CORRRIGE

SERIE

RAYONNEMENT

Exercice 1 :

1- Etablir le tableau de classification des rayonnements électromagnétiques en fonction des longueurs d'ondes dans le vide.

2- Déterminez les périodes T et longueurs d'ondes λ correspondant à chacune des radiations électromagnétiques de fréquences suivantes :

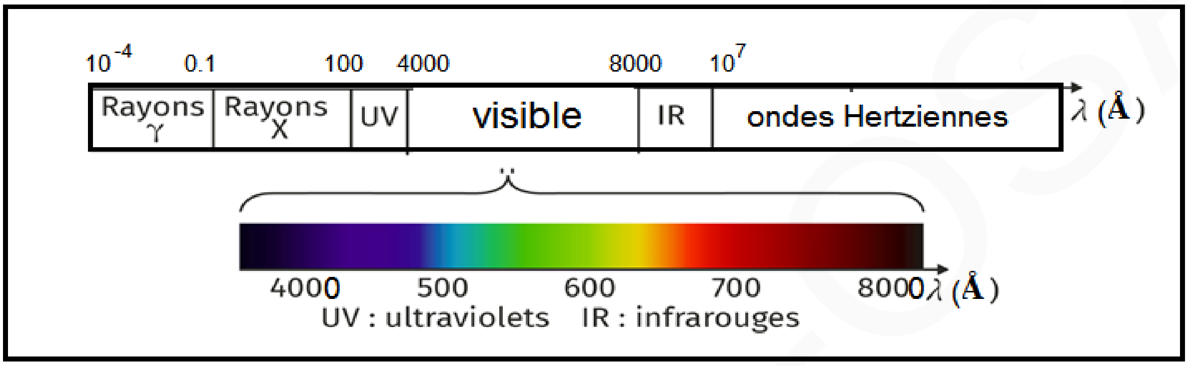
$$\nu_1 = 10^{15}(Hz);\ \nu_2 = 6.10^{14}(Hz);\ \nu_3 = 2{,}4\ 10^{10}(Hz);\ \nu_4 = 121\ 10^5(Hz)$$

a- situer ces radiations par rapport au spectre global des ondes électromagnétiques.

b- sont-elles ionisantes, pourquoi ?

Réponse :

1) Tableau de classification des rayonnements électromagnétiques en fonction des longueurs d'ondes dans le vide



2) périodes T et longueurs d'ondes λ correspondant à chacune des radiations électromagnétiques de fréquences suivantes :

$$\nu_1 = 10^{15}(Hz);\ \nu_2 = 6.10^{14}(Hz);\ \nu_3 = 2{,}4\ 10^{10}(Hz);\ \nu_4 = 121\ 10^5(Hz)$$

a- La période est donnée par : $T = \frac{1}{\nu}$

$$T_1 = \frac{1}{\nu_1} \rightarrow T_1 = \frac{1}{10^{15}} \rightarrow T_1 = 10^{-15}\ (s)$$

$$T_2 = \frac{1}{\nu_2} \rightarrow T_2 = \frac{1}{6.10^{14}} \rightarrow T_2 = 1{,}67\ .10^{-15}\ (s)$$

$$T_3 = \frac{1}{\nu_3} \rightarrow T_3 = \frac{1}{2{,}4\ 10^{10}} \rightarrow T_3 = 4{,}17.10^{-11}\ (s)$$

$$T_4 = \frac{1}{\nu_4} \rightarrow T_4 = \frac{1}{121\ 10^5} \rightarrow T_4 = 8{,}26\ 10^{-8}\ (s)$$

b- la longueur d'onde est donnée par : $\lambda = C \times T$

$\lambda_1 = C \times T_1 \rightarrow\ \ \lambda_1 = 3.10^{-7}(m)\qquad \lambda_1 = 3000\ (Å) \rightarrow \mathit{radiation}$ ultraviolette

$\lambda_2 = C \times T_2 \rightarrow\ \ \lambda_2 = 5.10^{-7}(m)\qquad \lambda_2 = 5000\ (Å) \rightarrow$ Visible

$\lambda_3 = C \times T_3 \rightarrow\ \ \lambda_3 = 1{,}25.10^{-4}(m)\qquad \lambda_3 = 0{,}0125\ m \rightarrow$ Micro – onde

$\lambda_4 = C \times T_4 \rightarrow\ \ \lambda_4 = 3\ 10^{-7}(m)\qquad \lambda_4 = 24{,}8\ (m) \rightarrow$ onde – Radio.

c- Sont-elles ionisantes, pourquoi ?

Une radiation est ionisante si son énergie E vérifie : E >13,6 (eV).

une radiation est ionisante si : E ≥ 13.6 eV

$$E = \frac{12400\ \ eV.Å}{\lambda(Å)}\quad \text{donc}\quad \frac{12400\ \ eV.Å}{\lambda(Å)} \geq 13.6\ eV \qquad \lambda \leq 911\ Å$$

On a E = h. ν E ≥ 13.6 eV h. ν ≥ 13.6 eV cette relation donne l'énergie on joule donc on aura

$$h.\nu \geq 13.6\ .\ 1.6\ 10^{-19}\qquad \nu \geq \frac{13.6 .1.6\ 10{-}19}{h}\qquad \nu \geq \frac{13.6 * 1.6\ 10^{-19}}{6.62 * .10^{-34}}\qquad \nu \geq 3.3 * 10^{15}\ \text{Hz}$$

Conclusion : une radiation est ionisante si :

En énergie : $E \geq 13.6$ eV

En longueur d'onde : $\lambda \leq 911$ Å

En fréquence : $\nu \geq 3.3 * 10^{15}$ Hz

Donc :

$$\lambda_1 = 3000\ (\text{Å}) > 911(\text{Å}) \rightarrow \text{radiation non ionisante}$$

$$\lambda_2 = 5000\ (\text{Å}) > 911(\text{Å}) \rightarrow \text{radiation non ionisante}$$

$$\lambda_3 = 0{,}0125\ \text{m} > 911(\text{Å}) \rightarrow \text{radiation non ionisante}$$

$$\lambda_4 = 24{,}8\ (m) > 911(\text{Å}) \rightarrow \text{radiation non ionisante}$$

Exercice 2 :
Une onde électromagnétique se propage dans l'eau. Cette onde se caractérise par une énergie E :

a- supérieure à celle qu'elle aurait dans le vide.
b- égale à celle qu'elle aurait dans le vide.
c- inférieure à celle qu'elle aurait dans le vide.
d- toutes ces réponses sont fausses.

Réponse :
L'énergie d'une radiation est donnée par : $E = h \times \nu$
h = constante de Planck
ν = fréquence
La fréquence est un paramètre temps ; Les paramètres temps sont indépendants du milieu de propagation ; donc l'énergie est constante et ne dépend pas du milieu et elle est égale à celle qu'elle aurait dans le vide.

Exercice 3 :
Un rayonnement électromagnétique composé respectivement de deux radiations de longueur d'onde dans le vide λ_1 et λ_2 (avec $\lambda_1 = 0{,}4$ µm et $\lambda_2 = 0{,}005$ µm). Ce rayonnement est :

a- un rayonnement électromagnétique ionisant.
b- un rayonnement particulaire non ionisant.
c- un rayonnement électromagnétique non ionisant.
d- toutes ces réponses sont fausses.

Réponse :
Un rayonnement est l'ensemble de plusieurs radiations, et si une seule radiation est ionisante le rayonnent est dit ionisant.

$$\lambda_1 = 0{,}4\ \mu m = 4000\ (\text{Å}) > 911\ (\text{Å}) \rightarrow \text{radiation non ionisante}$$
$$\lambda_2 = 0{,}005\ \mu m = 50\ (\text{Å}) < 911\ (\text{Å}) \rightarrow \text{radiation ionisante}$$

Conclusion : Le rayonnement est donc ionisant.

Exercice 4 :
Soit une radiation de longueur d'onde 0,3 μm dans le vide. Est-elle ionisante vis-à-vis des structures moléculaires biologiques ?
Soit une radiation de longueur d'onde 0,4 μm dans le vide, celle-ci est-elle ionisante ? Qu'en est-il alors pour les autres radiations du visible ?

Réponse :

Une radiation est ionisante si son énergie E vérifie : E >13,6 (eV).

Ou si sa longueur d'onde vérifie : $\lambda < 911\ (\text{Å})$

$$\lambda = 0{,}3\ \mu m = 3000\ (\text{Å}) > 911\ (\text{Å}) \rightarrow \text{radiation non ionisante}$$

$$\lambda = 0{,}4\ \mu m = 4000\ (\text{Å}) > 911\ (\text{Å}) \rightarrow \text{radiation non ionisante}$$

Qu'en est-il pour les autres radiations du visible ?

Le visible est compris entre : $4000 < \lambda < 8000\ (\text{Å})$

$$\lambda = 8000\ (\text{Å}) > 911\ (\text{Å}) \rightarrow \text{radiation non ionisante}$$

Conclusion : La lumière visible n'est pas ionisante.

Exercice 5 :

Situer les radiations électromagnétiques suivantes :

1- onde de fréquence ν (ν = 3.10^8 Hz).

2- onde de longueur d'onde λ (λ = 6000.10^{-10} m) dans un milieu transparent d'indice n = 2.

3- onde de longueur d'onde λ (λ = 0,3 mm) dans un milieu où la vitesse v de propagation de la lumière est v = 2.10^8 m/s.

Réponse :

1- Onde de fréquence ν=3.10^8 Hz.

$$\lambda = \frac{C}{\nu} \qquad \lambda = \frac{3\ 10^8}{3\ 10^8} \rightarrow \lambda = 1\ (\text{m}) \rightarrow \text{onde} - \text{radio.}$$

2- Onde de longueur d'onde (λ = 6000.10^{-10} m) dans un milieu transparent d'indice n = 2.

Dans le vide la longueur d'onde est donnée par : $\lambda = C \times T$

Dans un milieu d'indice n la vitesse de l'onde est V, sa longueur d'onde est donnée par : $\lambda_m = V \times T$

$$\frac{\lambda}{\lambda_m} = \frac{C \times T}{V \times T} \qquad \frac{\lambda}{\lambda_m} = \frac{C}{V}$$

Sachant que n = $\frac{C}{V}$ on a donc $\frac{\lambda}{\lambda_m} = n \qquad \lambda = n \times \lambda_m$

$\lambda = 2 \times 6000 \qquad \lambda = 12000(\text{Å}) \rightarrow \text{Micro} - \text{onde}$

3- Onde de longueur d'onde 0,3 mm dans un milieu où la vitesse de propagation de la lumière est égale à 2.10^8 m/s.

$$\frac{\lambda}{\lambda_m} = \frac{C \times T}{V \times T} \qquad \frac{\lambda}{\lambda_m} = \frac{C}{V}$$

$$\lambda = \frac{C}{V} \times \lambda_m \qquad \lambda = \frac{3.108}{2.108} \times 0{,}3 \quad \lambda = 4{,}5\ (\text{mm}) \rightarrow \text{infra} - \text{rouge}$$

Exercice 6 :

Les particules matérielles suivantes sont-elles relativistes ?

a- une particule de vitesse v = 4.10^6 m/s.

b- une bille de masse au repos 10 g et d'énergie cinétique 5 J.

d- un deuton d'énergie totale 3,8 GeV et d'énergie au repos 1,9.10^9 eV. d- un muon d'énergie cinétique 300 MeV et énergie totale 4.10^8 eV.

Réponse :

Pour verifier si la particule est classique ou reltiviste :

- En termes de vitesse :

$$\beta = \frac{V}{C}\begin{cases} \text{si } \beta > 0{,}1 & \textit{la particule est relativiste.} \\ \text{si } \beta \leq 0{,}1 & \text{la particule est classique.} \end{cases}$$

- En termes d'énergie

$$\begin{cases} \text{si } \left(\frac{Ec}{E_0}\right) > \frac{1}{200} = 5\ 10^{-3} & \text{la particule est relativiste.} \\ \text{si } \left(\frac{Ec}{E_0}\right) \leq \frac{1}{200} = 5\ 10^{-3} & \text{la particule est classique.} \end{cases}$$

Avec Ec = énergie cinétique $E_0 = \textit{énergie au repos}$

1) Une particule de vitesse $V = 4\ 10^6 \left(\frac{m}{s}\right)$.

$$\beta = \frac{V}{C} \quad \beta = \frac{4.10^6}{3.10^8} \quad \beta = 0{,}013 < 0{,}1 \text{ particule classique}$$

2) Une bille de masse au repos 10 gr et d'énergie cinétique 5 J.

On calcule l'énergie au repos de la particule : $E_0 = m_0 \times c^2 \quad E_0 = 10.10^{-3} \times (3.10^8)^2 \rightarrow E_0 = 9.10^{14}$(j)

$$\frac{Ec}{E_0} = \frac{5.}{9.10^{14}} \quad \frac{Ec}{E_0} = 5{,}5\ 10^{-15} \ll 5.10^{-3} \rightarrow \text{particule classique.}$$

3) Un deuton d'énergie totale 3,8 GeV et d'énergie au repos 1,9 10^9 eV.

Le deuton (^{2}H ou D) est un isotope naturel de l'hydrogène, il possède un proton et un neutron.
Le tritium (^{3}H ou T) est un isotope naturel de l'hydrogène ; il possède un proton et deux neutrons.
On calcule l'énergie cinétique du deuton :
L'énergie totale E est donnée par :

$$E = E_0 + E_c \rightarrow E_c = E - E_0 \rightarrow E_c = 3{,}8\ 10^9 - 1{,}9\ 10^9 \rightarrow E_c = 1{,}9\ 10^9 \text{(eV)}$$

$$\frac{Ec}{E_0} = \frac{1{,}9\ 10^9}{1{,}9\ 10^9} \quad \frac{Ec}{E_0} = 1 > \frac{1}{200} = 5.10^{-3} \rightarrow \text{particule relativiste}$$

4) Un muon d'énergie cinétique 300 MeV et énergie totale 4. 10^8 eV.

Le muon est une particule instable de même charge électrique que l'électron avec une masse 207 fois plus grande.

$$E = E_0 + E_c \rightarrow E_0 = E - E_c \rightarrow E_0 = 3{,}8\ 10^9 - 1{,}9\ 10^9 \rightarrow E_0 = 1{,}0\ 10^8 \text{(eV)}$$

$$\frac{Ec}{E_0} = \frac{3\ 10^8}{10^8} \quad \frac{Ec}{E_0} = 3 > \frac{1}{200} = 5\ 10^{-3} \rightarrow \text{particule relativiste}$$

Exercice 7 :
Calculez l'énergie et la quantité de mouvement des photons associés aux ondes électromagnétiques de longueurs d'ondes suivantes, se propageant dans le vide :
$\lambda_1 = 10^3$ m ; $\lambda_2 = 10^{-2}$m $\lambda_3 = 10^{-4}$ m $\lambda_4 = 4{,}9\ 10^{-6}$ m $\lambda_5 = 1{,}4\ 10^{-7}$ m $\lambda_6 = 3\ 10^{-10}$ m
Classez ces radiations dans le spectre global des ondes électromagnétiques.
Quelles sont les radiations ionisantes ?

Réponse :
L'énergie d'un photon est donnée par :

$$E = \frac{124000 \quad (\text{eV} - \text{Å})}{\lambda\,(\text{Å})}$$

et sa quantité de mouvement par **:**

$$P = \frac{E}{C} \quad P = \frac{h}{\lambda}$$

Longueur d’onde $\lambda\,(m)$	Longueur d’onde $\lambda\,(\text{Å})$	Energie E (eV)	Quantité de mouvement kg.m/s	Type de radiation	Ionisante ou non
10^{3}	10^{7}	0,00124	$6{,}61\ 10^{-31}$	O.H	non
10^{-2}	10^{8}	0,000124	$6{,}61\ 10^{-32}$	O.H	non
10^{-4}	10^{6}	0,01240	$6{,}61\ 10^{-30}$	I.R	non
$4{,}9\ 10^{-6}$	$4{,}9\ 10^{4}$	0,25	$1{,}33\ 10^{-28}$	I.R	non
$1{,}4\ 10^{-7}$	1400	8,85	$4{,}7\ 10^{-27}$	VISIBLE	non
$3\ 10^{-10}$	3	4133	$2{,}2\ 10^{-24}$	R.GAMA	oui

Exercice 8 :
Calculez la quantité de mouvement des photons suivants dans le vide.
1- pour un photon d’énergie E = 900 KeV.
2- pour un photon associé à une onde de fréquence $2{,}4.10^{15}$ Hz.
3-pour un photon associé à une onde de longueur d’onde 2 µm.

Réponse :

1- La quantité de mouvement d’un photon d'énergie E =900 keV :

$$p = \frac{E}{C} \qquad p = \frac{900.10^{3} \times 1{,}6\ 10^{-19}}{3.10^{8}} \qquad p = 4{,}8\ 10^{-22}\left(\frac{\mathrm{J.s}}{\mathrm{m}}\right).$$

2- Photon associé à une onde de fréquence $2{,}4.10^{15}$(Hz).

$$p = \frac{E}{C} \qquad p = \frac{h.\nu}{C} \qquad p = \frac{6{,}62\ 10^{-34} \times 2{,}4\ 10^{15}}{3\ 10^{8}} \qquad p = 5{,}3\ 10^{-27}\left(\frac{\mathrm{J.s}}{\mathrm{m}}\right).$$

3- Photon associé à une onde de longueur d'onde 2 µm.

$$p = \frac{E}{C} \qquad p = \frac{h.C}{\lambda.C} \qquad p = \frac{h}{\lambda} \qquad p = \frac{6{,}62\ 10^{-34}}{2\ 10^{4}} \qquad p = 3{,}31\ 10^{-28}\left(\frac{\mathrm{J.s}}{\mathrm{m}}\right).$$

Exercice 9 :
L’énergie d’un électron en mouvement est trois fois plus grande que son énergie au repos.
1- calculez l’énergie cinétique et la vitesse de cet électron.
2- quelle est la longueur d’onde associée ?
3- quelle serait l’énergie d’un proton de même vitesse que l’électron ?
4- un électron et un neutron d’énergie cinétique 50 KeV sont-ils des particules relevant de la mécanique relativiste ?

Réponse :

1- calcul de l’énergie cinétique de l’électron :

L’énergie totale E est donnée par : $E = E_0 + E_C$ $\qquad E_C = E - E_0$

L’énergie est trois fois plus grande que son énergie au repos donc $E = 3.E_0$

$E_C = E - E_0 \quad E_C = 3.E_0 - E_0 \quad E_C = 2.E_0 \quad E_C = 2.\ 0{,}511 \quad E_C = 1{,}022$ MeV

- Calcul de la vitesse de l’électron

On a $E_C = 2.E_0$

$\frac{E_C}{E_0} = \frac{2.E_0}{E_0} \qquad \frac{E_C}{E_0} = 2 > \frac{1}{200}$ donc électron relativiste.

Le calcul de la vitesse revient au calcul de β $\left(\beta = \frac{v}{C} \rightarrow v = \beta \times C\right)$

$$E = \frac{E_0}{\sqrt{1-\beta^2}} \rightarrow \sqrt{1-\beta^2} = \frac{E_0}{E} \rightarrow \beta = \sqrt{1-\left(\frac{E_0}{3.E_0}\right)^2} \rightarrow \beta = \sqrt{1-\left(\frac{1}{3}\right)^2} \rightarrow \beta = 0{,}94$$

La vitesse de cet électron est donc : $\beta = \frac{v}{C} \rightarrow v = \beta \times Cv = 0{,}866 \times 3\ 10^8 \rightarrow v = 2{,}6\ 10^8 m/s$

2- La longueur d'onde de cet électron est donnée par :

$\lambda = \frac{h}{p}$ on a $p = \frac{E\times\beta}{C}$ donc $\lambda = \frac{h}{\frac{E\times\beta}{C}}$ $\lambda = \frac{h.C}{E\times\beta}$ $\lambda = \frac{h.C}{3.E_0\times\beta}$

$\lambda = \frac{12400}{3.0.511\ .10^6.0{,}94}$ $\lambda = 0{,}0086\ (\text{Å})$

3- énergie d'un proton de même vitesse que l'électron.

On a: $E = \frac{E_{0p}}{\sqrt{1-\beta^2}}$ $\beta = 0{,}94$ et $E_{0p} = 938$ MeV

$E = \frac{938}{\sqrt{1-0{,}94^2}}$ E =2749,3 MeV

3- un électron et un neutron d'énergie cinétique 50 KeV sont-ils des particules relevant de la mécanique Relativiste ?

Pour l'électron : $\frac{E_C}{E_0} = \frac{2.50.10^3}{0{,}511.10^6}$ $\frac{E_C}{E_0} = 0{,}195 > \frac{1}{200}$ donc électron relativiste.

Pour le neutron : $\frac{E_C}{E_{0n}} = \frac{2.50.10^3}{939.10^6}$ $\frac{E_C}{E_{0n}} = 10^{-4} < \frac{1}{200}$ donc neutron classique.

Exercice 10 :

Soient des photons associés à une onde électromagnétique de fréquence 6.10^{14} Hz. Quelle est leur quantité de mouvement dans le vide ? Même question pour des protons de masse m ($m = 1{,}25\ m_0$)

Réponse :

La quantité de mouvement d'un photon est donnée par :

$p = \frac{E}{C}$ $p = \frac{h.v}{C}$ $p = \frac{6{,}62\ 10^{-34}.\ 6\ 10^{14}}{3\ 10^8}$ $p = 13{,}2\ 10^{-28}\left(\frac{J.s}{m}\right)$.

La quantité de mouvement d'un proton est donnée par :

$p = \beta\frac{E}{C}$ *avec* $E = m_p.C^2$ $E = 1{,}25\ m_{0p}\ .C^2$ $E = 1{,}25\ E_{0p}$

Calcul de β :

$$E = \frac{E_{0p}}{\sqrt{1-\beta^2}} \rightarrow \sqrt{1-\beta^2} = \frac{E_{0p}}{E} \rightarrow \beta = \sqrt{1-\left(\frac{E_{0p}}{1{,}25\ E_{0p}}\right)^2} \rightarrow \beta = \sqrt{1-\left(\frac{1}{1{,}25}\right)^2} \rightarrow \beta = 0{,}6$$

$$p = \beta\frac{1{,}25\ E_{0p}}{C} \quad p = 0{,}6\frac{1{,}25\ .938.10^6.1{,}6.10^{-19}}{3.10^8} \quad p = 3{,}75.10^{-21}\left(\frac{J.s}{m}\right)$$

Exercice 11 :
Un électron se déplace avec une vitesse v = 0,6 c.

1- calculez :

a- son énergie cinétique.
b- sa quantité de mouvement.
2- déterminez la vitesse d'un proton ayant :
a- même énergie cinétique que cet électron.
b- même quantité de mouvement que cet électron.

Réponse:

1-a – calcul de l'énergie cinétique de l'électron :

$E = E_0 + E_C$ **avec** $E = \frac{E_0}{\sqrt{1-\beta^2}} \rightarrow \frac{E_0}{\sqrt{1-\beta^2}} = E_0 + E_C \rightarrow E_C = \frac{E_0}{\sqrt{1-\beta^2}} - E_0 \rightarrow E_C = E_0.(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1)$

$\rightarrow E_C = 0{,}511.(\frac{1}{\sqrt{1-0{,}6^2}} - 1) \rightarrow$ *avec* $\beta = 0{,}6$ *on aura* $E_C = 0{,}128$ MeV

1-b-La quantité de mouvement de l'électron est donnée par :

$p = \beta\frac{E}{C}$ *on a* $E = \frac{E_{0p}}{\sqrt{1-\beta^2}}$ donc $p = \beta\frac{\frac{E_{0p}}{\sqrt{1-\beta^2}}}{C}$ $p = \beta\frac{E_{0p}}{c.\sqrt{1-\beta^2}}$ $p = 0{,}6.\frac{0{,}511.10^6.1{,}6.10^{-19}}{3.10^8..\sqrt{1-0{,}6^2}}$ $p = 2.10^{-22}\left(\frac{J.s}{m}\right)$

2-a- calcul de la vitesse d'un proton ayant même énergie cinétique que cet électron :

$E_C = 0{,}128$ MeV
On vérifie si le proton est relativiste : $\frac{E_C}{E_0} = \frac{0{,}128}{938}$ $\frac{E_C}{E_0} = 1{,}3\,.\,10^{-4} < \frac{1}{200}$ donc proton classique

L'énergie cinétique est donnée par : $E_C = \frac{1}{2}m_{0p}\,.\,V^2$ avec $V = \beta.C$ on aura $E_C = \frac{1}{2}m_{0p}\,.\,(\beta.C)^2$

$E_C = \frac{(\beta)^2}{2}m_{0p}\,.\,(C)^2$ $E_C = \frac{(\beta)^2.E_{0p}}{2}$ $\beta = \sqrt{\frac{2.E_c}{E_{0p}}}$ $\beta = \sqrt{\frac{2\,.0{,}128}{938}}$ $\beta = 0{,}0165$

La vitesse de cet électron est donc : $\beta = \frac{v}{C} \rightarrow v = \beta \times C$ $v = 0{,}0165 \times 3\,10^8 \rightarrow v = 4{,}95.10^6$ m/s

2-b- calcul de la vitesse d'un proton ayant la même quantité de mouvement que cet électron:

On a pour le proton $p = 2.10^{-22}\left(\frac{J.s}{m}\right)$

Le proton étant classique on écrit :

$p = \beta\frac{E_{0p}}{C}$ $\beta = \frac{p.c}{E_{0p}}$ $\beta = \frac{2.10^{-22}.3.10^8}{938.10^6.1{,}6.10^{-19}}$ $\beta = 4..10^{-4}$

$V = \beta\,.C$ $V = 4..10^{-4}.3.10^8$ $V = 1{,}23\,10^5 V = 1{,}23\,10^5(\frac{m}{s})$