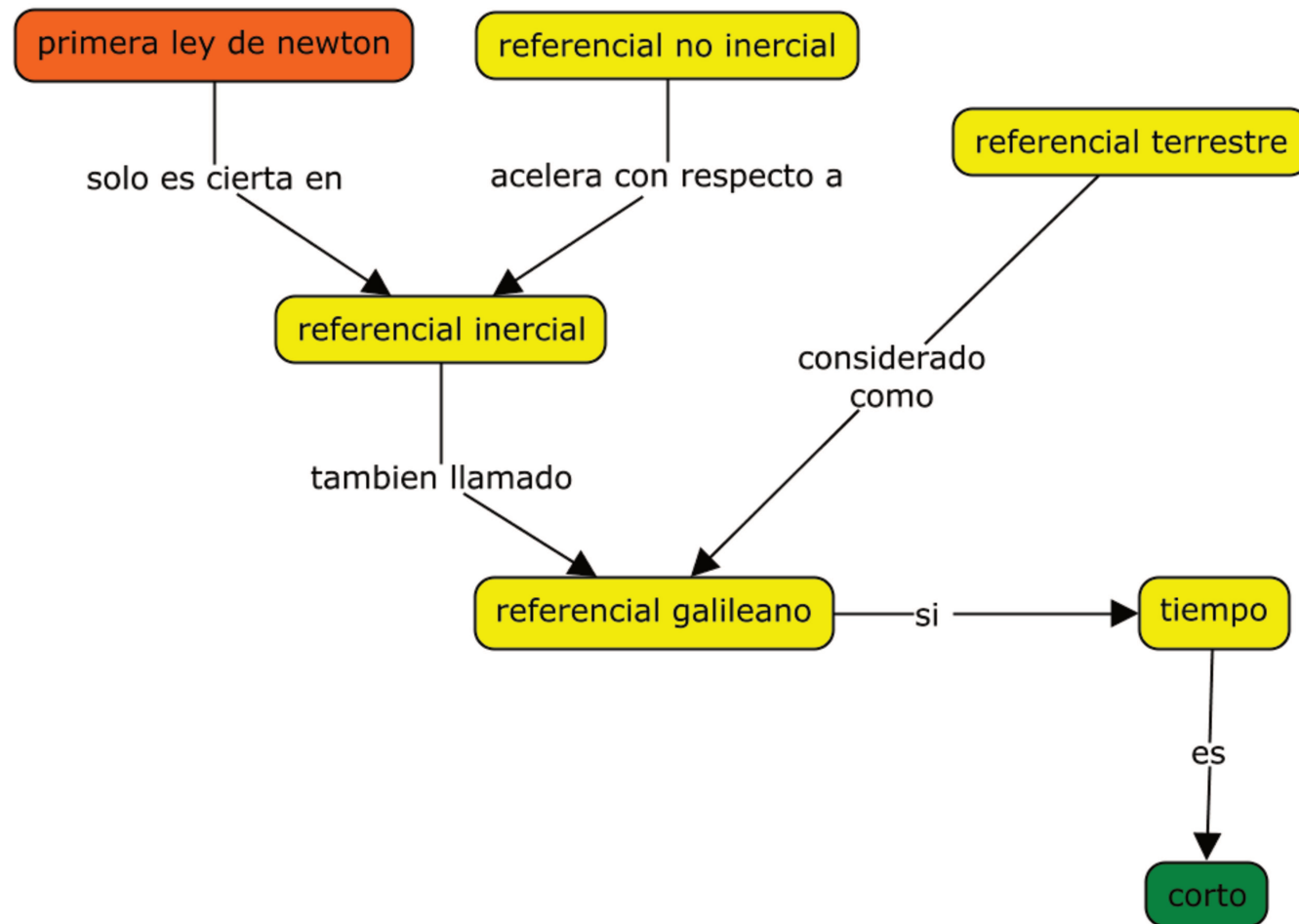


Figura 3. Mapa conceptual Cantidad de Movimiento

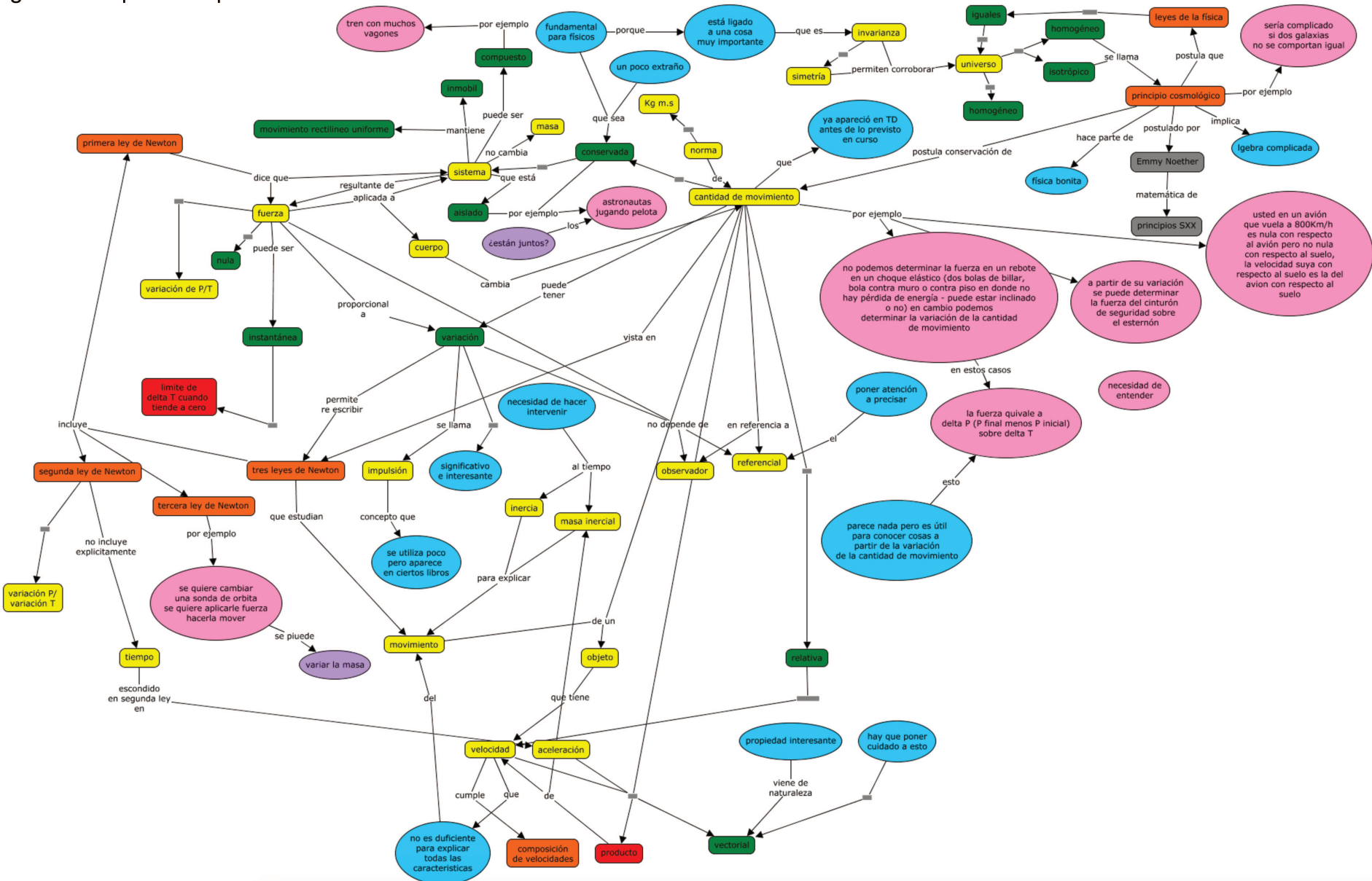


Figura 6. Mapa conceptual Rozamiento

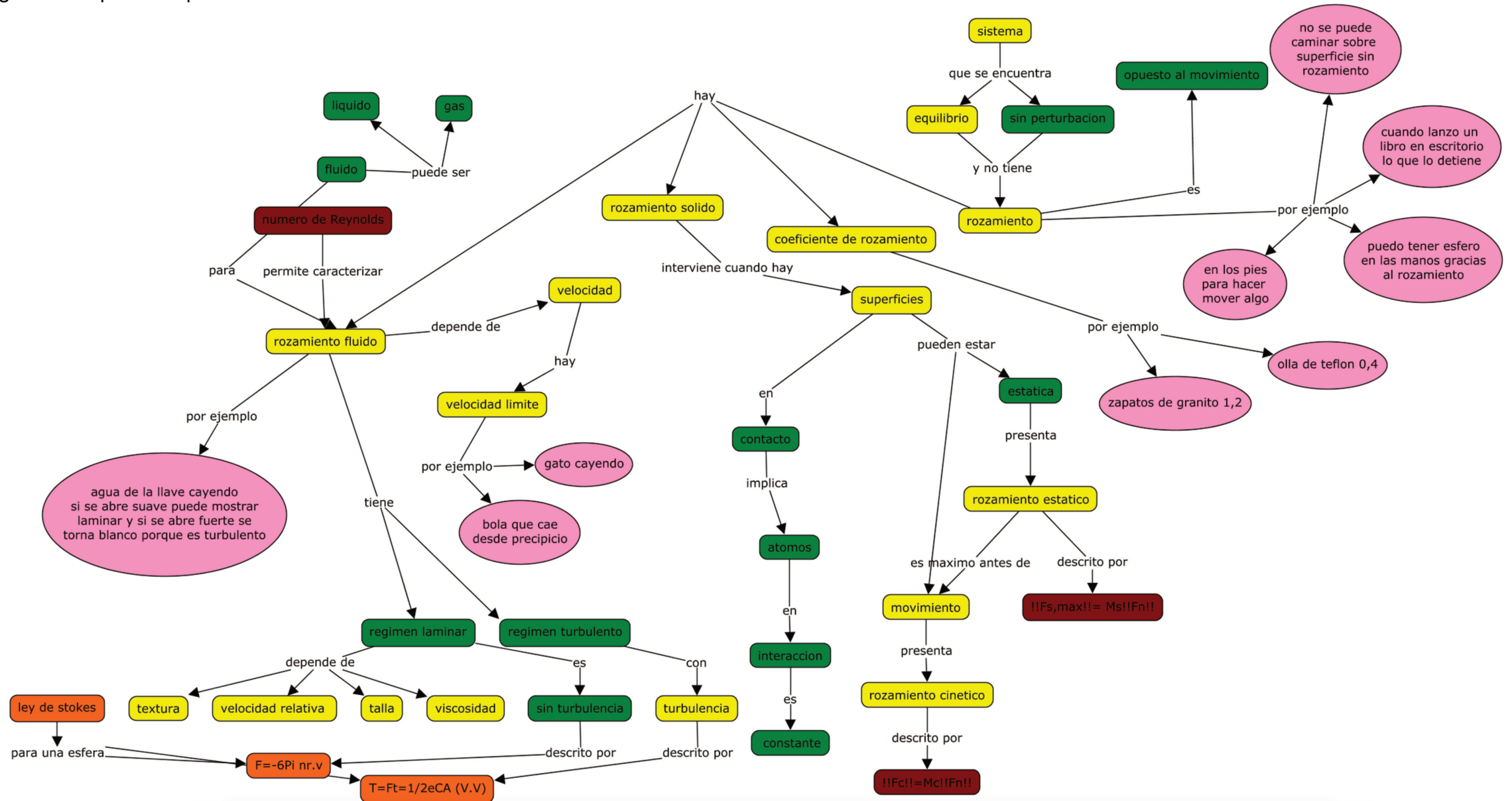
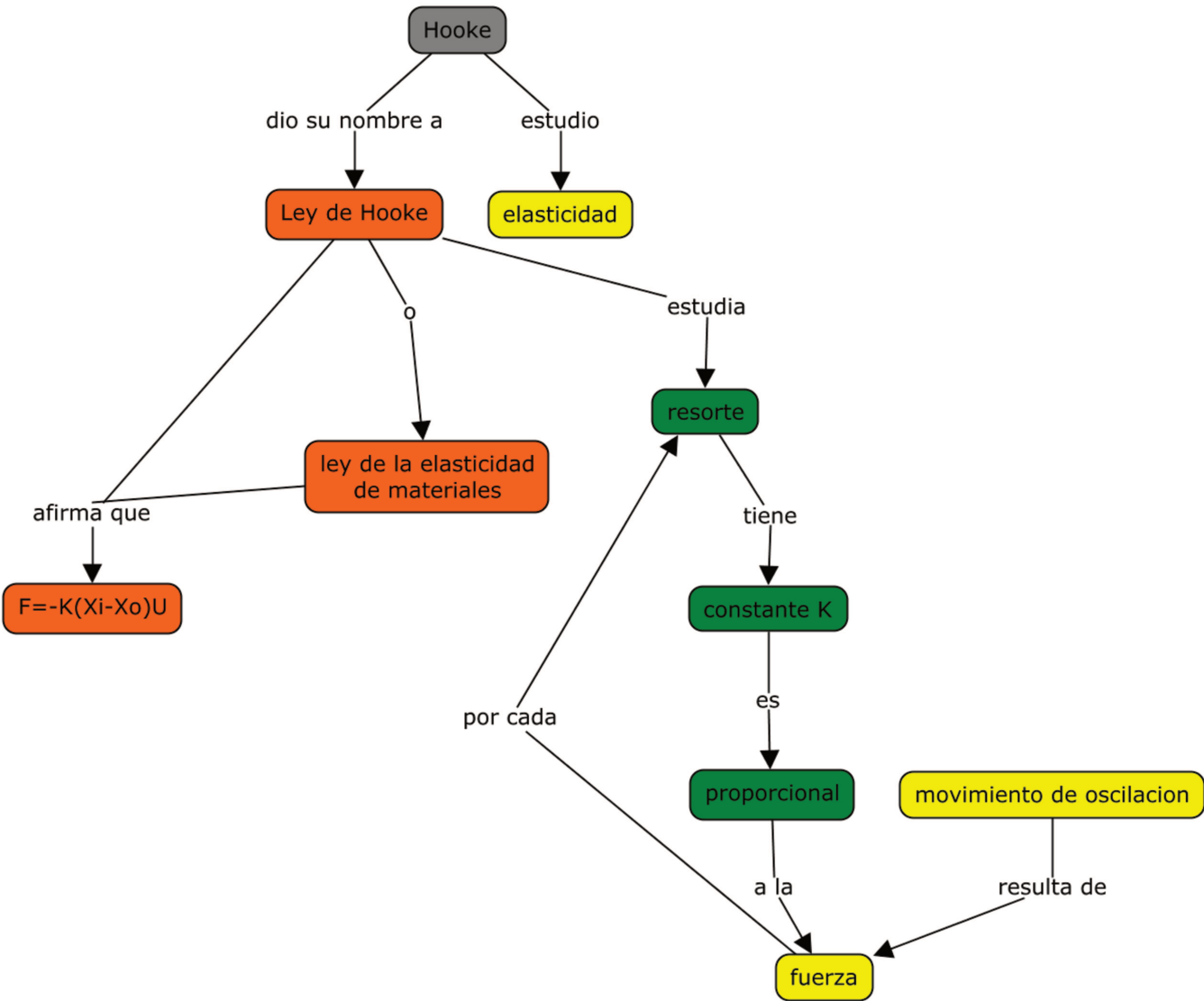


Figura 7. Mapa conceptual Fuerzas de recuperación



Libro de texto

Figura 1. Mapa conceptual Leyes de Newton (introducción)

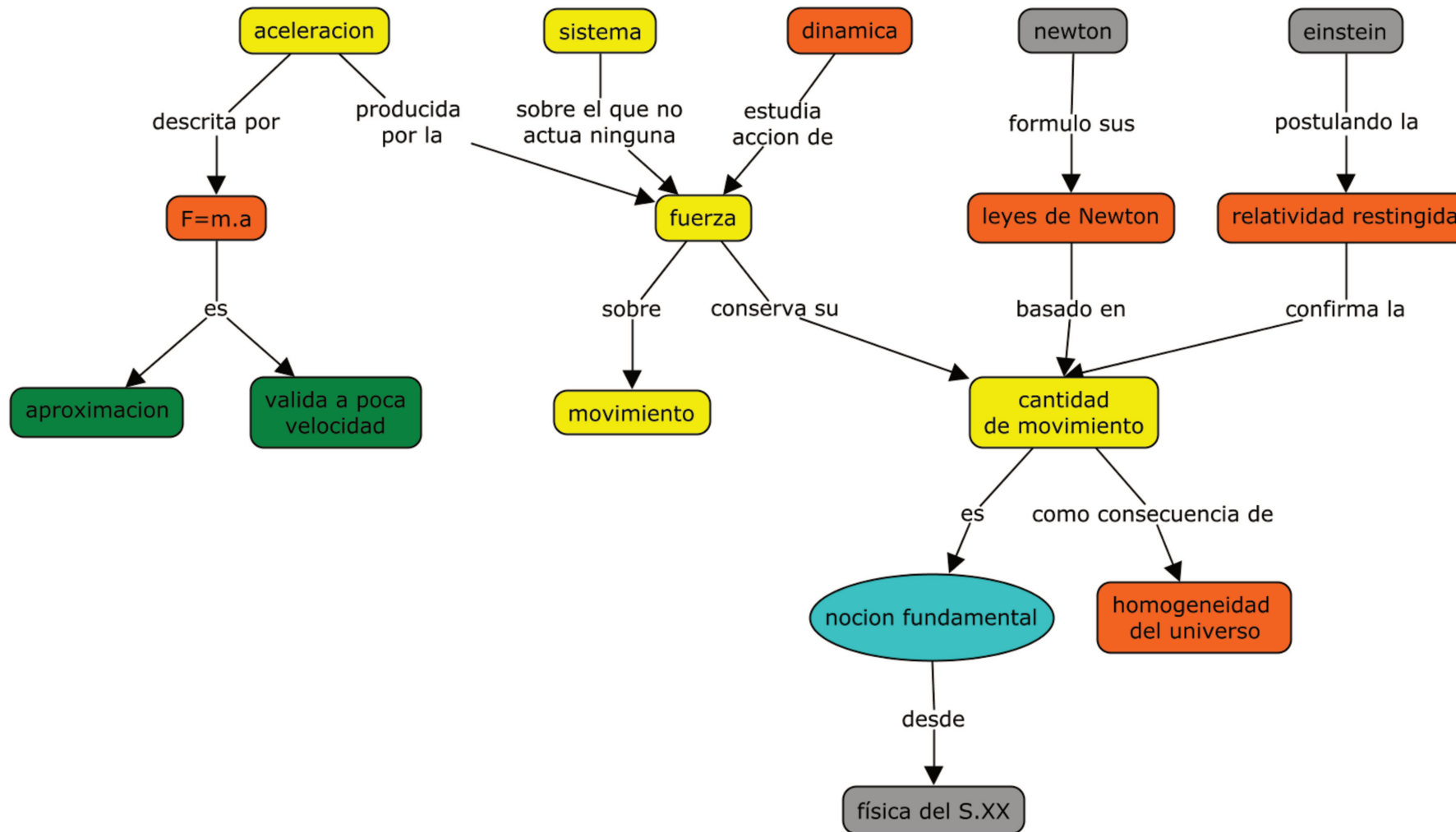
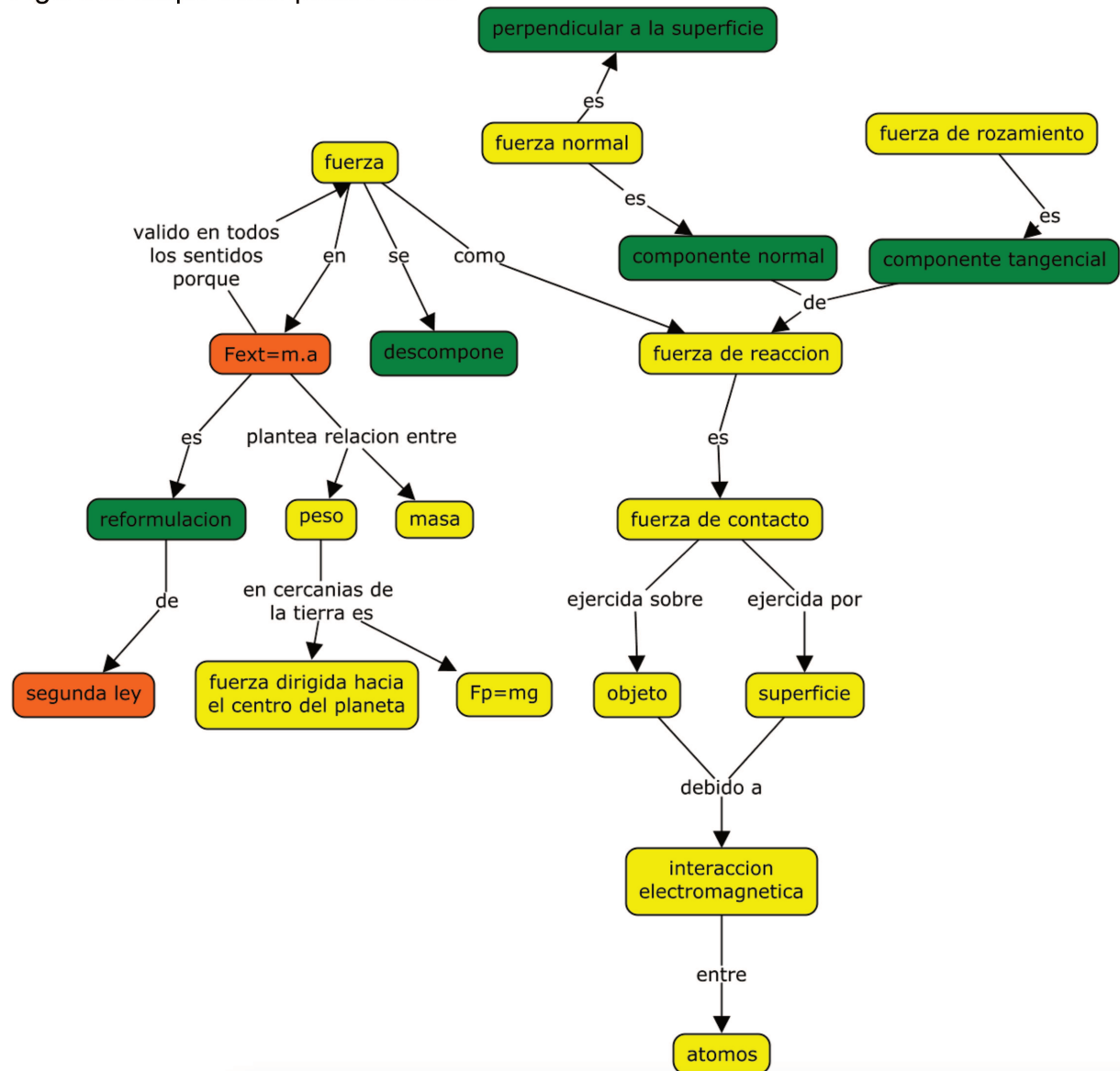


Figura 2. Mapa conceptual Fuerza



Profesor 1C

Figura 1. Mapa conceptual Primera ley de Newton

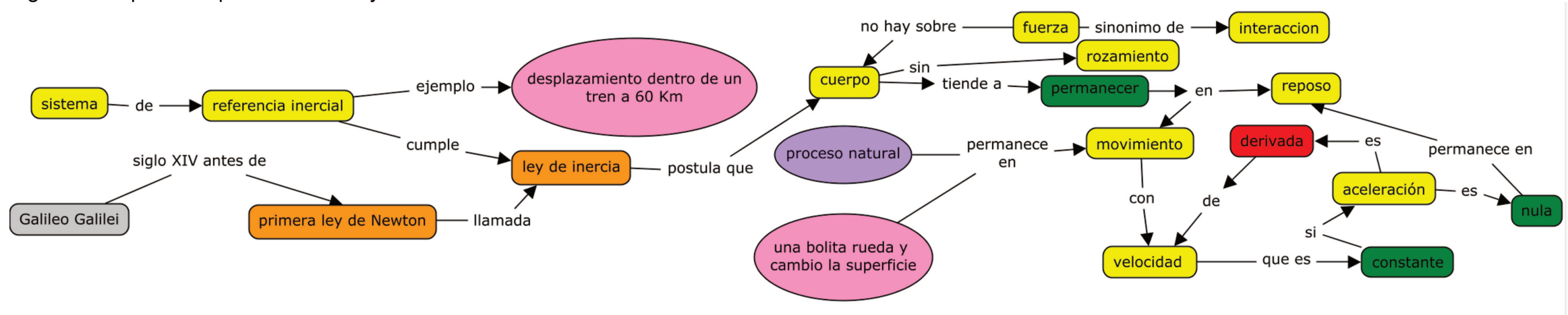


Figura 2. Mapa conceptual Segunda ley de Newton

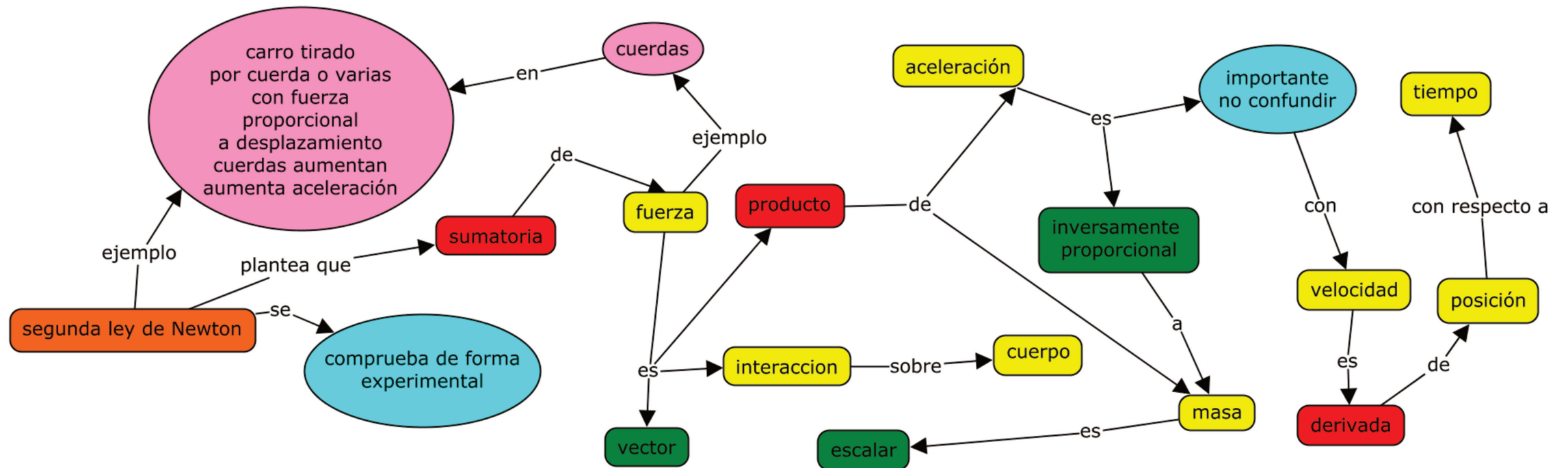


Figura 3. Mapa conceptual Tercera ley de Newton

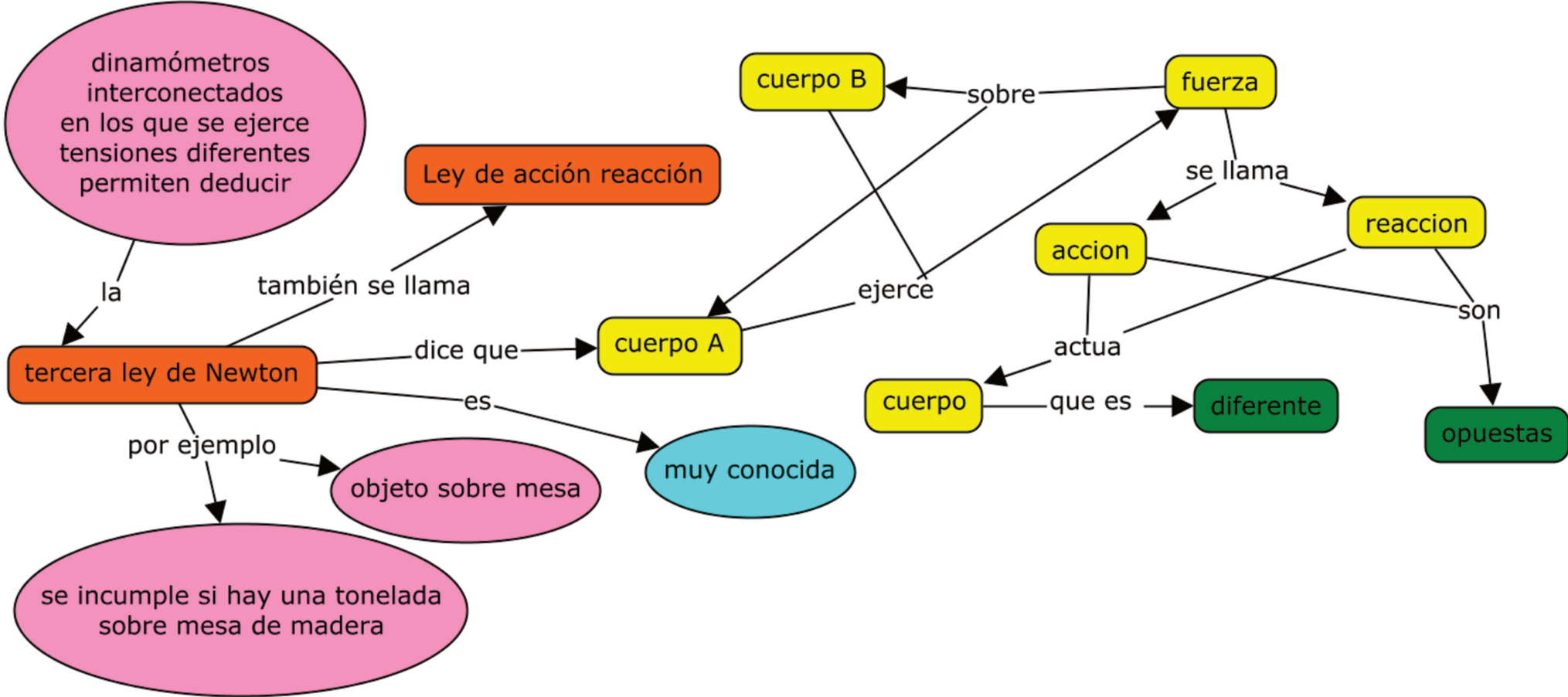
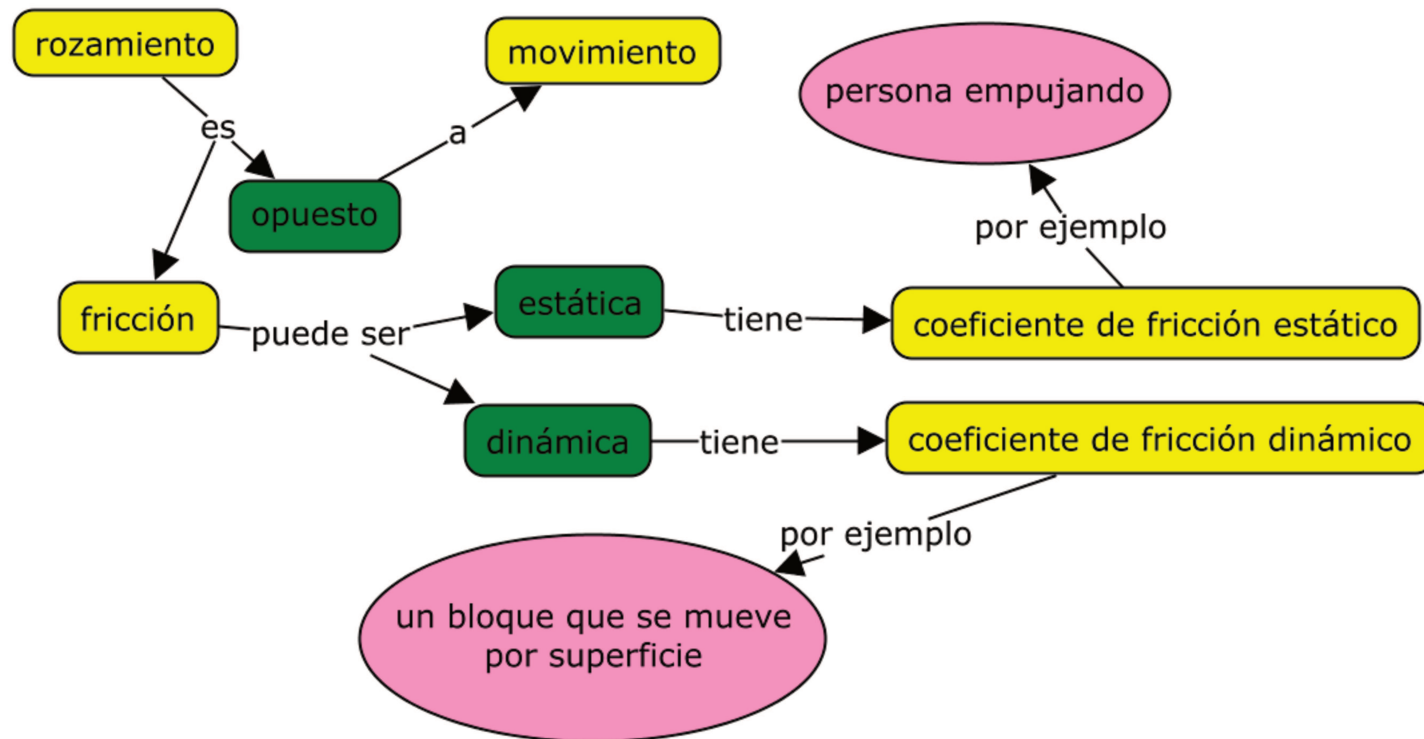


Figura 4. Mapa conceptual Rozamiento



Profesor 2C

Figura 1. Mapa conceptual Primera ley de Newton

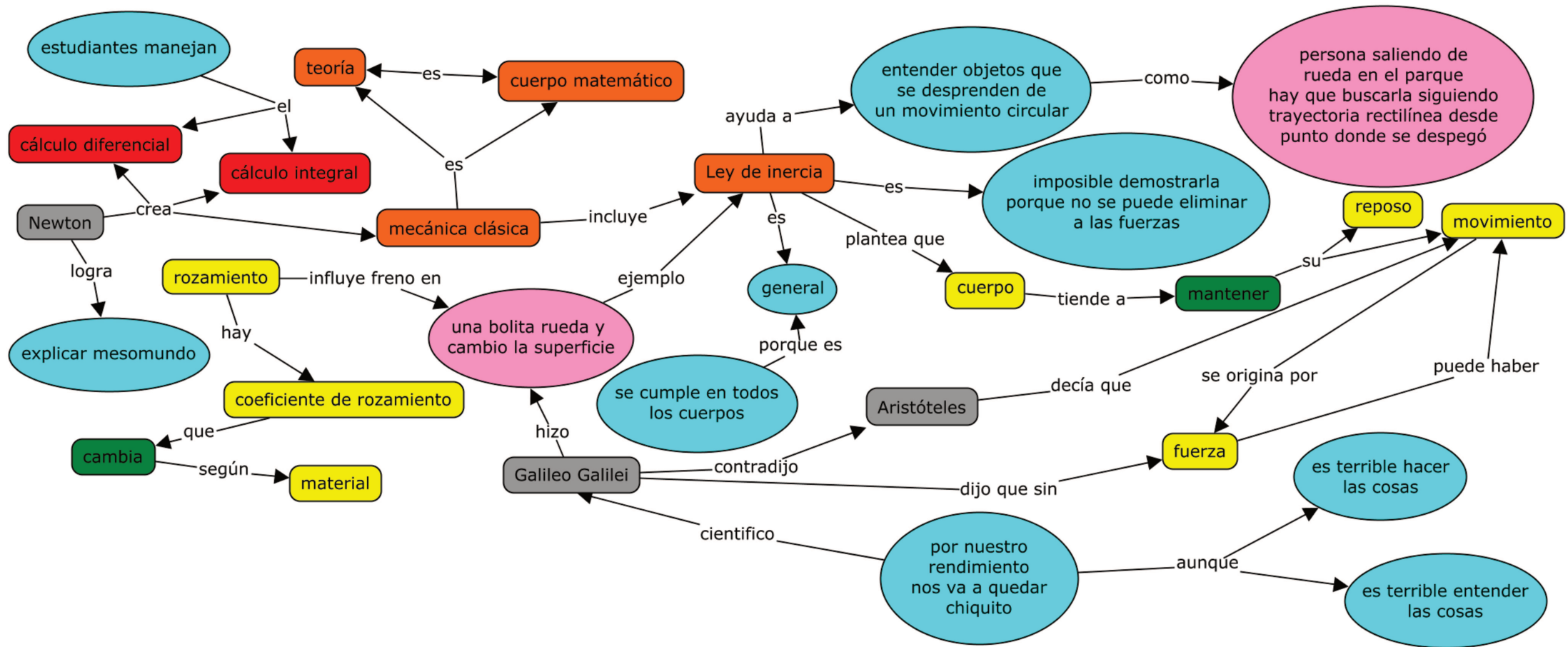


Figura 3. Mapa conceptual Tercera ley de Newton

