DYNAMIQUE - COMPLÉMENTS SUR LES CHOCS - exercices

I. Choc élastique et détermination de la masse du neutron

• On considère deux particules “ponctuelles” de masses m_1 et m_2. Initialement, la particule de masse m_1 est animée d'une vitesse $\vec{v_1}$ dirigée suivant l'axe Ox d'un repère orthonormé lié à un référentiel galiléen. Elle vient percuter la particule de masse m_2 initialement immobile en O. On suppose que le choc est élastique et on désigne par θ_1 et θ_2 les angles par rapport à Ox des vitesse $\vec{v'_1}$ et $\vec{v'_2}$ après le choc.

1. • En écrivant la conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie cinétique, établir les équations permettant de calculer v'_1, v'_2 et θ_2 en fonction de v_1, θ_1, m_1 et m_2.

2. • On suppose maintenant que $\theta_1 = 0$.

a) Exprimer v'_1 et v'_2 en fonction de v_1, m_1 et m_2.

b) Soient E_1 l'énergie cinétique de la première particule avant le choc et E'_2 celle de la deuxième particule après le choc, calculer E_1 en fonction de m_1 et v_1 puis calculer E'_2 en fonction de E_1, m_1 et m_2. Examiner les cas particuliers suivants : $m_1 = m_2$; $m_1 \ll m_2$; $m_1 \gg m_2$. Dans ce dernier cas, que peut-on dire du rapport $\frac{v'_2}{v_1}$?

c) Application : on bombarde avec des neutrons de masse m et de vitesse $\vec{v}$ des cibles contenant des atomes d'hydrogène ou d'azote au repos (l'agitation thermique est donc supposée négligeable). On mesure les vitesses v'_p et v'_N pour les protons (noyaux d'atomes H) et les noyaux d'atomes N émis avec $\theta_2 = 0$. Montrer qu'on peut déduire de ces mesures une valeur approchée de la masse du neutron. Comparer cette masse à celle du proton, sachant que $\frac{m_N}{m_p} \approx 14$ et que l'expérience a donné $\frac{v'_p}{v'_N} \approx 7{,}5$.

II. Choc inélastique et référentiel du centre de masse

• On considère un système isolé constitué d'un neutron, de masse m, représenté par un point matériel A, et d'un noyau d'atome “lourd”, de masse M, représenté par un point matériel B. Dans le référentiel R du laboratoire, supposé galiléen, A est animé d'une vitesse initiale $\vec{v}_A$ et entre en collision avec B initialement immobile.

• Après le choc, il se forme une particule unique (nouveau noyau atomique), de masse m+M, représentée par un point matériel C dont la vitesse est $\vec{v'}_C$.

1. • Montrer que cette collision ne conserve pas l'énergie cinétique du système. Calculer la variation algébrique W de l'énergie cinétique au cours du choc en fonction de m, M et de l'énergie cinétique initiale de A, notée E_0.

2. • On considère le choc dans le référentiel $\mathcal{R}'$ du centre de masse du système : référentiel barycentrique dont l'origine est le centre de masse G et dont les axes ont des directions fixes par rapport au référentiel de Copernic (directions déterminées par rapport à des étoiles très lointaines dont le mouvement angulaire est négligeable par effet de perspective).

a) Montrer que $\mathcal{R}'$ est galiléen.

b) Calculer dans $\mathcal{R}'$ l'énergie cinétique de C (après le choc).

c) Calculer dans $\mathcal{R}'$ l'énergie cinétique E* du système “A + B” (avant le choc). L'exprimer en fonction de E_0 et la comparer à W.

III. Désintégration d'une particule et référentiel du centre de masse

• Dans le référentiel $\mathcal{R}$ du laboratoire, considéré comme galiléen, une particule A, isolée, de masse M, se déplace à la vitesse $\overrightarrow{V_0}$. A l'instant t_0 elle se désintègre en deux particules B et C, de masses m_1 et m_2 (telles que $m_1+m_2 = M$), qui n'interagissent pas entre elles, et qui sont animées de vitesses $\overrightarrow{V_1}$ et $\overrightarrow{V_2}$.

1. • Écrire l'équation qui relie $\overrightarrow{V_0}$, $\overrightarrow{V_1}$ et $\overrightarrow{V_2}$.

2. • Calculer, en fonction de m_1, m_2, $\overrightarrow{V_1}$ et $\overrightarrow{V_2}$, la variation ΔE_c de l'énergie cinétique du système pendant le choc. Que peut-on dire de l'énergie totale du système (justifier) ?

3. • On raisonne dans le référentiel $\mathcal{R}'$ du centre de masse : référentiel barycentrique dont l'origine est le centre de masse G et dont les axes ont des directions fixes par rapport au référentiel de Copernic (directions déterminées par rapport à des étoiles très lointaines dont le mouvement angulaire est négligeable par effet de perspective).

 a) Montrer que ce référentiel est galiléen.

 b) En notant W la différence entre l'énergie interne de la particule A et la somme des énergies internes de B et C, calculer les normes p_1 et p_2 des quantités de mouvement de B et C dans $\mathcal{R}'$. Que peut-on dire de la "disposition" relative des vecteurs $\overrightarrow{p_1}$ et $\overrightarrow{p_2}$? Comparer W et la variation ΔE_c calculée à la question 2.

IV. Choc inélastique et énergie de seuil

• Une particule de masse m_1 (par exemple un électron), de vitesse $\overrightarrow{v_1}$, entre en collision avec une particule de masse m_2 (par exemple un atome), initialement immobile (dans un référentiel $\mathcal{R}$ galiléen).

• Sous l'effet du choc, la seconde particule passe de l'état d'énergie fondamental à un niveau excité, d'énergie d'excitation E.

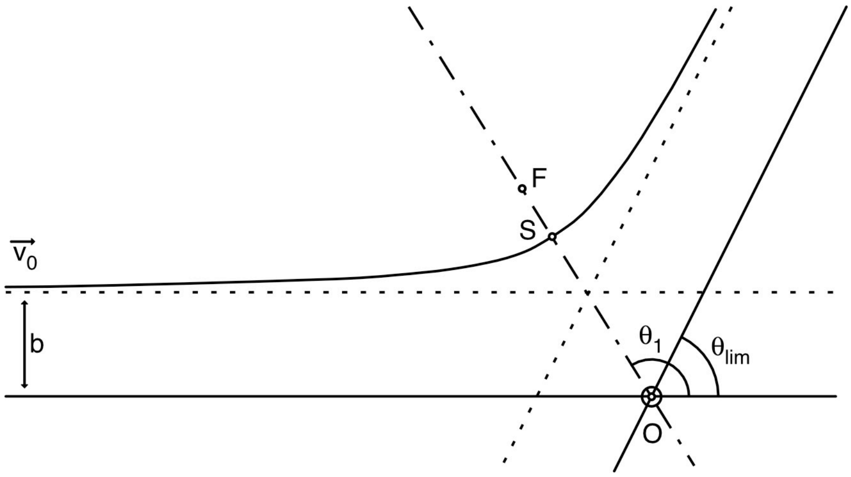
1. • Exprimer les conservations de la quantité de mouvement et de l'énergie totale du système, en désignant par $\overrightarrow{v'_1}$ et $\overrightarrow{v'_2}$ les vitesses des deux particules après le choc.

2. • On pose $\theta = (\overrightarrow{v_1};\overrightarrow{v'_1})$; montrer que v'_1 est déterminée par une équation du second degré dans laquelle θ intervient comme paramètre. En déduire que, pour que le choc puisse se produire en provoquant le passage au niveau excité, il faut que l'énergie cinétique de la particule incidente soit supérieure à un certain seuil E_0. Exprimer E_0 pour la valeur de θ la plus favorable.

V. Expérience de Rutherford

• L'expérience de Rutherford consiste à bombarder une mince feuille de métal (donc essentiellement les noyaux de ses atomes) par des particules α (noyaux d'atomes d'hélium, de masse m, avec $Z_1 = 2$).

1. • Justifier que tout se passe comme si les particules α interagissaient avec des noyaux de masse égale à celle de l'ensemble de la cible.



2. • En supposant un noyau cible fixe en O, et en supposant connues les conditions initiales $\vec{v_0}$ et b, exprimer le moment cinétique $\vec{\sigma_o}$ (à un instant quelconque du mouvement).

3. • Exprimer de façon analogue l'énergie potentielle et l'énergie mécanique (à un instant quelconque).

4. • D'après les lois de conservation, en déduire l'expression de la distance minimale d'approche.