Pr. F. FASSI
Université Mohammed V de Rabat
Faculté des Sciences, Département de Physique

TD nº 1 de Physique Nucléaire
Filières : SMP-S5

Exercice 1: L'étude mathématique de la relativité restreinte a permis de montrer que l'énergie totale d'un corps de masse m et de vitesse v s'écrit : $E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

1.) Trouver la relation entre l'énergie totale et la quantité de mouvement relativiste d'une particule, de masse au repos m_0, animée d'une vitesse v : $E = \sqrt{p^2c^2 + m_0^2c^4}$

2.) Démontrer la relation suivante : $\beta = \sqrt{1 - \left(\frac{m_0 c^2}{E_c + m_0 c^2}\right)^2}$

Exemples d'application :
Quel est la vitesse d'un électron ayant une énergie cinétique de 2 MeV ?
Calculer l'énergie cinétique et la vitesse d'un électron dont la longueur d'onde de De Broglie vaut 5,52 10^{-14} m ?
Données : c = 2,9979. 10^8 ms^{-1} ; la constante de Planck h = 6,62 10^{-34} $J.s$ **;** 1 eV = $1{,}6022\times10^{-19}$J Énergie au repos de l´électron est : $m_0.c^2$ = 0,511 MeV

Exercice 2 : Les masses du proton, du neutron et de l'électron sont respectivement de : 1, 6726485.10^{-24}g, 1,6749543.10^{-24}g et 9,109534.10^{-28} g.
1.) Définir l'unité de masse atomique (u.m.a). Donner sa valeur en « g »
2.) Calculer en « u.m.a », les masses du proton, du neutron et de l'électron.
3.) Calculer d'après la relation d'Einstein (équivalence masse-énergie) le contenu énergétique d'une « u.m.a ou u » exprimée en MeV.
Données : Nombre d'Avogadro : N = 6,023.10^{23} mol^{-1} . 1 eV = $1{,}6022\cdot10^{-19}$ J

Exercice 3 : La masse atomique du Plomb (^{208}Pb) vaut 207,9766 u.
Que vaut l'énergie moyenne de liaison par nucléon ?
La masse atomique de ^{207}Pb vaut 206,9759 u et celle de ^{208}Pb de 207,9766 u.
Quelle est l'énergie minimale requise pour enlever un neutron au ^{208}Pb ?.
Données : 1MeV = 1,60218.10^{-13} J ; Masse du proton = 1,6726.10^{-27} kg = 1,0072765 u .
Masse du neutron= 1,6749.10^{-27} kg = 1,0086653 u.

Exercice 4 : L'élément silicium naturel Si (Z=14) est un mélange de trois isotopes stables $_{28}$Si, $_{29}$Si et $_{30}$Si. L'abondance naturelle de l'isotope le plus abondant est de 92,23%.
La masse molaire atomique du silicium naturel est de 28,085 g.mol-1.
1. Quel est l'isotope du silicium le plus abondant ?

2. Calculer l'abondance naturelle des deux autres isotopes

Exercice 5 : Le Béryllium 7, $^{7}_{4}Be$, est un élément produit lors de la nucléosynthèse dans les étoiles, il est le produit de deux réactions : La fusion de l'Helium 3 et de l'Helium 4 et la réaction proton sur Lithium 6, respectivement : $^{4}_{2}He + {}^{3}_{2}He \rightarrow {}^{7}_{4}Be$ (mode-1) $^{6}_{3}Li + p \rightarrow {}^{7}_{4}Be$ (mode-2). $^{7}_{4}Be$ est instable et décroît avec une période de $T_{1/2}$ = 53,22 jours vers le Lithium 7 ($^{7}_{3}Li$.). Pour des raisons énergétiques, le seul processus permis pour la désintégration de $^{7}_{4}Be$ est la capture électronique. Dans 10,3% des cas (mode-1), la réaction est suivie de l'émission des photons γ d'énergie 477,60 keV et il n'existe pas d'autre rayonnement γ (mode-2).

1) Écrire les équations bilans de la désintégration de $^{7}_{4}Be$

Pour cette réaction, l'énergie totale disponible pour donner l'énergie cinétique aux particules et produire les éventuels photons est de E=862keV. Le noyau fils étant créé avec une énergie cinétique négligeable.

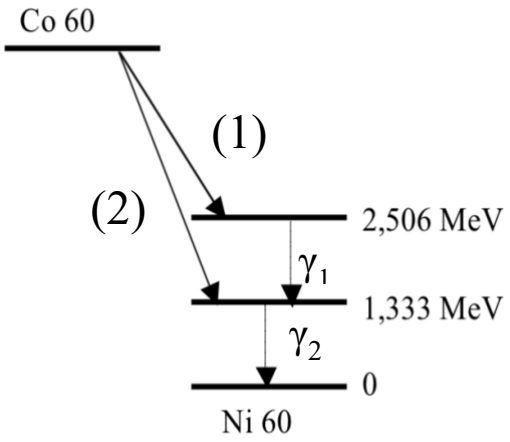
2) Quelle est l'énergie maximale emportée par le neutrino produit dans les voies (1) et (2).

3) Représenter le diagramme énergétique de la désintégration.

Exercice 6 : Les énergies de liaison du Cobalt 60 ($^{60}_{27}$Co) et du Nickel 60 ($^{60}_{28}$Ni) sont respectivement 524,76 MeV et 526,80 MeV.

1.) Expliquer pourquoi le noyau de $^{60}_{28}Ni$ est plus stable que le noyau de $^{60}_{27}Co$.

On donne le schéma de désintégration du $^{60}_{27}Co$.



2.) Identifier les modes de désintégrations possibles pour chacune des voies.

3.) Quel est l'énergie libéré par la réaction de désintégration du $^{60}_{27}$Co en $^{60}_{28}$Ni? .

On négligera les énergies de liaison des électrons et l'énergie de recul du noyau.

4.) Calculer les énergies cinétiques maximales des électrons émis.

5.) Calculer les énergies d'émission des raies γ1 et γ2.

On donne les masses, en Mev.c^{-2} : proton : m_p= 938,272; neutron : m_n= 939,565; électron : m_e= 0,511

Exercice 7 : Le sodium 22 ($^{22}_{11}$Na) se désintègre presqu'à 100% vers le premier état excité du néon 22 ($^{22}_{12}$Ne), situé à 1,27 MeV, soit par émission β^+ avec un rapport d'embranchement de 90%, soit par capture électronique.

1.) Ecrire les réactions de désintégration du $^{22}_{11}$Na

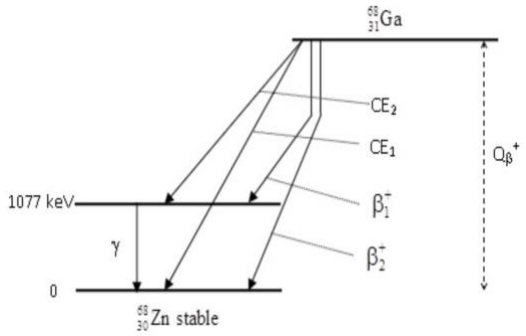
2.) Tracer le schéma de désintégration de $^{22}_{11}$Na en indiquant séparément les modes de désintégration et leur pourcentage absolu.

3.) Quel est l'énergie libéré par la capture électronique du $^{22}_{11}$Na?

4.) Estimer l'énergie cinétique maximale des positrons émis lors de la transition β+.

On donne les masses atomiques du $^{22}_{11}Na$ et du $^{22}_{10}Ne$: $m_{Na} = 21{,}9944364$ u; $m_{Ne} = 21.991385110$ u. Unité de masse : u = 1,6605402.10^{-27} kg = 931,494MeV/c^2

Exercice 8 : L'isotope gallium 68 ($^{68}_{31}Ga$) se désintègre principalement par émission d'un positon, β^+, (88%) ou par capture électronique, CE, (11%) pour donne le zinc ($^{68}_{31}Zn$) selon le schéma suivant. Sa période radioactive est de 67,71 minutes.



1.) Ecrire les réactions de désintégration du $^{68}_{31}Ga$

2.) Calculer l'énergie Qβ+ mise en jeu lors de la désintégration β+.

3.) Calculer l'énergie cinétique maximale $E^{max}_{\beta^+_1}$ des positons β+ émis.

On donne les masses atomiques : m($^{68}_{30}Zn$) = 67.9248442u; m($^{68}_{31}Ga$) = 67.9279801u

Exercice 9 : Un noyau ($^{A}_{Z}X$) émet plusieurs particules α d'énergie E_1, E_2 et E_3, les particules alpha (α) d'énergie E_1 correspondant à l'état fondamental du noyau descendant. Les énergies E_2, E_3 correspondent aux états excités E^*_2 et E^*_3 respectivement.

1.) Écrire, en utilisant les lois de conservation dans les réactions nucléaires, la réaction de désintégration α du noyau $^{A}_{Z}X$

2.) Calculer les énergies gamma (γ) émis avec les particules.