





- Choc inélastique sur banc à air
- Choc élastique sur banc à air
- Choc élastique sur table à air
- Billard
- Chocs de billes aimantées

Mécanique | 2013 7

Bonjour, bienvenue au cours de Physique Générale de l'EPFL. Dans cette leçon, on a appris à analyser les collisions. Ici, je vais illustrer les concepts avec quelques expériences. D'abord, on va regarder un choc inélastique, c'est la rencontre de deux plots sur un banc à air qui restent accolés l'un à l'autre, ensuite on regardera un choc élastique sur le même banc à air, on regardera ensuite une collision à deux dimensions, et, en parlant brièvement du billard, je vous montrerai que lorsqu'on a une boule de billard, on peut avoir des phénomènes qui sont très différents de ce que l'on peut prédire avec le modèle du point matériel. Enfin, on regardera des collisions entre des billes dont l'une est aimantée, ce qui me permettra d'illustrer le concept de la conservation de la quantité de mouvement sur un temps très court au voisinage d'un choc lorsqu'il y a des forces extérieures de tailles finies. Je commence avec une collision inélastique.

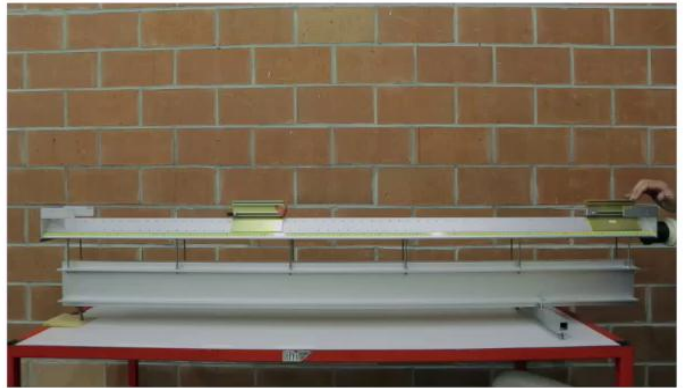
Notes

Summary



0m 03s

# Choc inélastique sur banc à air



- La quantité de mouvement est conservée, pas l'énergie cinétique. De l'énergie est accumulée dans les déformations plastiques de la pâte à modeler.

Mécanique | 2013 7

Vous avez deux plots, l'un est monté d'un clou qui va se planter dans de la pâte à modeler orange sur l'autre plot. Regardons ce qui se passe.

Notes

Summary



1m 10s



# Choc inélastique sur banc à air



Avant :

90 cm en 1.6 s :  $0.56 \text{ m s}^{-1}$

Après:

45 cm en 1.7 s :  $0.26 \text{ m s}^{-1}$

Remarque : longueur d'une brique, env. 30 cm

Mécanique | 2013 12

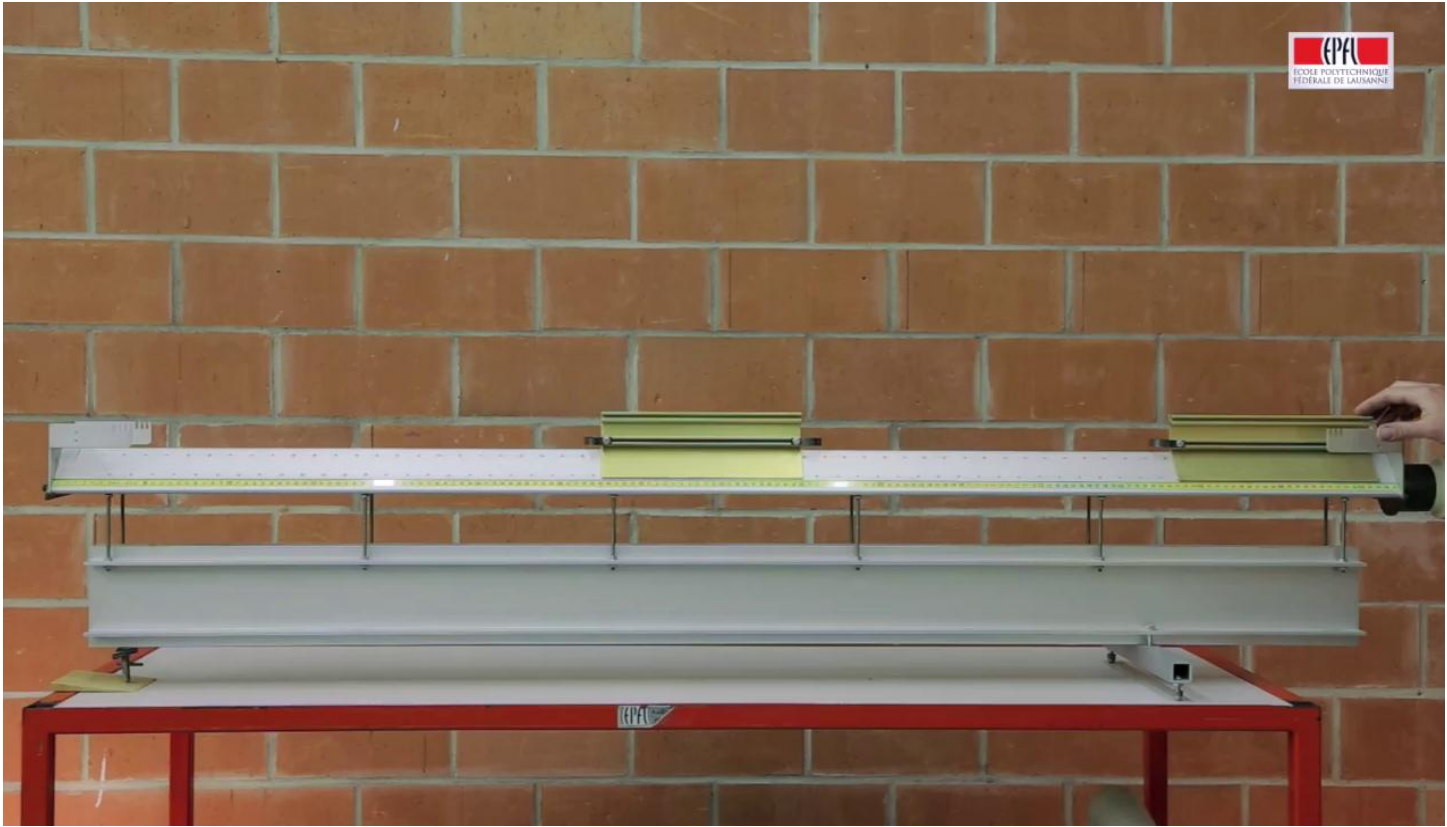
Alors je me suis amusé à regarder le temps écoulé pour certaines distances mesurées en terme de longueur de briques sur le mur du fond de l'auditoire, et j'ai observé la chose suivante: avant la collision le plot incident a parcouru 90 centimètres en à peu près 1,6 secondes, c'est très approximatif, ça correspond à 0,56 mètre par seconde. Après, les deux plots ensemble, parcourent à peu près 45 centimètres en 1,7 secondes ce qui correspond à 0,26 mètre par seconde, ce n'est pas tout à fait un facteur 2 mais vu les imprécisions énormes sur la mesure du temps je trouve que c'est encore pas mal.

Notes

Summary



1m 30s



Je passe maintenant à une collision élastique. On a vu avec toutes nos équations que si on est dans un mouvement rectiligne et que on a deux masses égales, celle qui est incidante s'arrête et l'autre repart. C'est en effet ce qu'on observe. Regardez.

Notes

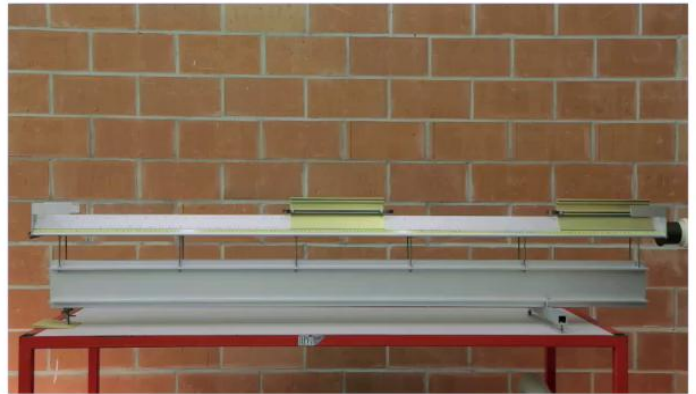
Summary

2m 23s





# Choc élastique sur banc à air



- Masses égales : le plot incident s'arrête, l'autre prend la vitesse du plot incident.

Mécanique | 2013 13

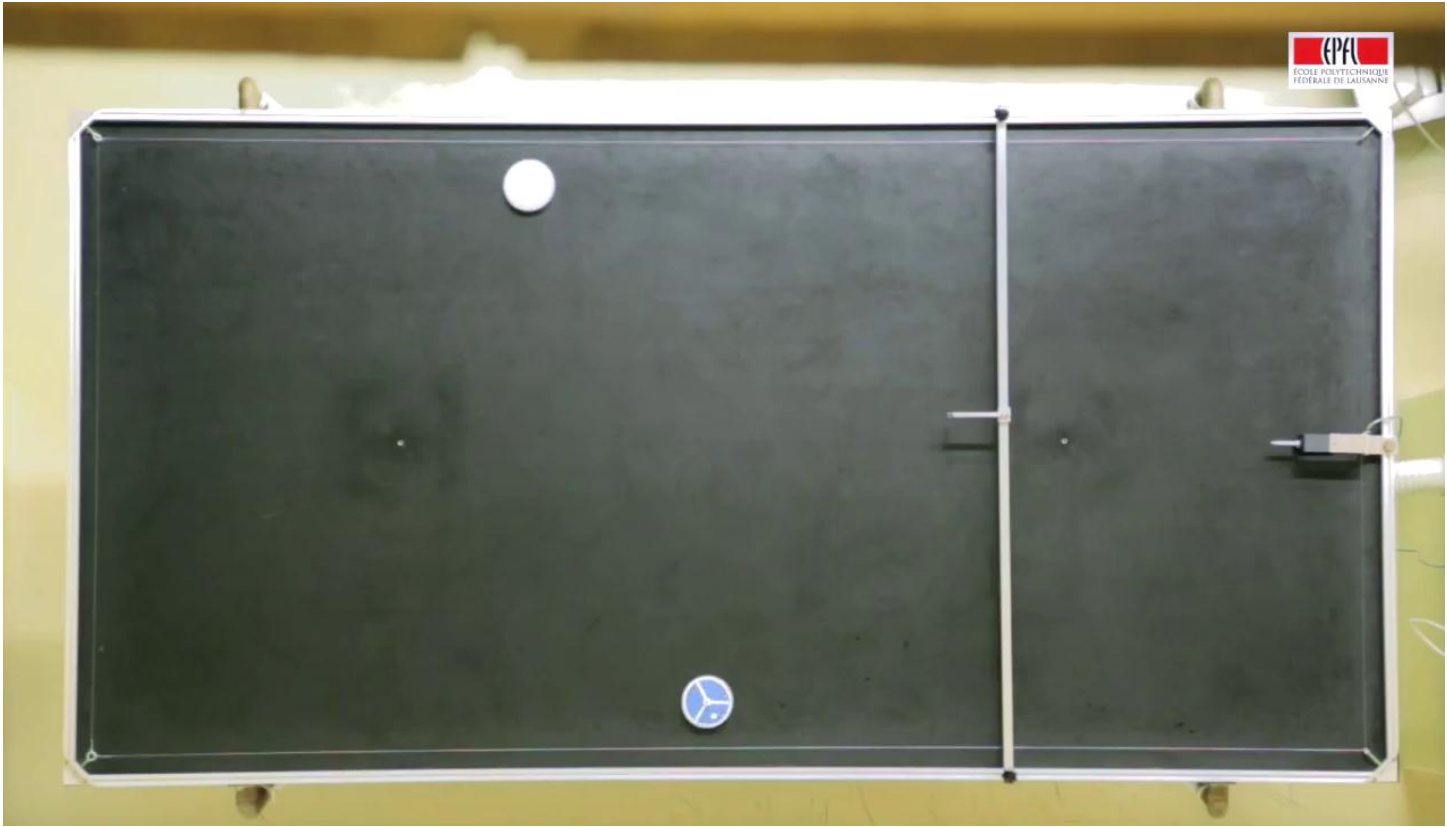
J'aimerais vous rappeler que dans ce film, on est en train de parler d'un banc à air, donc il n'y a pratiquement pas de frottement et vous voyez que le plot qui s'arrête, s'arrête parfaitement. C'est absolument remarquable.

Notes

Summary



2m 52s



Maintenant je passe à une expérience à deux dimensions. On va faire la collision entre deux plots sur une table à air et vous allez voir ce qui se passe. On avait prévu, je vous rappelle que théoriquement on devait avoir, les deux plots ont des masses égales, donc on avait prévu théoriquement pour un choc élastique, que ces deux plots s'éloignent l'un de l'autre avec des vitesses orthogonales. Regardons ce qui se passe.

Notes

Summary



3m 09s



# Choc élastique sur table à air



- Selon l'analyse d'une collisions, si les masses sont égales, les deux plots s'éloignent à angle droit ...

Mécanique | 2013 14

En regardant le film comme ça, moi je suis plutôt enthousiaste, je me dis, voilà, c'est magnifique, d'ailleurs pendant des années, j'ai fait l'expérience et dans l'auditoire sans avoir un film, un enregistrement plus précis, j'ai toujours dit, voilà, c'est 90 degrés. Maintenant regardez, j'ai une petite surprise dans la fabrication de ce MOOC, on a pris une photo, celle-ci.

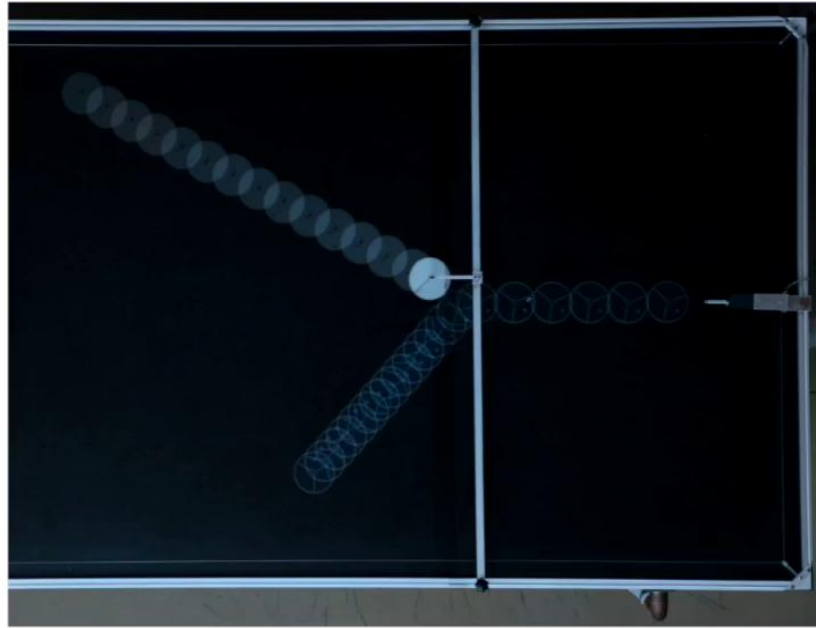
Notes

Summary



3m 42s

# Choc élastique sur table à air



Mécanique | 2013 15

Et ce que vous observez, une image statique comme ça, ce n'est pas du tout 90 degrés. Alors je vous invite ici à faire une pause et essayer de rendre compte de cette déviation par rapport à la prédiction théorique.

Notes

Summary



4m 05s

# Choc élastique sur table à air



Pourquoi observe-t-on moins de 90 degrés ?

$$\mathbf{v}_{1i} = \mathbf{v}_{1f} + \mathbf{v}_{2f}$$

$$v_{1i}^2 = v_{1f}^2 + v_{2f}^2 + 2\mathbf{v}_{1f} \cdot \mathbf{v}_{2f}$$

Perte d'énergie cinétique :

$$v_{1i}^2 = v_{1f}^2 + v_{2f}^2 + Q$$

$$Q = 2\mathbf{v}_{1f} \cdot \mathbf{v}_{2f}$$

$$\cos \theta = \frac{Q}{2|\mathbf{v}_{1f}| |\mathbf{v}_{2f}|} \geq 0 \implies \theta \leq \frac{\pi}{2}$$

Mécanique | 2013 22

Personnellement je m'explique le phénomène en supposant que la collision n'est pas tout à fait élastique. Alors voilà comment je le fais. D'abord je prends la conservation de la quantité de mouvement, je vous rappelle que on a des masses égales, la quantité de mouvement, ici P, vaut mv donc les masses étant égales, il me reste la somme des vitesses mais c'est une expression d'un principe très général, celui de la conservation de la quantité de mouvement. J'élève cette équation au carré comme ceci. Maintenant pour exprimer le fait que l'énergie cinétique n'est pas tout à fait conservée, je vais écrire la chose suivante: je n'écris plus comme étant, au fond, il faudrait mettre une demie de m partout, je l'ai enlevée pour simplifier les écritures, et Q représente un défaut d'énergie cinétique. D'accord, il y a moins d'énergie cinétique après qu'avant. Alors si je mets cette formule-là ensemble avec le carré de la conservation de la quantité de mouvement, j'obtiens le résultat suivant: en d'autres termes, je peux écrire que le cosinus, parce que  $\mathbf{v}_{1f}$  produit scalaire avec  $\mathbf{v}_{2f}$  ça fait les produits des normes fois le cosinus de l'angle donc le cosinus de l'angle vaut Q sur 2 fois le produit des vitesses.

Notes

Summary



4m 25s

# Choc élastique sur table à air



Pourquoi observe-t-on moins de 90 degrés ?

$$\mathbf{v}_{1i} = \mathbf{v}_{1f} + \mathbf{v}_{2f}$$

$$v_{1i}^2 = v_{1f}^2 + v_{2f}^2 + 2\mathbf{v}_{1f} \cdot \mathbf{v}_{2f}$$

Perte d'énergie cinétique :

$$v_{1i}^2 = v_{1f}^2 + v_{2f}^2 + Q$$

$$Q = 2\mathbf{v}_{1f} \cdot \mathbf{v}_{2f}$$

$$\cos \theta = \frac{Q}{2|\mathbf{v}_{1f}| |\mathbf{v}_{2f}|} \geq 0 \implies \theta \leq \frac{\pi}{2}$$

Mécanique | 2013 22

Q est plus grand que zéro parce qu'il y a un défaut d'énergie cinétique, il y a moins d'énergie cinétique après qu'avant, donc Q est plus grand que zéro, donc cos  $\theta$  est plus grand que zéro, ça veut dire  $\theta$  est plus petit que  $\pi$  sur 2. Voilà ce que je propose comme explication pour ce qu'on vient d'observer.

Notes

Summary



5m 57s

# Billard, au-delà du modèle du point matériel



- Si l'objet tourne sur lui-même, des effets interviennent qui changent qualitativement la nature du mouvement.
- Voir par ex. : <http://www.youtube.com/watch?v=mHXHCcQgD2I>

Mécanique | 2013 23

Maintenant je passe, - dernière mise-en-garde, on a traité ces objets comme si c'était des points matériels. On sait bien qu'avec un billard on peut faire tourner une boule sur elle-même et à ce moment-là le modèle du point matériel ne tient plus. J'ai trouvé plusieurs exemples de trajectoires très bizarres sur une table de billard, ce qu'on peut obtenir quand la boule, encore une fois, tourne sur elle-même.

Notes

Summary



6m 15s



Je vous montre ici des instantanés d'un film. Alors vous avez trois boules alignées. La blanche là-bas au fond est dans l'alignement des deux autres mais le joueur s'est arrangé pour que la boule blanche contourne la boule bleue comme ceci et revienne se rabattre pour faire collision avec la boule orange. Ça ce sont des effets qui n'ont lieu que lorsque l'on est au-delà du point matériel.

Notes

Summary

6m 43s





# Choc de billes aimantées



- Quel est le rôle du frottement dans ce phénomène ?

Mécanique | 2013 37

Pour terminer, je vous invite à regarder une expérience qui est conduite avec des billes aimantées.

Notes

Summary



7m 15s



Voilà un phénomène bien spectaculaire et on peut se demander si vraiment les lois de la mécanique peuvent rendre compte de ce qu'on vient de voir ou bien s'il y a quelque chose de spécial qui a lieu à cause du magnétisme et vous allez voir que je peux conduire une analyse parfaitement bien dans le cadre de la mécanique newtonienne.

Notes

Summary



7m 41s

# Choc de billes aimantées



- Avant :
  - 1 bille parcourt 1 diamètre de bille en 41.8 – 39.2 secondes
- Après :
  - 1 bille parcourt 1 diamètre en 43.6 – 42.6 secondes
  - 4 billes parcourent 1 diamètre en 48.6-41-9 secondes

Mécanique | 2013 38

Pour commencer j'aimerais voir ce phénomène au voisinage de la collision. Alors sur le film suivant, on a un film accéléré à 6000 images par seconde, et on va voir ce qui se passe.

Notes

Summary



8m 05s



Evidemment au début les choses se passent extrêmement lentement, vu le nombre d'images par seconde qu'on a, et tout à coup, la bille incidente va être comme happée par les 4 autres et on aura l'éjection de la première. C'est un film au ralenti, je le rappelle. On voit le recul des quatre billes. Voilà, je vous invite à réfléchir à ce problème, voir si vous arrivez à l'analyser.

Notes

Summary



8m 22s



Avant l'impact :

- Le frottement retient les 4 billes
- Le frottement est en avant
- La quantité de mouvement des 5 billes augmente

Analyse au voisinage de l'impact

Mécanique | 2013 45

Personnellement je vois les choses suivantes: longtemps avant l'impact, on a quatre billes qui sont retenues par le frottement sur le rail et la bille incidente arrive à cause de l'aimantation, la bille est attirée vers la première donc elle gagne de l'énergie cinétique mais si vous voulez, la quantité de mouvement des quatre billes augmente, je veux dire les cinq billes, le total des cinq billes a une quantité de mouvement qui augmente grâce au fait qu'il y a du frottement. Qu'est-ce qui se passe ensuite juste à l'impact? J'avais proposé un modèle dans lequel en la présence de forces finies, d'intégrales finies, intégrées sur le temps autour d'un temps au voisinage du choc on a, si ces forces extérieures ont des valeurs finies, alors on peut supposer avoir la conservation de la quantité de mouvement sur un temps très très court, et je prétends que c'est ce qui se passe ici. Regardez. Au voisinage de l'impact je vais mesurer les vitesses, enfin la vitesse de la bille juste avant l'impact et les vitesses des deux objets, l'ensemble des quatre billes d'un côté et la bille qui part en avant, de l'autre.

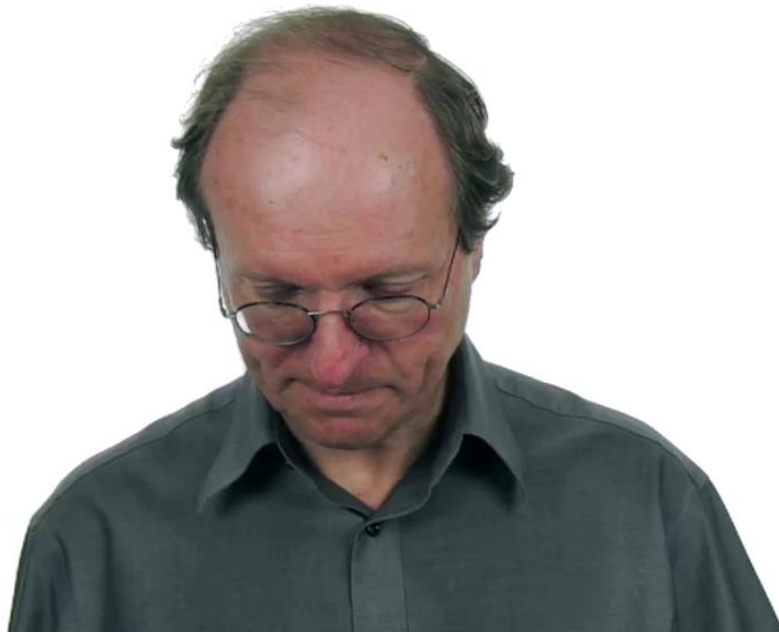
Notes

Summary



9m 09s

# Choc de billes aimantées



Avant l'impact :

- Le frottement retient les 4 billes
- Le frottement est en avant
- La quantité de mouvement des 5 billes augmente

Analyse au voisinage de l'impact

$D$  = diamètre de la bille

$m$  = masse de la bille

$$P_{init} = mD \frac{1}{2.6} \approx mD 0.38$$

$$P_{final} = mD \left( \frac{1}{1.0} - \frac{4}{6.7} \right) \approx mD 0.40$$



Mécanique | 2013 48

Pour ce faire je vais appeler  $D$  le diamètre de la bille,  $m$  la masse d'une bille en supposant que toutes les billes sont identiques, il y a peut-être des petites différences mais ce n'est pas ça l'important, je constate, je calcule, j'observe la quantité de mouvement de la première bille, j'ai regardé la vitesse de la bille sur distance pendant qu'elle parcourt une distance égale au diamètre  $D$  et en visionnant attentivement la vidéo au ralenti, j'ai vu que la bille prenait à peu près 2,6 secondes pour parcourir la distance d'un diamètre. Donc, les unités ne sont pas explicites là-dedans, parce que  $m$  et  $D$  sont des valeurs algébriques et les valeurs numériques, le 2,6 c'est des secondes, donc 0,38 c'est 1 sur des secondes, et vous avez  $P$  qui est donc la quantité de mouvement, la masse fois la vitesse, indiquée comme ceci où le seul paramètre que je mesure c'est le temps de parcours. Maintenant je mesure la quantité de mouvement finale. J'ai deux objets, j'ai un objet qui a quatre billes d'où le 4 qui est ici, et un objet d'une bille, j'ai observé que cette bille seule se déplaçait de la distance  $D$ , donc un diamètre de bille, en une seconde, alors que les autres mettaient 6,7 secondes pour se déplacer.

Notes

Summary



10m 33s





Avant l'impact :

- Le frottement retient les 4 billes
- Le frottement est en avant
- La quantité de mouvement des 5 billes augmente

Analyse au voisinage de l'impact

$D$  = diamètre de la bille

$m$  = masse de la bille

$$P_{init} = mD \frac{1}{2.6} \approx mD 0.38$$

$$P_{final} = mD \left( \frac{1}{1.0} - \frac{4}{6.7} \right) \approx mD 0.40$$

Mécanique | 2013 48

Et j'en déduis que la quantité de mouvement finale, bien sûr j'ai un signe moins parce que j'ai une bille qui part en avant comme la particule incidente, les quatre autres en arrière et quand je fais ce calcul, je trouve 0,4 contre à peu près 0,4 aussi. La précision, elle est absolument remarquable et donc j'ai encore une fois confiance que la mécanique fonctionne dans ce cas magnétique aussi.

Notes

Summary



12m 13s