

Support de cours

Cours:

PHYS-101(f) - PG I - mécanique - MA (Sylvain Bréchet)

Vidéo:

8 - Loi d'action-réaction, collisions

Concepts (extraits des sous-titres générés automatiquement) :

Avoir de toutes sortes. Forces extérieures. Mouvement d'un chariot. Forces intérieures. Système de points matériels. Point de vue physique. Applaudissements applaudissements. Forces d'interaction. Dynamique d'un point matériel. Conservation de la quantité de mouvement. Loi d'action. Nombre d'expériences. Première mi-temps. Boules de bière. Problèmes d'exemple.



[vers la recherche de séquences vidéo](#)

(dans PHYS-101(f) - PG I - mécanique - MA (Sylvain Bréchet).)



[vers la vidéo](#)

Center for Digital Education. Plus de matériel de soutien pédagogique ici :

<https://www.epfl.ch/education/educational-initiatives/cede/educational-technologies-gallery/boocs-en/>

Chapitre 8

Loi d'action-réaction, collisions

EPFL

Dr. Sylvain Bréchet

8 Loi d'action-réaction, collisions

1 / 41

...

notes

résumé

0m 0s



8.1 Loi d'action-réaction

- 8.1.1 Loi d'action-réaction
- 8.1.2 Forces intérieures et extérieures
- 8.1.3 Conservation de la quantité de mouvement
- 8.1.4 Chariot propulsé par un boulet

8.2 Collisions

- 8.2.1 Types de collisions
- 8.2.2 Choc élastique
- 8.2.3 Choc mou
- 8.2.4 Coefficient de restitution

8.3 Problème à deux corps

- 8.3.1 Loi du mouvement
- 8.3.2 Quantité de mouvement et énergie cinétique
- 8.3.3 Référentiel du centre de masse

Ces sous-titres ont été générés automatiquement ... Bonjour à toutes et à tous. On va aujourd'hui entamer la deuxième mi-temps. On a eu la première mi-temps, les sept premières semaines. Maintenant viennent les sept dernières. Et donc, après une mi-temps, si vous prenez une analyse sportive, il y a toujours une petite analyse de la première mi-temps. Et donc, je vais me revenir, rebondir sur les commentaires d'évaluation indicative de cours auxquels vous avez participé. Et j'aimerais vous remercier d'avoir été aussi nombreux à évaluer ce cours. Il y a eu 159 réponses pour 209 inscrits, ce qui est le taux le plus élevé d'évaluation de cours que je n'ai jamais eu. Donc, je me demande même si j'ai des collègues qui ont eu des taux aussi élevés, qui étaient globalement très bons. Donc, merci beaucoup pour ces évaluations. J'aimerais vous lire quelques commentaires. Quelqu'un qui nous dit, après avoir redoublé la première, je pense que vos explications sont plus claires que celles de l'an dernier. C'est possible, mais ce qui est plus probable, c'est que, comme vous revoyez le cours, eh bien, vous le comprenez mieux que vous l'avez compris l'année d'avant. Quelqu'un d'autres qui écrit « Atmosphère enthousiaste énergique » qui donne envie d'étudier la physique, c'est le but. Le nombre d'expériences par cours est vraiment impressionnant et permet de mieux comprendre encore la matière. Alors, évidemment, que les expériences, je ne me gêne pas de vous les présenter, on a une chance incroyable d'avoir au catalogue des expériences de physique toute azimuth environ 800 expériences de cours. Alors, il n'y a pas les 800, bien sûr, mais elles ont été triées sur le volet, comme on dit, pour vous offrir le meilleur que je puisse vous donner. Quelqu'un d'autres qui dit bon cours, même si le côté théâtral n'est pas forcément apprécié de tous, j'en conviens à chacun le soin de se faire sa propre opinion, ensuite

notes

résumé

0m 1s



8.1 Loi d'action-réaction

- 8.1.1 Loi d'action-réaction
- 8.1.2 Forces intérieures et extérieures
- 8.1.3 Conservation de la quantité de mouvement
- 8.1.4 Chariot propulsé par un boulet

8.2 Collisions

- 8.2.1 Types de collisions
- 8.2.2 Choc élastique
- 8.2.3 Choc mou
- 8.2.4 Coefficient de restitution

8.3 Problème à deux corps

- 8.3.1 Loi du mouvement
- 8.3.2 Quantité de mouvement et énergie cinétique
- 8.3.3 Référentiel du centre de masse

on a son propre style, évidemment, on s'y tient. La personne continue en disant « Le point de vue physique est bien amené et expliqué ». Ensuite, quelqu'un d'autre qui s'est donné pour son commentaire, qui est assez long, je vais vous lire l'essentiel, pour commencer par les points positifs, il y aura des points négatifs plus tard, je trouve le cours vraiment passionnant et l'enseignant prend beaucoup de temps que ce soit en cours, après les cours ou encore en série, pour répondre aux questions, c'est normal. J'aimerais que tous les enseignants de physique fassent la même chose. Le fait d'avoir une interaction et la manière idéale d'enseigner dans une classe de 200 étudiants, c'est souvent difficile d'avoir une interaction, j'ai envie d'y dire, en un. D'accord, on essaie de le faire. C'est pour ça que la meilleure méthode d'enseignement qui existe depuis 2500 ans, c'est celle des grecs, avec l'enseignant qui avait ses étudiants, ses disciples autour de lui, qui discutait, interagissait en live avec eux, ça, ça serait la situation idéale. On s'est approchés de ça à certains moments durant le Covid, avec des interactions par Zoom. On peut en parler plus tard, si vous voulez. Donc, la personne continue en disant, je trouve aussi que les séries sont vraiment bien construites en tant que redoublants. Je peux vraiment voir la différence entre les séries de l'année passée où l'était, selon moi, plus dur, de comprendre ce qu'il fallait faire dans l'exercice plutôt que de le résoudre. Alors, merci d'avoir soulevé ce point. Les exercices ont été complètement revus cet été, d'accord, avec beaucoup d'exercices qui sont des anciens problèmes d'examen, qui ont été remis dans les séries et adaptés pour qu'ils correspondent au sujet de traité, ce qui vous donne un peu une idée du type de problème qui peut être demandé ou de la manière de les traiter à l'examen. Vous les voyez avec une

notes

résumé

8.1 Loi d'action-réaction

- 8.1.1 Loi d'action-réaction
- 8.1.2 Forces intérieures et extérieures
- 8.1.3 Conservation de la quantité de mouvement
- 8.1.4 Chariot propulsé par un boulet

8.2 Collisions

- 8.2.1 Types de collisions
- 8.2.2 Choc élastique
- 8.2.3 Choc mou
- 8.2.4 Coefficient de restitution

8.3 Problème à deux corps

- 8.3.1 Loi du mouvement
- 8.3.2 Quantité de mouvement et énergie cinétique
- 8.3.3 Référentiel du centre de masse

petite étoile. C'est chaque fois mentionné explicitement si c'est un problème d'examen ou un problème inspiré d'un problème d'examen. La personne rajoute, je vous remercie aussi pour les cours de soutien du soir, qui sont d'une grande aide pour comprendre nos erreurs dans les exercices de la semaine. Alors, je fais partie du Centre propédotique et au Centre propédotique, on a mis sur pied, justement, ces cours de soutien du soir, pour vous permettre de mieux comprendre et d'aller plus en profondeur dans les exercices. Et ce qu'on a remarqué statistiquement, on a fait une étude à ce sujet, les taux de réussite sont réellement meilleurs grâce à ces exercices du soir, et ça, c'est notre but, c'est d'optimiser vos chances de réussite à l'examen. Donc, merci de le relever. C'est important d'y prendre part. Si vous avez des questions, n'hésitez pas à y aller. Les meilleurs assistants sont là pour répondre à vos questions. D'accord ? La personne continue en disant, pour relever un point un peu plus négatif, selon moi, c'est la gestion du temps. Pendant les cours, je m'explique, durant le cours, je trouve qu'on passe beaucoup de temps, voire trop de temps, sur des notions plus basiques et qu'en conséquence, le temps vient à manquer quand on arrive aux notions plus compliquées. Je trouve ça dommage qu'on doit, certaines fois, déborder sur l'heure d'application, de l'après-midi, qui est, selon moi, la plus intéressante et la plus utile à suivre. Alors, quand on fait de la physique, on doit poser les bases correctement. Penser à un imbub, un gratte-ciel, d'accord ? Si les bases ne sont pas posées correctement, le gratte-ciel s'écroule. D'accord ? Donc, c'est important de passer du temps sur les aspects fondamentaux, d'accord ? Même si je peux essayer d'accélérer un petit peu le mouvement, j'ai déjà déjà fait, mais pour aller plus rapidement sur... Enfin, en venir plus rapidement à des points plus

notes

résumé

8.1 Loi d'action-réaction

- 8.1.1 Loi d'action-réaction
- 8.1.2 Forces intérieures et extérieures
- 8.1.3 Conservation de la quantité de mouvement
- 8.1.4 Chariot propulsé par un boulet

8.2 Collisions

- 8.2.1 Types de collisions
- 8.2.2 Choc élastique
- 8.2.3 Choc mou
- 8.2.4 Coefficient de restitution

8.3 Problème à deux corps

- 8.3.1 Loi du mouvement
- 8.3.2 Quantité de mouvement et énergie cinétique
- 8.3.3 Référentiel du centre de masse

notes

résumé

8.1 Loi d'action-réaction

- 8.1.1 Loi d'action-réaction
- 8.1.2 Forces intérieures et extérieures
- 8.1.3 Conservation de la quantité de mouvement
- 8.1.4 Chariot propulsé par un boulet

8.2 Collisions

- 8.2.1 Types de collisions
- 8.2.2 Choc élastique
- 8.2.3 Choc mou
- 8.2.4 Coefficient de restitution

8.3 Problème à deux corps

- 8.3.1 Loi du mouvement
- 8.3.2 Quantité de mouvement et énergie cinétique
- 8.3.3 Référentiel du centre de masse

notes

résumé

8.1 Loi d'action-réaction

- 8.1.1 Loi d'action-réaction
- 8.1.2 Forces intérieures et extérieures
- 8.1.3 Conservation de la quantité de mouvement
- 8.1.4 Chariot propulsé par un boulet

8.2 Collisions

- 8.2.1 Types de collisions
- 8.2.2 Choc élastique
- 8.2.3 Choc mou
- 8.2.4 Coefficient de restitution

8.3 Problème à deux corps

- 8.3.1 Loi du mouvement
- 8.3.2 Quantité de mouvement et énergie cinétique
- 8.3.3 Référentiel du centre de masse

de réussite à l'examen. Ce n'est pas le but. Le but, c'est de vous enseigner la physique. Avec parfois une sélection qui se fera pour l'examen des sujets traités d'autres moins. Donc, il y a évidemment un souci fondamental sur le fait qu'on veut optimiser, vous réussissez l'examen, ça c'est clair, mais le point essentiel, c'est de vous enseigner la physique. D'accord ? Quelqu'un qui nous dit, les cours sont sympas, merci beaucoup. Vous m'envoyez votre numéro hibane pour que je puisse vous remercier la manière adéquate. Venez me trouver à la fin de l'heure, comme ça, je saurais votre nom. Je pourrais en tenir compte le jour d'examen, quand je plaisante évidemment. D'accord ? Donc voilà, les cours sont sympas, la présence à l'oral est agréable, cependant, ça va parfois vite, parfois très vite, et on peut se perdre assez vite. Et la personne ajoute, les notes de cours sur modèle sont cool. Oui, elles sont cool, elles sont utiles surtout. Donc n'hésitez pas à les consulter avant de venir en cours, ça permet de mieux comprendre ce qui a été traité. Donc encore une fois, je vous remercie d'avoir participé aussi nombreux à ces évaluations de cours. Et maintenant, on va rentrer dans le vif du sujet avec le chapitre 8, un chapitre qui sera consacré à la loi d'action et de réaction et à ses conséquences, notamment pour étudier les collisions.

notes

résumé

• 3^e loi de Newton : Principia Mathematica

L'action est toujours égale à la réaction ;
c'est-à-dire que les actions de deux corps l'un sur
l'autre sont toujours égales et de sens contraire.

Traduction moderne :

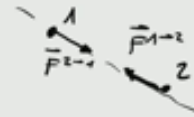
Un point matériel 1 qui exerce une force d'action
 $\vec{F}^{1 \rightarrow 2}$ sur un point matériel 2 subit une force de
réaction $\vec{F}^{2 \rightarrow 1}$ d'intensité égale, de même direction
et de sens opposé, exercée par le point matériel 2.

Modèle mathématique :

$$\vec{F}^{1 \rightarrow 2} + \vec{F}^{2 \rightarrow 1} = \vec{0} \quad (8.1)$$

- ① Relation de cause (force d'action) à effet (force de réaction).
- ② Loi d'interaction entre points matériels.

Sir Isaac Newton
1643 – 1727



Donc dans le deuxième chapitre de ce cours, on a posé les bases, on a annoncé la 2e loi Newton, que vous connaissez bien, je vais pas revenir dessus, qui décrivent la dynamique d'un point matériel. D'accord ? On va aujourd'hui faire une dynamique sociale, puisque la 1re et la 2e loi décrivent ce qui se passe pour un point matériel. La 3e loi décrit ce qui se passe pour le point matériel en société lorsqu'il interagit avec d'autres points matériels. D'accord ? Cette loi d'action et de réaction, on va donc la définir. On verra qu'elle dépend de manière cruciale de ce qu'on appelle des forces extérieures et des forces intérieures. Pour dire les choses simplement, si vous avez un système de points matériels, un ensemble de points matériels, les forces d'interaction entre les points matériels sont des forces intérieures qui sont interne au système. Et il y a des forces extérieures qui agissent aussi sur ces points matériels. Il faut les distinguer. On va voir concrètement que la dynamique dépend uniquement des forces extérieures. Vous aurez un exemple pratique de ceci dans quelques instants. D'accord ? Et alors ces concepts-là, appliqués correctement, vont nous amener à énoncer la conservation de la quantité de mouvement pour un système isolé. On va pouvoir en tenir compte pour décrire, par exemple, le mouvement d'un chariot propulsé par un boulet plus tard au chapitre X. On fera décoller une fusée selon ce principe. D'accord ? Et puis on va discuter ensemble les chocs, les différents types de collisions qui peuvent survenir. Si vous avez des collisions entre deux points matériels, vous pouvez avoir une collision élastique où la quantité de mouvement est conservée, l'énergie cinétique aussi. D'accord ? Ça, c'est un cas extrême. Puis dans la réalité, il y a souvent des petites déformations qui font que l'énergie cinétique n'est pas complètement conservée. Donc la plupart des chocs ne sont pas élastiques.

notes

résumé

9m 56s



- 3^e loi de Newton : Principia Mathematica

L'action est toujours égale à la réaction ;
c'est-à-dire que les actions de deux corps l'un sur l'autre sont toujours égales et de sens contraire.

Traduction moderne :

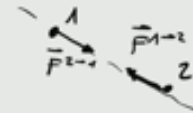
Un point matériel 1 qui exerce une force d'action $\vec{F}^{1 \rightarrow 2}$ sur un point matériel 2 subit une force de réaction $\vec{F}^{2 \rightarrow 1}$ d'intensité égale, de même direction et de sens opposé, exercée par le point matériel 2.

Modèle mathématique :

$$\vec{F}^{1 \rightarrow 2} + \vec{F}^{2 \rightarrow 1} = \vec{0} \quad (8.1)$$

- ➊ Relation de cause (force d'action) à effet (force de réaction).
- ➋ Loi d'interaction entre points matériels.

Sir Isaac Newton
1643 – 1727



notes

résumé

- 3^e loi de Newton : Principia Mathematica

L'action est toujours égale à la réaction ;
c'est-à-dire que les actions de deux corps l'un sur
l'autre sont toujours égales et de sens contraire.

Traduction moderne :

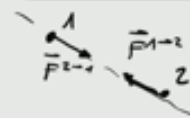
Un point matériel 1 qui exerce une force d'action
 $\vec{F}^{1 \rightarrow 2}$ sur un point matériel 2 subit une force de
réaction $\vec{F}^{2 \rightarrow 1}$ d'intensité égale, de même direction
et de sens opposé, exercée par le point matériel 2.

Modèle mathématique :

$$\vec{F}^{1 \rightarrow 2} + \vec{F}^{2 \rightarrow 1} = \vec{0} \quad (8.1)$$

- Relation de cause (force d'action) à effet (force de réaction).
- Loi d'interaction entre points matériels.

Sir Isaac Newton
1643 – 1727



lire comme elle a été formulée dans les Principia Mathematica, ou plutôt dans leur traduction en latin, du latin français, par la marquise du Châtelet, l'amante de Voltaire, qui nous dit l'action est toujours égale à la réaction. C'est-à-dire que les actions de deux corps, l'un sur l'autre, sont égales et de sens contraires. Prenons un exemple. Voilà. Imaginons qu'on a un premier point matériel 1 qui est ici, un deuxième point matériel qui est là, et puis je vais essayer de faire à main levée. On a la ligne qui rejoint les deux points. D'accord ? Prenons le cas, on a des forces attractives. On a une force d'action qui va être générée par le premier point matériel sur le deuxième. Le deuxième point matériel va être attiré par le premier, donc la force, elle est orientée vers l'intérieur. Ça, c'est la force qui est exercée par le premier point matériel sur le deuxième. D'accord ? Ça, c'est la force d'action. Alors, maintenant, en réaction à la force d'action, il y a une force de réaction qui est exercée par le deuxième point matériel sur le premier. D'accord ? Et cette force, elle sera comment ? Elle sera de sens contraire à la force d'action mais de même direction. Et ça norme la même. La longueur est la même. La droite est la même. D'accord ? Le sens est opposé. Donc ça, c'est la force de réaction exercée par le deuxième point matériel sur le premier. Donc, une traduction plus moderne de ce que dit la marquise du Chatelais, c'est un point matériel 1 va exercer une force d'action, F de 1 sur 2, de la voici, d'accord ? Sur un deuxième point matériel. Et ce deuxième point matériel va lui-même exercer une force de réaction, F de 2 sur 1, qui sera de même direction, mais de sens opposé. Alors là, vous avez le cas de force attractive.

notes

résumé

- 3^e loi de Newton : Principia Mathematica

L'action est toujours égale à la réaction ;
c'est-à-dire que les actions de deux corps l'un sur l'autre sont toujours égales et de sens contraire.

Traduction moderne :

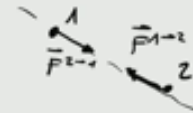
Un point matériel 1 qui exerce une force d'action $\vec{F}^{1 \rightarrow 2}$ sur un point matériel 2 subit une force de réaction $\vec{F}^{2 \rightarrow 1}$ d'intensité égale, de même direction et de sens opposé, exercée par le point matériel 2.

Modèle mathématique :

$$\vec{F}^{1 \rightarrow 2} + \vec{F}^{2 \rightarrow 1} = \vec{0} \quad (8.1)$$

- 1 Relation de cause (force d'action) à effet (force de réaction).
- 2 Loi d'interaction entre points matériels.

Sir Isaac Newton
1643 – 1727

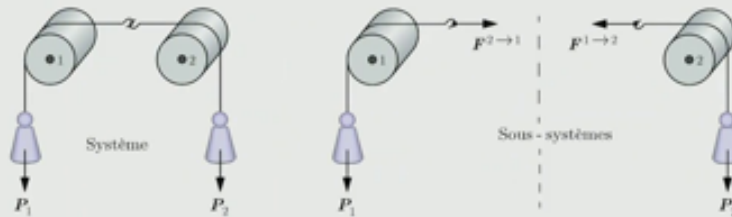


Si les forces sont répulsives, elles sont toujours orientées selon la même droite, d'accord ? Mais elles seront orientées vers l'extérieur. Voilà la différence. Donc le cas en rouge, c'est le cas répulsif. Le cas en noir, c'est le cas attractif. D'accord ? Donc, mathématiquement, c'est très, très simple à écrire. Ces vecteurs sont égaux et opposés la somme vectorielle des vecteurs est nul. Donc si on prend le vecteur qui correspond à la force d'action et qu'on lui ajoute le vecteur qui correspond à la force de réaction, la somme vectorielle de ces vecteurs est nul. Voici la troisième, la Newton. C'est une relation de cause à effet. La cause, c'est la force d'action. La force de réaction, c'est l'effet.

notes

résumé

- **Système** : constitué de deux points matériels 1 et 2 en interaction.
- **Sous-systèmes** : constitués d'un point matériel 1 ou 2.



- **Forces d'interaction** : $F^{1 \rightarrow 2}$ et $F^{2 \rightarrow 1}$

- ① **Système** : forces intérieures
- ② **Sous-systèmes** : forces extérieures

- **Poids** : P_1 et P_2

- ① **Système** : forces extérieures
- ② **Sous-systèmes** : forces extérieures

Donc cette loi-là va régir les interactions au tépoint matériel. Vous me direz peut-être qu'est-ce qu'on fait s'il n'y a pas deux points matériels, mais qu'il y en a n avec n aussi grand qu'on veut, un milliard, voire même une môle ou plus. D'accord ? Il faut imaginer que vous avez à l'intérieur de votre système un ensemble de couples de points matériels qui peuvent être très grands. Pour chaque couple de point matériel, vous pouvez utiliser la loi d'action et de réaction, ce qui veut dire que les forces exercées par les points matériels sur d'autres points matériels vont forcément se compenser en vertu de la troisième loi de Newton, ce qui veut dire concrètement que ces forces intérieures au système ne vont pas régir la dynamique du système. On verra un exemple de ceci dans quelques instants. D'accord ? Alors, justement, lorsqu'on considère un système,

notes

résumé

16m 13s





- L'eau contenue dans le réservoir cylindrique du chariot posé sur des rails s'écoule du robinet horizontal situé au bas du chariot (pression de l'eau).
- ❶ **Chariot sans wagon récepteur** : la force exercée par l'eau qui s'écoule du chariot est une force extérieure qui provoque le déplacement du chariot dans la direction opposée à l'écoulement.
- ❷ **Chariot avec wagon récepteur** : la force exercée par l'eau qui s'écoule du chariot dans le wagon récepteur est une force d'interaction intérieure au système formé du chariot et du wagon. D'après la loi d'action-réaction, elle est égale et opposée à la force exercée par l'eau sur le wagon récepteur. Par conséquent le système est immobile.

Dr. Sylvain Bréchet

8 Loi d'action-réaction, collisions

il faut être très au clair sur ce qu'est le système qu'on est en train de considérer, quelles forces sont extérieures et quelles forces sont intérieures au système. Prenons un exemple simple qui va être éclairant. Imaginons qu'on ait le système qui est ici. C'est-à-dire qu'on a un fil qui passe au-dessus de deux poulies, prenons les poulies de masse négligeable pour simplifier. On a des gros contrepoids qui sont fixés de part et d'autre. On est à l'équilibre, fil de masse négligeable, évidemment que les contrepoids sont de masse égale. D'accord ? On a des forces extérieures. Ces forces extérieures, d'accord, c'est les poids que vous voyez ici. OK ? Mais il y a aussi des forces intérieures au système, quelles sont ces forces ? C'est les forces qui sont exercées par un sous-système, donc un poids sur l'autre, dans un sens comme dans l'autre. D'accord ? Donc on va avoir la force exercée par le deuxième contrepoids sur le premier qui est ici, la force exercée par le premier contrepoids sur le deuxième qui est là. Et pour voir ces forces, ce qu'on peut faire, c'est prendre le fil avec les deux crochets et défaire les crochets et les maintenir les matières immobiles. D'accord ? Si on les maintient immobiles, on exerce justement des forces, qui sont ces forces intérieures au système, ces forces d'action et de réaction. D'accord ? Qui doivent évidemment être égales et opposées, parce que si elles ne sont pas égales et opposées, c'est-à-dire que leur somme vectorielle est non nulle, il y aura un déplacement soit vers la gauche, soit vers la droite. D'accord ? Mais ce qui est important de retenir, c'est que ces forces-là sont intérieures au système ici. On n'a même pas besoin d'en discuter. D'accord ? On peut regarder ce qui se passe avec les poids uniquement. On a une sorte de machine d'attrouant réalité, dont on parlera si

notes

résumé

17m 4s



8.1.2 Expérience - Chariot à eau



- L'eau contenue dans le réservoir cylindrique du chariot posé sur des rails s'écoule du robinet horizontal situé au bas du chariot (pression de l'eau).
- ❶ **Chariot sans wagon récepteur** : la force exercée par l'eau qui s'écoule du chariot est une force extérieure qui provoque le déplacement du chariot dans la direction opposée à l'écoulement.
- ❷ **Chariot avec wagon récepteur** : la force exercée par l'eau qui s'écoule du chariot dans le wagon récepteur est une force d'interaction intérieure au système formé du chariot et du wagon. D'après la loi d'action-réaction, elle est égale et opposée à la force exercée par l'eau sur le wagon récepteur. Par conséquent le système est immobile.

on a le temps cet après-midi. Maintenant, quand on prend chaque fois un sous-système formé d'un seul contrepoids, qu'on maintient à l'équilibre grâce aux forces d'interaction entre les sous-systèmes, pour ce sous-système-là, la force exercée par l'autre sous-système, d'accord ? Prenons par exemple le deuxième, la force exercée par le premier qui est ici, devient une force extérieure. Une force extérieure au sous-système numéro 2. De la même manière, la force de réaction exercée sur le crochet pour maintenir le premier sous-système à l'équilibre est alors une force extérieure au sous-système formé du premier matériel. Voyez que ce qui paraît évident, à première vue, ne l'est pas autant que ça lorsqu'on regarde les choses en détail. Oui ? Mais du coup, comme c'est un sous-système, ça veut dire qu'on en possède pas les... Exactement. On a pris les crochets, on a décroché les crochets et on maintient fixe les contrepoids. D'accord ? Alors, si vous voulez, on part du système qui est ici volontairement, j'ai mis des crochets pour que ça soit plus clair. On imagine qu'il y a deux crochets, on décroche et on exerce une force sur chacun des crochets pour que les contrepoids ne bougent pas. Mais là, on voit que pour chaque sous-système, la force qui est exercée est alors une force extérieure au sous-système, bien qu'elle soit une force intérieure au système. D'accord ? Alors, vous pouvez me poser la question, mais le poids, c'est une force extérieure ou c'est une force intérieure ? Et bien, si le système, le système des deux contrepoids, c'est une force extérieure. Si maintenant, on faisait quelque chose d'exotique qu'on n'a pas plus que maintenant, on prend un système formé du système qu'on vient de discuter, plus la Terre. Si le système, c'est la Terre, plus notre système de départ, à ce moment-là, les poids deviennent les forces intérieures. D'accord ? Donc, il faut faire très attention. Quand

notes

résumé



- L'eau contenue dans le réservoir cylindrique du chariot posé sur des rails s'écoule du robinet horizontal situé au bas du chariot (pression de l'eau).
- ❶ **Chariot sans wagon récepteur** : la force exercée par l'eau qui s'écoule du chariot est une force extérieure qui provoque le déplacement du chariot dans la direction opposée à l'écoulement.
- ❷ **Chariot avec wagon récepteur** : la force exercée par l'eau qui s'écoule du chariot dans le wagon récepteur est une force d'interaction intérieure au système formé du chariot et du wagon. D'après la loi d'action-réaction, elle est égale et opposée à la force exercée par l'eau sur le wagon récepteur. Par conséquent le système est immobile.

on parle de force extérieure et de force intérieure, quand on a un système, il faut définir quel est le système d'intérêt qui peut être un sous-système du système de départ. D'accord ? Alors, c'est tellement vrai, ce que je viens de vous montrer ici, qu'on va avoir une application de souci.

notes

résumé



chiot posé sur des rails
chiot (pression de l'eau).
ée par l'eau qui s'écoule
le déplacement du

ée par l'eau qui s'écoule
d'interaction intérieure
es la loi
orce exercée par l'eau sur
est immobile.

8.1.3 Conservation de la quantité de mouvement

- **Système isolé** : système de points matériels qui n'interagit pas avec l'extérieur (ou l'environnement).
- **Système** : isolé constitué de deux points matériels.
- **2^e loi de Newton** : sous-systèmes 1 et 2

- **3^e loi de Newton** : système

$$\mathbf{F}^{1 \rightarrow 2} + \mathbf{F}^{2 \rightarrow 1} = \mathbf{0}$$

- **2^e loi de Newton** : système (8.2) et (8.1) avec

- **Conservation de la quantité de mouvement**

Cette application, c'est de l'eau qui s'écoule d'un réservoir cylindrique qui se trouve sur un chariot. Le voici. Vous avez un robinet qui est ici. L'eau est sous pression. D'accord ? Et donc, elle va sortir avec une certaine vitesse lorsqu'on ouvre le robinet. Alors, maintenant, si le chariot qui est ici n'est pas attaché au wagon récepteur, l'eau qui va s'écouler va correspondre donc à une variation de quantité de mouvement. D'accord ? Et on verra plus tard que ceci génère une force qui l'a poussée dans la direction opposée à la variation de quantité de mouvement. D'accord ? En gros, pour conserver globalement la quantité de mouvement. Donc, le chariot va, si l'eau sort par là, à droite, le chariot va se déplacer vers la gauche. D'accord ? Ca, c'est le premier cas de figure. Alors, pour le sous-système chariot, l'écoulement de l'eau, la poussée, est une force extérieure. Maintenant, ce qui est fou, et on va le vérifier ensemble, c'est que si on accroche le wagon récepteur au chariot à l'aide d'un pont, l'eau qui sort du robinet va dans le wagon récepteur. Donc, la force extérieure au sous-système chariot, la force d'action, va être compensée par une force de réaction qui veut pousser le wagon récepteur dans l'autre sens, d'accord ? Soit vers la droite, qui est la force de réaction. Ces deux forces sont des forces intérieures au système formé du chariot. Et du wagon récepteur circulé, il n'y aura rien à voir. Le chariot, le wagon récepteur, ne bougeront pas. Vérifions ceci pour avoir les idées claires. Alors, c'est sur la caméra 29. Voilà. Donc, dans un premier temps, il n'y a pas de pont entre le chariot et le wagon récepteur. Ils sont physiquement, mécaniquement déconnectés. D'accord ? Donc, l'écoulement de l'eau produit une poussée. Cette poussée génère une force dans la direction opposée à l'écoulement. D'accord ? C'est une force extérieure qui

notes

résumé

20m 48s





chiot posé sur des rails
chiot (pression de l'eau).
ée par l'eau qui s'écoule
le déplacement du

ée par l'eau qui s'écoule
d'interaction intérieure
es la loi
orce exercée par l'eau sur
est immobile.

8.1.3 Conservation de la quantité de mouvement

- **Système isolé** : système de points matériels qui résultante avec l'extérieur (ou l'environnement).
- **Système** : isolé constitué de deux points matériels
- **2^e loi de Newton** : sous-systèmes 1 et 2

- **3^e loi de Newton** : système

$$\mathbf{F}^{1 \rightarrow 2} + \mathbf{F}^{2 \rightarrow 1} = \mathbf{0}$$

- **2^e loi de Newton** : système (8.2) et (8.1) avec

- **Conservation de la quantité de mouvement**

met en mouvement le chariot à haut. Regardez. Vous voyez, le chariot bouge. Et il accélère du alécoulement de l'eau. Répétons l'expérience, maintenant. Hop. Mais on va rajouter un petit pont. Et maintenant, l'eau va s'écouler dans le wagon récepteur qui est attaché au chariot. Donc, il y a une force interne au système qui pousse le chariot à haut, toujours dans la même direction. Attention. Cette force d'action est contrebalancée, compensée par une force de réaction qui, elle, va pousser le wagon récepteur dans le sens opposé. Et donc, il ne se passe strictement rien. La clé, c'est le lien entre les sous-systems. Sont-ils liés ? Sont-ils pas liés ? S'ils ne sont pas liés, le sous-system chariot se comporte comme un système, la force de poussée est une force extérieure, le chariot bouge. S'ils sont liés, c'est l'ensemble qui se comporte comme un système. Ce sont des forces intérieures qui se compensent. Donc, le chariot et le wagon récepteur ne bougent pas. D'accord ?

notes

résumé



- **Etat de repos initial** : la quantité de mouvement totale p du système formé de l'étudiant(e) et du chariot est nulle. Leur poids total P est compensé par la force de réaction normale N exercée par le sol. Ainsi, le système est isolé.

(8.5)

- **Etat de mouvement** : par conservation de la quantité de mouvement totale, l'étudiant(e) se déplace sur le chariot avec une quantité de mouvement p_1 et le chariot se déplace dans le sens opposé avec une quantité de mouvement opposée p_2 .

(8.6)

Dr. Sylvain Bréchet

8 - Loi d'action-réaction, collisions

8 / 41

Alors, c'est une petite expérience qui a l'air de rien, mais en fait, elle est vraiment profonde. Permette de comprendre qu'il faut faire attention lorsqu'on parle de force entre les forces intérieures au système et les forces extérieures. Ce ne sont que les forces extérieures qui contribuent à la dynamique. Et c'est pour ça que, dans l'énoncé de la 2e loi Newton, inestipulé que la somme des forces, pas n'importe quelle, la somme des forces extérieures est égale à la dérivé temporelle de la quantité de mouvement. Alors, on va maintenant établir, grâce à tout ceci, la conservation de la quantité de mouvement. On va partir de ce qu'on appelle un système isolé. Idéalement, ce serait un système qui n'a aucun contact causal avec le reste de l'univers. Ce n'est pas vraiment possible. Donc, mécaniquement, qu'est-ce qu'on entend par un système isolé ? C'est un système formé de points matériels qui est tel que les forces extérieures qui sont exercées sur chaque point matériel, d'accord, la résultante des forces, donc, est nulle. Exemple, si vous faites abstraction du mouvement de roulement des boules de bière, si vous voulez considérer comme des points matériels, eh bien, c'est des boules de bière sur une table de jeu. Pourquoi ? Les forces qui s'exercent sur chaque boule sont la force de réaction normale de la table, ainsi que le poids qui se compense. D'accord ? Ces boules vont interagir. En réalité, au niveau physique, c'est la force électromagnétique qui va empêcher les boules de se superposer. Il y aura une collision, les boules repartent. D'accord ? On va étudier ça plus tard. D'accord ? Ça, c'est ce qu'on appelle un système isolé. On va prendre un tel système isolé, constitué de deux points matériels. Mentalement, vous imaginez deux boules de bière, la boule blanche, une boule de couleur striée au plein, et vous imaginez la collision. D'accord ? Donc, la première chose à

notes

résumé

23m 58s





- **Etat de repos initial** : la quantité de mouvement totale $\mathbf{p}$ du système formé de l'étudiant(e) et du chariot est nulle. Leur poids total $\mathbf{P}$ est compensé par la force de réaction normale $\mathbf{N}$ exercée par le sol. Ainsi, le système est isolé.

(8.5)

- **Etat de mouvement** : par conservation de la quantité de mouvement totale, l'étudiant(e) se déplace sur le chariot avec une quantité de mouvement $\mathbf{p}_1$ et le chariot se déplace dans le sens opposé avec une quantité de mouvement opposée $\mathbf{p}_2$.

(8.6)

Dr. Sylvain Bréchet

8 - Loi d'action-réaction, collisions

8 / 41

faire, c'est de prendre chaque sous-système, chaque point matériel, chaque boule, d'accord ? Et d'appliquer la deuxième loi de Newton à chaque sous-système. Commençons par la première boule. La première boule, donc, qui peut interagir, oui. Est-ce que s'il y a des frottements, c'est un système isolé quand même ? Alors, justement, c'est pour ça. Alors, s'il y a des frottements, non. D'accord ? Et les frottements, vous pouvez imaginer des frottements de l'air, par exemple, mais il y a d'autres frottements qui interviennent lorsque vous avez un mouvement de roulement-sabotage d'une boule, qui est alors un solide indéformable. La force de frottements statiques intervient pour faire pivoter la boule. D'accord ? Donc, c'est plus compliqué. C'est pour ça que je vous ai dit, tout au début, qu'on considérerait les boules comme des points matériels. Et là, pour l'instant, on absente de frottements. D'accord ? On pourrait aussi traiter ce problème. En présence de frottements, il faudrait être un peu plus prudent sur la manière de le gérer. D'accord ? Voilà. Donc, donc à Piscond, oui, la deuxième loi de Newton à chaque sous-système, commençons par le premier. La seule force qui va s'appliquer sur le premier pour matériel, sur le sous-système pour matériel 1, là, à première boule, c'est la force d'interaction due à la deuxième boule. D'accord ? Qui va être égal à quoi ? Au produit de la masse pour l'accélération de la première boule, mais on va l'écrire autrement. C'est aussi la dérivée temporelle de la quantité de mouvement de la première boule. D'accord ? Et puis, ceci est symétrique, ce qui veut dire que la force d'interaction, exercée par la première boule sur la deuxième, d'accord ? Ça va être la dérivée temporelle de la quantité de mouvement de la deuxième boule. D'accord ? Pour le système formé des deux boules, les forces d'interaction, d'action et de réaction, sont des forces internes. Elles se compensent

notes

résumé



- **Etat de repos initial** : la quantité de mouvement totale $\mathbf{p}$ du système formé de l'étudiant(e) et du chariot est nulle. Leur poids total $\mathbf{P}$ est compensé par la force de réaction normale $\mathbf{N}$ exercée par le sol. Ainsi, le système est isolé.

(8.5)

- **Etat de mouvement** : par conservation de la quantité de mouvement totale, l'étudiant(e) se déplace sur le chariot avec une quantité de mouvement $\mathbf{p}_1$ et le chariot se déplace dans le sens opposé avec une quantité de mouvement opposée $\mathbf{p}_2$.

(8.6)

d'après la troisième loi Newton, la somme des deux est égal à z. Alors, maintenant, qu'est-ce qu'on va faire ? On va tirer profit de l'extensivité, de l'additivité de la quantité de mouvement. La quantité de mouvement totale de notre système, $\mathbf{P}$, qui est vectoriellement la somme des quantités de mouvement des deux points matériels, des deux boules, d'accord ? On va la dériver par rapport au temps. Donc, on écrit $\mathbf{P}$, qui est la somme de $\mathbf{P}_1$. Plus $\mathbf{P}_2$. Et là, pour aller plus loin, on va devoir tirer profit de la deuxième loi Newton, qui a été appliquée pour chaque sous-système. Donc, on va remplacer les dérivés temporels, les quantités de mouvement par les forces. On aura donc la force de réaction de 2 sur 1, plus la force d'action de 1 sur 2. D'accord ? En vertu de la troisième loi Newton, cette somme vectorielle s'annule, ce qui veut dire que la dérivée temporelle de la quantité de mouvement totale est nulle. Quand la dérivée temporelle d'une grandeur est nulle, c'est que cette grandeur est constante, exactement. Donc, on vient de démontrer que la quantité de mouvement totale du système est constante. Ça sera toujours vrai lors des chocs. D'accord ? J'insiste là-dessus. C'est universel. D'accord ? Que l'énergie scientifique soit ou non conservée, ça dépendra du choc. Mais la quantité de mouvement, elle, sera toujours conservée. Alors, je vous propose de voir ce qu'on peut en faire. Y a-t-il quelqu'un dans la salle

notes

résumé

❶ Système : chariot de masse M et boulet de masse m

• Forces extérieures : verticales (8.7)

❷ Poids :

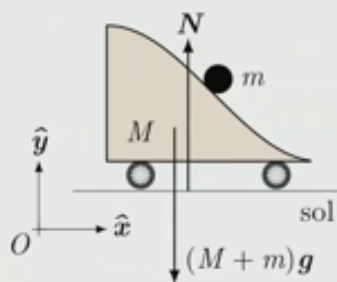
❸ Réaction normale : sol

• Quantité de mouvement totale :

(8.8)

• Loi du mouvement :

(8.9)



qui a un certain sens d'équilibre ? Il va pas besoin de voir un très grand sens d'équilibre qui aurait, venez, me rejoindre. Voilà. Donc... Vous allez monter sur le chariot qui est ici. Vous vous rappelez votre prénom ? Rémi. Rémi, prenez place. Tenez l'extrémité du chariot, mettez-vous un peu au centre. Et puis placez-vous face à l'auditoire. Alors, maintenant, vous avez un système physique formé de deux points matériels. Pardonnez-moi l'expression, mais c'est l'expression consacrée. Rémi et le chariot. D'accord ? Ce système est initialement à l'équilibre. Rien ne bouge quasiment. Il y a des petites fluctuations statistiques. Donc, la quantité de mouvement totale est nulle. Les forces qui s'exercent, les forces extérieures exercées sur le système, c'est quoi ? C'est le poids de l'ensemble, celui de Rémi et du chariot, ainsi que la force de réaction normale du sol qui est orientée vers l'eau, qui compense le poids. La somme de ces deux forces est nulle. La somme des forces est nulle. La quantité de mouvement sera constante. Elle est initialement nulle. Donc, si Rémi se déplace vers votre gauche, vers sa droite, faites-le, le chariot se déplace en sens opposé. Avec une vitesse qui est telle que les quantités de mouvement soient égales et opposées. Évidemment, ça marche dans l'autre sens, déplacer vers votre gauche, vers leur droite. D'accord ? Voyez que le chariot se déplace en sens opposé pour garantir que la quantité de mouvement soit constante, en particulier, dans cet exemple nulle. Oui ? Vous avez dit que le chariot, absolument. Donc, on a deux points matériels. C'est le modèle qu'on a pour l'instant, c'est le modèle du point matériel. On peut applaudir Rémi, merci beaucoup. Applaudissements Voilà. Hop. Pour ceux qui auraient bien voulu faire l'expérience, qui veulent en faire une autre plus tard, il y aura l'occasion de le faire avec l'expérience du chariot propulsé par un brûlet qu'on va maintenant

notes

résumé

28m 40s



❶ Système : chariot de masse M et boulet de masse m

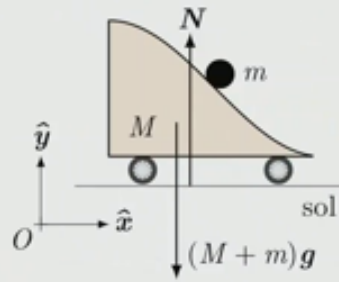
• Forces extérieures : verticales (8.7)

❷ Poids :

❸ Réaction normale : sol

• Quantité de mouvement totale : (8.8)

• Loi du mouvement : (8.9)



étudier ensemble. Ah oui, j'ai oublié d'écrire les équations, faisons-le vite. La somme des forces extérieures, c'est le poids plus sa force de réaction normale, qui est la dérivée temporelle de la quantité de mouvement qui est nulle, ce qui démontre donc que la quantité de mouvement est une constante. D'accord ? Concrètement, la quantité de mouvement P total du système, c'est la somme de la quantité de mouvement de Rémi plus celle du chariot. D'accord ? La somme des deux est nulle, puisqu'initialement, les deux étaient de repos. Et donc, la quantité de mouvement du chariot doit être l'opposé de celle de Rémi. OK ? Voilà ce qu'on vient. Donc, démontrez. Oui ? ... Alors, le fait qu'il se déplace vers la gauche signifie que sa masse se déplace donc à une vitesse vers la gauche. Donc, en faisant un pas, en se déplaçant, le centre de masse de Rémi s'est déplacé. D'accord ? Donc, le centre de masse du chariot, lui aussi, se déplace dans le sens opposé. Alors, maintenant, si Rémi était très léger et que le chariot était très lourd, le chariot bougerait quasiment pas. D'accord ? Si c'est le contraire qu'on prend un petit chariot en nylon, qui est beaucoup plus léger que Rémi, alors si Rémi se déplace, le chariot se déplace beaucoup plus vite. D'accord ? Parce que ce qu'on doit conserver, c'est la quantité de mouvement, pas la vitesse. La quantité de mouvement, c'est le produit de la masse fois la vitesse. D'accord ? Voilà.

notes

résumé

❶ Système : chariot de masse M et boulet de masse m

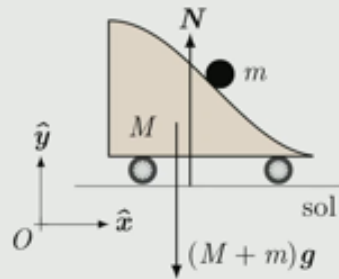
• Forces extérieures : verticales (8.7)

❷ Poids :

❸ Réaction normale : sol

• Quantité de mouvement totale :
(8.8)

• Loi du mouvement :
(8.9)



Prenons un problème qui ressemble au problème de Rémi du chariot, mais qu'un peu plus compliqué. Il faut imaginer un chariot comme ceci, que vous avez sous vos yeux, là, avec une rampe. On place des boules, on prend une boule au sommet de la rampe. Initialement, il n'y a rien qui bouge.

notes

résumé

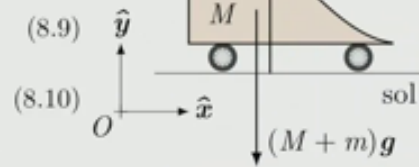
32m 7s



❶ Système : chariot et boulet

• Loi du mouvement :

$$\sum \mathbf{F}^{\text{ext}} = \mathbf{P} + \mathbf{N} = \dot{\mathbf{p}} \quad (8.9)$$

❶ selon $\hat{x}$:❷ selon $\hat{y}$:

• Conservation de la quantité de mouvement : composante horizontale

(8.11)

• Vitesses : chariot de masse M et boulet de masse m

(8.12)

• Chute du boulet : la composante verticale de la quantité de mouvement p_y n'est pas constante car la composante verticale de la somme des forces extérieures $-(M+m)g + N$ est non-nulle.

Si j'appuie cette languette volontairement, je n'ai pas le faire, la boule, ici, les boules vont se mettre à rouler le long du profil, du plan incliné, qui se trouve sur le chariot. Donc, les boules vont descendre. Clairement, elles vont se déplacer vers votre gauche, le chariot va se déplacer vers la droite. Sur le dessin, c'est le contraire. Les boules vont se déplacer vers la droite, le chariot vers la gauche. Et c'est ce qu'on aimerait étudier, maintenant. D'accord ? Pour le faire, on va prendre trois angles d'approche différents. On va commencer par prendre le système formé du chariot et du boulet. D'accord ? Donc, le poids de ce système, c'est la somme des masses, grand thème et petit thème, du chariot du boulet, multiplié par le champ, de l'accent gravitationnel, qu'on peut projeter selon l'axe vertical avec Y-chapo orienté vers l'eau, c'est moins $M \cdot g$, fois Y-chapo. D'accord ? On a la force de réaction du sol sur l'ensemble, sur le système, qui est orientée verticalement vers l'eau, cette haine, fois Y-chapo. Alors, maintenant, la quantité de mouvement total du système, $\mathbf{P}$, on peut l'écrire aussi en composante cartésienne, on a la composante horizontale, P_x , fois X-chapo qui est orientée vers la droite, plus P_y , fois Y-chapo orienté vers l'eau. Maintenant, on écrit la loi du mouvement, qui va ressembler à ce qui met prendre à celle du système formé par Rémi et le chariot. C'est donc la somme des forces extérieures au système formé du chariot de la masse. Ces forces, c'est le poids du chariot et du boulet, compensé par la force de réaction normale, comme pour Rémi tout à l'heure. D'accord ? A droite, on n'a pas le droit de dire que c'est la somme des masses fois l'accélération. Pourquoi ? Parce que l'accélération des objets n'est pas la même. Le chariot se déplace horizontalement, le boulet descend à rampe. Donc, on

notes

résumé

32m 25s



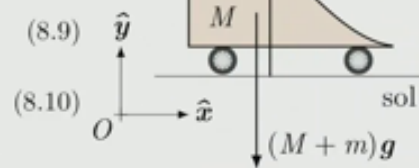
❶ **Système** : chariot et boulet

• **Loi du mouvement** :

$$\sum \mathbf{F}^{\text{ext}} = \mathbf{P} + \mathbf{N} = \dot{\mathbf{p}} \quad (8.9)$$

❶ selon $\hat{x}$:

❷ selon $\hat{y}$:



• **Conservation de la quantité de mouvement** : composante horizontale

$$(8.11)$$

• **Vitesses** : chariot de masse M et boulet de masse m

$$(8.12)$$

• **Chute du boulet** : la composante verticale de la quantité de mouvement p_y n'est pas constante car la composante verticale de la somme des forces extérieures $-(M+m)g + N$ est non-nulle.

est obligé d'écrire que c'est la dérivée temporelle de la quantité de mouvement total. C'est l'expression de départ de la 2e l'an du temps. D'accord ? Regardons ce que cette expression peut nous dire quand on la projette.

notes

résumé

• Sous-système : boulet de masse m

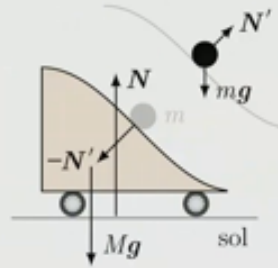
• Forces extérieures :

① Poids : $P_m = m g$

② Réaction normale : chariot N'

• Loi du mouvement :

(8.13)



• Accélération : l'accélération a_m du boulet est tangente à la surface du chariot (contrainte géométrique).

• Force de réaction normale : la force de réaction normale N' exercée par le chariot est une force extérieure au sous-système du boulet mais c'est une force intérieure au système formé du chariot et du boulet.

Faisons donc une projection sur l'axe des abscisses et, selon suite, désordonnés. Pour l'axe des abscisses, on remarque tout de suite que les forces extérieures, la force de réaction normale et le poids sont verticales. Il n'y a aucune force horizontale. Donc, lorsqu'on projette les forces extérieures, l'axe des abscisses, on trouve zéro. Dans le monde de droite, on va trouver la dérivée temporelle de la composante horizontale, P_x , de la quantité de mouvement total. D'accord ? Selon l'axe vertical, quand on projette le poids, on a moins M plus M , F_{xg} plus N , qui multiplie la dérivée temporelle de la composante verticale de la quantité de mouvement. Alors, ce qui est intéressant pour nous ici, c'est ce qui se passe horizontalement. D'accord ? Donc, on va se baser sur l'équation qui est ici. Donc, comme la dérivée temporelle de la composante horizontale, j'insiste bien, seulement de la composante horizontale, de la quantité de mouvement total est nulle, ça signifie que cette composante horizontale, je laisse volontairement un espace, elle est constante. D'accord ? Elle est constante, et qu'est-ce qu'elle vaut ? Pour le regarder, prenons les conditions initiales. Initialement, il n'y a rien qui bouge. C'est le cas qu'on voit ici. Donc, la composante horizontale, elle est nulle. Si elle est nulle, elle le restera, même lorsque les boules descendent le long du profil. D'accord ? Et donc, on peut maintenant écrire que P_x , qui est la quantité de mouvement total du système formé du chariot du boulet, ça va être la quantité de mouvement du chariot, qui est le produit de sa masse, fois sa vitesse, alors, on l'écrit le long de l'axe, les abscisses, mais clairement le chariot se déplace uniquement le long d'axe, les abscisses, en revanche pour le boulet, c'est le produit de sa masse, petit m , fois la composante horizontale uniquement d'à vitesse qui est petit V_x . D'accord ? Ceci donc est nulle. Ce

notes

résumé

34m 28s



• Sous-système : boulet de masse m

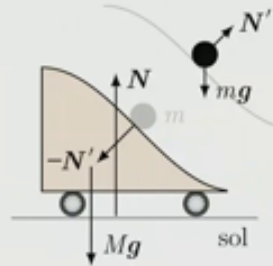
• Forces extérieures :

① Poids : $P_m = m g$

② Réaction normale : chariot N'

• Loi du mouvement :

(8.13)



• Accélération : l'accélération a_m du boulet est tangente à la surface du chariot (contrainte géométrique).

• Force de réaction normale : la force de réaction normale N' exercée par le chariot est une force extérieure au sous-système du boulet mais c'est une force intérieure au système formé du chariot et du boulet.

qui signifie que la composante horizontale de la vitesse du chariot, c'est moins petit m sur grand m , fois la composante horizontale de la vitesse du boulet. Alors, le boulet, clairement, il se déplace vers la droite. D'accord ? Donc, petit V_x est positif, ce qui veut dire que grand V_x est négatif, ce qui veut dire comment on le comprend bien intuitivement, que le chariot, lui, va se déplacer vers la gauche, pensée à l'expérience du réservoir, lorsque l'eau s'écoule vers la droite, le chariot se déplace vers la gauche et vice-versa. D'accord ? Maintenant, les vitesses sont liées au prorata des masses. D'accord ? Si le chariot est très lourd que le boulet est très léger, eh bien, le chariot va très peu bouger vers la gauche. Si c'est le contraire, il bougera beaucoup. Ce qui est important de mentionner ici, c'est que, contrairement à la composante horizontale de la quantité de mouvement, la composante verticale, elle n'est pas conservée. Parce que si c'était le cas, le boulet ne descendrait pas. Or, il descend, il est bien accéléré vers le bas, ce qui veut dire que la termine qui est ici est non nul. D'accord ? Plus exactement, il est même négatif puisque le mouvement a lieu vers le bas. D'accord ? Alors, pour comprendre mieux ce qui se passe à l'intérieur de ces équations,

notes

résumé

① Chariot et boulet : loi vectorielle du mouvement

$$\sum \mathbf{F}^{\text{ext}} = \mathbf{P} + \mathbf{N} = \dot{\mathbf{p}} \quad (8.9)$$

② Boulet : loi vectorielle du mouvement

$$\sum \mathbf{F}^{\text{ext}} = \mathbf{P}_m + \mathbf{N}' = m \mathbf{a}_m \quad (8.13)$$

③ Chariot : loi vectorielle du mouvement

$$\sum \mathbf{F}^{\text{ext}} = \mathbf{P}_M + \mathbf{N} - \mathbf{N}' = M \mathbf{a}_M \quad (8.14)$$

• Poids : chariot et boulet

$$(8.15)$$

• Lois du mouvement : linéairement dépendantes (8.13) + (8.14) = (8.9)

$$(8.16)$$

on va maintenant changer de système d'intérêt. On va prendre des sous-systems. Prenons le sous-système qui est formé uniquement du boulet. Il est là. Quelles sont les forces qui sont extérieures à ce sous-système ? Il y en a deux. Il y a son poids, qui est le produit de sa masse 3G. Mais attention, comme le boulet se déplace sur le plan incliné du chariot, il subit une force de réaction normale qui est orthogonal au plan incliné orienté, comme ceci, cette n'prime. D'accord ? C'est la force d'action... du... C'est la force d'action du chariot sur le boulet qui, pour des raisons techniques, est une force de réaction normale. D'accord ? Mais c'est la force d'action, si vous voulez. Donc, si maintenant on prend la loi du mouvement pour ce sous-système pour écrire que la somme des forces extérieures c'est le poids du boulet, plus la force de réaction normale exercée par le chariot n'prime qui est le produit, pour le coup, de la masse fois l'accélération du boulet, qui, évidemment, se déplace le long du plan incliné, donc l'orientation du vecteur accélération sera celle-ci. Là, on peut parler de masse et d'accélération parce qu'on a un objet qui, de manière monolithique, se déplace. D'accord ? Ce qui est intéressant ici, c'est que cette force de réaction normale exercée par le chariot sur le boulet, on l'a pas vu apparaître dans l'exemple précédent. Pourquoi ? Parce qu'elle était intérieure au système et donc, elle était compensée par la force de réaction normale du boulet sur le chariot. OK ? Alors justement, pour avoir une vision d'ensemble, on a traité la dynamique d'un sous-système, la dynamique du système. On va maintenant traiter la dynamique de l'autre sous-système. Donc on va prendre le sous-système chariot, de masse grand thème. D'accord ? Quels sont les forces exercées sur le chariot ? Il y en a trois. Il y a son poids,

notes

résumé

37m 41s



❶ Chariot et boulet : loi vectorielle du mouvement

$$\sum \mathbf{F}^{\text{ext}} = \mathbf{P} + \mathbf{N} = \dot{\mathbf{p}} \quad (8.9)$$

❷ Boulet : loi vectorielle du mouvement

$$\sum \mathbf{F}^{\text{ext}} = \mathbf{P}_m + \mathbf{N}' = m \mathbf{a}_m \quad (8.13)$$

❸ Chariot : loi vectorielle du mouvement

$$\sum \mathbf{F}^{\text{ext}} = \mathbf{P}_M + \mathbf{N} - \mathbf{N}' = M \mathbf{a}_M \quad (8.14)$$

• Poids : chariot et boulet

$$(8.15)$$

• Lois du mouvement : linéairement dépendantes (8.13) + (8.14) = (8.9)

$$(8.16)$$

MG, la force de réaction normale N qui est exercée par le sol. Et attention, le boulet, si on prend le système chariot, le boulet exerce une force sur le chariot. Seulement cette force, c'est la force de réaction à la force d'action exercée par le chariot sur le boulet. Donc le chariot exerce sur le boulet une force N' en réaction du à la troisième la Newton, le boulet va exercer sur le chariot une force moins N'. Signes inclus. Attention à ça. Et donc, si on écrit la loi du mouvement, la somme des forces extérieures, exercée maintenant uniquement sur le chariot, c'est le poids du chariot MG, plus la force de réaction normale N exercée par le sol, là, c'est un signe moins, moins N', donc moins N' signé inclus, le moins N' qui est ici, c'est la force de réaction exercée par le boulet sur le chariot qui est l'opposé de la force d'action N' exercée par le chariot sur le boulet. Et ceci est égal au produit de la masse du chariot fois l'accélération qu'il subit, qui, elle, clairement, sera horizontale. D'accord ? Donc, on voit que lorsqu'on fait une description des sous-systèmes, les forces d'interaction entre les sous-systèmes, ces forces intérieures, interviennent comme forces extérieures, puisqu'elles sont externes à chaque sous-système, bien qu'elles soient internes au système dans son ensemble. Alors, pour montrer, en termes d'algeblineaires, que notre système est cohérent,

notes

résumé



- **Conservation de la quantité de mouvement** : lors de la chute des boulets le long du rail du chariot, la composante horizontale de la quantité de mouvement totale est conservée. Elle est nulle en tout temps. Cela implique que lorsque le chariot se déplace dans une direction, les boulets se déplacent dans la direction opposée.
- **Accélération verticale** : la chute des boulets le long du rail signifie que la composante verticale de la quantité de mouvement n'est pas constante.

on a nos trois équations qui apparaissent ici, l'équation du mouvement tout d'abord du système, dans lequel il n'y a pas de force intérieure. Ensuite, les équations du mouvement du boulet du chariot. Vous l'aurez compris, ces équations doivent forcément être linéairement dépendantes. D'accord ? Alors, ce qu'on peut, par exemple, voir, c'est que si on prend les informations de chaque sous-système, qu'on les somme, on aura l'information du système. Bon. Alors, faisons-le, écrivons d'abord le fait que le poids est extensif, c'est-à-dire que le poids total du système formé du chariot du boulet, c'est la somme du poids du chariot et du poids du boulet. Bon. Alors, si on somme les forces extérieures, donc ces termes-là, p' est petit m plus p grand m , c'est p total qu'on retrouve ici. Les forces intérieures d'action et de réaction entre le boulet du chariot, c'est simplifié. Il nous reste n , on trouve p plus n . D'accord ? C'est parfaitement cohérent. Maintenant, si les membres de gauche liés aux forces sont égaux, les membres de droite le seront aussi, ce qui nous permet d'identifier la dérivée temporelle de la quantité de mouvement total comme étant la somme du produit des masses fois les accélérations des objets. On aura donc que p point, c'est le produit de la masse du chariot fois son accélération, plus la masse du boulet fois la sienne. D'accord ? Ensuite, faire les projections selon les axes pour retrouver les composantes. D'accord ? Le problème est un cyclo. Vous voyez comment traiter ce genre de problèmes pratiquement.

notes

résumé

41m 9s



8.2 Collisions

- 8.2.1 Types de collisions
- 8.2.2 Choc élastique
- 8.2.3 Choc mou
- 8.2.4 Coefficient de restitution

Alors, y a-t-il quelqu'un qui a envie de faire un petit tour ? Bonneville, je vais rejoindre sur le chariot. Alors, attention, attention. Oui, alors, comme vous avez une robe, ce que vous allez faire, vous allez vous mettre de ce côté-là, d'accord, devant la rampe, et puis vous regardez la scène. Faites attention à une chose, ne collez pas vos jambes à la rampe. Et puis, voilà, faites attention, c'est surtout pas qu'un boulet vous effleure, c'est ça qui me ferait souci. Donc, quand je vous dirais, vous allez appuyer sur la languette qui est ici. Vous allez alors libérer les boulets qui vont descendre le long du chariot, acquérir une quantité de mouvement horizontal, et donc, le système formé de... de Sarah et du chariot aura la même quantité de mouvement au signe près, dans l'autre sens, elle va donc se déplacer vers votre droite alors que le chariot, les boulets, vont se déplacer vers votre gauche. Sarah, vous pouvez y aller, vous appuyez sur la languette. Applaudissements Voilà, alors ça, ce serait un mode de propulsion que nos amis les Romains auraient pu mettre au point, d'accord ? Vous avez envie de voir un meilleur mode de propulsion ? Oui ? Vous êtes prêtes ? Alors là, je vais vous demander de tenir vous peut-être à la rambarde. Je vous suis, hein, pour... Voilà, selon la même idée, si on laisse du CO₂ s'échapper de la bonbonne, eh bien, il sera aussi mis en mouvement, d'accord ? Du à la conservation de la construction de la boule. Voilà. Évidemment que, normalement, le chariot se déplacerait pas dans l'autre sens, c'est évidemment qu'elle subit une force de traction. Voilà. On peut applaudir Sarah ? Applaudissements Applaudissements On va revoir ce problème du chariot plus tard, lorsqu'on parlera spécifiquement de la poussée vers le chariot, et on fera même décoller une fusée dans cet auditoire. Et si vous

notes

résumé

42m 47s



8.2 Collisions

8.2.1 Types de collisions

8.2.2 Choc élastique

8.2.3 Choc mou

8.2.4 Coefficient de restitution

êtes patient et coopératif, on fera même passer la fusée au-dessus de vos têtes.
Oui. OK ? Ça sera au chapitre 10.

notes

résumé

- **Modèle de collision** : choc très court entre deux points matériels avec conservation de la quantité de mouvement totale p .

❶ **Collision élastique** : l'énergie cinétique totale T est conservée lors du choc.

❷ **Collision inélastique** : l'énergie cinétique totale T n'est pas conservée lors du choc.

Choc élastique



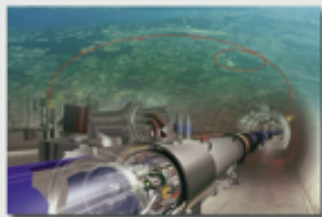
Lamelles métalliques

Choc inélastique



Pointe et pâte à modeler

LHC



Dr. Sylvain Bréchet

8 Loi d'action-réaction, collisions

16 / 41

C'est un petit teaser, d'accord ? Pour vous dire qu'il y a des choses chouettes qui vous attendent. Bon. Ceci étant dit, parlons maintenant des collisions. Alors, des collisions entre deux points matériels, peut-il y en avoir de toutes sortes ? L'une des plus simples à décrire, c'est par exemple la collision d'un point matériel avec le sol, qui serait un autre point matériel. Je prends cette craie, je la lâche. Si je la lâche ici, de 5 cm de hauteur, elle est comme friable et c'est un peu cassé. Mais si je refais le même exercice... Oui, je vais monter ici sur le chariot. Hop. Donc, j'en lâche de plus haut. Qu'est-ce qui va se passer ? Il y aura plus de débris et ils sont plus petits. D'accord ? Pourquoi ? Parce que ce qui va intervenir, c'est l'énergie cinétique. Plus vous allez en haut, plus l'énergie potentielle de pesanteurs va se transformer en énergie cinétique qui sera plus élevée au niveau du choc. Donc, si vous habitez dans une grosse tour et que vous avez des amis qui ont des appartements à des étages successifs, vous pourriez, par exemple, ne le faites pas sans quelques précautions, prendre des... disons des... des sous-tasses, d'accord ? Et vous laissez tomber les sous-tasses du balcon à différentes hauteurs. Alors, si vous avez un ami au premier étage, vous allez avoir quelques débris. Si vous avez des amis qui sont au cinquième, au dixième, au quinzième étage, les débris vont d'être de plus en plus petits. D'accord ? C'est basé sur une expérience réelle. Je peux vous en dire, vous en parlez plus en détail, si vous voulez. Si vous faites ce genre d'expérience, regardez bien, s'il vous plaît, qui est personne dehors. D'accord ? Voilà. Et donc, pourquoi je vous parle de ça ? Parce que c'est le principe de fonctionnement des accélérateurs de particules. Vous prenez un faisceau de

notes

résumé

44m 53s

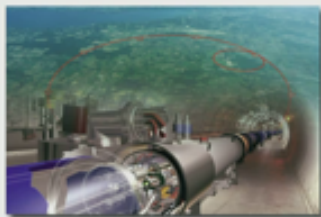


- **Modèle de collision** : choc très court entre deux points matériels avec conservation de la quantité de mouvement totale p .

❶ **Collision élastique** : l'énergie cinétique totale T est conservée lors du choc.

❷ **Collision inélastique** : l'énergie cinétique totale T n'est pas conservée lors du choc.

LHC



Choc élastique



Lamelles métalliques

Choc inélastique

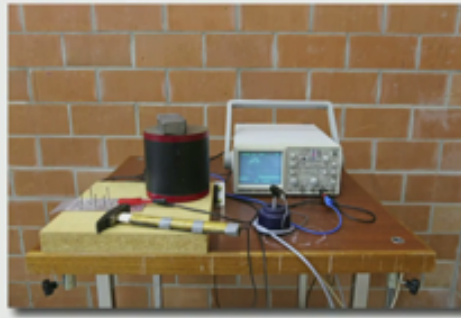


Pointe et pâte à modeler

particules que vous allez accélérer en leur donnant une très grande énergie cinétique. On lui défait tomber, vous les accélerez autrement, mais c'est la même idée. Ensuite, lorsque vous avez suffisamment accéléré les particules, vous placez une cible et, paf, vous envoyez le faisceau de particules sur la cible et les débris sont de plus en plus petits. Plus l'énergie va être élevée. Et c'est exactement ce qu'on fait en cerne. En ayant des débris tout petits, on peut alors analyser les propriétés de particules fondamentales. On va prendre la pause. Et après la pause, on verra ensemble comment on peut modéliser les collisions. Voilà, on va maintenant traiter des collisions. Donc... Lorsqu'on a une collision entre deux objets, entre deux points matériels, ce qui est sûr et garanti, c'est que la quantité de mouvement est toujours conservée. D'accord ? En revanche, ce qui n'allait pas du tout, c'est le fait que l'énergie cinétique soit conservée. Elle peut l'être dans un cas bien particulier, ou c'est en fait élastique réversible. D'accord ? Donc ça, c'est la collision élastique. C'est un cas d'école, c'est un cas très particulier. Et puis, il y a le cas complètement opposé, où on a une collision qui est parfaitement inélastique, où la variation de l'énergie cinétique sera maximale. Puis, à tous les cas intermédiaires, où on a une collision qui est partiellement élastique, dans le cas d'une collision complètement inélastique, dans le cas d'un choc mou, les objets restent accrochés l'un à l'autre. Par exemple, vous avez vu un choc mou la deuxième semaine, lorsqu'on a démontré expérimentalement la forme de la quantité de mouvement à l'aide d'une collision entre deux glisseurs. Un glisseur restait accroché à l'autre

notes

résumé



- On frappe avec un marteau sur une enclume en acier ou sur un bloc en plomb posé sur l'enclume. Deux fils électriques relient l'enclume et le marteau à un oscilloscope.
- Lorsque le marteau est en contact avec l'enclume ou le bloc, le circuit électrique se ferme et un courant électrique circule. Sur l'oscilloscope, on mesure la durée de circulation du courant.
- On constate que la durée du choc est plus longue avec le bloc de plomb qu'avec l'enclume en acier car le choc est moins élastique.

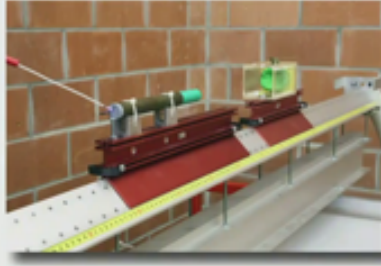
grâce à une pointe qui s'enfonçait dans un patameau de l'aéros. D'accord ? Ça, c'est un choc mou. On verra aujourd'hui que si on prend des glisseurs avec des lamelles qui se font face, les lamelles sont élastiques, elles sont métalliques, ça va rebondir. D'accord ? Lorsqu'on parle de collision, à l'échelle de temps à laquelle on considère la collision, il faut imaginer que le choc est très rapide.

notes

résumé

48m 49s





- **Recul** : lors de l'explosion du combustible (H_2), le glisseur subit un effet de recul pour que la quantité de mouvement totale soit conservée : elle est nulle en tout temps. Comme le glisseur est beaucoup plus lourd que le projectile, le recul du glisseur est faible.
- **Arme à feu** : le recul des armes à feu est aussi dû à la conservation de la quantité de mouvement totale. Comme l'arme est beaucoup plus lourde que la balle, le recul de l'arme n'est pas trop important.

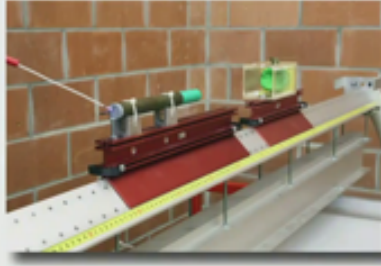
D'accord ? Alors, pour se faire une idée de ceci, je vous propose une petite expérience. Voilà. Y a-t-il quelqu'un qui veut se défouler ? Vous êtes déjà venu tout à l'heure, Rémi ? Quelqu'un d'autre, venez. Vous me rappelez votre prénom ? Charles. Charles. Alors, Charles. Oui. Ce que je vais vous demander de faire, c'est de frapper sur le bloc ici en plomb, et ce que vous allez regarder, c'est ce qui apparaît ici à l'écran. Un carré, la longueur d'un carré, c'est 0,5 millisecondes. Alors, en frappant avec le marteau, ici sur le bloc de plomb lié à l'enclume, il y a un circuit derrière qui passe par le sioscope, et donc au moment où le marteau qui est métallique rentre en contact avec le plomb, le circuit se ferme, il y a un courant qui circule, et quand le contact est perdu, le courant s'arrête puis se colle, le circuit s'ouvre. Donc ce qu'on va voir, c'est la durée du contact. Elle est d'un petit pic qui signale la présence d'un courant. Alors, allez-y, bon coeur. Oui, vous y allez. Un bon coup. Vous avez frappé sur le... Non, je ne sais pas... Pour frapper là-dessus. Oui, il faut frapper là-dessus. Allez-y. Alors là, refaites-le voir un coup, parce que là, il y a des rebonds multiples. Tain, mais... Tain, mais par là. D'accord. Très joli. Voyez ici. Vous voyez la durée du choc, c'est de l'ordre de grandeur d'une demi-milliseconde, un tout petit peu plus petit. D'accord ? Ça, c'est du plan. Revisons l'exercice. Maintenant, Charles, s'il vous voulez bien, sur l'enclume directement qui est de l'acier trempé. Allez-y. Voyez, il y aurait du choc. Alors là, c'est de l'ordre de... Ouais. Une... De l'ordre de 0,15 milliseconde. D'accord ? C'est vraiment tout petit. On peut encore améliorer ceci. Frapper voir avec la petite sphère qui est ici, qui est en acier trempé aussi. Frapper

notes

résumé

49m 9s





- **Recul** : lors de l'explosion du combustible (H_2), le glisseur subit un effet de recul pour que la quantité de mouvement totale soit conservée : elle est nulle en tout temps. Comme le glisseur est beaucoup plus lourd que le projectile, le recul du glisseur est faible.
- **Arme à feu** : le recul des armes à feu est aussi dû à la conservation de la quantité de mouvement totale. Comme l'arme est beaucoup plus lourde que la balle, le recul de l'arme n'est pas trop important.

avec l'acier trempé sur l'acier trempé. Allez-y. D'accord ? Allez-y. Voilà. C'est encore plus court. C'est de l'ordre de 0,1 milliseconde. L'oblique de cet exercice, c'est donc de montrer qu'on est en train de parler de quelques fractions de milliseconde. C'est donc très rapide. Alors maintenant, pour terminer en beauté, Charles, je vous proposerai de planter un clou. Alors, imaginez maintenant que ce clou, c'est votre enseignant de physique. Alors, allez-y, de bon coeur. D'accord ? Pas grave. Voilà. C'est tout bon. Merci beaucoup, Charles. On peut l'applaudir. Donc, le message est passé. D'accord ? Pour l'échelle de temps à laquelle on considère des phénomènes physiques de l'ordre de la seconde, quelques fractions de seconde, là, on est trois ordres de grandeur en dessous. Donc, on peut considérer qu'une collision a lieu durant un interval de temps tout petit, qui est quasiment infinitésimal. D'accord ?

notes

résumé



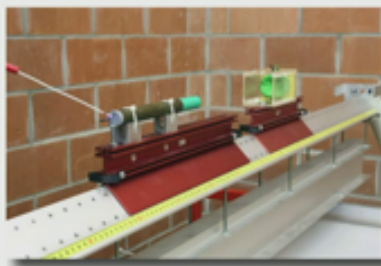
Alors, oui ? Ah, j'ai oublié de... Oui, alors, je vais le faire tout de suite. Merci, Antéin. Voilà. Alors, ce qu'on peut faire avec une arme à feu, c'est étudier le recul. Alors, au lieu de vous montrer un soldat, j'ai préféré vous montrer une soldat. Ça casse un peu le... disons, le stéréotype. D'accord ? Imaginez que c'est une soldat de l'armée suisse, d'accord, qui est en train de manipuler un face-nonnanter. Bon. Qu'est-ce qu'on sait sur les armes à feu ? Au moment où le coupard, d'accord, la balle sort du canon à très haute vitesse, mais ça m'a assez petit, hein, c'est de l'ordre de 2,5 grammes, comme ordre de grandeur, d'accord ? Donc, elle a une certaine quantité de mouvement. Initialement, le canon, ainsi que la balle, était à l'équilibre. Et donc, pour qu'il y ait conservation de la quantité de mouvement, l'arme va reculer. D'accord ? Alors, il faut faire attention lorsqu'on tient une arme à feu pour tirer, pour pas se déboîter l'épaule en l'ayant mal placé. D'accord ? À cause de l'effet de recul. Donc, je vais quand même vous montrer, disons, une expérience qui n'est pas disponible en ce moment puisqu'elle est utilisée dans un autre auditoire.

notes

résumé

52m 4s





- **Recul** : lors de l'explosion du combustible (H_2), le glisseur subit un effet de recul pour que la quantité de mouvement totale soit conservée : elle est nulle en tout temps. Comme le glisseur est beaucoup plus lourd que le projectile, le recul du glisseur est faible.
- **Arme à feu** : le recul des armes à feu est aussi dû à la conservation de la quantité de mouvement totale. Comme l'arme est beaucoup plus lourde que la balle, le recul de l'arme n'est pas trop important.

C'est une expérience où on a remplacé le canon par... Enfin, oui, on a placé, disons, un canon sur un visor, sur un rail à air, d'accord ? On a placé à l'intérieur de ce canon un tout petit projectile en plastique, d'accord ? Et puis, on injecte un mélange stoechiométrique d'hydrogène et d'oxygène, qu'on allume à l'aide d'un piezot électrique, d'accord ? Et il y a un effet de recul, de l'arme à feu, un effet de recul du visor, qui vient compenser en orme la quantité de mouvement du projectile éjecté, regardez. Donc, voilà le projectile qui est inséré dans le canon. Ensuite, avec la syringe, on met un mélange bien explosif, bien étudié, avec des bonnes proportions d'hydrogène et d'oxygène, d'accord ? Deux fois plus d'hydrogène moléculaire que d'oxygène ou des comptes moléculaires. Là, il y a un effet de recul à cet air. Il y a un léger recul du canon. Évidemment, le canon recule nettement moins que le projectile, qui est beaucoup plus léger. L'asymétrie est encore plus forte dans le cas d'une arme à feu, mais quand même, il y a un recul qu'il faut absorber avec un face nanante, d'accord ? Voilà. Alors,

notes

résumé

53m 10s



deux points matériels (système isolé)

quantité de mouvement : système isolé

$$(8.17)$$

nergie cinétique : choc élastique

$$(8.18)$$

deuxième point matériel (au repos)

$$\vec{p}_{2i} = \vec{0} \quad \text{ainsi} \quad T_{2i} = 0 \quad (8.19)$$

mouvement : état initial i et état final f

$$(8.20)$$

que : choc élastique

$$(8.21)$$

8.2.2 Choc élastique

Etat initial



• Bilan de la quantité de m

1 selon $\hat{x}$:

2 selon $\hat{y}$:

• Bilan de la quantité de m

1 selon $\hat{x}$:

2 selon $\hat{y}$:

notes

résumé

54m 32s



deux points matériels (système isolé)

quantité de mouvement : système isolé

$$(8.17)$$

nergie cinétique : choc élastique

$$(8.18)$$

deuxième point matériel (au repos)

$$\vec{p}_{2i} = \vec{0} \quad \text{ainsi} \quad T_{2i} = 0 \quad (8.19)$$

mouvement : état initial i et état final f

$$(8.20)$$

que : choc élastique

$$T_f \quad (8.21)$$

8.2.2 Choc élastique

Etat initial



- Bilan de la quantité de m

- 1 selon $\hat{x}$:

- 2 selon $\hat{y}$:

- Bilan de la quantité de m

- 1 selon $\hat{x}$:

- 2 selon $\hat{y}$:

à l'équilibre, il se repose. Et dans l'état final, il faudra considérer la somme des énergies cinétiques des deux points matériels. Quand ? L'énergie cinétique, on va l'aborder dans un deuxième temps. Ce qu'on va faire tout d'abord, c'est projeter cette équation vectorielle dans un plan.

notes

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

résumé

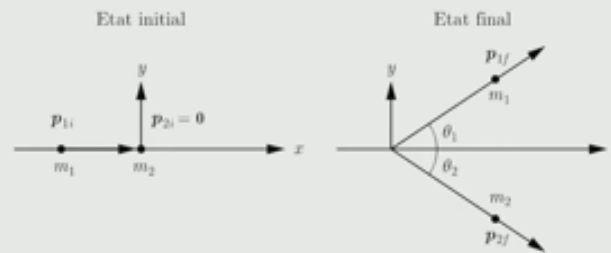
.....

.....

.....

.....

.....



- Bilan de la quantité de mouvement : au carré

- selon $\hat{x}$: $(p_{1i} - p_{1f} \cos \theta_1)^2 = p_{2f}^2 \cos^2 \theta_2$

- selon $\hat{y}$: $p_{1f}^2 \sin^2 \theta_1 = p_{2f}^2 \sin^2 \theta_2$

(8.23)

- Somme des équations de bilan : (8.23)

(8.24)

- Energie cinétique :

(8.25)

Dr. Sylvain Bréchet

8 Loi d'action-réaction, collisions

21 / 41

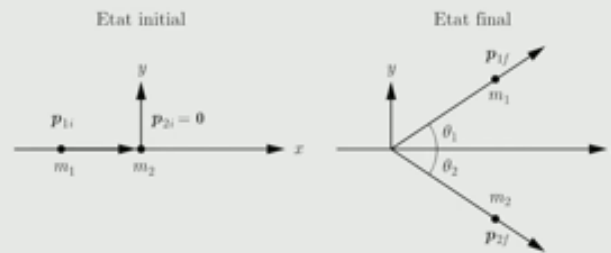
D'accord ? Parce qu'on sait que dans l'état initial, le premier point matériel se déplace selon de l'axe des abscisses, il rentre en collision avec le deuxième point matériel qui est initialement au repos à l'origine du système d'axe. D'accord ? Ensuite, dans le cas général, les deux points matériels auront un mouvement rectiligne uniforme. Donc on va se retrouver dans un plan. Et dans ce plan, la trajectoire du premier point matériel, de manière générale, va faire un angle theta avec l'axe des X. Celle du deuxième point matériel va faire un angle theta 2 avec l'axe des X. Les vecteurs quantités de mouvement final sont le produit des masses fois les vitesses, elles sont tangentes aux trajectoires données. D'accord ? Les voilà. P1f et P2f. Donc maintenant, projeterons l'équation de bilan de quantités de mouvement le long des axes choisis, des axes cartésiens. Commençons par l'axe des abscisses. Initialement, c'est le premier point matériel qui se déplace le long de ces axes avec une composante de sa quantité de mouvement, qui est P1. Le deuxième, ne bouge pas. Après la collision, les deux se déplacent. D'accord ? Et si on fait des projections, des trajectoires sur l'axe des abscisses, on va projeter sur le cas tête, adjacent à l'angle theta 1 et theta 2, respectivement. On aura des cosinus qui vont apparaître. On aura donc les composantes, les normes, si vous voulez. P1f fois le cosinus de theta 1 plus P2f fois le cosinus de theta 2. Faisons le même exercice selon l'axe des ordonnées. Dans l'état initial, il n'y a rien qui bouge le long de l'axe des ordonnées, puisque le premier point matériel se déplace horizontalement, non pas verticalement. Dans le membre de gauche, on a strictement zéro. Pour le membre de droite, on va projeter nos vecteurs selon l'axe vertical. On projette donc sur le cas tête qui est opposé aux angles theta 1 et

notes

résumé

56m 55s





- Bilan de la quantité de mouvement : au carré

- selon $\hat{x}$: $(p_{1i} - p_{1f} \cos \theta_1)^2 = p_{2f}^2 \cos^2 \theta_2$

- selon $\hat{y}$: $p_{1f}^2 \sin^2 \theta_1 = p_{2f}^2 \sin^2 \theta_2$

(8.23)

- Somme des équations de bilan : (8.23)

(8.24)

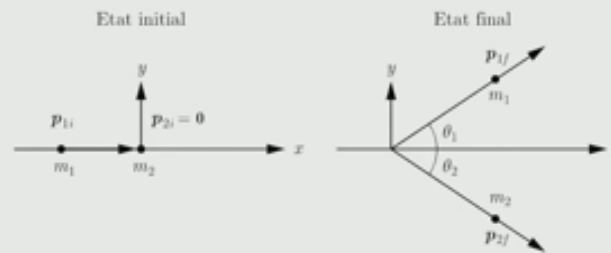
- Energie cinétique :

(8.25)

theta 2. On a une contribution positive en haut, négative en bas. On va se retrouver donc avec P_{1f} , sinus de theta 1 moins P_{2f} , sinus de theta 2. Le problème des équations que vous voyez ici, c'est qu'il y a beaucoup d'inconnus, il y a beaucoup trop d'inconnus. Qu'est-ce qu'on connaît ? Tu vois donc qu'on connait, qu'on mesure, le mouvement du premier point matériel avant le choc. Donc on connaît P_{1i} . Il est supposé connu. Ce qu'on ne connaît pas, en revanche, c'est P_{1f} , P_{2f} , ainsi que theta 1 et theta 2. Ce qui serait intéressant, c'est de pouvoir déterminer la trajectoire et la norme de la quantité de mouvement final du premier point matériel après le choc, puis on peut en déduire ce qui se passe pour le deuxième point matériel. C'est de faire disparaître theta 2, puis ensuite P_{2f} . C'était votre question, Martin ? C'était comment on peut voir un mouvement dans un plan à la fin sur le début ? On a mouvement sur une droite. Alors la réponse, elle viendra dans quelques instants. Je peux vous la donner déjà en filigrane. Pour un point matériel, c'est difficile à imaginer, d'accord ? Mais on va généralement, ce qui se passe, c'est que vous avez des objets qui sont des solides indéformables. Et donc si maintenant vous allez jouer au billard, vous prenez une boule blanche et vous tapez avec la queue de billard sur la boule blanche. Si maintenant le mouvement du centre de masse de la boule blanche est complètement aligné avec le centre de masse de la boule de couleur, strillée ou pleine, vous aurez un choc qui est parfaitement rectiligne. Si elle se percute, mais que les centres de masse ne sont pas parfaitement alignés, ça fait ça. Les deux boules partent avec un angle d'à peu près 90° et un peu inférieur. On reviendra là-dessus aussi dans quelques instants. On va

notes

résumé



- Bilan de la quantité de mouvement : au carré

- ① selon $\hat{x}$: $(p_{1i} - p_{1f} \cos \theta_1)^2 = p_{2f}^2 \cos^2 \theta_2$

- ② selon $\hat{y}$: $p_{1f}^2 \sin^2 \theta_1 = p_{2f}^2 \sin^2 \theta_2$ (8.23)

- Somme des équations de bilan : (8.23)

(8.24)

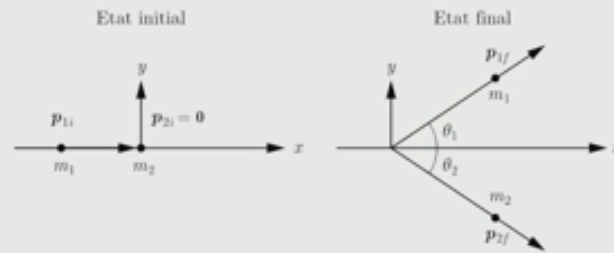
- Energie cinétique :

(8.25)

voir qu'il y a une dégénérescence pour le mouvement du point matériel, chose que vous présentez, Martin, déjà, ce qui est très bien. Vous allez voir qu'effectivement, ça se confirme, et on va voir les limites du modèle du point matériel dans quelques instants avec cet exercice. Pour s'affranchir de θ_2 , on peut ici une formule de trigo qui est que la somme du sinus carré, du cosinus carré θ_2 , est égal à 1. On va faire apparaître des carrés du cosinus et du sinus de θ_2 . On va isoler ces termes dans le membre de droite. On enlève vos carrés dans l'équation. On aura donc $P_{1i} - P_{1f} \cos \theta_1$ fois le cosinus de θ_1 , élevé au carré, qui va être égal, à P_{2f} au carré fois le cosinus carré de θ_2 . Dans la deuxième équation, on aura donc P_{1f} au carré fois le sinus au carré de θ_1 , qui est égal à P_{2f} au carré fois le cosinus au carré de θ_2 . Maintenant, vous me voyez venir. Ce qu'on va faire, c'est sommer la première et la deuxième. Dans le membre de droite, on aura comme facteur P_{2f} au carré qui multiplie la somme du sinus et du cosinus au carré de θ_2 qui vaut 1. Si on fait ça,

notes

résumé



- Bilan de la quantité de mouvement : projections

- ① selon $\hat{x}$: $p_{1i} = p_{1f} \cos \theta_1 + p_{2f} \cos \theta_2$

- ② selon $\hat{y}$: $0 = p_{1f} \sin \theta_1 - p_{2f} \sin \theta_2$ (8.22)

- Bilan de la quantité de mouvement : (8.22) au carré

- ③ selon $\hat{x}$: $(p_{1i} - p_{1f} \cos \theta_1)^2 = p_{2f}^2 \cos^2 \theta_2$

- ④ selon $\hat{y}$: $p_{1f}^2 \sin^2 \theta_1 = p_{2f}^2 \cos^2 \theta_2$ (8.23)

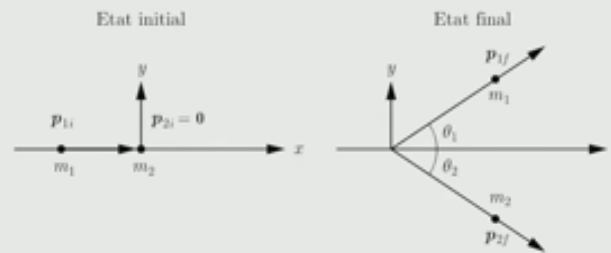
on se retrouve avec une équation dont on a réussi à faire disparaître l'angle theta2. On aura donc $P_{1i} - P_{1f} \cos \theta_1$ fois le cosinus de theta1 élevé au carré plus $P_{1f} \sin \theta_1$ fois le sinus carré de theta1, qui est égal à P_{2f}^2 au carré. Pour aller plus loin, oui. Qu'est-ce que j'ai écrit ? Excusez-moi, je l'ai écrit trop vite.

notes

résumé

61m 46s





- Bilan de la quantité de mouvement : au carré

① selon $\hat{x}$: $(p_{1i} - p_{1f} \cos \theta_1)^2 = p_{2f}^2 \cos^2 \theta_2$

② selon $\hat{y}$: $p_{1f}^2 \sin^2 \theta_1 = p_{2f}^2 \sin^2 \theta_2$ (8.23)

- Somme des équations de bilan : (8.23)

$$(p_{1i} - p_{1f} \cos \theta_1)^2 + p_{1f}^2 \sin^2 \theta_1 = p_{2f}^2 \sin^2 \theta_2 + p_{2f}^2 \cos^2 \theta_2 = p_{2f}^2$$
 (8.24)

- Energie cinétique :

(8.25)

Merci beaucoup, vous ne dormiez pas, c'était un sinus. Vous avez effectivement un sinus et un cosinus. Quand vous les somme, un sinus carré, un cosinus carré, ça vous donne bien un. Merci beaucoup pour le commentaire, effectivement.

notes

résumé

62m 20s



- Bilan de l'énergie cinétique :

(8.26)

- Bilan de l'énergie cinétique : remis en forme

(8.27)

- Bilan de la quantité de mouvement :

$$p_{2f}^2 = (p_{1i} - p_{1f} \cos \theta_1)^2 + p_{1f}^2 \sin^2 \theta_1 \quad (8.24)$$

- Identification : quantité de mouvement au carré (8.24) et (8.27)

(8.28)

- Equation quadratique : quantité de mouvement (8.28) remise en forme

(8.29)

Donc, pour aller plus loin, pour faire disparaître ici P_{2f} au carré, on a besoin d'une information supplémentaire. Elle se cache où ? Elle se cache là où on n'a encore pas utilisé, c'est-à-dire dans la conservation de l'énergie cinétique. L'énergie cinétique, c'est une demi de la masse fois la vitesse au carré qu'on peut aussi écrire comme la quantité de mouvement au carré divisé par deux fois la masse, puisque PCMV. C'est comme ça qu'on va l'exprimer, pour chaque point matériel, avant et après la collision. Ok ?

notes

résumé

62m 32s



- Bilan de l'énergie cinétique :

$$\frac{p_{1i}^2}{2m_1} = \frac{p_{1f}^2}{2m_1} + \frac{p_{2f}^2}{2m_2} \quad (8.26)$$

- Bilan de l'énergie cinétique : remis en forme

$$p_{1f}^2 = \frac{m_2}{m_1} (p_{1i}^2 - p_{2f}^2) \quad (8.27)$$

- Bilan de la quantité de mouvement :

$$p_{2f}^2 = (p_{1i} - p_{1f} \cos \theta_1)^2 + p_{1f}^2 \sin^2 \theta_1 \quad (8.24)$$

- Identification : quantité de mouvement au carré (8.24) et (8.27)

$$\frac{m_2}{m_1} (p_{1i}^2 - p_{1f}^2) = (p_{1i} - p_{1f} \cos \theta_1)^2 + p_{1f}^2 \sin^2 \theta_1 \quad (8.28)$$

- Equation quadratique : quantité de mouvement (8.28) remise en forme

$$\left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right) p_{1f}^2 - 2 p_{1i} p_{1f} \cos \theta_1 + \left(1 - \frac{m_2}{m_1}\right) p_{1i}^2 = 0 \quad (8.29)$$

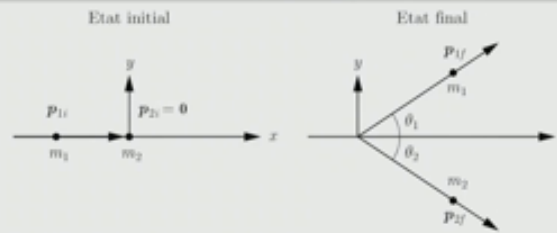
Donc, si on écrit l'équation bilan de l'énergie cinétique, on n'a que l'énergie cinétique initiale du premier point matériel, c'est sa quantité de mouvement initial élevée au carré, divisé par deux fois sa masse, ça sera égal à l'énergie cinétique finale du premier point matériel, qui est sa quantité de mouvement finale au carré divisé par deux fois sa masse, plus l'énergie cinétique finale du deuxième point matériel, qui est le carré de sa quantité de mouvement finale divisé par deux fois la sienne. On peut donc tirer de cette équation P2F au carré, P2F au carré qui sera le rapport de M2 sur M1, qui multiplie P1I au carré, moins P1F au carré. Donc, maintenant, on a deux équations qui nous donnent P2F au carré, on peut donc identifier les membres de droite, et on a une équation dans laquelle P2F a disparu. D'accord ? C'est-à-dire qu'on a M1... Non, M2 sur M1, qui multiplie P1I au carré, moins P1F au carré, qui est égal à P1I, moins P1F, fois cosinus de tête à 1 élevée au carré, plus P1F au carré, fois sinus carré de tête à 1. Bon, cette équation, on aimerait un tout petit peu la remettre en forme. Déjà, on aimerait développer le carré qui apparaît ici, et remettre tous les termes du même côté en factorisant par les quantités de mouvement. Si on fait ça, on trouve 1 plus M2 sur M1, qui multiplie P1F au carré, moins P1I, P1F, fois cosinus de tête à 1, plus 1 moins M2 sur M1,

notes

résumé

63m 10s





- Equation quadratique : quantité de mouvement

$$\left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right) p_{1f}^2 - 2 p_{1i} p_{1f} \cos \theta_1 + \left(1 - \frac{m_2}{m_1}\right) p_{1i}^2 = 0 \quad (8.29)$$

- Equation quadratique : (8.29) remise en forme

(8.30)

- Solution : (8.31) équation quadratique (8.30)

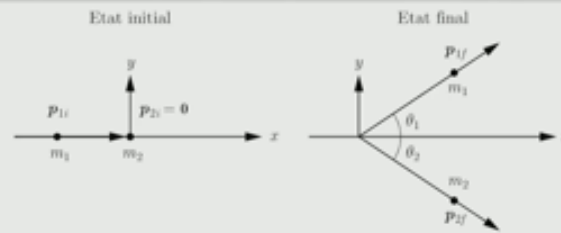
foie P_{1i} au carré. C'est égal à 0. Pour trouver des solutions d'une telle équation, il faut faire apparaître dans cette équation, qui est une équation quadratique des vraies carrés. Les vraies carrés qu'on veut faire apparaître, c'est le rapport des quantités de mouvement final et initial du premier point matériel. Donc, on va diviser cette équation par P_{1i} au carré. Et pour que le terme de plus haut degré et un coefficient égal à 1, pour appliquer la formule résolution des équations du deuxième degré, on va au passage diviser par le préfacteur qui est là. D'accord ?

notes

résumé

65m 1s





- Equation quadratique : quantité de mouvement

$$\left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right) p_{1f}^2 - 2 p_{1i} p_{1f} \cos \theta_1 + \left(1 - \frac{m_2}{m_1}\right) p_{1i}^2 = 0 \quad (8.29)$$

- Equation quadratique : (8.29) remise en forme

$$\left(\frac{p_{1f}}{p_{1i}}\right)^2 - \frac{2m_1}{m_1 + m_2} \cos \theta_1 \left(\frac{p_{1f}}{p_{1i}}\right) + \left(1 - \frac{m_2}{m_1}\right) = 0 \quad (8.30)$$

- Solution : (8.31) équation quadratique (8.30)

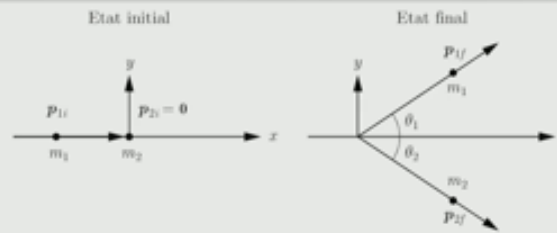
Si on fait ça, ce qu'on trouve, c'est l'équation suivante. P1F sur P1I au carré, moins 2M1 sur M1 plus M2, fois le cosinus de tête à 1,

notes

résumé

65m 39s





- Equation quadratique : quantité de mouvement

$$\left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right) p_{1f}^2 - 2 p_{1i} p_{1f} \cos \theta_1 + \left(1 - \frac{m_2}{m_1}\right) p_{1i}^2 = 0 \quad (8.29)$$

- Equation quadratique : (8.29) remise en forme

$$\left(\frac{p_{1f}}{p_{1i}}\right)^2 - \frac{2m_1}{m_1 + m_2} \cos \theta_1 \left(\frac{p_{1f}}{p_{1i}}\right) + \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} = 0 \quad (8.30)$$

- Solution : (8.31) Equation quadratique (8.30)

$$\frac{p_{1f}}{p_{1i}} = \frac{m_1 v_{1f}}{m_1 v_{1i}} = \frac{v_{1f}}{v_{1i}} =$$

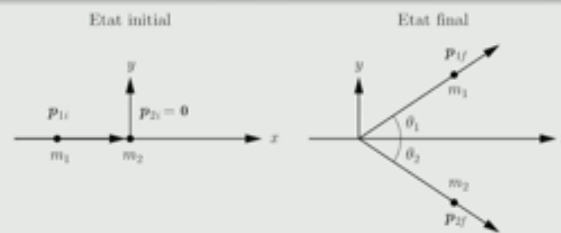
foie le rapport de P1F sur P1I, plus M1 moins 2 sur M1 plus M2, qui est égal à 0. Donc là, on a une jolie équation quadratique, dont la variable et le rapport des quantités de mouvement soient P1F sur P1I. Donc, vous connaissez la solution d'une telle équation, mathématiquement, P1F sur P1I sera égal au produit d'amasses fois les vitesses respectives, M1 fois V1F sur M1 fois V1I, c'est-à-dire le rapport des vitesses, V1F sur V1I, d'accord ? Et ceci, si on le résout, donc on a un coefficient A qui vaut 1, un coefficient B qui vaut... Le terme qui est là, un coefficient C qui est là,

notes

résumé

65m 56s





- Equation quadratique : quantité de mouvement

$$\left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right) p_{1f}^2 - 2 p_{1i} p_{1f} \cos \theta_1 + \left(1 - \frac{m_2}{m_1}\right) p_{1i}^2 = 0 \quad (8.29)$$

- Equation quadratique : (8.29) remise en forme

$$\left(\frac{p_{1f}}{p_{1i}}\right)^2 - \frac{2m_1}{m_1 + m_2} \cos \theta_1 \left(\frac{p_{1f}}{p_{1i}}\right) + \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} = 0 \quad (8.30)$$

- Solution : (8.31) équation quadratique (8.30)

$$\frac{p_{1f}}{p_{1i}} = \frac{m_1 v_{1f}}{m_1 v_{1i}} = \frac{v_{1f}}{v_{1i}} =$$

on résout une équation du 2e degré.

notes

résumé

66m 49s



① Masses égales :

- Bilan de la quantité de mouvement :

(8.32)

- Bilan de l'énergie cinétique :

(8.33)

- Bilan de la quantité de mouvement : (8.33) au carré

(8.34)

- Différences des équations de bilan : (8.34) – (8.33)

$$\left\{ \right.$$

(8.35)

On va se retrouver avec un préfacteur qui est M_1 sur M_1 plus M_2 , qui multiplie le cosinus de θ_1 plus ou moins la racine carrée du discriminant réduit, soit le cosinus au carré de θ_1 moins 1 moins M_2 carré sur M_1 carré, d'accord ? Voilà. Je vous donne la solution, vous pouvez la retrouver vous-même rapidement regardant la solution de l'équation du 2e degré. D'accord ? Donc on a trouvé la solution finale. On a le rapport de V_{1F} sur V_{1I} en termes de l'angle que va faire la trajectoire avec l'axe horizontal, d'accord ? Et des valeurs respectives des masses. 5, c'est le cas général. Prenons maintenant un cas particulier.

notes

résumé

66m 50s



(8.32)

$$\Rightarrow v_{2f} = v_{1i}$$

(8.35)

8.2.2

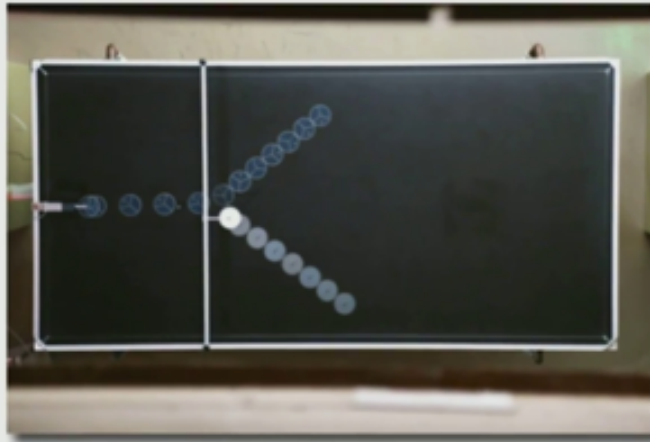
2 Ch

• Sol

$$\frac{v_{1f}}{v_{1i}}$$

• Ch

le puck
ce le puck
es le choc,
n théorie
t
s pucks ne
ls ont un



Le cas particulier, c'est celui où les masses sont égales. M_1 égale M_2 égale M . Qu'est-ce que ça va donner ? Bon, alors on prend l'équation bilan de la quantité de mouvement. Comme les masses sont les mêmes, on divise toutes les quantités de mouvement par la masse. On aura une équation bilan qui va se traduire par une identité sur les vitesses. V_{1i} sera égale à V_{1f} plus V_{2f} . Et puis si on prend l'équation bilan d'énergie synthétique, on a une demi-dame à masse pour la vitesse au carré. Les masses sont les mêmes, on divise par la masse, on multiplie par deux. On a une équation bilan qui va se traduire par une relation sur le carré des vitesses. On aura donc V_{1i} au carré, qui est égal à V_{1f} au carré, plus V_{2f} au carré. D'accord ? Ces équations, on aimerait les comparer. Comment est-ce qu'on peut rapidement les comparer en prenant la première et en l'élevant au carré ? Si on élève la première au carré, on aura V_{1i} au carré, qui est égal à V_{1f} au carré, plus c'est doux produit qui est deux fois le produit scalaire de V_{1f} avec V_{2f} , plus V_{2f} élevé au carré. Bon. Si vous prenez la différence entre cette équation et la précédente, vous arrivez à la conclusion que le doux produit doit être nul. Donc il faut que le produit scalaire de V_{1f} avec V_{2f} soit égal à zéro. Et ça nous donne lieu à deux comportements différents. Et ça rejoint la discussion de la question qu'a posé tout à l'heure Martin. D'accord ? Vous avez un premier cas de figure où la vitesse finale du premier point matériel est non nul. La vitesse finale du deuxième point matériel est non nul. Et donc forcément, pour que le produit scalaire entre les vecteurs soit nul, si vous reprenez le dessin qu'on avait avant, vous voyez que les angles

notes

résumé

67m 41s



(8.32)

$$\Rightarrow v_{2f} = v_{1i}$$

(8.35)

8.2.2

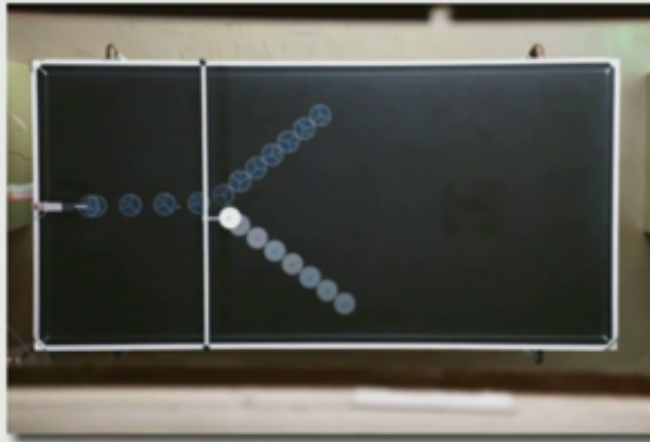
2 Ch

• Sol

$$\frac{v_{1f}}{v_{1i}}$$

• Ch

le puck
ce le puck
es le choc,
n théorie
t
s pucks ne
ls ont un



respectifs avec l'angle horizontal, c'est T1 et T2. Donc pour que ces vecteurs soient orthogonaux, il faut que la somme de ces angles soit égal à 90 degrés. D'accord ? Donc il faut que T1 plus T2 soit égal à pi sur 2. D'accord ? Donc on a deux boules de bière qui se percutent et qui repartent selon deux trajectoires qui font un angle de 90 degrés entre elles. Deuxième cas de figure, c'est le cas où la vitesse finale du premier point matériel est nulle. Donc le premier point matériel... Attendez-moi. Alors, j'ai pas été rigoureux, j'ai oublié de mettre des petits vecteurs ici. Donc si le premier point matériel s'arrête net, le deuxième point matériel, lui, va se déplacer avec une vitesse qui est égal à la vitesse initiale du premier point matériel, on le voit tout de suite en regardant l'équation qui est là. D'accord ? Les éternes nul, vous avez cette identité. C'est-à-dire que V_{2F} est égal à... Alors, nos points matériels, comment vont-ils choisir la solution qui sera la leur ? Alors si c'est des points matériels, il y a une dégénérescence, les deux solutions sont possibles. Dans la pratique, c'est pas vrai, parce que les points matériels ne sont pas des vrais. Les vrais points matériels ne sont pas ponctuels au sens strict. Ils ont un certain volume. Et donc, si vous prenez deux boules de bière, et que vous lancez la première, la boule blanche, selon le centre de masse de la deuxième, la boule couleur, c'est triée ou pleine, pour ceux qui font du bière, vous savez de quoi je parle, la boule blanche s'arrête net, et c'est la boule de couleur qui continue sa trajectoire avec la vitesse incidente de la première. C'est le deuxième cas de figure. Si les centres de masse sont très légèrement décalés, mais que les balles se touchent quand même, à ce moment-là, on est

notes

résumé

(8.32)

$$\Rightarrow v_{2f} = v_{1i}$$

(8.35)

8.2.2

2 Ch

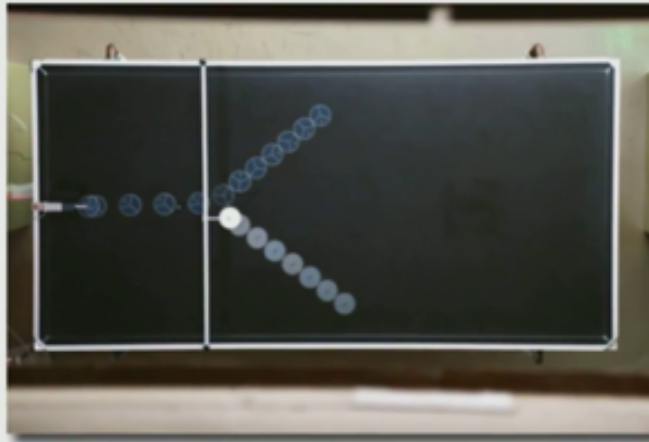
• Sol

$$\frac{v_{1f}}{v_{1i}}$$

$$v_{1i}$$

• Ch

le puck
ce le puck
es le choc,
n théorie
t
s pucks ne
ls ont un



dans le premier cas de figure, c'est-à-dire que la boule blanche va être déviée, la boule de couleur aussi, et l'angle entre les deux boules d'après ce modèle est égal à 90 degrés. D'accord ? Dans le cas du point matériel, il y a donc cette dégénérescence qui, dans la pratique, est levée par la situation concrète qui est considérée dans la collision. Ok ? Alors, si vous faites l'exercice, il a été fait, plutôt que de vous le montrer, jamais vous montrer le résultat qu'un stroboscope,

notes

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

résumé

.....

.....

.....

.....

.....

8.2.2 Choc élastique

2 Choc rectiligne :

• Solution générale :

$$\frac{v_{1f}}{v_{1i}} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \left(\cos \theta_1 \pm \sqrt{\cos^2 \theta_1 - \frac{m_2}{m_1}} \right)$$

c'est ça qui est intéressant. Vous avez ici une table à air, et vous avez des images successives pris avec un stroboscope. Vous avez un puck bleu qui est envoyé horizontalement, comme ceci. Regardez sur le puck, vous avez le logo Mercedes. Initialement, ce logo garde son orientation. Donc il n'y a pas de mouvement de rotation propre. Ce puck, il est envoyé tel qu'il rentre en collision avec le deuxième puck qui est là. Mais les sans-domases sont légèrement décalés. Vous voyez ? C'est le sans-domase du premier. D'accord ? Le deuxième, il est là. Donc les pocs se percutent, mais les sans-domases ne sont pas alignés. Donc, d'après la théorie, qu'est-ce qu'on devrait trouver ? On devrait trouver deux trajectoires qui se coupent à angle droit. Ce n'est pas tout à fait ce qu'on trouve, c'est presque ce qu'on trouve. Ça, ce n'est pas un angle droit. C'est un peu inférieur à un angle droit. Alors, si vous regardez bien le dessin maintenant, regardez le puck bleu après la collision. Qu'est-ce que vous voyez ? Le logo Mercedes a un mouvement de rotation. Donc il n'y a pas seulement conservation d'un quantité de mouvement, il y a le moment signatique lié à la rotation propre qui intervient. Et si on entient compte, ce qui est très compliqué à faire, il faudrait le faire sur des pages et des pages, pas le faire ensemble. Maintenant, à ce moment-là, on se rend compte que l'angle entre les deux trajectoires doit être légèrement inférieur à 90°. Mais si il n'y a pas ce mouvement de rotation propre, à ce moment-là, on a vraiment des trajectoires qui se coupent à angle droit, et c'est le modèle qu'on a établi ensemble. Donc voilà les limites de notre modèle. D'accord ?

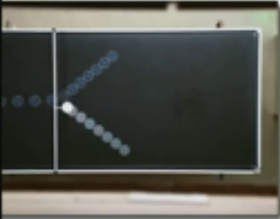
notes

résumé

72m 7s



$$\theta_1 + \theta_2 = \frac{\pi}{2} \quad (8.35)$$



8.2.2 Choc élastique

- Choc rectiligne :
- Solution générale :

$$\frac{v_{1f}}{v_{1i}} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \left(\cos \theta_1 \pm \sqrt{\cos^2 \theta_1 - \left(1 - \frac{m_2^2}{m_1^2} \right)} \right)$$

- Choc rectiligne :

Si $v_{1f} = v_{1i}$ alors $v_{2f} = 0$: cela signifie que le premier subit aucun choc avec le deuxième point matériel d'où la solution non physique avec un signe "+" est donc éliminée.

- Vitesse finale : (8.36) avec un signe "-"

Oui.

notes

résumé

73m 37s



• Choc rectiligne : $\theta_1 = \theta_2 = 0$

• Vitesse finale : point matériel 1

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i} \quad (8.37)$$

• Bilan de l'énergie cinétique :

(8.38)

• Bilan de l'énergie cinétique : remis en forme

(8.39)

• Vitesse finale quadratique : (8.37) dans (8.39)

(8.40)

• Vitesse finale : point matériel 2

(8.41)

Donc on a traité ce cas-là. Prenons maintenant un autre cas particulier qui est celui du choc rectiligne. Si le choc rectiligne, ça veut dire que les angles que font les trajectoires des deux points matériels après la collision avec l'axe des X sont nuls. Donc teta 1 égale teta 2 égale 0. Concrètement, les cosinus de ces angles sont égales à 1. Donc pour un choc rectiligne, V_{1f} divisé par V_{1i} , c'est M_1 sur M_1 plus M_2 . Les masses sont différentes. Il faut le cos de teta 1 qui est 1. Plus ou moins la racine carré du cos de teta 1 qui est 1, moins 1, moins M_2 carré sur M_1 carré. D'accord ? Alors, 1 se simplifie, les signes moins aussi, la racine carré de M_2 carré sur M_1 carré, c'est M_2 sur M_1 . Et donc, ce qui va nous rester, c'est M_1 plus ou moins M_2 sur M_1 plus M_2 . Alors quelle est la solution que le système va choisir ? Là, pour le coup, il faut faire une petite analyse physique et on aura tout de suite compris. Prenons la situation où le premier point matériel a après la collision une vitesse finale qui est égale à la vitesse initiale. Ça vous veut dire qu'on a pris le Ciné Plus. D'accord ? Alors si on a ce cas de figure, pour respecter la conservation de la quantité de mouvement, c'est-à-dire que le deuxième point matériel reste immobile. En d'autres termes, imaginez la situation suivante, c'est un premier point matériel qui arrive, il y a un deuxième, il rentre en collision avec le deuxième, il continue sa trajectoire, comme si de rien n'était, elle deuxième ne bouge pas. Ça, ce n'est pas une collision réelle, c'est une collision virtuelle. D'accord ? Vous pouvez voir ça dans les films de Walt Disney, ce n'est pas de la science, c'est de la science fiction. Vous ne le verrez

notes

résumé

73m 38s



• Choc rectiligne : $\theta_1 = \theta_2 = 0$

• Vitesse finale : point matériel 1

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i} \quad (8.37)$$

• Bilan de l'énergie cinétique :

(8.38)

• Bilan de l'énergie cinétique : remis en forme

(8.39)

• Vitesse finale quadratique : (8.37) dans (8.39)

(8.40)

• Vitesse finale : point matériel 2

(8.41)

jamais en réalité. D'accord ? C'est la raison pour laquelle cette solution-là n'est pas physique, il faut la rejeter. La solution physique, c'est celle avec le signe moins. D'accord ? Donc, la vitesse finale du premier point matériel, cette M_1 moins M_2 divisé par la somme des masses soit M_1 plus M_2 , qui multiplie la vitesse initiale du premier point matériel. Attention, c'est les projections des vitesses selon l'axe des X . C'est-à-dire que ces composantes peuvent être positives ou négatives. Alors, par construction, on prendra un mouvement initial du premier point matériel qui a lieu vers la droite, donc on choisira un V_{1i} qui est positif. Mais en fonction des valeurs respectives des masses et des deux points matériels, soit V_{1f} continue sa trajectoire dans le même sens, soit il s'arrête, soit il rebondit et revient en arrière. D'accord ? On verra ça dans quelques instants.

notes

résumé

• **Choc rectiligne** : $\theta_1 = \theta_2 = 0$

• **Vitesse finale : point matériel 1**

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i} \quad (8.37)$$

• **Vitesse finale : point matériel 2**

$$v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i} \quad (8.41)$$

• **Cas particuliers :**

• **Masses égales** : boules de billard, boulier

• **Masse infinie** : rebond de balle, choc de molécule contre une paroi



Alors, pour terminer notre analyse, elle y est V_{2f} à V_{1i} , on a besoin de l'équation de bilan de l'énergie scientifique. D'accord ? L'énergie scientifique initiale du premier point matériel, c'est une demi de sa masse fois sa vitesse initiale au carré, qui va donc être égale à la somme des énergies finales du premier et du deuxième point matériel. D'accord ? De cette équation, on peut tirer V_{2f} au carré, qui est M_1 sur M_2 , fois V_{1i} au carré, moins V_{1f} au carré. D'accord ? Bon. Alors, maintenant, on peut prendre V_{1f} exprimé en termes de V_{1i} . On le substitue dans l'équation qui est là. Et on peut alors, avec une remise en forme algébrique, montrer que V_{2f} au carré va être égale à $4M_1$ carré sur M_1 plus M_2 au carré, fois V_{1i} au carré. Bon. Bon. Alors, maintenant, il suffit de prendre la racine carré. Alors, vous me direz quelle est le signe ? Il y a une chose qui est claire. Si vous avez un premier point matériel qui arrive, qui rentre en contact avec un deuxième, le deuxième point matériel ne pourra jamais revenir en arrière. Le signe, il doit être positif. Donc, V_{2f} , c'est $2M_1$ sur M_1 plus M_2 , fois V_{1i} . Et le tour est joué. Pour un choc rectiligne, donc, sur un arrière ou ailleurs. D'accord ?

notes

résumé

76m 27s



- Choc rectiligne : $\theta_1 = \theta_2 = 0$

- Vitesse finale : point matériel 1

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i} \quad (8.37)$$

- Vitesse finale : point matériel 2

$$v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i} \quad (8.41)$$

- Cas particuliers :

- Masses égales : boules de billard, boulier

$$m_1 = m_2 \quad \text{ainsi} \quad v_{1f} = 0 \quad \text{et} \quad v_{2f} = v_{1i}$$

- Masse infinie : rebond de balle, choc de molécule contre une paroi

$$\frac{m_1}{m_2} \rightarrow 0 \quad \text{ainsi} \quad v_{1f} = -v_{1i}$$



Pour une vitesse initiale donnée du premier point matériel qui rentre en collision avec le deuxième, qui est initialement à l'équilibre, on a entièrement déterminé les vitesses finales, les composantes des vitesses finales, du premier et du deuxième point matériel en fonction des masses respectives des points matériels. D'accord ? Alors, regardons ce que ça peut donner. v_{1i} , par construction, est positif. Qu'en est-il de v_{1f} ? Eh bien, si M_1 est plus grand qu'au M_2 , v_{1f} sera positif. Donc, si vous prenez un premier point matériel qui est plus lourd que le deuxième, rentre en collision avec le deuxième, il continue dans la direction et le sens dans lequel il est parti, avec une vitesse qui sera plus faible, mais il va continuer dans cette direction. Si M_1 est égal à M_2 , que les points matériels ont la même masse, si ils sont parfaitement alignés, c'est la collision du biard, la boule blanche vient frapper la boule de couleur, elle s'arrête nette et c'est la boule de couleur qui continue sa course avec une vitesse qui est égale à la vitesse initiale de la première boule. D'accord ? Alors, si vous avez un premier objet qui est plus léger que le deuxième, qu'est-ce qu'il va faire ? Il va rebondir sur le deuxième. Donc, il revient en arrière, et le deuxième va partir lentement dans la direction du premier. Ok ? Alors, le cas dont on vient de parler, c'est le cas où on a une collision de masse égale. Si M_1 égal à M_2 , eh bien, v_{1f} est égal à 0, et donc v_{2f} est égal à v_{1i} , c'est le cas des boules de biard. Ok ? Alors, que se passent-ils maintenant dans le cas extrême où un objet est beaucoup plus lourd que l'autre ? Imaginez la craie qui vient heurter le sol. D'accord ? Ou une bille qui tombe sur le sol. Que va-t-il se passer

notes

résumé

78m 8s



- Choc rectiligne : $\theta_1 = \theta_2 = 0$

- Vitesse finale : point matériel 1

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i} \quad (8.37)$$

- Vitesse finale : point matériel 2

$$v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i} \quad (8.41)$$

- Cas particuliers :

- Masses égales : boules de billard, boulier

$$m_1 = m_2 \quad \text{ainsi} \quad v_{1f} = 0 \quad \text{et} \quad v_{2f} = v_{1i}$$

- Masse infinie : rebond de balle, choc de molécule contre une paroi

$$\frac{m_1}{m_2} \rightarrow 0 \quad \text{ainsi} \quad v_{1f} = -v_{1i}$$



? S'il n'y a pas de déformation, que la déformation est négligeable, le choc est élastique, et alors, la vitesse finale de la particule qui rentre en collision avec le sol est égal et opposée à sa vitesse éficiale. D'accord ? Pourquoi ? On peut le voir tout de suite. Prenez l'équation qui est là. Considérez que l'objet de masse beaucoup plus grande, c'est M2. D'accord ? Donc, maintenant, on divise par M2. Le numérateur est un amniateur. Donc, on a M1 sur M2, on a M2 sur M2, on a M1 sur M2, et on a M2 sur M2. D'accord ? Comme M1 sur M2 tend vers 0, ces termes-là tend vers 0. Il va nous rester moins M2 sur M2, qui est 1, mon numérateur, et M2 sur M2 au dénumérateur qui est 1, ça fait moins 1, et donc, V1F est égal à moins V1I. Donc, dans la limite où M1 sur M2 tend vers 0, V1F, c'est l'opposé de V1I. Typiquement, une boule qui tombe au sol, elle rebondit. D'accord ? Si le choc est élastique,

notes

résumé

- **Choc mou** : choc parfaitement inélastique entre deux points matériels qui restent attachés l'un à l'autre après le choc.



- **Bilan de quantité de mouvement :**

(8.42)

- **Bilan de quantité de mouvement :** (8.42) remis en forme

(8.43)

- **Vitesse finale :** (8.43) remis en forme

(8.44)

sa vitesse finale orientée vers l'eau, c'est l'opposé d'a vitesse initiale orientée vers le bas. D'accord ? C'est ce qui se passe avec la collision, par exemple, d'une particule très légère sur une paroi très lourde. D'accord ? Alors, ceci, on peut l'illustrer avec l'expérience du boulier. Là, voici. Je prends une boule. Je la remonte, comme ceci. Je vais lui donner, par rapport à la position de départ, une certaine énergie potentielle de pesanteurs qui va être convertie en énergie scientifique, la boule descend, elle rentre en contact avec la boule qui est à côté. Comme dans l'expérience du bière, la première s'arrête nette, c'est la deuxième qui continue sa course et remonte. Et ça s'inverse. Il y a du frottement, ça finit par s'arrêter. D'accord ? Là, c'est l'expérience du bière où les masses sont égales. D'accord ? Alors, maintenant, on peut le faire avec un autre boulier. Là, voici. Je vais prendre maintenant une première boule. Elle rentre en collision avec la première, elle communique sa quantité de mouvement. Celle-ci, la communique immédiatement à la troisième, à la quatrième, à la cinquième qui remonte. Regardez. C'est symétrique. Alors, on peut le faire avec deux boules. Faisons-le avec deux boules. Il y en a deux qui remontent. Bon. J'ai peut-être exagéré un peu la distance, regardez. Il y a un peu de boule. Il y a une petite question. Il y a conservation de la quantité de mouvement, n'est-ce pas ? On pourrait imaginer qu'on a une première boule qui a une certaine vitesse qui rentre en contact avec les autres, et on a les deux dernières qui partent avec une vitesse qui est la moitié de la vitesse initiale de la première. Il y aurait conservation de la quantité de mouvement. Pourquoi on n'observe pas ça ? Est-ce que quelqu'un a une idée ? Ça serait possible. Il y a conservation de la quantité de mouvement. D'accord

notes

résumé

81m 13s



- **Choc mou** : choc parfaitement inélastique entre deux points matériels qui restent attachés l'un à l'autre après le choc.



- **Bilan de quantité de mouvement :**

(8.42)

- **Bilan de quantité de mouvement :** (8.42) remis en forme

(8.43)

- **Vitesse finale :** (8.43) remis en forme

(8.44)

? Donc, on va faire un petit tour. Il y a conservation de la quantité de mouvement. D'accord ? Donc, ce que j'affirme, c'est que si je prends une boule ici, si je la lâche, le fait que deux boules partent avec une vitesse qui est la moitié de la vitesse initiale de la première ne violent pas la conservation de la quantité de mouvement, et pourtant, on ne l'observe pas. Pourquoi ? Oui ? On a un génie, c'est le moment de avoir conservation. On a une meilleure position. Bravo. C'est la réponse à la question. L'énergie cinétique dépend du carré de la vitesse. Si vous imposez que la quantité de mouvement et l'énergie cinétique doivent être respectées, vous arrivez à la conclusion que le choc est symétrique. Une boule, une boule, deux boules, deux boules, voire même, trois boules, trois boules. D'accord ? Alors, vous pensez que vous avez tout compris ? Vous pensez que la quantité de mouvement est vraiment conservée ? Attendez de voir. C'est sur la caméra 19. On va faire un tout petit peu de magie ensemble. Oui. Je prends la boule qui est ici, la bille, et je la laisse partir. Il doit avoir conservation de la quantité de mouvement. D'accord. Regardez. Je la refais. Il y a quelqu'un qui a compris quelque chose. Voilà. Alors, qu'est-ce que vous venez dire ? Absolument, il y en a des mains. Et non, si vous regardez ça au ralenti, qu'est-ce qui se passe ? Sur la quasi-totalité de la trajectoire de cette bille, sa vitesse est à peu près constante. D'accord ? L'accélère un tout petit peu parce que, évidemment, le profil est courbé. D'accord ? Mais ce qui va se passer, lié à l'aimantation, qui va être resserré, lié au matériau proche des billes, sur les dernières fractions de la trajectoire, cette force d'aimantation va se manifester et accélérer violemment la bille qu'on ne

notes

résumé

- **Choc mou** : choc parfaitement inélastique entre deux points matériels qui restent attachés l'un à l'autre après le choc.



- **Bilan de quantité de mouvement :**

(8.42)

- **Bilan de quantité de mouvement :** (8.42) remis en forme

(8.43)

- **Vitesse finale :** (8.43) remis en forme

(8.44)

voit pas à l'œil nu. C'est de la prestigitation. D'accord ? Et donc, la vitesse finale que vous allez voir ici correspond bien à la vitesse exacte qu'on a au niveau du point de contact, même si les apparences sont, évidemment, contraires. D'accord ? Ceci est un canon magnétique. Donc, on peut, grâce au magnétisme, jongler un petit peu, mais tout est cohérent, même si, si on veut regarder ce qui se passe concrètement en termes de quantité de mouvement, lorsqu'on fait du magnétisme, et vous verrez ceci au semestre suivant, la quantité de mouvement, c'est non seulement le produit de la masse fois la vitesse, mais en plus de la charge multipliée par le potentiel vecteur. Oui ? ... Alors, il faut la placer avec un déséquilibre, un endroit spécifique. Donc, là, en fait, la bille aimantée, regardez, la bille aimantée, elle est là. Quand on revient, l'équilibre se fait dans l'autre sens. Il faut que ce soit très, très bien conçu. Pour que le déséquilibre soit tel que l'effet soit maximal. D'accord ? Donc, c'est clairement asymétrique. D'accord ? Ça va dans ce sens. Ça n'ira pas dans le sens opposé. Ok ?

notes

résumé

EPFL

matériels

→ x

(8.42)

(8.43)

(8.44)

29 / 41

8.2.3 Choc mou

• Vitesse finale :

$$v_f = \frac{m_1}{m_1 + m_2} v_1$$

• Energie cinétique initiale :

• Energie cinétique finale :

• Variation d'énergie cinétique : dissipation (8.47)

L'énergie cinétique dissipée $\Delta T_{i \rightarrow f}$ lors du choc est utilisée essentiellement pour déformer les deux objets.

Dr. Sylvain Bréchet

8 Loi d'action-réaction, collisions

C'est sympa, parce que ça permet de se dire qu'il y a des effets intéressants. D'accord ? Comme toujours, dans la vie, quand il y a quelque chose qui semble fonctionner correctement, il faut aller jusqu'au limite pour voir si le modèle tient le coup. On verra un autre exemple, tout à la fin de ce cours de mécanique. Mais bon, pour l'heure, traitons rapidement du choc mou. Ok ? Un choc mou qui est un choc parfaitement inélastique entre deux points matériels. Il reste accroché après le choc. Vous allez voir, c'est très simple. On prend un premier point matériel qui a une quantité de mouvement P_1 , qui se déplace vers le deuxième point matériel qui est au repos à l'origine. D'accord ? Il rentre en collision, puis évidemment, après la collision, ils vont se déplacer, comme il reste accroché l'un à l'autre, dans le même sens. D'accord ? Avec une quantité de mouvement qui sera égale à la quantité de mouvement initiale du premier point matériel. Pourquoi ? Parce que si on écrit l'équation de la quantité de mouvement, la somme des quantités de mouvement initiale et de point matériel doit être égale à la quantité de mouvement final de l'objet composé du système formé des deux points matériels. Or, la quantité de mouvement initiale du deuxième est nulle, ce qui nous permet donc rapidement d'écrire que la quantité de mouvement initiale du premier point matériel est égale à la quantité de mouvement final de l'ensemble. D'accord ? On peut traduire ceci en termes des masses et des vitesses. La quantité de mouvement du premier point matériel, c'est le produit de sa masse fois sa vitesse. Après la collision, on a un système dont la masse totale est la somme des points matériels. Ils sont accrochés l'un à l'autre, fois la vitesse finale. On peut donc en tirer le vecteur vitesses finale, qui est la masse du premier point matériel

notes

résumé

86m 16s



EPFL

matériels

→ x

(8.42)

(8.43)

(8.44)

29 / 41

8.2.3 Choc mou

- Vitesse finale :

$$v_f = \frac{m_1}{m_1 + m_2} v_1$$
- Energie cinétique initiale :
- Energie cinétique finale :
- Variation d'énergie cinétique : dissipation (8.47)

L'énergie cinétique dissipée $\Delta T_{i \rightarrow f}$ lors du choc est utilisée essentiellement pour déformer les deux objets.

Dr. Sylvain Bréchet

8 Loi d'action-réaction, collisions

divisé par la masse totale des points matériels après la collision, fois la vitesse initiale. D'accord ? Rappelez-vous, dans l'expérience du choc mou qu'on a eu avec de Glissat, au chapitre 2, ce qu'on a vu expérimentalement, c'est que la vitesse finale du système, c'était la moitié d'avitelles initiales du premier glisseur. Pourquoi ? Parce qu'ils ont la même masse. Ils ont la même masse. Pour remplacer M1 et M2 par M, vous avez M divisé par 2M, soit une demi, donc VF est une demi de V1. D'accord ? Ce qui est intéressant avec un choc mou, c'est de regarder la variation d'énergie cinétique durant le choc.

notes

résumé

- Vitesse finale :

$$v_f = \frac{m_1}{m_1 + m_2} v_1 \quad (8.44)$$

- Energie cinétique initiale :

$$T_i = T_1 = \frac{1}{2} m_1 \bar{v}_1^2 \quad (8.45)$$

- Energie cinétique finale :

$$T_f = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) \bar{v}_f^2 = \frac{1}{2} \frac{m_1^2}{m_1 + m_2} \bar{v}_1^2 \quad (8.46)$$

- Variation d'énergie cinétique : dissipation (8.47)

$$\Delta T_{i \rightarrow f} = T_f - T_i = \frac{1}{2} \frac{m_1^2}{m_1 + m_2}$$

L'énergie cinétique dissipée $\Delta T_{i \rightarrow f}$ lors du choc est utilisée essentiellement pour déformer les deux objets.

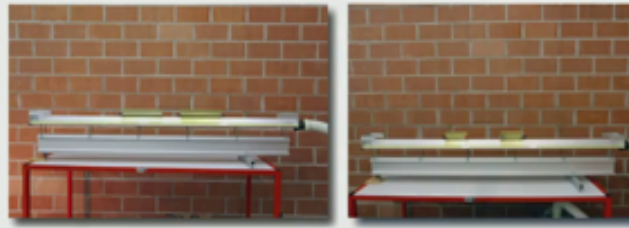
Elle est maximale. Pour le voir, il faut écrire l'énergie cinétique initiale, celle du premier point matériel, qui est une demi de sa masse, fois sa vitesse initiale au carré. Et la comparée à l'énergie cinétique finale, celle du système, qui est une demi de la somme des masses, plus la vitesse finale au carré, qu'on peut récrire en termes de la vitesse initiale, grâce à la force, qui est ici qu'on allait au carré. On se retrouve donc avec une demi de la masse M1 au carré. J'ai oublié en tout cas ici. De la masse M1 au carré divisé par M1 plus M2, fois V1 au carré. Et donc, la variation d'énergie cinétique de l'état initial à l'état final, durant la collision, donc, c'est la différence entre énergie cinétique finale et énergie cinétique initiale. Ce sera une demi de M1 au carré sur M1 plus M2,

notes

résumé

88m 26s





- ❶ **Choc élastique** : les lamelles de deux glisseurs identiques entrent en collision sur un rail à air. Lors du choc, le glisseur initialement en mouvement s'arrête et le glisseur immobile se met en mouvement avec la vitesse initiale de l'autre glisseur.

$$m_1 = m_2 \quad \text{ainsi} \quad v_{1f} = 0 \quad \text{et} \quad v_{2f} = v_{1i}$$

- ❷ **Choc mou** : la pointe d'un glisseur s'encastré dans la pâte à modeler fixée sur un autre glisseur de masse identique. Après le choc, le système formé des deux glisseurs se déplace avec la moitié de la vitesse initiale du glisseur en mouvement.

$$m_1 = m_2 \quad \text{ainsi} \quad v_f = \frac{m_1}{m_1 + m_2} v_1 = \frac{1}{2} v_1$$

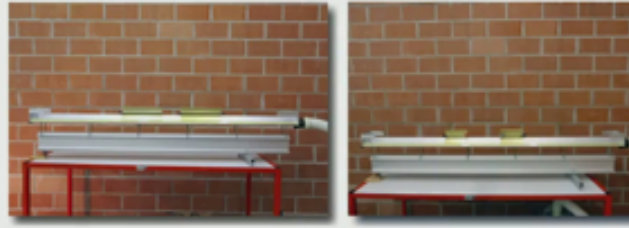
fois V_1 au carré, d'accord ? Moins une demi de $M_1 V_1$ au carré. Bon, si on fait une mise au même dynamiteur, qui est M_1 plus M_2 , les termes en carré se simplifient et se doublent produits. On se retrouvera avec moins une demi de M_1 fois M_2 sur M_1 plus M_2 , fois V_1 au carré. Et on va voir que ceci correspond à ce qu'on appelle la masse réduite du système. Ce qu'on a en réalité, c'est une variation d'énergie cinétique qui correspond à l'énergie cinétique liée aux mouvements relatifs des deux masses, puisque les masses sont accrochées l'une à l'autre, après la collision. Ce terme est positif, celui-ci aussi, celui-ci aussi. On a un signe au moins devant, donc on a bien une diminution de l'énergie cinétique. Elle est même maximale dans cet exemple. Alors, la question qui se pose, c'est, elle va où cette énergie cinétique qui a disparu ? À votre avis, elle se transforme en quoi, l'énergie cinétique ? Oui ? Alors, il y a de l'idée, mais c'est pas là qu'elle va se transformer de manière majoritaire. Oui ? Absolument. L'énergie cinétique va être utilisée pour déformer les objets. Prenez un exemple tragique, mais que tout le monde comprendra. Si vous avez quelqu'un qui fait un excès de vitesse, qui a le colisé au volant, qui roule à 200 kmh et qui se prend un mur, d'accord ? La voiture s'encastré dans le mur, vous avez un choc mou, la voiture reste accrochée au mur après la collision, d'accord ? L'énergie cinétique qu'avait la Ferrari du conducteur à le coliser, d'accord ? C'est transformer en énergie de déformation pour déformer la voiture qui reste accrochée au mur après l'objet, après la collision. Donc, comme on a commencé le cours 2 minutes après l'heure, on va aussi le terminer un tout petit peu plus tard, ce qui me permet de vous montrer encore rapidement

notes

résumé

89m 22s





- ❶ **Choc élastique** : les lamelles de deux glisseurs identiques entrent en collision sur un rail à air. Lors du choc, le glisseur initialement en mouvement s'arrête et le glisseur immobile se met en mouvement avec la vitesse initiale de l'autre glisseur.

$$m_1 = m_2 \quad \text{ainsi} \quad v_{1f} = 0 \quad \text{et} \quad v_{2f} = v_{1i}$$

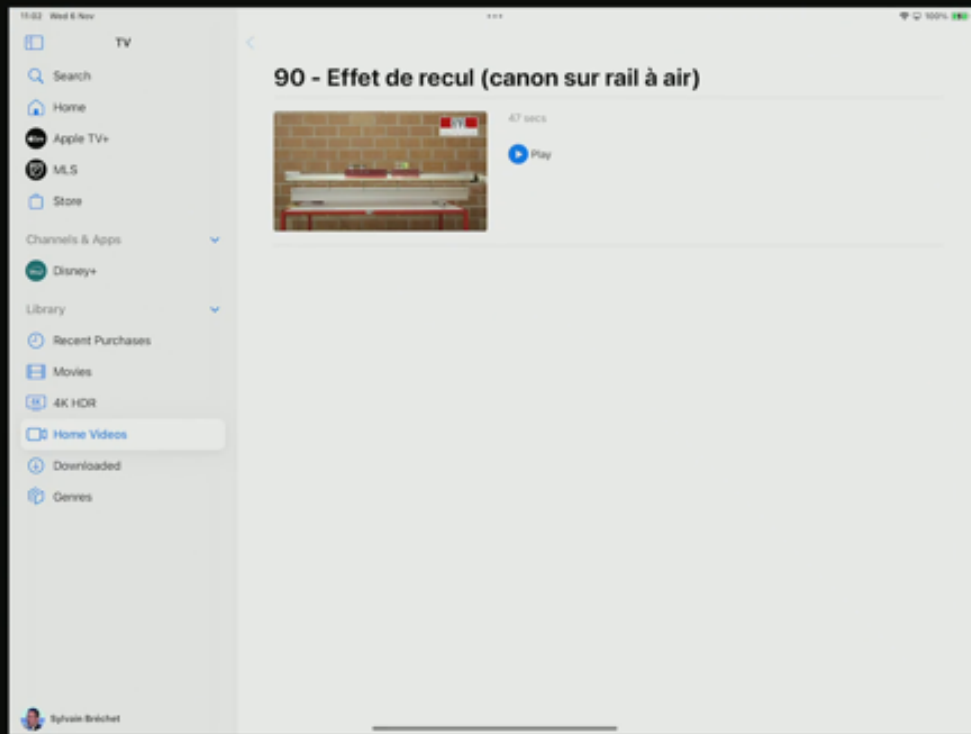
- ❷ **Choc mou** : la pointe d'un glisseur s'encastre dans la pâte à modeler fixée sur un autre glisseur de masse identique. Après le choc, le système formé des deux glisseurs se déplace avec la moitié de la vitesse initiale du glisseur en mouvement.

$$m_1 = m_2 \quad \text{ainsi} \quad v_f = \frac{m_1}{m_1 + m_2} v_1 = \frac{1}{2} v_1$$

nan

notes

résumé



un exemple de choc élastique sur un rail à air. Alors, comme le rail à air n'est pas disponible, on a un système de roulement habillé avec une perte d'énergie qui est minimale, qui permet d'illustrer ce qui se passe, qui se trouve ici sur la caméra 30. Bon, alors qu'est-ce qu'on a vu ? Si on prend un choc élastique entre un glisseur qui a une certaine masse et un autre qui a la même masse, comme dans le cas des boules de bière, après la collision, le premier objet, l'objet incident s'arrête et le deuxième continue la course du premier à la même vitesse. Regardez. Vous voyez ? C'est une collision élastique avec des objets de même masse, je l'ai refait. D'accord ? Hop. La boule blanche s'arrête quasiment. Après, bon, vous voyez, il peut y avoir ce... Peut-être pas tout à fait... Pas tout à fait horizontal, à peu près, vous voyez ? C'est assez bon. Alors, maintenant, si le deuxième objet, en premier objet, disons, est plus lourd que le deuxième, j'ai volontairement rajouté une masse sur le premier, regardez ce qui va se passer. Les deux objets continuent leur course, dans le même sens. D'accord ? Alors que, si cet deuxième objet qui est plus lourd, le premier va rebondir sur le deuxième. Vous voyez ? Viens en arrière, et le deuxième continue sa course. D'accord ? Maintenant, dans le cas du choc... du choc... du choc mou, où les objets restent accrochés l'un à l'autre, je vais vous le montrer avec une vidéo qui a été pré-enregistrée,

notes

résumé

91m 20s





qui est la 766. Le choc mou sur le rai à air, c'est ça.

notes

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

résumé

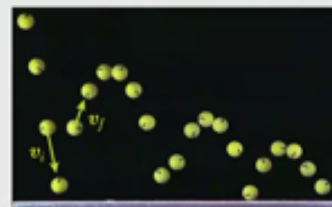
93m 1s



- **Coefficient de restitution** : e qui mesure l'élasticité d'une collision contre un objet de masse infinie.

(8.48)

- **Choc élastique** : $e = 1$
- **Choc inélastique** : $0 < e < 1$
- **Choc mou** : $e = 0$

Basket : $e \approx 0.85$ Tennis : $e \approx 0.8$ 

- Plus le matériau est dur, moins il se déformera durant le choc. Donc, plus le coefficient de restitution sera grand et vice versa.

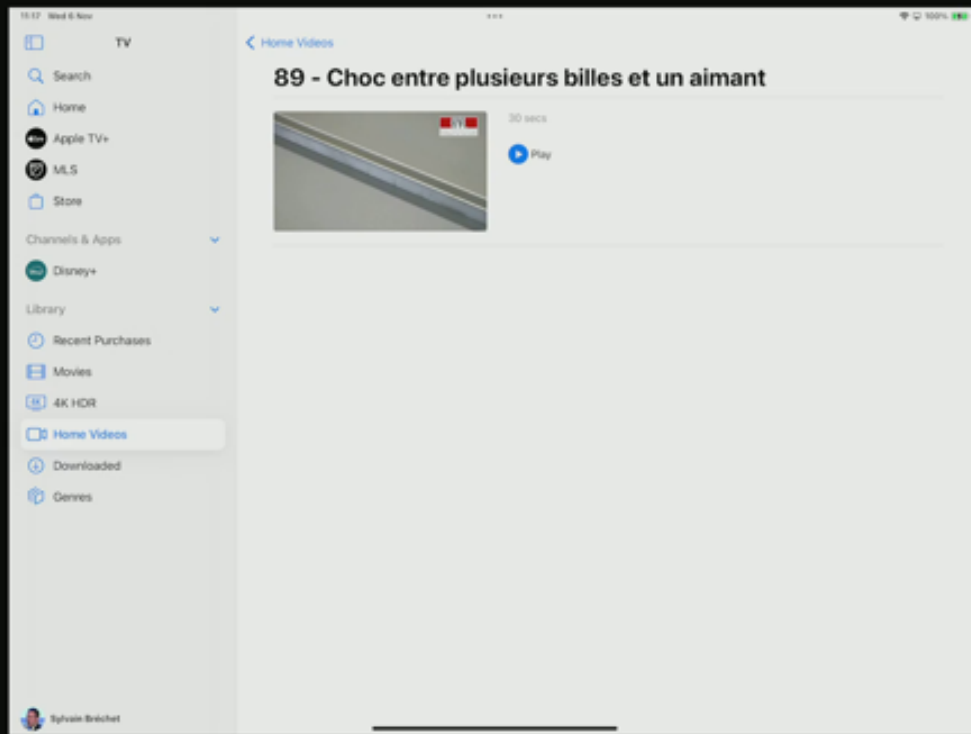
Et donc, dans l'arrière, la vitesse finale de l'ensemble des deux plisseurs va être la moitié de la vitesse initiale du premier. D'accord ? Pourquoi ? Parce que la vitesse finale, c'est M_1 sur M_1 plus M_2 , si M_1 égal M_2 , c'est M sur M plus M , c'est M sur $2M$, c'est une demi de V_1 . D'accord ? Regardez bien. Vous pouvez estimer à l'oeil que la vitesse est à peu près la moitié de la vitesse initiale. Alors, après la pause,

notes

résumé

93m 9s





on analysera ensemble les coefficients de restitution et on s'intéressera au problème.

notes

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

résumé

93m 44s



.....

.....

.....

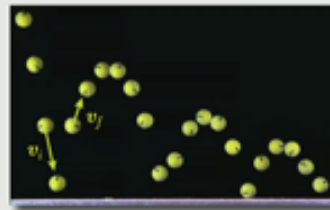
.....

.....

- **Coefficient de restitution** : e qui mesure l'élasticité d'une collision contre un objet de masse infinie.

$$e = \frac{\|\vec{v}_f\|}{\|\vec{v}_i\|} \quad (8.48)$$

- **Choc élastique** : $e = 1$
- **Choc inélastique** : $0 < e < 1$
- **Choc mou** : $e = 0$

Basket : $e \approx 0.85$ Tennis : $e \approx 0.8$ 

- Plus le matériau est dur, moins il se déformera durant le choc. Donc, plus le coefficient de restitution sera grand et vice versa.

Voilà. Il faut qu'on reprenne ce cours et qu'on parle un tout petit peu et qu'on parle un tout petit peu du coefficient de restitution. On a traité durant l'heure passée le cas limite ou l'écalimite d'un choc parfaitement élastique où il y a conservation de l'énergie synthétique et de la quantité de mouvement, et le cas du choc mou, le choc parfaitement inélastique, où il y a conservation de la quantité de mouvement, mais clairement pas de l'énergie synthétique, sa variation est maximale, pourquoi ? Parce qu'il y a des formations, les objets restent accrochés l'un à l'autre après le choc. Alors, lorsqu'on regarde des chocs, des collisions d'un objet sur un autre objet de masse infinie, on peut introduire le coefficient de restitution que vous verrez en exercice, d'ailleurs, et vous serez confronté à un paradoxe philosophique qui va naître d'une description mathématique, d'une situation physique. Je vous laisserai découvrir ceci, avec, en prime, dans la résolution du problème, le critère de convergence d'une série géométrique, basé sur le coefficient de restitution. Voilà, c'est pour vous motiver un petit peu. Donc, ce coefficient de restitution, on définit de la manière suivante. Il mesure l'élasticité, d'où le nom, E . Ce coefficient de restitution, c'est le rapport de la norme finale de l'objet qui rentre en collision avec un objet de masse infinie, divisé par la norme initiale de sa vitesse, très simplement si l'objet de masse infinie, c'est la Terre, vous avez une balle qui rebondit au sol, d'accord ? Et là, une vitesse initiale avec une norme, juste avant la collision qui est veillée, c'est la norme finale C_{bf} , d'accord ? Alors, si vous prenez un ballon de basket, vous lâchez le ballon de basket d'une certaine hauteur, il va remonter au sol, c'est clair, il remonte. Vous savez tout ce qui va parmonter à la même hauteur. Si vous lâchez de vos mains, il ne retourne pas

notes

résumé

93m 52s



- **Coefficient de restitution** : e qui mesure l'élasticité d'une collision contre un objet de masse infinie.

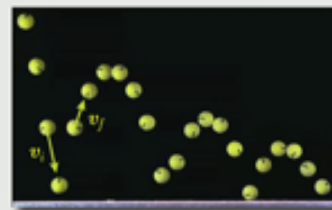
$$e = \frac{\|\vec{v}_f\|}{\|\vec{v}_i\|} \quad (8.48)$$

- **Choc élastique** : $e = 1$
- **Choc inélastique** : $0 < e < 1$
- **Choc mou** : $e = 0$

Basket : $e \approx 0.85$



Tennis : $e \approx 0.8$



- Plus le matériau est dur, moins il se déformera durant le choc. Donc, plus le coefficient de restitution sera grand et vice versa.

dans vos mains. Il atteint une hauteur qui est inférieure. Pourquoi ? Parce que le ballon de basket, quand il arrive au sol, quand il rebondit, il se déforme. Cette déformation va provoquer une variation d'énergie cinétique et donc sa vitesse après la collision, en norme, sera inférieure à sa vitesse avant. Donc, initialement, lorsque vous l'avez dans vos mains, il a une vitesse nulle, il a une énergie potentielle de pesanteur qui est entièrement convertie en énergie cinétique au moment où il touche le sol. Et là, la collision fait diminuer son énergie cinétique et donc quand il remonte, l'énergie cinétique est convertie en énergie potentielle de pesanteur, l'altitude finale sera inférieure à l'altitude initiale. D'accord ? On le voit ici entre du remonte successif. On peut, à l'aide des auteurs, déterminer le coefficient de restitution du ballon de basket. Pour le ballon de basket, c'est 0,85. Pour une balle de tennis, c'est un peu inférieure, c'est 0,80. D'accord ? Donc, comme l'énergie cinétique, c'est une demi-déviante au carré, si la collision est parfaitement élastique, l'énergie cinétique est conservée, la norme de la vitesse aussi, donc le coefficient de restitution vaut 1. Si c'est un choc parfaitement mou, l'objet qui rentre en collision avec le choc reste accroché au sol. D'accord ? En collision avec le sol, pardon. Reste accroché au sol, d'accord ? Ce qui veut dire que sa vitesse finale est nulle, donc son coefficient de restitution est nulle. Évidemment que pour les chocs qui sont inélastiques, mais partiellement inélastiques, pas complètement inélastiques, pas mou, le coefficient E va varier dans le domaine qui va de 0, non compris, à 1, non compris. D'accord ? Et ça, c'est ce que vous retrouvez dans la pratique

notes

résumé



- **Coefficient de restitution** : les balles ou billes faites des matériaux plus durs sont plus difficiles à déformer. Ainsi, leur perte d'énergie cinétique lors de la collision avec le sol sera plus faible. Par conséquent, le choc sera plus élastique et le coefficient de restitution plus grand, et vice-versa...

① **Acier** : $e \approx 0.90$

② **Ivoire** : $e \approx 0.85$

③ **Bois** : $e \approx 0.5$

lorsque vous mesurez des coefficients de restitution. Alors si on prend un objet mou comme cette pâte à modeler, je le lâche, il rentre en contact avec le sol, il ne remonde quasiment pas, pourquoi ? Il s'est déformé, il s'est aplati. D'accord ? Donc l'énergie cinétique a été complètement convertie en énergie qui a permis de déformer l'objet. Il ne va donc pas rebondir du tout. Si je prends les deux boules que vous voyez ici, elles ont l'air identiques, hein ? Regardez les voies, elles ont l'air identiques, hein ? Ok ? Et pourtant, ils n'en ont rien. Je les lâche, regardez bien. Ce n'est pas le même comportement. On a un très petit coefficient de restitution pour cette balle qui s'immobilise quasiment complètement seul, alors que celle-ci a un coefficient beaucoup plus élevé. Ce qu'on a vu aussi, c'est que si on prend, je vous l'ai fait au début, on prend cette bide à acier qui rentre en contact avec la barre en fer qui est ici. Le fer, même s'il est dur, est quand même assez mou par rapport à l'acier. Et donc, comme le choc se fait sur un métal assez mou, il y a une petite déformation qui se fait, et donc il y a un amortissement assez rapide. Si on fait le même exercice sur l'acier trempé qui est beaucoup plus dur, le choc sera beaucoup plus élastique, et donc le coefficient de restitution beaucoup plus grand. Elle finit aussi par s'amortir, mais ça prend plus de temps, d'accord ? E est beaucoup plus proche de 1, alors qu'ici, il est beaucoup plus proche de 0. Alors, on peut même prendre des objets qui semblent être des liquides, cette cili petite, je vais la sortir ici de sa petite boîte, et on en fait une petite boule, d'accord ? Voilà. Vous pouvez regarder ce que ça donne. Ça rebondit bien, hein ? D'accord

notes

résumé

97m 37s





- **Coefficient de restitution** : les balles ou billes faites des matériaux plus durs sont plus difficiles à déformer. Ainsi, leur perte d'énergie cinétique lors de la collision avec le sol sera plus faible. Par conséquent, le choc sera plus élastique et le coefficient de restitution plus grand, et vice-versa...

❶ **Acier** : $e \approx 0.90$

❷ **Ivoire** : $e \approx 0.85$

❸ **Bois** : $e \approx 0.5$

? Comme quoi ? Donc, il faut faire attention. Même si ça l'air mou, ça n'a pas forcément un coefficient de restitution qui est petit, il peut parfois être assez grand.

notes

résumé

8.3 Problème à deux corps**8.3.1 Loi du mouvement****8.3.2 Quantité de mouvement et énergie cinétique****8.3.3 Référentiel du centre de masse**

Alors, pour terminer en beauté avec les chocs, je vous prépose une expérience mémorable qui va faire du bruit. On va faire le vide ici. Alors, pour déjà qu'on se place sur la bonne caméra, la set, on va faire ici le vide dans cette tube de Plessiglas. Vous avez ici à l'entrée du tube, vous ne le voyez pas, mais vous avez une petite balle de ping-pong. Donc, le diamètre correspond quasiment au diamètre intérieur du tube. On fait le vide, donc, la pression atmosphérique élevée est grande. On ne s'en rend pas compte, puisqu'on vit dedans en permanence. Alors, si maintenant je viens perforer ici la membrane qui se trouve sur la droite, l'air va s'engouffrer à l'intérieur de ce tube et le gradient de pression est très grand. Le gradient de pression, c'est la force. La force qui va s'exercer sur la balle de ping-pong est énorme, ça m'a assez faiblir, donc son accélération sera tout simplement gigantesque. La balle de ping-pong que vous voyez ici va atteindre une vitesse incroyable de l'autre côté. Cette vitesse, Spine Blag, c'est la moitié de la vitesse du son dans l'air, qui est de 340 mètres par seconde, soit de 1 240 kmh. Donc, elle atteint 600 kmh lorsqu'elle arrive ici devant la canette de coca. Elle va évidemment déchiqueter la membrane, il se la va de soi, mais elle va en plus déchiqueter la canette de coca qui est vide. Est-ce que vous êtes prêts ? Il n'y a pas une mort. En revanche, il y a des dommages collatéraux. C'est une partie de la balle de ping-pong. Et la canette, elle aussi, a méchamment souffert. Vous pouvez, en recouvrant les parties de cette canette, en faire un cendrier. D'accord ? Il vous restera, comme souvenir, d'Arbrutz made in EPFL. Je les pose ici aux amateurs. Venez vous en servir, si vous vous en ressentez le besoin ou non.

notes

résumé

99m 44s



8.3 Problème à deux corps

8.3.1 Loi du mouvement

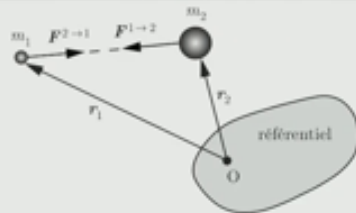
8.3.2 Quantité de mouvement et énergie cinétique

8.3.3 Référentiel du centre de masse

nan

notes

résumé



- **Loi du mouvement** : système isolé de 2 points matériels

(8.49)

- **Démarche** : les vecteurs positions r_1 et r_2 des deux points matériels définis par rapport à une origine arbitraire O sont remplacés le vecteur position du centre de masse R_G et le vecteur position relative r .

- **Vecteur position du centre de masse** : système

(8.50)

- **Vecteur position relative** : système

(8.51)

Bien, maintenant, terminons avec le problème à deux corps. Le problème à deux corps qu'on retrouve partout en physique, ce qu'on décrit, l'interaction gravitationnelle, par exemple, entre la Terre et le Soleil, la Terre et la Lune, ou encore, lorsqu'on décrit le mouvement d'un électron au tour d'un proton. D'accord ? On reverra, d'ailleurs, ce problème au chapitre 14 de ce cours.

notes

résumé

102m 24s





vecteur position. Alors, pour comprendre ceci, on va prendre ici une application qui a été développée par un postdoc et ami qui est Austin Peel, qui a quitté maintenant les PFL.

notes

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

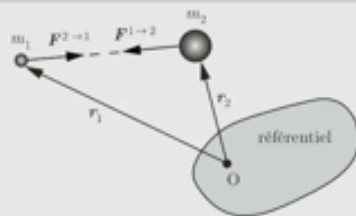
résumé

.....

.....

.....

.....



- **Loi du mouvement** : système isolé de 2 points matériels

$$\vec{F}^{2 \rightarrow 1} = m_1 \ddot{\vec{r}}_1 \quad \text{et} \quad \vec{F}^{1 \rightarrow 2} = m_2 \ddot{\vec{r}}_2 \quad (8.49)$$

- **Démarche** : les vecteurs positions $\vec{r}_1$ et $\vec{r}_2$ des deux points matériels définis par rapport à une origine arbitraire O sont remplacés le vecteur position du centre de masse $\vec{R}_G$ et le vecteur position relative $\vec{r}$.

- **Vecteur position du centre de masse** : système

(8.50)

- **Vecteur position relative** : système

(8.51)

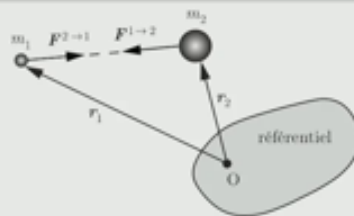
Malheureusement, il fait un travail remarquable. Alors, j'aimerais vous la montrer. Voilà le problème à décor. Donc, Austin était à la fois un très bon... enfin, est un très bon physicien et il a également des talents informatiques assez conséquents. Il a utilisé des logiciels d'animations virtuelles pour des jeux vidéo et des films d'animation, Unity, en l'occurrence, pour concevoir cette application. Donc, voilà, notre problème à décor. Vous avez décor, vous avez un corps plus lourd, par exemple, le Soleil, il y a un corps plus léger, vous avez la Terre, d'accord ? Et puis, vous avez vos équations du mouvement. Alors là, le rôle a été inversé par rapport au rôle qu'on a choisi. Donc, M1 est ici l'objet le plus lourd, et puis, M2 est ici l'objet. Nous, on a fait le contraire. Donc, on a dans deux équations du mouvement que vous voyez ici, la force d'interaction entre les deux corps, c'est la force de gravitation universelle, dont on parlera la semaine prochaine. Donc, on a pris une origine quelque part, la voici. Alors, ce qui est intéressant maintenant, c'est qu'on va pouvoir faire une reparameterisation de ce problème, puisque l'origine est choisie de manière assez arbitraire. Nous, ce qu'on aimerait, c'est des vecteurs positions, qui ne sont pas $\vec{r}_1$ et $\vec{r}_2$, aux propriétés internes de notre système. Donc, on va introduire une grandeur, qui va être ce qu'on appelle le centre de masse, d'accord ? Qui sera en fait là, si vous voulez, la moyenne pondérée des positions au fonction des masses des objets. Donc, c'est le produit des masses des objets, falloir vecteur position sur la masse totale. Ce qui est intéressant, c'est que si je prends ici mon système de coordonnées, regardez, je le déplace, le centre de masse reste telle qu'elle. Il ne dépend pas de la paramétrisation mathématique que j'ai faite, donc il est lié intrinsèquement à la physique du problème,

notes

résumé

104m 49s





- **Loi du mouvement** : système isolé de 2 points matériels

$$\vec{F}^{2 \rightarrow 1} = m_1 \ddot{\vec{r}}_1 \quad \text{et} \quad \vec{F}^{1 \rightarrow 2} = m_2 \ddot{\vec{r}}_2 \quad (8.49)$$

- **Démarche** : les vecteurs positions $\vec{r}_1$ et $\vec{r}_2$ des deux points matériels définis par rapport à une origine arbitraire O sont remplacés le vecteur position du centre de masse $\vec{R}_G$ et le vecteur position relative $\vec{r}$.

- **Vecteur position du centre de masse** : système

(8.50)

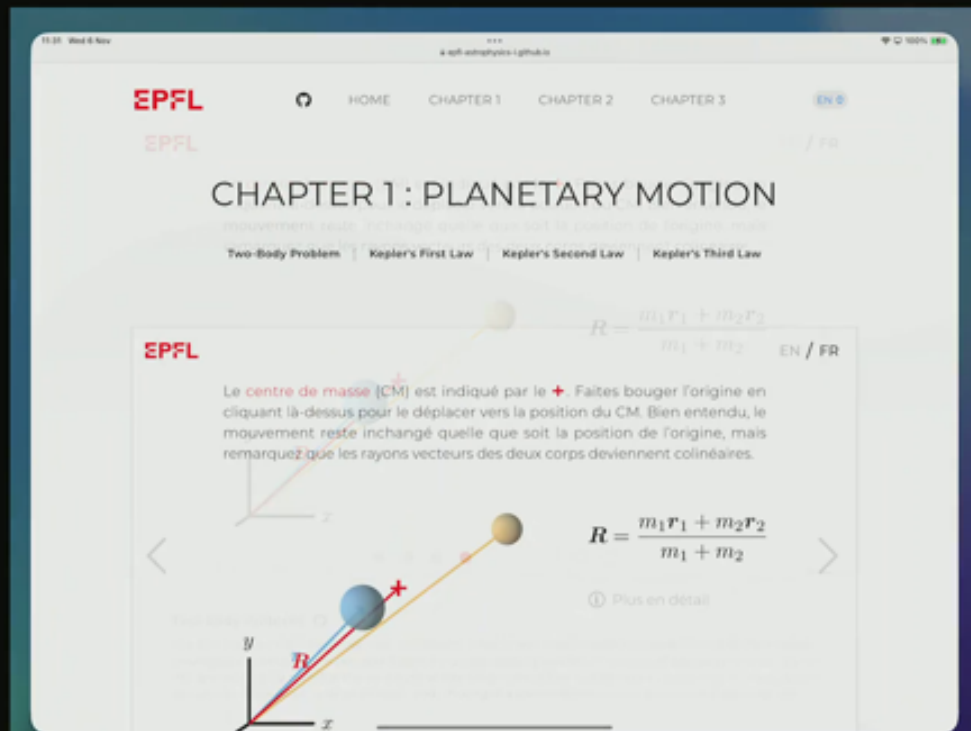
- **Vecteur position relative** : système

(8.51)

d'accord ? Alors justement, ce centre de masse, on va maintenant le définir ensemble. D'accord ?

notes

résumé



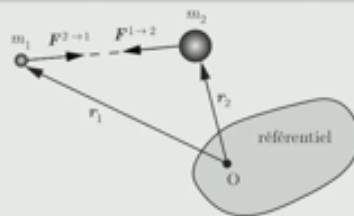
Ce centre de masse, qu'on va appeler granderger, eh bien, séparé définition, pendant le système, le produit des masses des objets, des points matériels, multiplié par leurs vecteurs positions, divisé par la masse totale. La masse totale, c'est grand thème. C'est M_1 sur grand thème, x_{r1} , plus M_2 sur grand thème, x_{r2} , ou ici grand thème, c'est la masse totale, qui est la somme des masses des points matériels. D'accord ? Si les points matériels ont la même masse, eh bien, vous trouvez que ces facteurs M_1 sur M , M_2 sur M , seront des facteurs une demi. On retrouve donc le centre géométrique entre les deux points matériels. Si ils ont la même masse. Si on a une qui est plus grande, eh bien, le centre de masse va être plus proche de l'objet, dont la masse est plus grande, au prorata des masses. Dans le système Terre-Solaire, le soleil est nettement plus lourd que la Terre, ce qui fait que le centre de masse du système Terre-Solaire se trouve à l'intérieur même du Soleil. D'accord ? Eh oui. Donc le Soleil va peu bouger par rapport à la Terre. Si on revient ici, dans l'exemple pris parostine,

notes

résumé

106m 37s





- **Loi du mouvement** : système isolé de 2 points matériels

$$\vec{F}^{2 \rightarrow 1} = m_1 \ddot{\vec{r}}_1 \quad \text{et} \quad \vec{F}^{1 \rightarrow 2} = m_2 \ddot{\vec{r}}_2 \quad (8.49)$$

- **Démarche** : les vecteurs positions $\vec{r}_1$ et $\vec{r}_2$ des deux points matériels définis par rapport à une origine arbitraire O sont remplacés le vecteur position du centre de masse $\vec{R}_G$ et le vecteur position relative $\vec{r}$.

- **Vecteur position du centre de masse** : système

$$\vec{R}_G = \frac{m_1}{M} \vec{r}_1 + \frac{m_2}{M} \vec{r}_2 \quad \text{où} \quad M = m_1 + m_2 \quad (8.50)$$

- **Vecteur position relative** : système

(8.51)

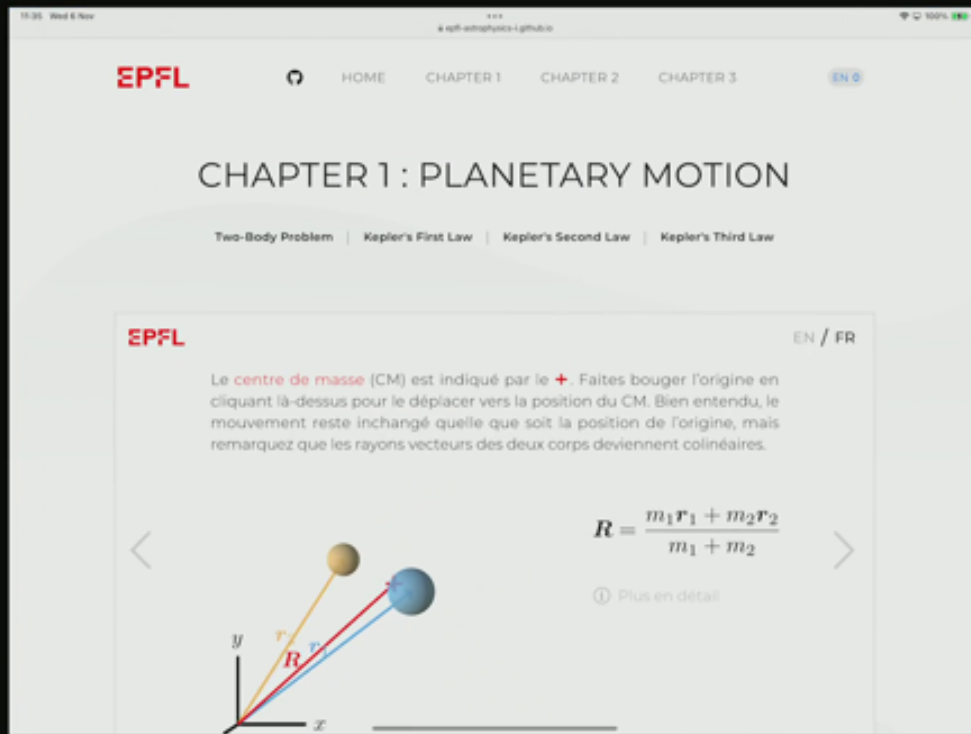
les masses des objets sont assez comparables. Si vous prenez un objet beaucoup plus lourd, il ne va quasiment pas bouger, il aura une toute petite orbite circulaire, c'est le cas du Soleil, alors que l'objet qui va bouger, c'est l'objet le plus léger, c'est la Terre par exemple. D'accord ? Ça sera son importance dans quelques instants.

notes

résumé

107m 44s





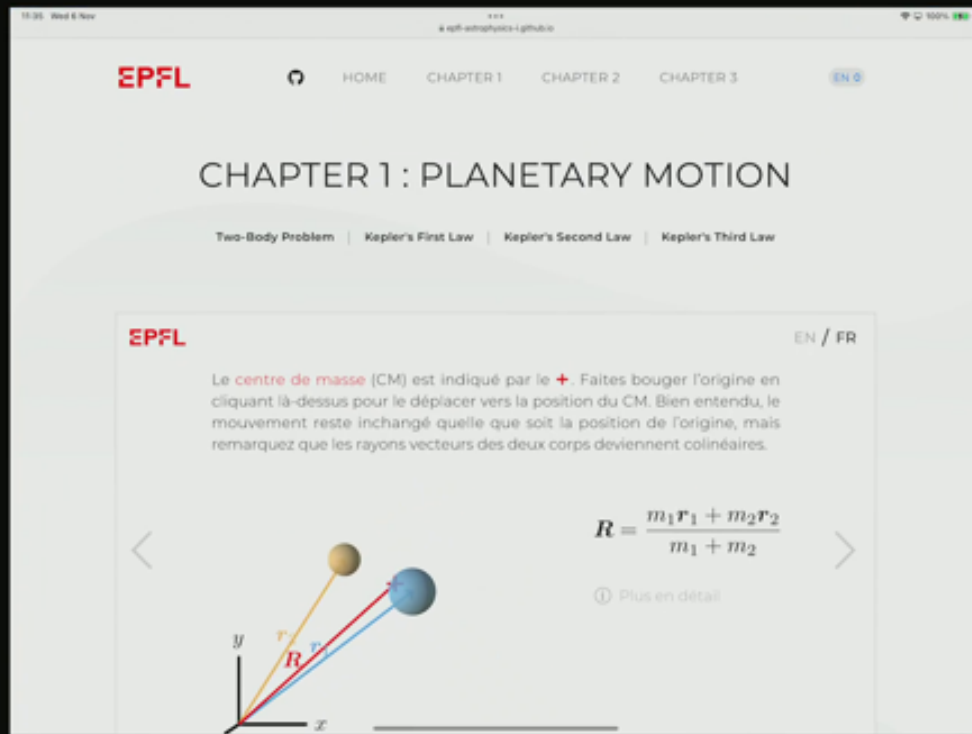
On a besoin d'un deuxième vecteur position. On avait deux vecteurs initiaux, R_1 , R_2 . On a maintenant le centre de masse et on va introduire le vecteur position relative. Qu'est-ce qu'on veut décrire ? Le mouvement du petit objet autour du grand. Donc on va se placer sur le grand, qui est en R_2 . Et le vecteur position relative sera R_1 moins R_2 . D'accord ? C'est ce vecteur-là, ça sert. Alors que le centre de masse, il est quelque part par là. Ça sert, OK ? Donc voilà les deux vecteurs qui vont intervenir dans notre paramétrisation du problème à deux corps. Pour qu'on s'en sorte, ce qu'on va devoir faire, c'est prendre les dérivées secondes des vecteurs qu'on a introduits, puisque c'est les accélérations qui apparaissent dans la loi du mouvement. D'accord ? On va simplement dériver par rapport au temps, on va mettre des points ici, partout. OK ? C'est ça qu'on va faire. Bon, sur les vecteurs positions. Et on va multiplier le vecteur position du centre de masse. Par la masse totale du système, on aura $M R_G$, qui est le produit de la masse totale fois l'accélération du centre de masse. Il sera $M_1 \times R_1$ plus $M_2 \times R_2$. D'autre part, l'accélération relative, c'est la différence des accélérations de nos deux points matériels. D'accord ? Alors maintenant, on a des lois du mouvement pour chaque point matériel, pour chaque système qu'on vient de définir. OK ? Bon. Pour étudier le mouvement du centre de masse, on va se servir de la troisième loi de Newton et on va se servir du cas symétrique. Donc, si on prend nos deux lois du mouvement et qu'on les somme, on va se retrouver avec la force exercée par le soleil sur la Terre plus la force exercée par la Terre sur le Soleil, qui va donc être égale à $M_1 R_1$ plus $M_2 R_2$. D'accord ? Par définition,

notes

résumé

108m 3s

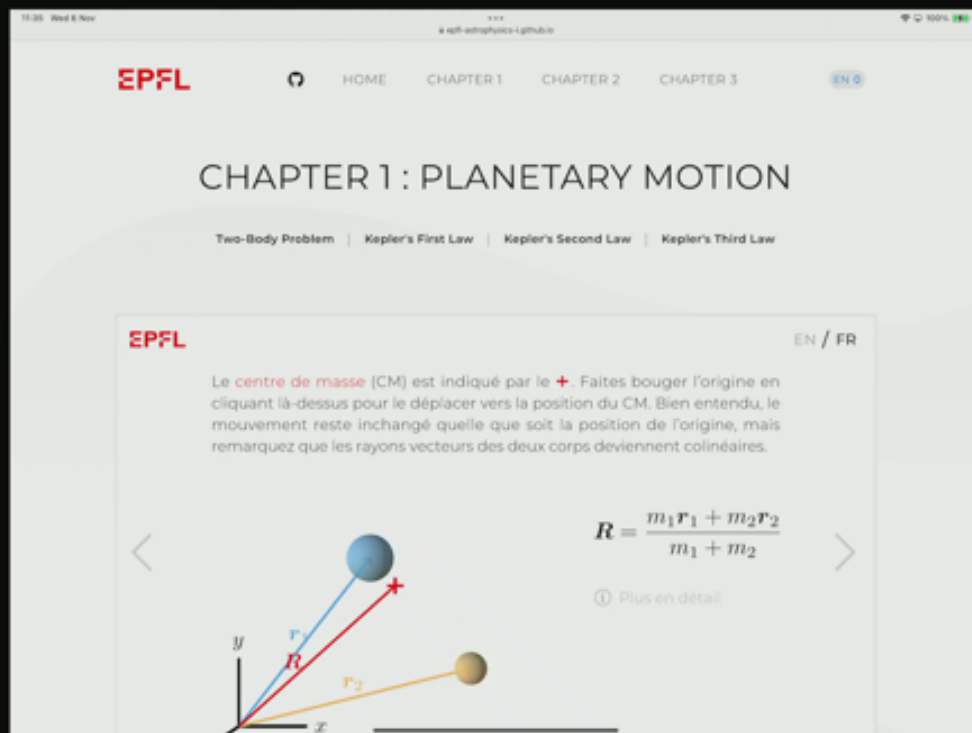




ceci, c'est la masse totale M fois la dérivée temporelle seconde du centre de masse. C'est le produit de la masse totale fois l'accélération du centre de masse. D'accord ? Oui, mais la troisième loi de Newton nous dit quoi ? Nous dit que les forces d'interaction entre la Terre et le Soleil, dans le système Terre-Soleil, c'est les forces intérieures, les forces d'action et de réaction qui se compensent. Donc, le membre de gauche, il est nul. Évidemment que le membre de droite, il est nul aussi. La masse, elle n'est pas nul. Donc, l'accélération du centre de masse de notre système est nul. Ce qui veut dire que la vitesse du centre de masse, grand V_G , qui est la dérivée temporelle première de la position du centre de masse, c'est une constante en norme et en orientation. Ça, c'est génial. Dans notre problème compliqué, complètement général, avec des forces d'interaction absolument quelconque, le vecteur position du centre de masse aura un mouvement rectiligne uniforme, un mouvement naturel. D'accord ? Alors, ceci vous est rappelé sur l'AP. Si on prend le cas qui est dessiné ici,

notes

résumé



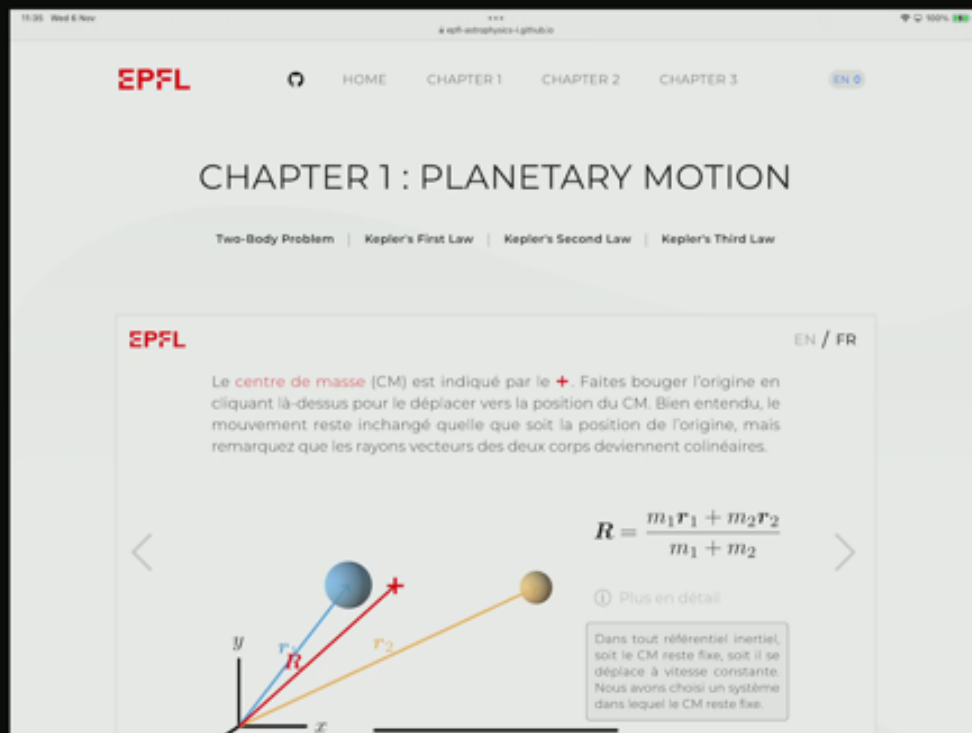
là, le centre de masse, il est à l'équilibre.

notes

résumé

111m 13s





C'est un mouvement rectiligne uniforme de vitesse nul. Mais le cas général, comme c'est marqué dans petit-dancard, si vous cliquez sur l'information, le cas général, c'est le cas où le mouvement est un mouvement rectiligne uniforme pour le centre de masse. Donc, il faut imaginer que le centre de masse bouge à vitesse constante et que vous avez un mouvement

notes

résumé

111m 14s



- Vecteurs position : (8.50) et (8.51)

$$\vec{R}_G = \frac{m_1}{M} \vec{r}_1 + \frac{m_2}{M} \vec{r}_2 \quad \text{et} \quad \vec{r} = \vec{r}_1 - \vec{r}_2$$

- Dérivées temporelles secondes : vecteurs positions

$$M \ddot{\vec{R}}_G = m_1 \ddot{\vec{r}}_1 + m_2 \ddot{\vec{r}}_2 \quad \text{et} \quad \ddot{\vec{r}} = \ddot{\vec{r}}_1 - \ddot{\vec{r}}_2 \quad (8.52)$$

- Lois du mouvement : 2 points matériels

$$\vec{F}^{2 \rightarrow 1} = m_1 \ddot{\vec{r}}_1 \quad \text{et} \quad \vec{F}^{1 \rightarrow 2} = m_2 \ddot{\vec{r}}_2 \quad (8.49)$$

- Loi du mouvement : somme (8.49) et (8.52)

$$\vec{F}^{2 \rightarrow 1} + \vec{F}^{1 \rightarrow 2} = m_1 \ddot{\vec{r}}_1 + m_2 \ddot{\vec{r}}_2 = M \ddot{\vec{R}}_G \quad (8.53)$$

- 3^e loi de Newton : système des deux points matériels

$$\vec{F}^{2 \rightarrow 1} + \vec{F}^{1 \rightarrow 2} = 0 \quad (8.1)$$

- Loi du mouvement du centre de masse : MRU (8.53) et (8.1)

$$\ddot{\vec{R}}_G = \vec{0} \quad \text{ainsi} \quad \vec{V}_G = \dot{\vec{R}}_G = \vec{c} \vec{V}_c \quad (8.54)$$

Dr. Sylvain Bréchet

8 Loi d'action-réaction, collisions

36 / 41

relatif des deux objets autour du centre de masse qui se déplace à vitesse constante. Ça, c'est le système d'isolation. Si vous prenez une altère avec deux masses, que vous la lancez en l'air, comme ça, avec les tours, on pensait à une majorité qui lance une altère. D'accord ? À ce moment-là, ce n'est pas un système isolé. Il est soumis à l'action de la gravité. Le centre de masse n'aura pas un mouvement rectiligne uniforme. Il aura un mouvement rectiligne uniformément accéléré qui est une parabole. D'accord ? Bon. Continuons avec le problème à deux corps.

notes

résumé

111m 34s



- Lois du mouvement : 2 points matériels

$$F^{2 \rightarrow 1} = m_1 \ddot{\mathbf{r}}_1 \quad \text{et} \quad F^{1 \rightarrow 2} = m_2 \ddot{\mathbf{r}}_2 \quad (8.49)$$

- Masse réduite : μ du système

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \quad \text{ainsi} \quad \mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} = \frac{m_1 m_2}{M} \quad (8.55)$$

- Loi du mouvement : (8.55) et différence (8.49)

$$(8.56)$$

- 3^e loi de Newton : système des deux points matériels

$$(8.57)$$

- Loi du mouvement réduit : (8.56) = (8.57) divisé par M

$$(8.58)$$

- Le mouvement du problème à deux corps isolés se réduit au mouvement rectiligne uniforme du centre de masse et au mouvement réduit d'un objet de masse réduite μ .

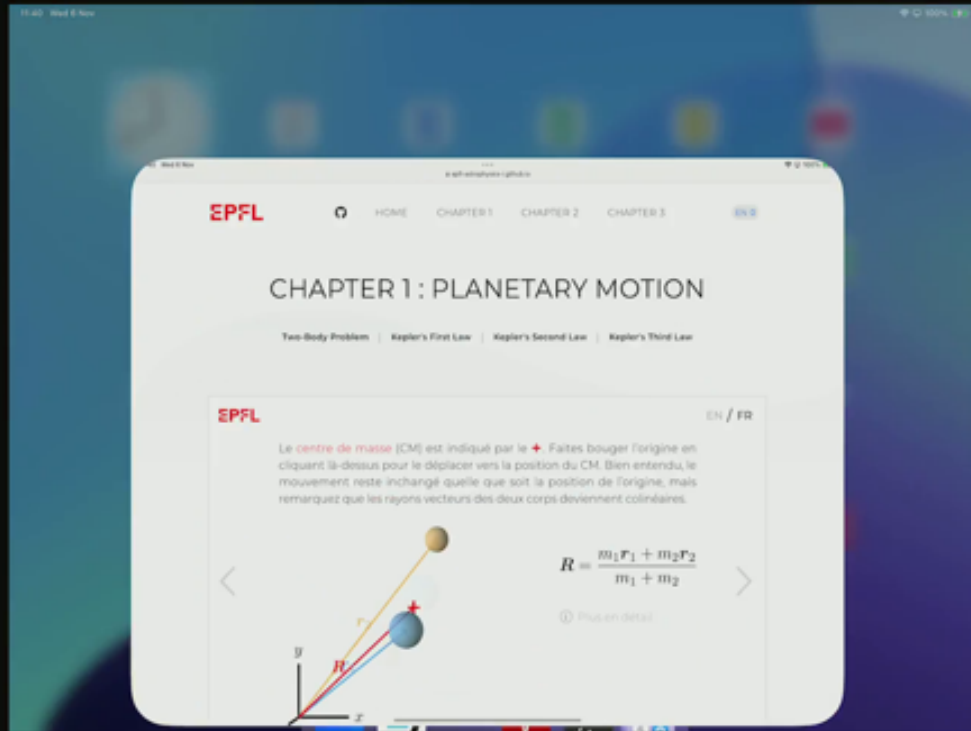
Donc, on a montré que le mouvement du centre de masse est un mouvement rectiligne uniforme. Qu'en est-il maintenant du mouvement relatif du deuxième point matériel ? Non. Du premier par rapport au deuxième. Donc de la Terre par rapport au Soleil. Alors là, pour s'en sortir, il faudra qu'on se base de nouveau sur les lois du mouvement. Et il faut qu'on introduise une grandeur qui, pour l'instant, va sembler un peu mystérieuse, mais on va voir à quoi elle correspond, qui est la masse réduite du système. Qui se comporte un petit peu comme les résistances dans un circuit avec des résistances électriques branchées en parallèle. L'inverse de la masse réduite, c'est les inverses des masses. Donc $1/\mu$, c'est $1/m_1$, plus $1/m_2$. Et donc, on peut écrire, en inversant ceci, que μ , c'est $m_1 m_2 / (m_1 + m_2)$. C'est aussi $m_1 m_2$ sur la masse totale grande M . D'accord ? C'est quoi cette masse réduite ? Si les objets ont la même masse m_1 égale m_2 , eh bien, c'est la moitié de M . Ok ? Si vous avez un objet qui est beaucoup, beaucoup plus lourd que l'autre, par exemple, le système terresolaire, le système terrelune, le système atome d'hydrogène avec l'électron et le proton, la masse réduite va correspondre à un petit yacht après, à la masse, on a une première approximation, disons, à la masse de l'objet le plus léger. Ok ? Bon. Et c'est évidemment ce qui va se manifester, qui va être intéressant pour nous, pour la discussion d'une force de gravitation universelle et pour le prochain. Tout à l'heure, pour trouver le mouvement du centre de masse, on a regardé le cas symétrique, on a sommé les forces exercées entre les deux objets. Ici, on va regarder le cas antisymétrique

notes

résumé

112m 3s





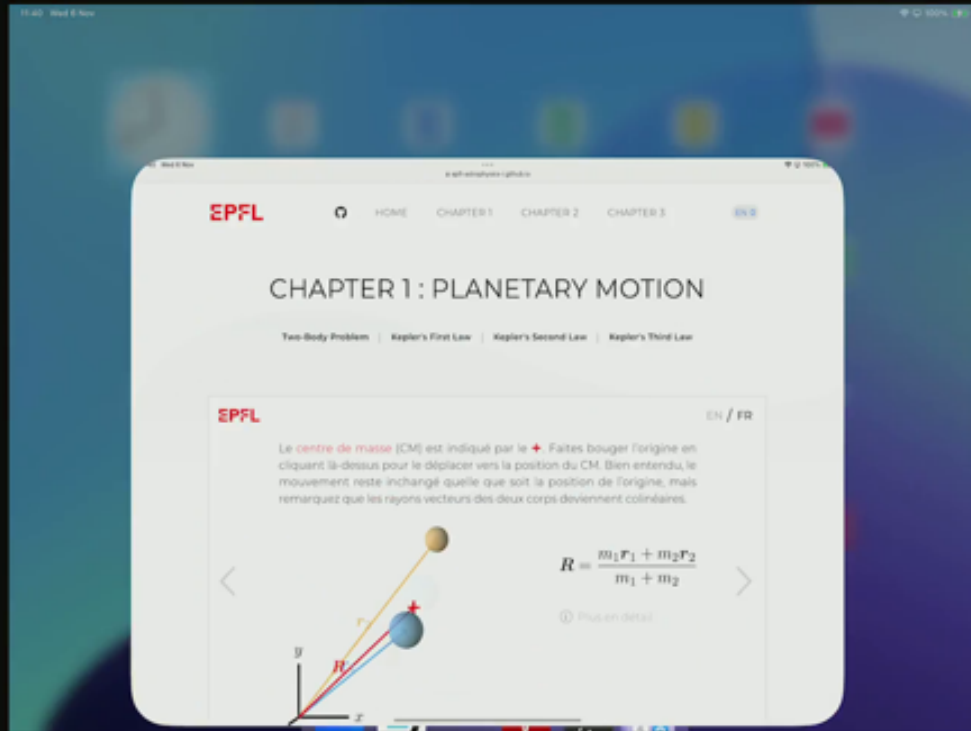
et pour avoir un point de comparaison, on va multiplier par la masse de l'autre objet. On aura donc M_2 fois la force exercée par 2 sur 1, nous produisons de la masse du soleil fois la force exercée par le soleil et même la masse d'atère fois la force exercée par la terre sur le soleil, qui va alors, compte tenu les équations du mouvement qui sont ici, être égale. Non, il y a encore une petite étape supplémentaire, excusez-moi. D'après la troisième loi Newton, on sait que la force d'action est l'opposé de la force de réaction. Donc la force exercée par la terre sur le soleil, c'est l'opposé de la force exercée par le soleil sur la terre. Donc on peut remplacer ceci par l'opposé de F_2 sur 1 par la force exercée par le soleil sur la terre. Comme on a un signe moins et qu'on avait un signe moins devant, les signe moins se simplifient, on se retrouve donc avec M_1 plus M_2 , qui multiplie la force exercée par le soleil sur la terre. Maintenant, M_1 plus M_2 , c'est grand thème. Donc on a grand thème pour la force exercée par le soleil sur la terre. Je vois juste que je l'ai fait dans l'autre sens que ce que j'avais noté. Il ne lui importe. On peut le faire autrement, on peut repartir du membre de gauche, on aura donc M_2 fois la force exercée par le deuxième pour le matériel sur le premier, moins M_1 fois la force exercée par le premier sur le deuxième. Et alors ici, on va tenir compte des lois du mouvement. Donc on va remplacer les forces par le produit des masses pour les accélérations. Si on fait ceci, on se retrouve alors avec M_1 fois M_2 qui multiplie R_1 point point moins R_2 point point c'est-à-dire que c'est le produit de la masse totale pour la masse réduite

notes

résumé

113m 49s

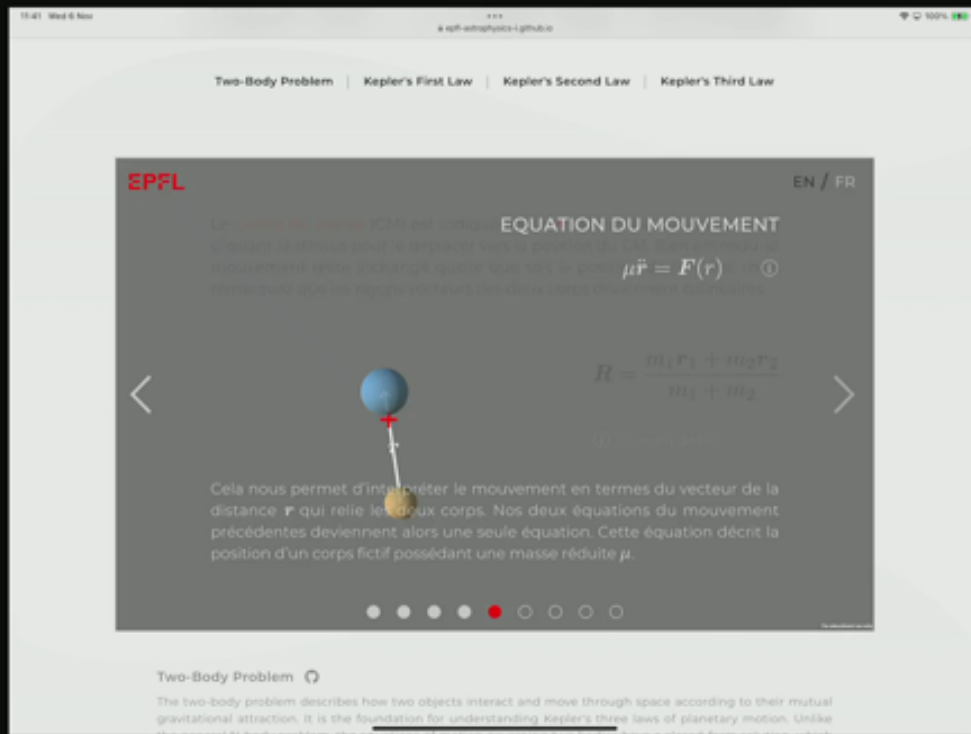




fois R_1 point point moins R_2 point point qui est l'accélération relative du deuxième point matériel sur la Terre par rapport au Soleil. Bon. Les membres de gauche sont identiques. Les membres de droite aussi. Il y a comme facteur dans les deux la masse totale. On peut diviser par la masse totale et on tombe sur cette superbe équation qui nous dit alors que la force exercée par le deuxième objet sur le premier, par le Soleil sur la Terre c'est la masse réduite du système multiplié par l'accélération relative du deuxième objet par rapport au premier de la Terre par rapport au Soleil. Alors maintenant, pour un système aussi asymétrique que la Terre et le Soleil, la masse réduite si M_2 est beaucoup plus grand qu' M_1 la masse réduite on peut le montrer en première approximation c'est M_1 . C'est la masse de la Terre. D'accord ? Donc ce qu'on est en train d'écrire ici c'est que la force exercée par le Soleil sur la Terre ça va être le produit de la masse de la Terre fois l'accélération de la Terre par rapport à une origine prise sur le Soleil. Voilà ce qu'on a réussi à faire. D'accord ? Alors si vous regardez l'application

notes

résumé



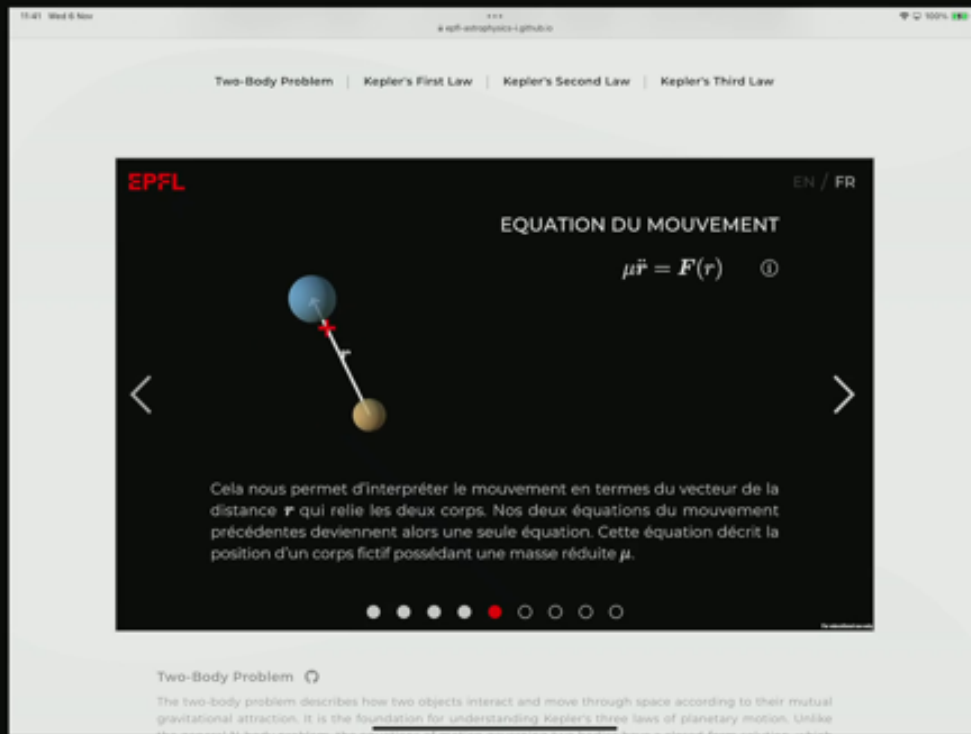
dans le cas général, ce qu'on vous dit hop

notes

résumé

117m 1s





c'est que vous avez pu décrire grâce à cet effort théorique, enfin on a pu décrire disons, le mouvement d'un objet de masse μ par rapport à un centre de masse de masse M considéré comme fixe ou qui se déplace à vitesse constante. D'accord ? Ici on la préfixe OK ? Grâce à cette équation qui vient d'être introduite

notes

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

résumé

117m 5s



.....

.....

.....

.....

.....



qui est que la force exercée par l'objet le plus lourd sur l'objet le plus léger sera alors la masse réduite multipliée par l'accélération relative de l'objet le plus léger par rapport à l'objet le plus lourd. D'accord ? Donc on a écrit notre problème à deux corps comme le mouvement d'un corps unique autour d'un centre de masse. Le centre de masse dans le cas du système Terre-Soleil va quasiment coïncider avec le Soleil donc on peut imaginer que le Soleil est un peu préfixe et on regardera également le mouvement relatif de la Terre autour du Soleil c'est à ça que sert ce formalisme. Alors

notes

résumé

117m 32s



- **Quantité de mouvement totale** : système de 2 points matériels

$$\mathbf{p} = m_1 \mathbf{v}_1 + m_2 \mathbf{v}_2 \quad (8.59)$$

- **Vecteurs vitesse** :

$$\mathbf{v}_1 = \mathbf{V}_G + \frac{\mu}{m_1} \mathbf{v} \quad \text{et} \quad \mathbf{v}_2 = \mathbf{V}_G - \frac{\mu}{m_2} \mathbf{v} \quad (8.62)$$

- **Quantité de mouvement totale** : (8.62) dans (8.59)

(8.63)

La quantité de mouvement totale $\mathbf{p}$ est celle du centre de masse. La quantité de mouvement associée au mouvement relatif est nulle. C'est ce résultat essentiel qui justifie l'usage du modèle du point matériel.

on peut maintenant aller regarder comment peut s'exprimer la quantité de mouvement total du système formé de ces deux corps en termes des propriétés du centre de masse et du mouvement relatif. Donc pour ça il faut partir dans la quantité de mouvement totale qui est la somme des quantités de mouvement des deux points matériels qui chaque fois le produit de leur masse, fois leur vitesse. D'accord ? Et puis l'énergie cinétique totale c'est la somme des énergies cinétiques des deux points matériels. D'accord ? Et puis maintenant on dispose de plusieurs informations on a une expression du centre de masse et de la position relative en termes de R_1 et de R_2 . Nous ce qu'on aimerait faire c'est inverser ce système d'équation. Lir exprimer R_1 et R_2 en termes de R_G et de R compte tenu de la masse réduite du système qui est $M_1 \times M_2$ divisé par M . Et donc si on fait ça ci, on peut le faire rapidement algébriquement, on voit que R_1 c'est la position du centre de masse plus μ sur $M_1 \times R$ et puis et puis R_2 c'est R_G moins μ sur $M_2 \times R$. Ok ? Alors ça c'est une relation entre les positions. Clairement, ce qui apparaît dans la quantité de mouvement, ce qui apparaît dans l'énergie cinétique, c'est le carré des vitesses. D'accord ? Donc il faut simplement dériver par rapport à la relation sépulément formelle, on remplace les positions par des vitesses, comme si on mettait des points sur nos vecteurs. D'accord ? Et donc la vitesse du premier pormateriel, c'est la vitesse du centre de masse plus μ sur M_1 le tout de foivé et la vitesse du deuxième pormateriel c'est la vitesse du centre de masse moins μ sur M_2 foivé et c'est là qu'on va voir une jolie surprise.

notes

résumé

118m 5s



- **Energie cinétique totale** : système de 2 points matériels

$$T = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \quad (8.60)$$

- **Vecteurs vitesse** :

$$v_1 = V_G + \frac{\mu}{m_1} v \quad \text{et} \quad v_2 = V_G - \frac{\mu}{m_2} v \quad (8.62)$$

- **Energie cinétique totale** : (8.62) dans (8.60)

(8.64)

- **Energie cinétique totale** : (8.55) dans (8.64)

(8.65)

L'énergie cinétique totale T est égale à la somme de l'énergie cinétique du centre de masse et de l'énergie cinétique réduite.

Puisque maintenant on va nouer la gerbe en prenant nos vitesses, on les substitue dans l'expression de la quantité de mouvement. Alors avant de même faire le calcul, regardez si vous prenez V_1 que vous le substituez là-dedans le deuxième terme ici il dépend de V_1 au dénominateur, il y a un M_1 comme facteur, donc les M_1 vont se simplifier il va nous rester un μV . Si on fait le même exercice avec V_2 , on place ce terme là, dans V_2 on a un M_2 en facteur, le $M_1 M_2$ au dénominateur il se simplifie, on aura un moins μV . Donc les termes en plus μV , en moins μV , se simplifie et reste que les premières contributions avec V_G . Et donc la quantité de mouvement totale P c'est M_1 plus M_2 fois V_G c'est donc le produit de la masse totale fois la vitesse du centre de masse et ce résultat là, il est absolument essentiel il est plus que ça, il est capital On vient donc de démontrer, pour un problème à deux corps, que toute la quantité de mouvement de notre système est portée par un point bien précis qui est le centre de masse qui porte la lettre G . D'accord ? Alors maintenant ça veut dire que on peut, quand on a un système de points matériels généraliser cette approche si on a un point matériel, on aura la même propriété on a un point particulier qui est le centre de masse qui va porter toute la quantité de mouvement et c'est pour ça qu'on peut, dans la pratique utiliser le modèle du point matériel jusqu'à présent, on a toujours considéré qu'un objet s'assimine à un point et qu'on peut étudier le mouvement de l'objet en étudiant le mouvement du point ce point, c'est le centre de masse on l'a jamais justifié on vient de le faire maintenant, d'accord ? Et donc

notes

résumé

120m 16s



- **Energie cinétique totale** : système de 2 points matériels

$$T = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \quad (8.60)$$

- **Vecteurs vitesse** :

$$v_1 = V_G + \frac{\mu}{m_1} v \quad \text{et} \quad v_2 = V_G - \frac{\mu}{m_2} v \quad (8.62)$$

- **Energie cinétique totale** : (8.62) dans (8.60)

(8.64)

- **Energie cinétique totale** : (8.55) dans (8.64)

(8.65)

L'énergie cinétique totale T est égale à la somme de l'énergie cinétique du centre de masse et de l'énergie cinétique réduite.

si on regarde la quantité de mouvement lié au mouvement relatif par rapport au centre de masse cette quantité de mouvement sera nulle c'est même comme ça qu'on définit le centre de masse mais avant de faire ça on va encore déterminer l'énergie cinétique totale et là aussi on a une jolie surprise

notes

résumé

- Positions relatives : référentiel du centre de masse

(8.66)

- Vitesses relatives : dérivées temporelles de (8.66)

(8.67)

- Masse réduite : μ du système

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \quad (8.55)$$

- Quantité de mouvement relative : référentiel du centre de masse

(8.68)

- Energie cinétique relative : référentiel du centre de masse

(8.69)

alors, l'énergie cinétique totale la voici on a le lien entre les vitesses qui est donné ici on va prendre les vitesses les substituer dans l'énergie cinétique totale, d'accord ? et alors on trouve que cette énergie cinétique totale t, c'est une demi de la masse du premier point matériel fois sa vitesse au carré qui est V_g plus μ fois V , on allait évoquer et de la même manière on aura une demi de M_2 fois V_g au carré qui est V_g moins μ sur M_2 , et là aussi on allait évoquer bon, alors on va se retrouver avec 4 carré V_g au carré ce terme là au carré V_g au carré et ce terme là au carré, d'accord ? et puis on a les deux produits, regardons bien les deux produits qu'est-ce qui change entre ces termes entre parenthèses ? ce qui change c'est le signe donc les deux produits seront de signe opposé en plus dans les deux produits les masses se simplifient donc les deux produits se simplifient il va rester que les carré donc on va se retrouver avec une demi de M_1 plus M_2 fois V_g au carré plus une demi de 1 sur M_1 plus 1 sur M_2 fois μ carré fois V_g , d'accord ? alors maintenant M_1 plus M_2 c'est quoi ? c'est la masse totale donc l'énergie cinétique contient un premier terme qui est une demi de la masse totale fois la vitesse du sang de masse au carré et un deuxième terme dans ce deuxième terme on sait que 1 sur M_1 plus 1 sur M_2 c'est un sur μ donc il va nous rester un μ on va se retrouver donc avec une demi de μ fois V_g ça aussi c'est très intéressant comme terme le premier terme il est associé au mouvement du sang de masse d'accord ? il y a une énergie cinétique associée au mouvement du

notes

résumé

122m 30s



- Positions relatives : référentiel du centre de masse

(8.66)

- Vitesses relatives : dérivées temporelles de (8.66)

(8.67)

- Masse réduite : μ du système

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}$$

(8.55)

- Quantité de mouvement relative : référentiel du centre de masse

(8.68)

- Energie cinétique relative : référentiel du centre de masse

(8.69)

sang de masse qui s'en surpasse et la masse du système portée par le sang de masse fois la vitesse du sang de masse élevé au carré si on avait dû parier on aurait probablement parié qu'on a une telle expression ça paraît intuitivement correct mais il y en a un deuxième ce deuxième il s'annule pas c'est pas comme la quantité de mouvement parce que pour la quantité de mouvement si on a un point qui se déplace dans un sens l'autre se déplace en sens opposé leur contribution s'annule comme dans l'expérience du chariot tout à l'heure avec Rémi ici la situation est différente pour l'énergie cinétique c'est le carré des vitesses qui intervient ces contributions ne s'annulent pas mais c'est un mouvement relatif si vous prenez une altère en bâton d'une majorité avec deux masses de part et d'autre vous le faites tourner en l'air le sang de masse se déplace il a une certaine énergie cinétique mais autour du sang de masse vous avez les masses qui bougent il y a une énergie cinétique liée à ce mouvement qui serait d'ailleurs dans ce cas-là une énergie cinétique de rotation et bien on verra dans le cadre du modèle du solide indéformable que cette énergie qui apparaît ici c'est l'énergie cinétique de rotation du solide indéformable on va pas cadger ça un peu différemment mais c'est essentiellement le résultat qu'on va obtenir alors terminons

notes

résumé

- Positions relatives : référentiel du centre de masse

$$\vec{r}_1' = \vec{r}_1 - \vec{R}_G = \frac{\mu}{m_1} \vec{r} \quad \text{et} \quad \vec{r}_2' \quad (8.66)$$

- Vitesses relatives : dérivées temporelles de (8.66)

(8.67)

- Masse réduite : μ du système

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \quad (8.55)$$

- Quantité de mouvement relative : référentiel du centre de masse

(8.68)

- Energie cinétique relative : référentiel du centre de masse

(8.69)

avec une description qui se fait maintenant par rapport à un référentiel qui est celui du sang de masse on va définir les positions relatives des deux points matériels par rapport référentiel du sang de masse c'est-à-dire qu'on place d'origine sur le sang de masse et donc par rapport au sang de masse la position du premier point matériel c'est R_1' qui est R_1 moins le vecteur position du sang de masse qui compte tenu de la définition de R_1 et μ sur $M_1 \times R$ et de la même manière R_2' sera le vecteur position du deuxième point matériel évalué par rapport à l'origine pris sur le sang de masse c'est donc R_2 moins R_G et là, compte tenu de la définition de R_2 il nous reste moins μ sur $M_2 \times R$ bon on peut dériver ces relations par rapport au temps on met des points sur les vecteurs position et on voit alors que la vitesse relative du premier point matériel c'est μ sur $M_1 \times V$ et de la même manière la vitesse relative du deuxième point matériel V_2' c'est moins μ que $\mu \times V$ le 2 c'est mal affiché voilà alors maintenant la quantité de mouvement relative de nos deux points matériels par rapport à un référentiel pris sur le sang de masse c'est le produit des masses des points matériels fois leur vitesse relative c'est $M_1 V_1'$ plus $M_2 V_2'$ alors qu'est ce qu'on fait on prend une quantité de massif et on substitue on voit que les masses se simplifient on a une contribution en μV une contribution en moins μV la somme est nulle donc dans le référentiel du sang de masse, si on est assis sur le sang de masse qu'on regarde par rapport au sang de masse le mouvement des deux points matériels la quantité de mouvement totale est nulle c'est comme ça qu'on définit le sang de masse

notes

résumé

125m 56s



- Positions relatives : référentiel du centre de masse

$$\vec{r}_1' = \vec{r}_1 - \vec{R}_G = \frac{\mu}{m_1} \vec{r} \quad \text{et} \quad \vec{r}_2' \quad (8.66)$$

- Vitesses relatives : dérivées temporelles de (8.66)

(8.67)

- Masse réduite : μ du système

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \quad (8.55)$$

- Quantité de mouvement relative : référentiel du centre de masse

(8.68)

- Energie cinétique relative : référentiel du centre de masse

(8.69)

c'est le point pour lequel il y a un référents d'objet peut y en avoir 2, 3 peut y en avoir n, n peut être un milliard voire une moule, c'est toujours la même idée il y aura un point pour lequel la somme des quantités de mouvement s'annule alors qu'on est-il maintenant d'énergie scientifique dans ce référentiel c'est une demi de la masse des points matériels multipliés par la vitesse relative au carré par rapport au sang de masse donc c'est une demi de $M_1 V_1'$ au carré et plus une demi de $M_2 V_2'$ au carré alors là aussi on effectue la substitution et on se retrouve donc avec une demi de $1 \text{ sur } M_1 \text{ plus } 1 \text{ sur } M_2$ qui multiplie μ carré fois v carré oui mais $1 \text{ sur } M_1 \text{ plus } 1 \text{ sur } M_2$ c'est $1 \text{ sur } \mu$ il y a un μ carré, il va nous rester un μ on va se retrouver avec une demi de μ fois v carré donc là aussi dans l'expression de cette énergie scientifique lorsqu'on s'est placé sur le référentiel du sang de masse le sang de masse on ne le voit plus bouger donc l'énergie associée au mouvement du sang de masse a disparu qu'est-ce qu'il reste ? l'énergie liée au mouvement de rotation donc si on prend l'exemple de l'altère de la majorète si vous êtes assis sur le sang de l'altère vous voyez l'altère tourner il y a une énergie scientifique liée au mouvement des deux masses qui sont posées de part et d'autre de l'altère ou de l'extrémité de l'altère mais il n'y a plus l'énergie scientifique liée au mouvement du sang de masse d'accord ? ces considérations là vont devenir importantes dans les chapitres qui vont suivre c'est pour ça qu'elles ont été introduites maintenant c'était un cours assez dense je vous propose de prendre la pause de midi maintenant d'accord ? et cet

notes

résumé

- Positions relatives : référentiel du centre de masse

$$\vec{r}_1' = \vec{r}_1 - \vec{R}_G = \frac{m_2}{m} \vec{r} \quad \text{et} \quad \vec{r}_2' = \frac{m_1}{m} \vec{r} \quad (8.66)$$

- Vitesses relatives : dérivées temporelles de (8.66)

(8.67)

- Masse réduite : μ du système

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \quad (8.55)$$

- Quantité de mouvement relative : référentiel du centre de masse

(8.68)

- Energie cinétique relative : référentiel du centre de masse

(8.69)

après midi on va traiter d'un superbe problème que vous allez revoir en exercice en configuration verticale alors qu'on l'aura vu en configuration horizontale et ce problème avait fait l'objet d'un problème d'examen il y a quelques années

notes

résumé