

**Physique Générale C**  
Semestre d'automne (11P090)  
Notes du cours basées sur le livre  
Physique  
de Eugene Hecht, éditions De Boeck

**Chapitre 12**

Enseignante:  
Anna Sfyrla

Assistant(e)s:  
Mireille Conrad  
Tim Gazdic  
Jean-Marie Poumirol  
Rebecka Sax  
Marco Valente

**Bibliographie**

- [1] Eugene Hecht, Physique, éditions De Boeck.
- [2] Eugene Hecht, College Physics, Schaum's outlines.
- [3] Randall D. Knight, Physics for Scientists and Engineers, Pearson.
- [4] Yakov Perelman, Oh, la Physique!, Dunod.

## Table des matières

---

<b>12 Collisions</b>	<b>1</b>
12.1 Conservation de la quantité de mouvement . . . . .	1
12.2 Collision élastique en une dimension . . . . .	2
12.3 Collision complètement inélastique en une dimension . . . . .	3
12.4 Collision élastique en deux dimensions . . . . .	4
12.5 Extra: un collisionneur des particules . . . . .	5

La plupart de nos connaissances en physique atomique et subatomique, nous vient de l'observation des collisions. Des faisceaux de particules sont lancés contre des cibles on analyse le mouvement des fragments émis. Des relations analogues gouvernent à la fois ces événements exotiques et les collisions plus familières, telles que des clubs frappant des balles de golf. Une collision est marquée par le transfert de quantité de mouvement entre des objets en mouvement relatif, résultant de leur interaction par au moins une des quatre forces. Dans tous les cas où il n'y a pas de forces externes, la quantité de mouvement totale des objets qui entrent en collision est conservée.

Une collision est **inélastique** si l'énergie cinétique finale du système est différente de l'énergie cinétique initiale; une partie de l'énergie cinétique est converti en d'autres formes d'énergie, par exemple en chaleur. La collision complètement inélastique est un cas extrême, où les objets qui entrent en collision restent soudés et toute l'énergie cinétique est transformée. Un choc entre deux voitures, un insecte qui vient frapper le pare-brise d'un autobus en mouvement ou un neutron absorbé par un noyau d'uranium sont des exemples de collisions inélastiques.

On dit qu'une collision est **élastique** quand la somme des énergies cinétiques des protagonistes rest inchangée, c'est-à-dire quand l'énergie cinétique est globalement conservée.

## 12.1 Conservation de la quantité de mouvement

La description physique des collisions fait appel à la quantité de mouvement  $\vec{p}$ , que nous avons étudié au chapitre 3. Nous avons introduit ce concept en lien avec la deuxième loi de Newton  $F = ma$ , qui dit que tout changement de quantité de mouvement nécessite une force correspondante agissant pendant un intervalle de temps  $\Delta t$ . Nous avons aussi appris que ce qui compte est le changement de quantité de mouvement et pas sa valeur absolue, une situation analogue à ce que nous avons vu dans le cas de l'énergie.

**La quantité de mouvement totale d'un système isolé est une constante:**

$$\vec{F} = 0; \quad \vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} \Rightarrow \vec{p}_f = \vec{p}_i$$

La quantité de mouvement d'une particule à l'intérieur d'un système peut être modifiée par des forces internes. Mais la quantité de mouvement totale de ce système isolé est conservée; la somme vectorielle des quantités de mouvement des deux partenaires est la même avant et après l'interaction:

$$\vec{p}_{1i} + \vec{p}_{2i} = \vec{p}_{1f} + \vec{p}_{2f}$$

Si les masses des partenaires ne changent pas pendant l'interaction, cette équation devient:

$$m_1 \vec{v}_{1i} + m_2 \vec{v}_{2i} = m_1 \vec{v}_{1f} + m_2 \vec{v}_{2f}$$

**Exemple 12.1.1.** Une balle de masse  $m = 8.0$  g est tirée horizontalement avec une vitesse  $v = 352.0$  m/s avec un pistolet de 0.90 kg au repos. Quelle est la vitesse de recul?

**Solution** Le système formé du pistolet et de la balle n'est soumis à aucune force horizontale externe. Par conséquent, la quantité de mouvement horizontale doit être conservée. Dans la direction horizontale par rapport à la Terre, on a:

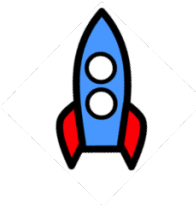
$$m_B v_{Bi} + m_P v_{Pi} = m_B v_{Bf} + m_P v_{Pf} \Rightarrow 0 = m_B v_{Bf} + m_P v_{Pf} \Rightarrow v_{Pf} = -\frac{m_B v_{Bf}}{m_P} = -3.1 \text{ m/s}$$

Le signe négatif de la réponse veut dire que le mouvement de recul du pistolet est dirigé dans le sens opposé à celui de la balle, pour qui la vitesse est définie positive.

**Question pour réfléchir.**

**Application: fusée sur un fil.**

Une fusée est rempli d'air comprimé et une seconde plus lourde est remplie d'un mélange d'eau et d'air comprimé. Laquelle des deux s'envole le plus loin?



## 12.2 Collision élastique en une dimension

Dans un choc frontal, les centres de masse des deux objets qui entrent en collision se déplacent le long d'une même ligne droite.

Puisqu'on connaît la vitesse et la masse de deux corps avant la collision et que les masses ne changent pas dans la collision, il y a deux inconnues dans l'état final: les vitesses des deux corps. Il y a deux équations à respecter pour déterminer les vitesses dans l'état final: la conservation de la quantité de mouvement, toujours vérifiée, et la conservation de l'énergie cinétique, seulement parce que la collision est élastique. Le problème est donc entièrement déterminé.

Après la collision, le mouvement reste sur cette même ligne droite et on peut travailler avec des quantités de mouvement scalaires. La conservation de la quantité de mouvement nous donne:

$$p_i = p_f \Rightarrow m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$

et la conservation de l'énergie cinétique:

$$E_{Ci} = E_{Cf} \Rightarrow \frac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2i}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1f}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2f}^2$$

Examinons d'abord un cas simple, comme indiqué à la figure 12.1. Pour une collision frontale avec l'un des mobiles au repos avant le choc, on a:

$$m_1 v_{1i} + 0 = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$

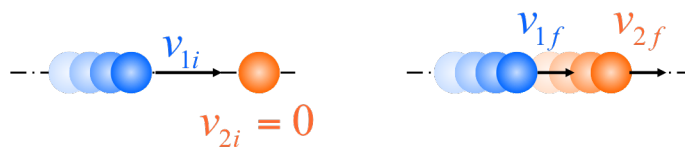


Figure 12.1: Représentation du choc frontal élastique.

et

$$\frac{1}{2}m_1v_{1i}^2 + 0 = \frac{1}{2}m_1v_{1f}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{2f}^2$$

On peut résoudre les deux équations pour  $v_{1f}$  et  $v_{2f}$  en fonction de  $v_{1i}$ :

$$m_1(v_{1i} - v_{1f}) = m_2v_{2f} \quad \text{et} \quad m_1(v_{1i}^2 - v_{1f}^2) = m_2v_{2f}^2$$

En factorisant le premier membre de la deuxième équation on trouve:

$$m_1(v_{1i} - v_{1f}) = m_2v_{2f} \quad \text{et} \quad m_1(v_{1i} - v_{1f})(v_{1i} + v_{1f}) = m_2v_{2f}^2$$

et en divisant ces deux équations on obtient:

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}v_{1i} \quad \text{et} \quad v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2}v_{1i} \quad (12.1)$$

**Question pour réfléchir.** Déterminer l'effet physique des équations 12.1 pour les cas spécifiques:

- $m_1 = m_2$
- $m_1 > m_2$
- $m_1 < m_2$

### 12.3 Collision complètement inélastique en une dimension

Pour une collision complètement inélastique entre deux corps, l'énergie cinétique n'est pas conservée, mais la vitesse finale des deux corps est la même (voir figure 12.2).

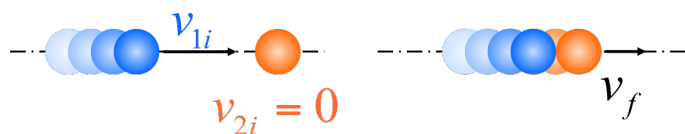


Figure 12.2: Représentation du choc frontal complètement inélastique.

On peut écrire le rapport entre l'énergie cinétique finale et l'énergie cinétique initiale (avec  $m_2$  initialement au repos):

$$\frac{E_{Cf}}{E_{Ci}} = \frac{\frac{1}{2}(m_1 + m_2)v_f^2}{\frac{1}{2}m_1v_{1i}^2}$$

La conservation de la quantité de mouvement s'écrit:

$$m_1 v_{1i} + 0 = m_1 v_f + m_2 v_f \Rightarrow v_f = \frac{m_1}{(m_1 + m_2)} v_{1i}$$

En remplaçant  $v_f$  dans l'équation de l'énergie cinétique ci-dessus, on trouve:

$$E_{Cf} = \frac{m_1}{(m_1 + m_2)} E_{Ci}$$

Cette relation implique que si la masse en mouvement est beaucoup plus grande que celle au repos,  $m_1 \gg m_2$ , l'énergie cinétique finale est à peu près égale à l'initiale. Dans la collision d'une voiture avec une bicyclette, celle-ci est emportée, la voiture continue. Dans le cas contraire,  $m_2 \gg m_1$ , l'énergie cinétique finale tend vers zéro. Si une voiture rentre dans un poids lourd garé, ou dans un mur, toute l'énergie cinétique de la voiture est transformée en déformation. NB: La quantité de mouvement est conservée dans tous les cas.

## 12.4 Collision élastique en deux dimensions

Le cas général de la collision élastique en deux dimensions de particules ponctuelles est compliqué par le fait qu'il n'y a pas assez de contraintes pour déterminer une solution unique. Dans le cas de l'impact d'un objet avec un autre objet immobile, il faut déterminer le vecteur vitesse de chaque objet après la collision, i.e. deux vecteurs.

En utilisant les relations de la conservation de l'énergie cinétique et de la quantité de mouvement nous pouvons déduire quelques relations entre les vecteurs vitesses.

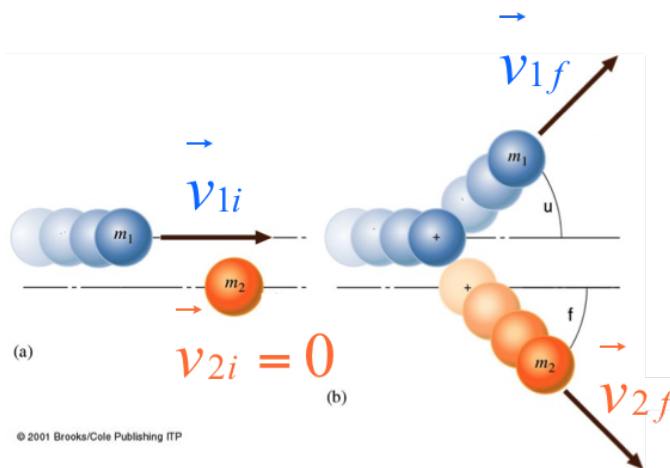


Figure 12.3: Représentation du choc élastique en deux dimensions.

Considérons le choc représenté à la figure 12.3. La collisions entre **deux masses égales** a une solution simple. La conservation de l'énergie cinétique donne:

$$\frac{1}{2} m v_{1i}^2 = \frac{1}{2} m v_{1f}^2 + \frac{1}{2} m v_{2f}^2 \Rightarrow v_{1i}^2 = v_{1f}^2 + v_{2f}^2 \quad (12.2)$$

La conservation de la quantité de mouvement implique:

$$m \vec{v}_{1i} = m \vec{v}_{1f} + m \vec{v}_{2f} \Rightarrow \vec{v}_{1i} = \vec{v}_{1f} + \vec{v}_{2f} \Rightarrow |\vec{v}_{1i}|^2 = |\vec{v}_{1f}|^2 + |\vec{v}_{2f}|^2 + 2|\vec{v}_{1f}||\vec{v}_{2f}|\cos\theta \quad (12.3)$$

où  $\theta$  est l'angle entre les vecteurs vitesse finaux. Comparant directement ces deux équations, on déduit que:

$$|\vec{v}_{1f}| |\vec{v}_{2f}| \cos \theta = 0$$

Cette condition est respectée si:

- $v_{1f} = 0$  : collision frontale entre deux masses égales;
- $v_{2f} = 0$  : la masse incidente manque sa cible, pas de collision;
- $\cos \theta = 0 \Rightarrow \theta = 90^\circ$  pour des vitesses finales simultanément non nulles.

## 12.5 Extra: un collisionneur des particules

Les accélérateurs ont été inventés pour produire des particules énergétiques permettant de sonder la structure du noyau des atomes. Depuis, ils ont été utilisés pour explorer divers aspects de la physique des particules. Leur fonction est d'accélérer des faisceaux de particules pour en augmenter l'énergie au moyen de champs électriques, et de guider et de focaliser ces faisceaux au moyen de champs magnétiques. Un accélérateur peut être en forme d'anneau (accélérateur circulaire), ou en ligne droite (accélérateur linéaire). Dans le premier cas, les faisceaux circulent en boucle, dans le deuxième, ils vont d'une extrémité à l'autre. Plusieurs accélérateurs d'énergie croissante peuvent être reliés, de façon à former une chaîne: c'est le cas du complexe d'accélérateurs du CERN.

Les collisions à l'intérieur d'un accélérateur peuvent se produire soit entre un faisceau et une cible fixe, soit entre deux faisceaux. Des détecteurs de particules sont placés autour du point de collision et enregistrent les événements, révélant les particules qui émergent des collisions.

Le Grand collisionneur de hadrons (LHC) est le plus grand et le plus puissant accélérateur de particules du monde. Il est aussi la dernière machine à être venue enrichir le complexe d'accélérateurs du CERN: son démarrage a eu lieu le 10 septembre 2008. Cet anneau de 27 kilomètres est jalonné d'aimants supraconducteurs, associés à des structures accélératrices qui augmentent l'énergie des particules qui y sont propulsées.

Dans l'accélérateur, deux faisceaux de particules de haute énergie circulent à une vitesse proche de celle de la lumière avant d'entrer en collision. Les faisceaux se déplacent dans des directions opposées, dans des tubes distincts placés sous ultravide. Un puissant champ magnétique généré par des électroaimants supraconducteurs les guide tout au long de leur parcours dans l'accélérateur. Ces aimants sont composés de bobines d'un câble électrique spécial qui, parce qu'il est à l'état supraconducteur, conduit l'électricité sans la moindre résistance ni perte d'énergie. Le secret derrière cette performance ? Les aimants sont maintenus à moins 271.3 °C, une température plus basse que celle de l'espace intersidéral. Aussi une grande partie de l'accélérateur est-elle reliée à un système de distribution d'hélium liquide, qui refroidit les aimants, et alimentée par d'autres services.

Plus d'information: <https://home.cern/fr>.

## Exercices

**Exercice 12.1.** Au cours d'un match de football par temps de pluie, un joueur (A) de 854 N (87 kg) possédait le ballon, quand il a été méchamment heurté par un autre joueur (B) de 1281 N (130 kg) le chargeant à la vitesse de 6.10 m/s. (a) À quelle vitesse les deux hommes, emmêlés, partent en glissant sur le terrain mouillé? On supposera que le frottement est négligeable et que le choc est frontal. (b) Quelle est l'énergie mécanique perdue dans cette collision?

**Exercice 12.2.** Le coefficient de restitution de deux corps en collision est défini comme le rapport de leur vitesse relative après l'impact à leur vitesse relative initiale. Imaginer qu'on lâche une sphère d'un certain matériau d'une certaine hauteur initiale. Elle vient frapper une enclume et rebondit jusqu'à une hauteur finale qu'on mesure. Calculer une expression du coefficient de restitution en fonction de ces deux hauteurs. Si le coefficient pour le verre sur l'acier est 0.96, à quelle hauteur une bille de verre rebondit-elle sur une plaque d'acier, si elle est lâchée de 1.0 m?