

Titre : Collisions et lois de conservation

Présentée par : Matthis

Rapport écrit par : Matthis

Correcteur : F. Debbasch

Date : 16/04/20

Bibliographie de la leçon :

| Titre | Auteurs | Éditeur | Année |
|--|-----------------|---------|-------|
| Mécanique : fondements et applications | Pérez | Dunod | |
| Dictionnaire de physique | Richard Taillet | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Plan détaillé

Niveau choisi pour la leçon : Licence (L2/L3)

Pré-requis : Etude mécanique de systèmes de points matériels (2 points matériels/ Réf barycentrique)

Intro : Lien entre lois de conservation et collisions : Les lois de conservation vont nous permettre de comprendre et de tirer des informations sur la collision.

Définition (Réf : Dictionnaire de physique) : Interaction localisée temporellement et spatialement entre plusieurs systèmes. Avant et après la collision le mouvement est libre.

Conséquences :

- > La collision dure très peu de temps
- > La collision est localisée dans l'espace
- > Variation brutale de la vitesse des points

Cette interaction de courte portée responsable de la modification de la vitesse est complexe.

Comment connaître les états du système avant et après collision ?

(Autre manière de le formuler : Comment connaître les caractéristiques d'une particule en étudiant les produits de collisions) . Pour cela on va réaliser des bilans de modification physique sur le système total.

On se limite dans cette leçon à l'étude de 2 particules et on ne traite pas le cas des solides..

I-Lois de conservations

Décrire brièvement le système de deux points

1) Conservation de la quantité de mouvement

Si le système est isolé de l'extérieur : $\Delta p = 0$

Si le système n'est pas isolé on retrouve ce résultat en intégrant sur le temps de collision ("très court selon la définition, attention très court par rapport à quoi?", cf questions)

2) Conservation de l'énergie totale

Hypothèses : Les forces d'interaction entre les deux particules dérivent d'une énergie potentielle $E_{p,int}$

On démontre la conservation de l'énergie (Energie cinétique + énergie potentielle + énergie interne)

3) Collisions élastiques et inélastiques

Définition collision élastique : nombre de particules et nature des particules en interaction sont inchangés

=> Energie interne de chaque particule est inchangée

On en déduit la conservation de l'énergie cinétique

Deux exemples : La diffusion de Rutherford + Boules de pétanque (en les assimilant à des particules)

A l'inverse on définit la collision inélastique et on donne des exemples : Fission/fusion nucléaire

T° : Etudions plus en détail la collision élastique de 2 particules en appliquant les lois de conservations que l'on vient de démontrer

II-Etude de la collision élastique de 2 particules

1) Application des lois de conservation

$A1 (m1) + A2 (m2) \rightarrow A1' (m1) + A2' (m2)$

-> Conservation de la quantité de mouvement : $m1.(v1-v1') = m2.(v2-v2')$

Si on connaît le rapport des masses, on connaît le rapport des différences de vitesse.

-> Conservation de l'énergie cinétique du système : On obtient une équation reliant les quantités de mouvement des particules avant et après collision ...

Afin d'en tirer davantage d'informations, on se place dans le référentiel barycentrique (là où la résultante cinétique du système est nulle) pour aboutir au fait qu'au cours d'une collision élastique chacune des particules conserve la norme de sa quantité de mouvement dans le référentiel du centre de masse !

2) Cas d'une collision élastique directe

Cas particulier de la collision élastique, il s'agit d'une collision où les vecteurs vitesses avant et après la collision sont colinéaires. Ceci simplifie les lois de conservations, on n'a plus de relation vectorielle. On peut utiliser les deux équations déterminées plutôt pour calculer la vitesse de la particule 1 après collision ($v1'$) en fonction des vitesses des deux particules avant collision ($v1$ et $v2$) [IDEM pour $v2'$]

3) Cas d'une collision élastique directe avec une cible immobile

Ceci simplifie à nouveau le problème : $v2=0$. En supposant que l'on connaisse $v1$ (la vitesse de la particule 1), on a deux équations [conservation de la quantité de mouvement + conservations de l'énergie cinétique], on peut exprimer les vitesses après collisions en fonction des vitesses avant collision. Et cela grâce aux lois de conservation, sans avoir étudié la collision en détails, c'est merveilleux ...

Etudier différents cas de figure :

-> Si $m1 > m2$ (boule de pétanque sur un cochonnet immobile ...)

-> Si $m2 > m1$

-> Si $m1 = m2$

On peut aussi quantifier la perte énergétique de la particule 1 ayant rencontré la particule immobile :

$$Q = E_{c(\text{initiale de particule 1})} - (4 * m2 * m1) / (m1 + m2)^2$$

Faire quelques commentaires :

-> Si $m_1 = m_2$ La perte énergétique est totale, le projectile A1 perd toute son énergie cinétique au profit de la particule A2.

-> Si $m_1 \gg m_2$, c'est par exemple la collision proton-électron, l'énergie cédée par la particule A1 à la cible est très faible.

T°: Grace aux lois de conservations, on a pu étudié en détails les collisions élastique, étudions désormais le cas des collisions inélastique

III- Etude d'une collision inélastique entre 2 particules

Ce qui caractérise une collision inélastique entre 2 particules c'est la variation de l'énergie cinétique du système.

2 cas : Collision endoénergétique et collision exoénergétique

Traisons un exemple : Collision entre 2 particules qui forment une particule unique après collision

En se plaçant dans le référentiel barycentrique, Galiléen, on aboutit au fait que la variation de l'énergie cinétique du système est égale à l'opposée de l'énergie cinétique initiale (dans le réf barycentrique)

=> Il s'agit d'une collision endoénergétique

=> Le système perd toute son énergie cinétique

Enfin pour finir nous pouvons étudier l'énergie seuil d'une collision inélastique (le calcul est fait dans le Perez de mécanique)

Conclusion:

-> deux types de collision

-> En étudiant les collisions de particules, on a vu qu'on pouvait déterminer des informations sur le système initial en étudiant les produits de collision.

C'est ce qu'à fait Rutherford en 1911 (structure de l'atome)

Questions posées par l'enseignant

1) A propos des lois de conservation : quels sont les théorèmes concernant l'énergie ?

Théorème de l'énergie cinétique

Pour la conservation de la quantité de mouvement

2) Que représente tau dans l'intégrale donnant la variation de la quantité de mouvement. Tau est petit devant quoi ? Devant quel temps ?

Ce temps est petit devant temps de variation de l'impulsion de la particule dans le champ de force extérieur.

Si on n'a pas de champ ext, on admet qu'il y a une autre collision, on est dans un modèle de phys stat(particule dans un gaz).

3) Vous avez parlé de référentiel barycentrique, noté R^* . Quel argument faut-il rajouter pour que $p_1^* + p_2^* = p_1'^* + p_2'^* = 0$?

Cela vient du fait que le référentiel barycentrique est galiléen. C'est le référentiel où la quantité de mouvement est nul donc pour cela que la somme est nulle

Est-ce que ce référentiel est galiléen ou pas ?

Il est galiléen si la vitesse du centre d'inertie est constante (si les forces extérieures se compensent)

4) Que se passe-t-il si le référentiel n'est plus galiléen ?

Il faut tenir compte des forces d'inertie.

5) Imaginez des particules en collision avec champ de force extérieur. Pourriez-vous me reparler de tau environ égal à 0 ?

Cf réponse à la question 2)

6) Revenons à la définition de collision : ça veut dire quoi localisé ?

Région de l'espace très restreinte, dont la distance caractéristique est de l'ordre de la distance parcourue par la particule pendant que son impulsion a varié dans le champ extérieur

7) Expérience de Rutherford : tu as dit que c'était des collisions élastiques. Est-ce que vous êtes certain que c'est ça ce qui a été vu ? Non, mélange de diffusion élastique et inélastique.

8) Collision élastique directe : pourriez-vous définir ce terme "direct" ?

Les vitesses avant et après collision sont colinéaires

9) Pourquoi a priori ça va être plus compliqué en 2D et 3D (par rapport au cas 1D) ?

En 1D c'est mieux parce qu'on a suffisamment d'équations par rapport au nombre d'inconnus. En 3D on a par exemple 4 équations et 6 inconnus donc on ne peut pas conclure.

10) Boule de pétanque : qu'est-ce qu'on néglige dans la modélisation qui est faite ? Et qu'est-ce qu'on prend en compte ? On néglige sa taille et la rotation de la boule (moment angulaire)

11) Dans les systèmes de points matériels isolés, est-ce qu'il y a autre chose de conservée ?

Le moment angulaire.

12) Vous avez donné des exemples, boules de pétanque à la physique nucléaire.
Connaissez-vous un exemple d'application de ce type de calcul en physique statistique ?

13) Comment faire pour des particules relativistes ? Est-ce que p et E sont conservés ?

Lois de conservation relativistes. Les expressions changent mais on a toujours un espace temps homogène et isotrope.

14) Est-ce qu'il y a un autre contexte où on peut généraliser le traitement ?
En MQ + MQ relativiste (collision inélastique)

15) Contexte où on a collision de particules mais où on a des champs forces avant et après ?

16) Leçon niveau licence, quelle année ? A cheval entre L2 et L3

Commentaires donnés par l'enseignant

L'origine de la conservation de la quantité de mouvement provient de l'homogénéité et l'isotropie de l'espace. Energie : Invariance du temps. Ce sont des choses très profondes.

En traitant la conservation du moment cinétique, on obtient des équations en plus, mais cependant elles ne permettent pas d'obtenir des équations supplémentaires pour conclure dans le cas 2D/3D.

Généralisation au cas de la relativité restreinte: préparer un transparent (SI on a le temps) avec les calculs pour un exemple simple de collision élastique / inélastique relativiste.

Partie réservée au correcteur

Avis général sur la leçon (plan, contenu, etc.)

Bonne leçon, a part quelques points évoqués en question (collisions en 2D et 3D, par exemple)

Notions fondamentales à aborder, secondaires, délicates

Fondamentale: lois de conservation

Secondaires: en 2D et 3D, diffusion Rutherford

Délicates: section efficace et relativité (pour les questions éventuelles!)

Expériences possibles (en particulier pour l'agrégation docteur):

Mobiles auto-porteur : Conservation de l'énergie. Attention ce n'est pas des particules mais des solides.

Bibliographie conseillée

Landau tome 1