

L3 LICENCE PHYSIQUE CHIMIE APPLICATION

Mention physique fondamentale

2L5PY21 RELATIVITÉ/PHYSIQUE NUCLEAIRE

Examen terminal du 4 septembre

Durée : 3h, Tout document interdit

Questions de cours (Répondre sur la feuille)

1. Energies de liaison.

- Donner l'ordre de grandeur de l'énergie de liaison  $B/A$  d'un noyau. Comment se compare  $B/A$  à l'énergie de masse d'un nucléon?
- Tracer la courbe  $B/A$  en fonction de  $A$ . On précisera les valeurs des axes des abscisses et des ordonnées.

2. On considère un modèle de goutte liquide décrivant un noyau de  $A$  nucléons,  $Z$  protons et  $N$  neutrons. Donner l'expression de l'énergie par nucléon  $E/A$  en fonction de  $A$  et  $Z$  (formule de Bethe-Weiszäcker). On donnera la valeur numérique des constantes.

3. Exprimer le rayon d'un noyau  $R$  en fonction du nombre de nucléons  $A$ . On donnera la valeur numérique de la constante.

3-a. AN : Rayon de  $^{40}\text{Ca}$  = ; Rayon de  $^{208}\text{Pb}$  =

3-b. Comment évolue la densité de matière  $\rho_0$  au centre d'un noyau lourd en fonction de la masse  $A$  du noyau?

Donner une estimation de  $\rho_0$ . Faire l'application numérique.

Exercice : Ombre portée sur un film photographique d'une règle inclinée en mouvement

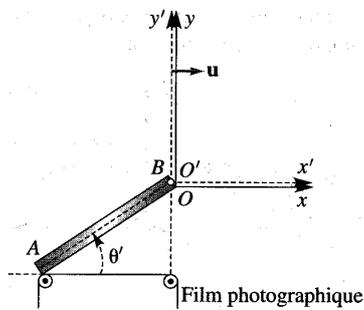
Une règle opaque, de longueur  $l$ , inclinée d'un angle  $\theta'$  par rapport à l'axe  $O'x'$  du référentiel  $\mathcal{R}'$  auquel elle est liée, se déplace avec une vitesse  $\mathbf{u} = u\mathbf{e}_x$  par rapport au référentiel du laboratoire  $\mathcal{R}$ . Un film photographique est déroulé dans  $\mathcal{R}$ , parallèlement à  $Ox$ . Une impulsion lumineuse instantanée est envoyée dans  $\mathcal{R}$ , à l'aide d'un flash, perpendiculairement au film.

1. Montrer que la longueur  $L$  du film non impressionné par la lumière a pour expression :

$$L = l \left| -\frac{\cos\theta'}{\gamma_e} + \beta_e \sin\theta' \right|$$

où  $\beta_e = u/c$ ,  $\gamma_e$  est le facteur relativiste associé (voir figure).

2. Examiner les cas particuliers  $\theta' = 0$  et  $\theta' = \pi/2$ .



### Problème : Emission et absorption d'un photon

- Un atome, dans un état excité, a une énergie de masse  $m_2$ . Il émet un photon. La masse de cet atome après l'émission du photon est  $m_1$ . On définit  $h\nu_0 = m_2c^2 - m_1c^2$  et  $E_i^* = m_i c^2$  ( $i=1, 2$ ). Calculer la fréquence  $\nu_e$  du photon émis, mesurée dans le référentiel où l'atome émetteur est initialement au repos, en tenant compte du recul de l'atome. On suppose  $h\nu_0 \ll m_i c^2$ .
- Cet atome, de masse  $m_1$  absorbe un photon, qui le fait passer de l'état d'énergie propre  $E_1^*$  à l'état excité d'énergie propre  $E_2^*$ ; sa masse, après absorption, valant alors  $m_2$ . Calculer la fréquence  $\nu_a$  du photon absorbé, mesurée dans le référentiel où l'atome est initialement au repos.
- En déduire la différence d'énergie  $\Delta E_r = h\nu_a - h\nu_e$  entre l'énergie du photon que l'atome doit absorber pour passer à l'état excité et celle du photon qu'il émet lorsqu'il redescend à l'état fondamental. Calculer numériquement  $\Delta E_r$  pour la raie jaune du sodium ( $\lambda_0 = 589.6$  nm).
- La source étant constituée d'une vapeur de gaz monoatomique à l'équilibre thermodynamique à la température  $T$ , calculer la vitesse quadratique moyenne des atomes émetteurs  $v$ . Calculer  $\beta = v/c$  pour  $T=500$  K. Evaluer l'élargissement Doppler de cette raie due à l'agitation thermique ( $\Delta\nu/\nu_0$ ) pour un observateur assez éloigné. En déduire la largeur  $\Delta E_D$  due à l'effet Doppler. Calculer numériquement  $\Delta E_D$  pour cette lampe à vapeur de sodium. Comparer  $\Delta E_D$  et  $\Delta E_r$  et conclure.
- On s'intéresse à l'émission ou l'absorption d'un photon gamma par le noyau  $^{60}\text{Ni}$ . Calculer  $\Delta E_r = h\nu_a - h\nu_e$ , due au recul du noyau, entre l'énergie du photon que le noyau doit absorber pour passer à l'état excité et celle du photon qu'il émet lorsqu'il redescend à l'état fondamental, pour une différence d'énergie propre  $h\nu_0 = 1.33$  MeV. Comparer cet écart  $\Delta E_r$  à la largeur Doppler de la raie en admettant que l'on peut utiliser la formule établie précédemment. On prendra  $T=300$  K. Conclure.
- Le noyau  $^{191}\text{Os}$  donne par décroissance  $\beta^-$  le noyau  $^{191}\text{Ir}$  dans un état excité qui émet un photon de 129 keV. Une cible contenant une proportion de noyaux  $^{191}\text{Ir}$  peut absorber par résonance ces photons. En 1958, Mössbauer, étudiant cette absorption par résonance des photons gamma, a constaté qu'en refroidissant la source et la cible dans l'azote liquide ( $T = 77$  K), la proportion des photons absorbés par résonance est plus importante qu'à température ordinaire ( $T = 300$  K). Donner une explication de ce phénomène, appelé effet Mössbauer, qui a été mis en évidence depuis pour plusieurs autres noyaux quand ils appartiennent à un réseau cristallin.

On donne :

$$m_{Na} \approx 23 \text{ u} ; m_{^{60}\text{Ni}} \approx 60 \text{ u} ; m_{^{191}\text{Ir}} \approx 191 \text{ u}$$

$$1 \text{ u} = 931.5 \text{ MeV}/c^2 = 1.66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$$

$$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

L'énergie cinétique moyenne des atomes d'un gaz monoatomique est  $E = \frac{3}{2}kT$