Physicité

IPhO : Radioactivité et physique nucléaire (exercices)

1 Radioactivité

1.1 Datation

Exercice 1 : Datation au carbone 14 (Test de présélection 2015)

Le carbone 14 est formé par les rayons cosmiques qui viennent bombarder le CO_2 de l'atmosphère. L'isotope ${}^{14}_{6}C$ a un temps de demi-vie de 5730 années. Durant toute la durée de sa vie, une plante l'absorbe. Une fois qu'elle meurt, la quantité de ${}^{14}C$ décroit. Quel est environ l'âge d'un morceau de bois contenant une quantité de ${}^{14}C$ égale à seulement 9$\%$ de celle d'une plante vivante ?

1. 20 ans
2. 500 ans
3. 20 000 ans
4. 50 000 ans

1.2 Demi-vie

Exercice 2 : Désintégration du radium (Test de présélection 2019)

Le radium, élément extrêmement rare, fut découvert par Pierre et Marie Curie en 1898. Il fait partie de la descendance radioactive de l'uranium (c'est l'unique voie de formation du radium). On trouve des traces de radium dans les minerais d'uranium, à raison de $3,23.10^{-7}g$ de radium pour 1 g d'uranium.
Sachant que le temps de demi vie du radium est de 1600 ans et que les masses atomiques de l'uranium et du radium sont de 238 et 226 respectivement, quelle est la valeur du nombre de désintégrations par seconde dans un gramme de radium ?

1. 4.10^{10}
2. 2.10^{10}
3. 4.10^{7}
4. 2.10^{7}

Exercice 3 : Demi-vie du césium (Test de présélection 2021)

On dispose d'un échantillon de césium 137 de demi-vie $t_{\frac{1}{2}}$ = 30 ans.
Quelle proportion de noyaux radioactifs reste-il au bout de 300 ans ?

1. 0.05 %
2. 0.1 %
3. 1 %
4. 5 %

Exercice 4 : Demi-vie d'une espèce radioactive (Test de présélection 2025)

On cherche à déterminer la demi-vie d'une espèce radioactive. Pour cela, on mesure le nombre de désintégration vers une autre espèce en une seconde. Pour un instant t_1, on mesure 2761 désintégrations en une seconde. Pour un instant $t_2 = t_1 + 1j$, on mesure 2 280 désintégrations en une seconde.
Quel est le temps de demi-vie de l'espèce considérée ?

1. $t_{\frac{1}{2}} = 3,62j$
2. $t_{\frac{1}{2}} = 6,62h$
3. $t_{\frac{1}{2}} = 5,22j$
4. $t_{\frac{1}{2}} = 6,62s$

2 Physique nucléaire

2.1 Particules

Cet exercice nécessite la connaissance de quelques concepts de mécanique. Ceux-ci seront abordés dans la séance de mécanique ou bien ont été vus avec vos professeurs en classe.

A toute fin utile, on rappelle l'expression de la force de Coulomb, où $\overrightarrow{u_{AB}}$ est le vecteur unitaire (de norme 1) porté par le vecteur $\overrightarrow{AB}$:

$$\overrightarrow{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_A q_B}{AB^2}\overrightarrow{u_{AB}}$$

Exercice 5 : Distance minimale d'approche (Test de présélection 2022)

Les particules α ou rayons α sont une forme de rayonnement émis par des noyaux instables de grande masse. Elle sont constituées de deux protons et de deux neutrons. On s'intéresse ici au bombardement d'un atome d'uranium $Z = 92$ par une particule α d'énergie $5,6MeV$. La collision est frontale et l'énergie est conservée. La masse de l'atome d'uranium étant si importe devant celle de la particule α, on suppose que le noyau d'uranium reste immobile.
En négligeant les effets du nuage électronique, à quelle distance minimale d, la particule α peut-elle s'approcher du noyau de l'atome ?

1. $d \approx 5.10^{-14}m$
2. $d \approx 5.10^{-10}m$
3. $d \approx 8.10^{-21}m$
4. $d \approx 5.10^{-10}m$

2.2 Défaut de masse

Exercice 6 : Défaut de masse du Soleil (Test de présélection 2015)

Le Soleil irradie dans toutes les directions. Au niveau de la Terre, le Soleil irradie avec une puissance surfacique de $1,4kW/m^2$. La distance Terre-Soleil est de $1,5 \times 10^{11}m$. Quel est l'ordre de grandeur de la masse perdue par le Soleil en une journée ?

1. 10^{14} kg
2. 10^{9} kg
3. 10^{4} kg
4. 10^{22} kg

Indices : L'émission du Soleil est isotrope :la puissance se répartit sur une sphère de rayon R.

2.3 Énergie

Exercice 7 : Le LHC (Test de présélection 2022)

Le Grand collisionneur de hadrons (LHC) est le plus puissant accélérateur de particules jamais construit. Il accélère des protons à une vitesse proche de celle de la lumière. Il consiste en un anneau de 27 kilomètres de circonférence composé essentiellement d'aimants supraconducteurs et équipé de structures accélératrices qui augmentent l'énergie des particules qui y circulent. Les faisceaux de protons circulent en sens inverse dans l'anneau. Chaque proton du faisceau a une énergie d'environ 7 TeV. Chaque faisceau contient environ 2800 paquets de protons et chaque paquet de protons contient environ $1,2.10^{11}$ protons.
Quelle est l'intensité du courant électrique du faisceau de protons ?

1. $5.10^{-9} A$
2. $5.10^{-12} A$
3. $0,6 A$
4. $6.10^{2} A$

Indices : Le courant électrique est la charge électrique traversant une section par unité de temps.

3 Analyse dimensionnelle

Pour toute cette partie, on rappelle l'expression de la force de Coulomb $\overrightarrow{u_{AB}}$ est le vecteur unitaire (de norme 1) porté par le vecteur $\overrightarrow{AB}$:

$$\overrightarrow{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_A q_B}{AB^2}\overrightarrow{u_{AB}} = k\frac{q_A q_B}{AB^2}\overrightarrow{u_{AB}}$$

3.1 Evaluer la dimension d'une grandeur

Exercice 8 : Homogénéité (Test de présélection 2015)

A quoi est homogène : $\frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m e^2}$

1. Une énergie
2. Une quantité de mouvement
3. Une longueur
4. Un temps

Exercice 9 : La puissance de Larmor (Test de présélection 2016)

La puissance de Larmor correspond à la puissance rayonnée par une particule de charge q, d'accélération a. Parmi les formules suivantes, où c est la célérité de la lumière dans le vide, ϵ_0 la permittivité diélectrique du vide, laquelle peut correspondre à cette puissance ?

1. $\frac{q^4 a^2}{6\pi\epsilon_0 c^3}$
2. $\frac{q^4 a^2}{6\pi\epsilon_0^2 c^3}$
3. $\frac{q^2 a^2}{6\pi\epsilon_0 c^3}$
4. $\frac{q^2 a^2}{6\pi\epsilon_0 c^2}$

Exercice 10 : Condensat de Bose-Einstein (Test de présélection 2017)

Si l'on néglige l'interaction entre les particules appelées bosons, on peut définir une densité particulaire $\rho = \frac{N}{V}$ limite (N représente le nombre de bosons dans un volume V fixé). Au delà de cette valeur, les bosons se regroupent macroscopiquement dans l'état fondamental de la boîte confinant les particules. C'est le phénomène physique appelé condensation de Bose-Einstein.
Quelle est la seule valeur possible pour cette densité particulaire limite ?

1. $\frac{2.612(2\pi m k_B T)^{5/2}}{h^3}$
2. $\frac{2.612 h^3}{(2\pi m k_B T)^{5/2}}$
3. $\frac{2.612 h^3}{(2\pi m k_B T)^{3/2}}$
4. $\frac{2.612(2\pi m k_B T)^{3/2}}{h^3}$

Indice : k_BT représente l'énergie des fluctuations thermiques

3.2 Trouver une loi d'échelle

Exercice 11 : Cratères (Test de présélection 2022)

De larges cratères présents à la surface terrestre ont été formés par des impacts de météorites. Le diamètre D d'un cratère dépend de l'énergie cinétique de la météorite E, de la densité ρ de la croûte terrestre et de l'accélération de pesanteur g (la matière étant éjectée). On admet que D s'écrit sous la forme $D = E^{\alpha}\rho^{\beta}g^{\gamma}$. Le cratère Barringer, situé en Arizona, a été formé par l'impact d'une météorite il y a environ 50 000 ans. La collision a dégagé une énergie considérable et a éjecté du sol 175 millions de tonnes de roche. Le diamètre de ce cratère est d'environ 1200 m, la densité de la roche d'environ $3000 kg.m^{-3}$ et la vitesse d'impact estimée à 15 km/s.
À partir du raisonnement par analyse dimensionnelle proposé, à combien estime-t-on la masse de la météorite qui a provoqué la formation de ce cratère ?

1. $4,7kg$
2. $4,7.10^{6}kg$
3. $5,4.10^{14}kg$
4. $5,4.10^{8}kg$

Exercice 12 : La physique des trous noirs (adaptée de l'épreuve théorique des IPhO 2007)

1. Trouver la dimension des constantes fondamentales : la constante de Planck h, la vitesse de la lumière c, la constante gravitationnelle universelle G et la constante de Boltzmann k_B en fonction des dimensions de longueur, de masse, de temps et de température.

La rayonnement d'un corps noir obéit à la loi de Stefan Boltzmann : la quantité totale d'énergie émie par unité de surface et par unité de temps est égale à σT^4, σ étant la constante de Stephan Boltzmann et T, la température absolue du corps noir.

2. Déterminer les dimensions de la constante de Stefan Boltzmann en fonction des dimensions de longueur, de masse, de temps et de température.

La constante de Stefan Boltzmann n'est pas une constante fondamentale et nous pouvons l'obtenir à partir d'autres constantes fondamentales. Autrement dit, nous pouvons écrire $\sigma = ah^{\alpha}C^{\beta}G^{\gamma}k_b^{\delta}$. Dans cette équation, a est un paramètre sans dimension de l'ordre de l'unité, sa valeur exacte est ici sans importance. Nous le considérerons égal à 1.

3. A partir d'une analyse dimensionnelle, trouver la valeur de α, β, γ et δ.

Suivant un théorème de physique, appelé théorème de la calvitie, toutes les propriétés des trous noirs dépendent uniquement de leur masse. L'une des caractéristiques du trou noir est la superficie de son horizon des évènements. L'horizon des évènements est la frontière du trou noir. A l'intérieur de cette frontière, la gravitation est si forte que même la lumière ne peut pas en sortir. Cette surface dépend de la masse du trou noir, de la vitesse de la lumière et de la constante universelle de la gravitation. Nous pouvons donc écrire $A = G^{\alpha}c^{\beta}m^{\gamma}$.

4. Utiliser l'analyse dimensionnelle pour déterminer les exposants.

Préparation aux olympiades – version 2025-26 – contributeur·ice·s : Loïse Launay