A. Cinématique et dynamique

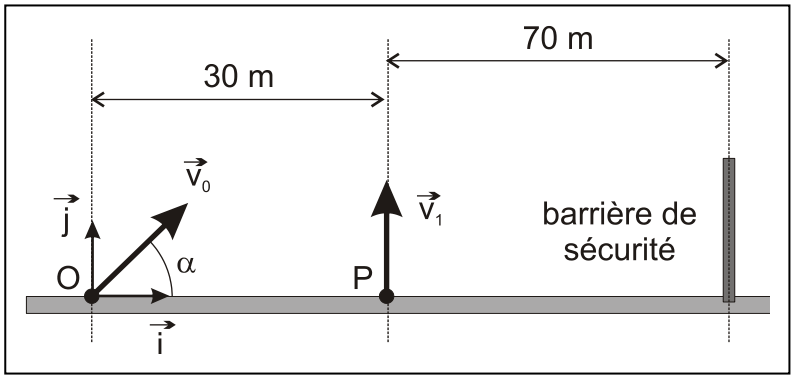
Mouvement d'une particule dans un champ de force constant

Exercice A1 : La catapulte

Un jouet permet de catapulter des pierres. Les pierres sont éjectées d'un point O avec une vitesse initiale $\vec{v}_0$ faisant un angle α avec le plan horizontal. Elles retombent 2 m plus loin au bout de 1 s sur le même plan horizontal passant par O. Déterminez la valeur de l'angle α. (α =67,8°)

Exercice A2 : Feu d'artifice

Deux grenades A et B sont tirées simultanément à partir du sol. La grenade A part du point O, origine du repère (O, $\vec{i}$, $\vec{j}$) à l'instant $t = 0$, avec la vitesse initiale $\vec{v}_0$ située dans un plan vertical Oxy et faisant un angle α avec l'axe horizontal. La grenade B est tirée du point P avec une vitesse verticale $\vec{v}_1$.



On donne : v_0 = 40 m/s; v_1 = 42 m/s.

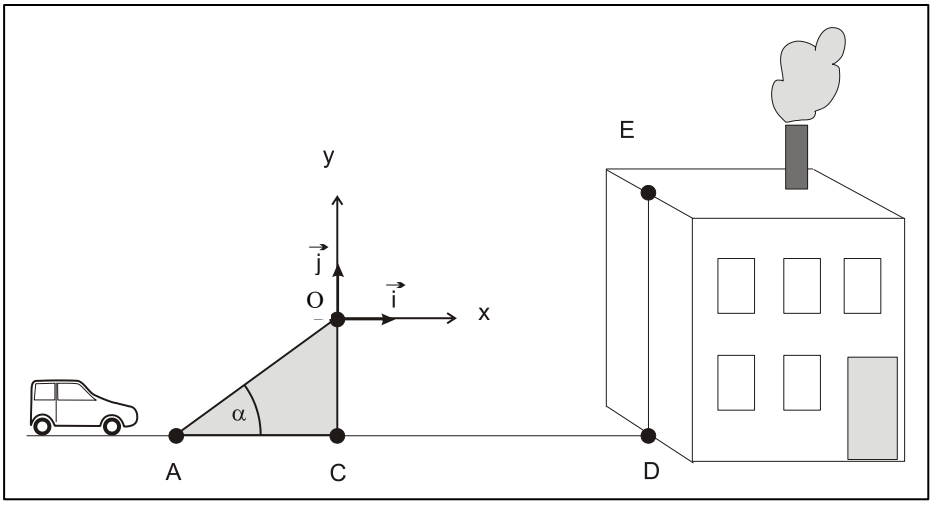
1. Établir les équations horaires de chacune des deux grenades dans le repère (O, $\vec{i}$, $\vec{j}$).
2. Les deux grenades explosent au bout de 5 s. Déterminer α pour que l'explosion de la grenade A ait lieu à la verticale du point P. (α = 81,4 °)
3. Déterminer la distance d qui sépare les deux grenades au moment de l'explosion ? (d = 12,3 m)
4. Si la grenade A n'explose pas, à quelle distance du point 0 retombe-t-elle ? La barrière de sécurité étant disposée comme sur la figure, les spectateurs sont-ils en sécurité ? (x = 48,2 m)

Exercice A3 : Le lanceur de poids

Un athlète a lancé le poids à une distance d = 21,09 m. A l'instant $t = 0$, correspondant à l'instant du lancer, le poids se trouve à une hauteur h de 2 m au-dessus du sol et part avec une vitesse initiale $\vec{v}_0$ faisant un angle α de 45° avec l'axe horizontal. Le poids est assimilé à un objet ponctuel.

1. Établir les équations horaires et l'équation cartésienne de la trajectoire en fonction de h, α, g et v_0.
2. Déterminer la valeur de la vitesse initiale en fonction de h, α, g et d. La calculer numériquement. (v_0 = 13,7 m/s)
3. Combien de temps le poids reste-t-il dans les airs ? (t = 2,17 s)
4. Déterminer la hauteur maximale atteinte par le poids au cours de sa trajectoire. (y_{max} = 6,82 m)

Exercice A4 : Le cascadeur



Un cascadeur doit sauter avec sa voiture (assimilée à une masse ponctuelle) sur le toit en terrasse d'un immeuble.
Pour cela, il utilise un tremplin AOC formant un angle α avec le sol horizontal et placé à la distance *CD* de l'immeuble. A l'instant initial le centre d'inertie M de la voiture quitte le point O (origine du repère) et il est confondu avec le point E à l'arrivée sur le toit. On néglige les frottements.

1. Établir, dans le repère (O, $\vec{i}$, $\vec{j}$) du schéma, les équations du centre d'inertie M du système. Établir l'équation cartésienne de la trajectoire de M entre B et E.
2. Le centre d'inertie de la voiture doit atterrir sur le toit en E avec une **vitesse horizontale**. Établir les expressions littérales de t_E, x_E et y_E en fonction de v_0 et de α. Montrer que $y_E/x_E = ½ \tan \alpha$ et en déduire numériquement la valeur de α. (α = 14,9°)
3. Calculer en km/h la valeur de la vitesse v_0 au sommet O du tremplin pour réussir la cascade. (v_O = 24,4 m/s)

Données: *CD* = 15 m, *OC* = 8 m; *DE* = 10 m.

Exercice A5 : Snowboarder (juin 2019)

Lors d'une cascade, un snowboardeur de masse m saute au-dessus d'une route d'une largeur HH' = 10 m. Il s'élance au point *A* et atterrit en douceur au point *B*. On donne *HA* = 4 *m*, *H'B* = 1 m et α = 26°.

1) Établir, dans un repère approprié, les équations horaires du mouvement (position et vitesse) du snowboardeur considéré comme une masse ponctuelle. On néglige les frottements.

2) En déduire l'équation cartésienne de la trajectoire du snowboardeur.

3) Calculer la vitesse initiale qui permet au snowboardeur d'atterrir au point *B*. ($v_o = v_A = 8{,}86$ m/s)

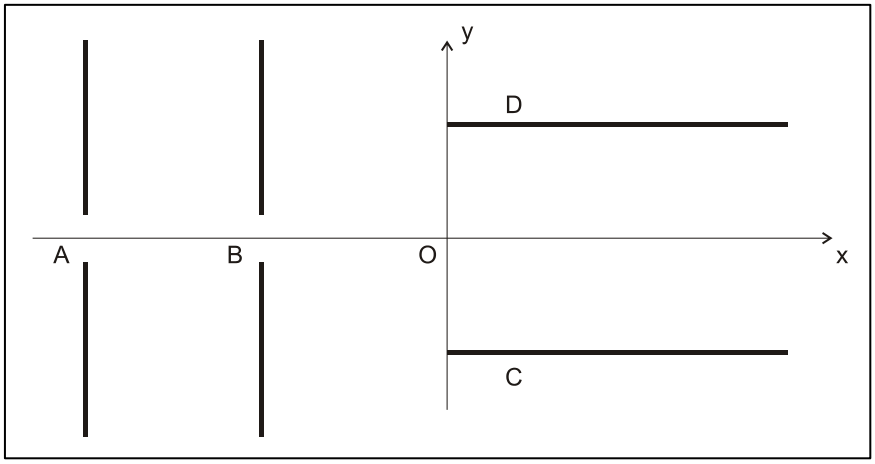
4) En supposant une vitesse initiale de 8,86 m/s, déterminer la hauteur maximale atteinte lors du saut par rapport à la route. (sommet S: $y_S = 4{,}77$ m)

5) La réception au point *B* se fait en douceur si le vecteur vitesse ne subit pas de changement de direction lors de l'atterrissage, c'est-à-dire si l'inclinaison du vecteur vitesse lors de l'impact équivaut à l'inclinaison de la piste. Sous quel angle β doit-on préparer la zone de réception ?
(β = -50,5°)

Exercice A6 :

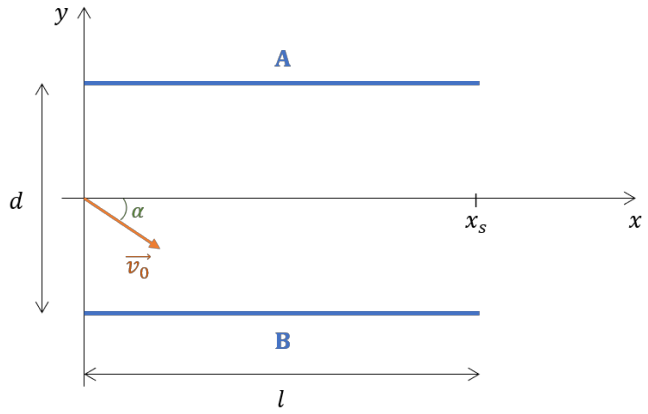
Un faisceau de particules α (= noyaux ${}^{4}_{2}He$) de poids négligeable et de charge +2e parcourt le trajet suivant :

1. En A, les particules entrent avec une vitesse négligeable par un trou entre deux armatures verticales aux bornes desquelles règne une tension U_1. Déterminez la polarité des plaques pour que les particules soient accélérées. Ajoutez sur la figure le champ électrique $\vec{E}_1$ et la force électrique $\vec{F}_1$ que subit chaque particule.



2. Déterminez U_1 pour que les particules sortent en B avec une vitesse de $5 \cdot 10^5$ m/s. ($U_1 = 2592$ V)
3. Les particules se déplacent à vitesse constante de B jusqu'en O, origine d'un repère (Ox, Oy), et se trouvant au milieu des deux armatures C et D. Indiquez, en justifiant votre réponse, la polarité des plaques pour que les particules soient déviées vers le haut. Ajoutez sur la figure le champ électrique $\vec{E}_2$ et la force électrique $\vec{F}_2$ sur chaque particule.
4. Établissez les équations horaires et l'équation cartésienne pour une particule.
5. Déterminez la tension U_2 à établir entre C et D pour que les particules sortent au point S d'ordonnée $y_S = 1$ cm, sachant que les armatures sont longues de 5 cm et distantes de 4 cm.
($U_2 = 1659$ V)

Exercice A7 : Mouvement dans un champ électrique (repêchage 2019)



Des électrons entrent avec une vitesse initiale $\vec{v}_0$ de norme $2{,}5 \cdot 10^6$ m/s entre les plaques chargées d'un condensateur plan. Le vecteur vitesse fait un angle de 30° avec l'axe x comme indiqué sur la figure et l'expérience se fait dans le vide. Les plaques A et B ont une longueur de $l = 6$ cm et sont distantes de $d = 4$ cm. Le réglage de la tension U_{AB} permet de faire varier l'ordonnée du point S où les électrons sortent du champ électrique.

1. Quel doit être le signe de U_{AB} (respectivement la polarité des plaques) pour que les électrons ne s'écrasent pas contre la plaque B ?

On règle la tension U telle que les électrons sortent du condensateur aux coordonnées (x, y = 0).

2. Indiquer les vecteurs champ et force ainsi que la trajectoire des électrons sur un schéma. Établir les équations horaires du mouvement (vitesse et position) de l'électron.
3. En déduire l'équation cartésienne de la trajectoire des électrons.
4. On rappelle que les électrons sortent du condensateur à l'ordonnée $y = 0$. Calculer U_{AB} . (U_{AB}= 20,52V)
5. Pour le réglage $|U_{AB}| = 20{,}52$ V, déterminer la vitesse de sortie des électrons. ($v_S = 2{,}5 \cdot 10^6$ m/s)
6. A combien de centimètres les électrons se sont-ils rapprochés de la plaque B au point le plus près ? (Δy_{min} = 1,13 cm)

Mouvement d'une particule soumise à une force radiale

Exercice A8 : Champ gravitationnel

Lorsqu'on double d'altitude d'un satellite terrestre, le champ gravitationnel qu'il subit diminue de moitié. Déterminez les deux altitudes en question ainsi que la valeur du champ gravitationnel qui y règne. (z_1= 4,50·10^3 km ; z_2= 9,01·10^3 km ; G_1= 3,37 N/kg G_2= 1,69 N/kg)

Exercice A9 : Satellite

Il n'y a pas d'atmosphère sur la Lune ; aussi, pour se déplacer sur de grandes distances, est-il impossible de prendre l'avion ! On envisage donc de satelliser un véhicule sur une orbite circulaire très basse à une altitude de z = 2,5 km (la trajectoire prévue ne rencontre pas de montagne). Sachant que le rayon lunaire vaut 1737 km et que la masse de la Lune vaut 1/81ème de la masse de la Terre, déterminer

a) la valeur du champ gravitationnel à la surface de la Lune, (G_0 = 1,62 N/kg)

b) la vitesse que doit avoir le véhicule sur son orbite très basse par rapport à un repère « sélénocentrique », (v =1,68 km/s)

c) la période de révolution du véhicule. (T = 1 h 49 min)

Exercice A10 : Masse du Soleil

Le repère de Copernic est défini de la façon suivante : l'origine correspond au centre d'inertie S du Soleil et trois axes sont dirigés vers trois étoiles fixes (donc très éloignées). Dans ce repère, la Terre est assimilable à un point, décrivant (en première approximation) une orbite circulaire, de centre S, de rayon r = 1,498·10^{11} m et de période de révolution de 365,25 d.

1. Donner l'expression de la force d'interaction gravitationnelle exercée par le Soleil sur la Terre.
2. Exprimer la vitesse v et la période T de révolution de la Terre en fonction de r, de la constante de gravitation universelle K et de la masse M_s du Soleil.
3. En déduire la masse M_S du Soleil. (M_S = 2·10^{30} kg)

Exercice A11 : Masse de Saturne

La planète Saturne est entourée de nombreux anneaux et satellites. Voici quelques données relatives à cette planète et à ses satellites :

Satellites	Période de révolution	Rayon de l'orbite (milliers de km)
Saturne	29 y 167 d	1427 000
Janus	16 h 40 min	151,5
Mimas	22 h 37 min	185,8
Encelade	1 d 8 h 53 min	238,3
Téthys	1 d 21 h 18 min	294,9
Dioné	2 d 17 h 41 min	377,9

Les anneaux sont formés de divers éléments (cailloux, poussières et blocs de glace) non regroupés entre eux et tournant autour de Saturne. On considère que les astres sont ponctuels, que les trajectoires sont circulaires et que le mouvement est uniforme.

1. Pour étudier le mouvement des satellites de Saturne, il convient de se placer dans un référentiel particulier que l'on peut appeler « saturnocentrique » par analogie à « géocentrique ». Comment définir le référentiel « saturnocentrique » ?
2. À partir du bilan des forces exercées sur un satellite par Saturne (on néglige l'action des autres astres), établir la relation qui relie la vitesse v du satellite, le rayon r de son orbite, la masse M_s de Saturne et la constante K de gravitation universelle.
3. Énoncer la troisième loi de Kepler. Déterminer à partir de celle-ci la masse de Saturne en utilisant les données relatives à l'un des satellites. (Pour Dioné : $M_{Saturne} = 5{,}71 \cdot 10^{26}$ kg)
4. On néglige l'action des éléments les uns sur les autres devant l'action de l'astre sur chacun des éléments. A et B étant deux éléments de deux anneaux différents initialement alignés avec le centre de Saturne, cet alignement sera-t-il conservé ? Justifier la réponse.

Exercice A12 : Champs électrique et magnétique

Une particule chargée négativement de poids négligeable pénètre avec une vitesse v_0 dans différents champs uniformes qui peuvent être électrique ou magnétique.

Indiquez, selon le mouvement ultérieur de la particule, de quel type de champ il s'agit. Faites dans les quatre cas un croquis et représentez la trajectoire de la particule, la force qu'elle subit et le vecteur-champ en question. Motivez votre choix!

Dès qu'elle entre dans le champ

1. la particule décrit un mouvement rectiligne uniforme,
2. la particule décrit un mouvement rectiligne uniformément retardé,
3. la particule décrit un mouvement circulaire uniforme,
4. la particule décrit un mouvement parabolique.

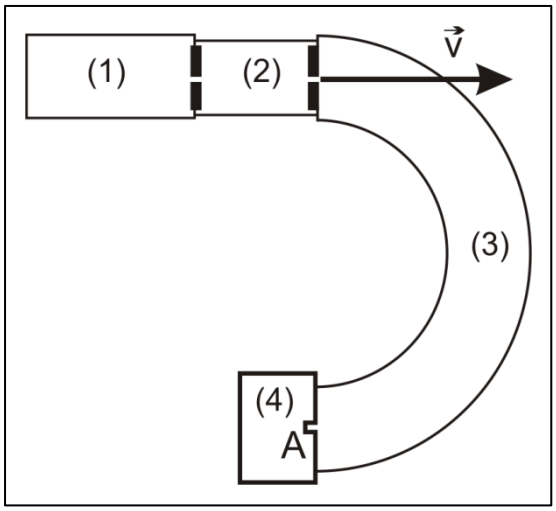
Exercice A13 : Électron dans un champ magnétique

Un électron est envoyé avec une vitesse v_0 horizontale de norme $2 \cdot 10^7$ m/s dirigée vers la droite dans une région de l'espace où règne un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ de norme 10 mT, perpendiculaire au vecteur vitesse.

1. Faites une figure et précisez le sens de $\vec{B}$ pour que l'électron soit dévié vers le bas.
2. Donnez les caractéristiques de la force $\vec{F}$ qu'il subit et calculez sa norme. Comparer celle-ci à celle de son poids P. ($F = 3{,}20 \cdot 10^{-14}$ N $\approx 10^{15}\ P$)
3. Calculez le rayon R de la trajectoire et de la durée nécessaire T pour parcourir un tour complet. (R = 1,14 cm ; T= 3,57 ns)
4. On double la vitesse initiale. Comment varient le rayon et la période ? Motivez ! ($R' = 2R;\ T' = T$)
5. Qu'est-ce qui change, lorsqu'on envoie la particule avec une vitesse initiale identique, mais parallèle au champ magnétique ? Motivez !

Exercice A14 : Le spectrographe de masse

Voici le schéma d'un spectrographe de masse :



1. Précisez la nature des différents constituants de ce dispositif et rappelez son utilité.
2. Quelle est la nature du mouvement de particules chargées dans chacune des chambres ?
3. Application:

   Des ions $^{35}Cl^+$ sont accélérés sous une tension de 500 V. (On néglige le poids devant les autres forces qui interviennent).

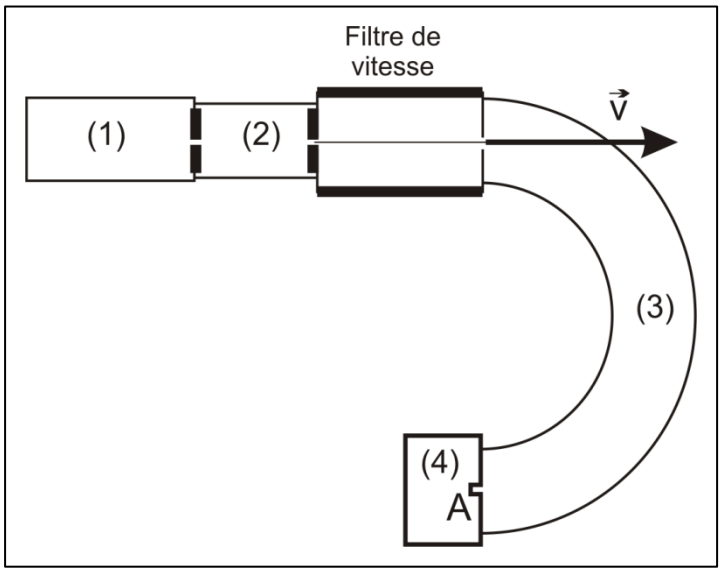
   a. Déterminez les caractéristiques (direction, sens, norme) du champ magnétique $\vec{B}$ qui doit régner dans la cavité hémicylindrique pour que les ions viennent frapper le détecteur en A à 40 cm de l'endroit où ils pénètrent dans la chambre. (B = 95,2 mT)

   b. Établissez une relation entre le rayon de la trajectoire des ions et la tension accélératrice. Déduisez-en à quelle distance d de A se trouve le lieu d'impact d'ions $^{37}Cl^+$ accélérés sous la même tension. (d = 1,13cm)

On donne : masse d'un ion $^{35}Cl^+$: 34,968 u

masse d'un ion $^{37}Cl^+$: 36,965 u

Exercice A15 : Filtre de vitesse



On intercale entre la chambre d'accélération (2) et la chambre de déviation (3) d'un spectrographe de masse un filtre (appelé filtre de vitesse ou filtre de Wien) tel que, pour un type d'ions donné, uniquement les particules ayant la même vitesse $\vec{v}$ pénètrent dans la chambre (3). A l'intérieur du filtre règnent un champ magnétique $\vec{B}$ et un champ électrique $\vec{E}$ dont les effets conjugués se compensent pour les particules ayant la vitesse $\vec{v}$ (c.-à-d. que leur mouvement est rectiligne et uniforme à travers le filtre).

Sachant que l'intensité du champ magnétique $\vec{B}$ est 150 mT, déterminez les caractéristiques (direction, sens et norme) du champ électrique $\vec{E}$ qu'il faut superposer à $\vec{B}$ pour que toutes les particules arrivent dans la chambre (3) avec la même vitesse de $5{,}25 \cdot 10^5$ m/s. (E = 78,8 kV/m)

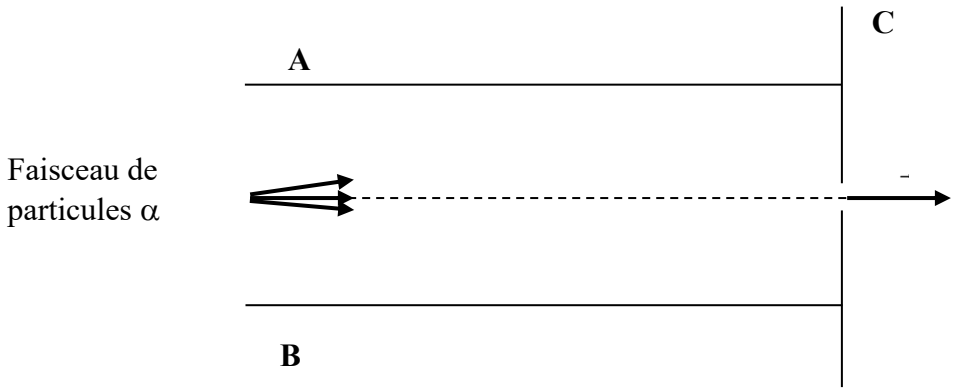
Exercice A16 : Le cyclotron

1. Décrivez brièvement le principe de fonctionnement du cyclotron.
2. Un proton pénètre dans un dé du cyclotron avec une vitesse initiale de $2 \cdot 10^7$ m/s.
   a. Déterminez les caractéristiques du champ magnétique qui doit régner dans les dés pour que le proton effectue un mouvement circulaire de rayon 2 m (au cours du premier demi-tour).
   b. Quelle doit être la tension U régnant entre les dés, si on veut que le rayon du mouvement du proton soit augmenté de 5 % au bout du **premier demi-tour** (gardez 4 chiffres significatifs !). La tension entre les dés garde-t-elle toujours le même signe ? Expliquez !

(2a : B = 104 mT ; 2b : U = 214 kV)

Exercice A17 : Mouvement de particules chargées (repêchage juin 2010)

Des particules α (${}^{4}_{2}He^{2+}$) entrent avec différentes vitesses $\vec{v}$ dans une région de l'espace entre deux plaques parallèles A et B où règnent un champ électrique $\vec{E}$ et un champ magnétique $\vec{B}$.

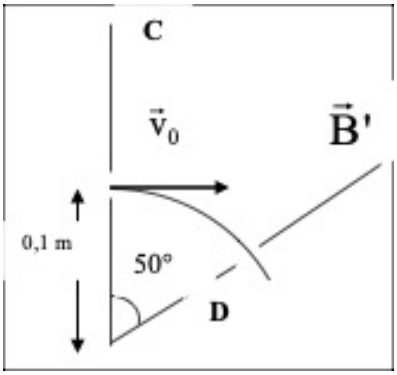


a) La tension U_{AB} est positive. Indiquer sur une figure la polarité des plaques, le vecteur champ électrique ainsi que quelques lignes de champ électrique entre les plaques.

b) Donner l'expression vectorielle des forces électrique et magnétique agissant sur les particules. Précisez les noms et unités S. I. des grandeurs figurant dans les formules.

c) Montrer que si le champ magnétique satisfait la condition $v_0 = E/B$, seules les particules ayant la vitesse $\vec{v}_0$ traverseront la fente en C. Faire un schéma des forces et préciser la direction et le sens du vecteur champ magnétique $\vec{B}$. Quel sera le trajet de particules ayant une vitesse légèrement supérieure à v_0 ? Expliquez.

Les particules α pénètrent dans un deuxième champ magnétique $\vec{B}'$ entre deux plaques C et D et elles sont déviées d'un angle de 50°. Leur vitesse est égale à $8{,}8 \cdot 10^5$ m/s.



d) Établir l'expression pour le rayon de leur trajectoire.

e) Calculer l'intensité du champ magnétique $\vec{B}'$. (B'=0,183T)

f) Calculer le temps de vol entre C et D. (Δt=99,2 ns)

g) Montrer par un calcul que le poids est négligeable comparé à la force magnétique. ($f_m/P = 7{,}89 \cdot 10^{11}$)

B. Oscillateurs, ondes et lumière

Oscillateurs mécaniques

Exercice B1 : Ressort de suspension

Un ressort de suspension de voiture de raideur k et à spires non jointives est fixé avec une extrémité sur un banc d'essai. Un solide S, de masse m, fixé à l'autre extrémité du ressort peut glisser sans frottement sur une tige rigide horizontale $x'x$. L'abscisse du centre d'inertie G de S est repérée par rapport à la position O de G au repos. On écarte S de sa position d'équilibre et on le lâche, sans vitesse initiale, à l'instant $t = 0$. Son abscisse est alors $x = X_m$.

a) Représenter schématiquement le système étudié.

b) Faire le bilan des forces appliquées au solide S.

c) Déterminer l'équation horaire du mouvement de S, sachant que $k = 4$ kN/m, $m = 100$ kg et $X_m = 5$ cm. ($x(t)=0,05\cdot cos(6,32\cdot t)$)

d) Calculer la période propre pour les mêmes données numériques. ($T_0 = 0,993$ s)

Exercice B2 : Pendule élastique

Un pendule élastique, constitué d'un solide de masse 200 g et d'un ressort de raideur 5 N/m, effectue des oscillations libres sur un banc à coussin d'air horizontal. L'axe des abscisses a la direction du ressort. L'origine des abscisses est la position du centre d'inertie G du solide lorsque celui-ci est au repos. L'origine des dates correspond au passage de G par l'origine des abscisses avec une vitesse de valeur 0,60 m/s dirigée dans le sens négatif de l'axe. Déterminer l'équation horaire qui décrit le mouvement de G et déterminer la date de son premier passage à l'abscisse $x = 3$ cm.

($x(t)=0,12\cdot cos(5t+\frac{\pi}{2})$; $t = 0,679$ s)

Exercice B3 : Pendule élastique

Un pendule élastique horizontal est formé d'un ressort de raideur $k = 20$ N/m et d'une masse de 200 g. A l'instant $t = 0$, le centre d'inertie est lancé à partir de la position $x = 2$ cm avec la vitesse initiale de 20 cm/s.

Calculer la valeur de l'énergie mécanique totale de l'oscillateur à l'instant du lancement et en déduire l'amplitude des oscillations ainsi que la vitesse de passage par la position d'équilibre.

($E_{méc} = 8$ mJ ; $X_m = 2,83$ cm ; $V_m = 28,3$ cm/s)

Exercice B4 : Pendule élastique

Un solide de masse m pouvant glisser sans frottement sur un support horizontal est fixé à un ressort de raideur $k = 48$ N/m. Son élongation x mesurée à partir de sa position d'équilibre est donnée par $x = X_M \cdot \sin(8 \cdot t - \pi)$. Pour faire osciller la masse m, on lui fournit une énergie de 0,24 J. Déterminer:

a) La masse *m* du solide. (m = 0,75 kg)

b) L'amplitude du mouvement. (X_m = 10 cm)

c) La vitesse maximale de l'oscillateur. (V_m = 80 cm/s)

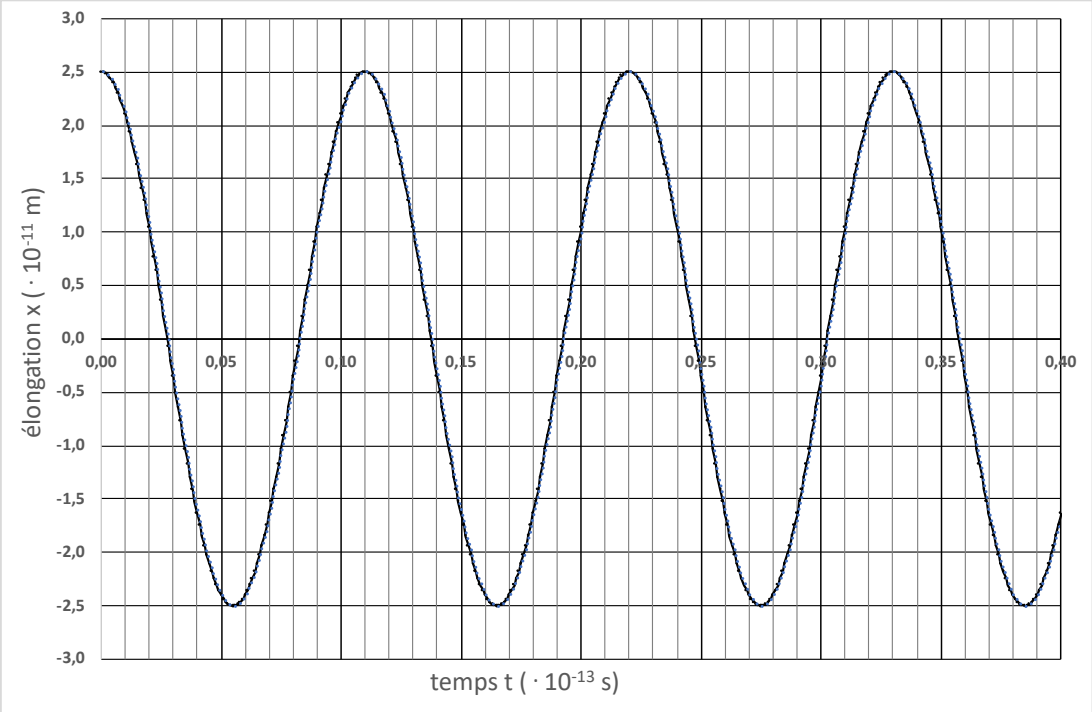
d) L'élongation de l'oscillateur pour laquelle l'énergie cinétique est égale à la moitié de l'énergie potentielle. (x = ± 8,16 cm)

e) Les composantes de la vitesse et de l'accélération en ce point. (v_x = ± 0,46 m/s ; a_x = ± 5,23 m/s^2)

Exercice B5 : Molécule de méthane

Dans la modélisation de la molécule de méthane (CH_4) pour étudier ses modes de vibration, on considère l'atome d'hydrogène et l'atome de carbone comme masses reliées par un ressort de raideur k. L'atome d'hydrogène a une masse beaucoup plus petite que celle de l'atome de carbone ; ainsi on pourra négliger le mouvement de l'atome de carbone. On utilise comme masse de l'atome d'hydrogène la masse d'un proton.

Le graphique ci-dessous montre les oscillations du centre d'inertie de l'atome hydrogène autour de sa position d'équilibre en fonction du temps.



a) Utiliser les données du graphique pour:

(i) déterminer l'amplitude des oscillations ($X_m = 2{,}5 \cdot 10^{-11}$ m)

(ii) calculer la fréquence des oscillations (f = 90,9 THz)

(iii) calculer l'énergie cinétique maximale d'un atome d'hydrogène

($E_{cmax} = 1{,}71 \cdot 10^{-19}$ J = 1,06 eV)

b) Calculer ensuite la raideur du ressort k. (k = 546 N/m)

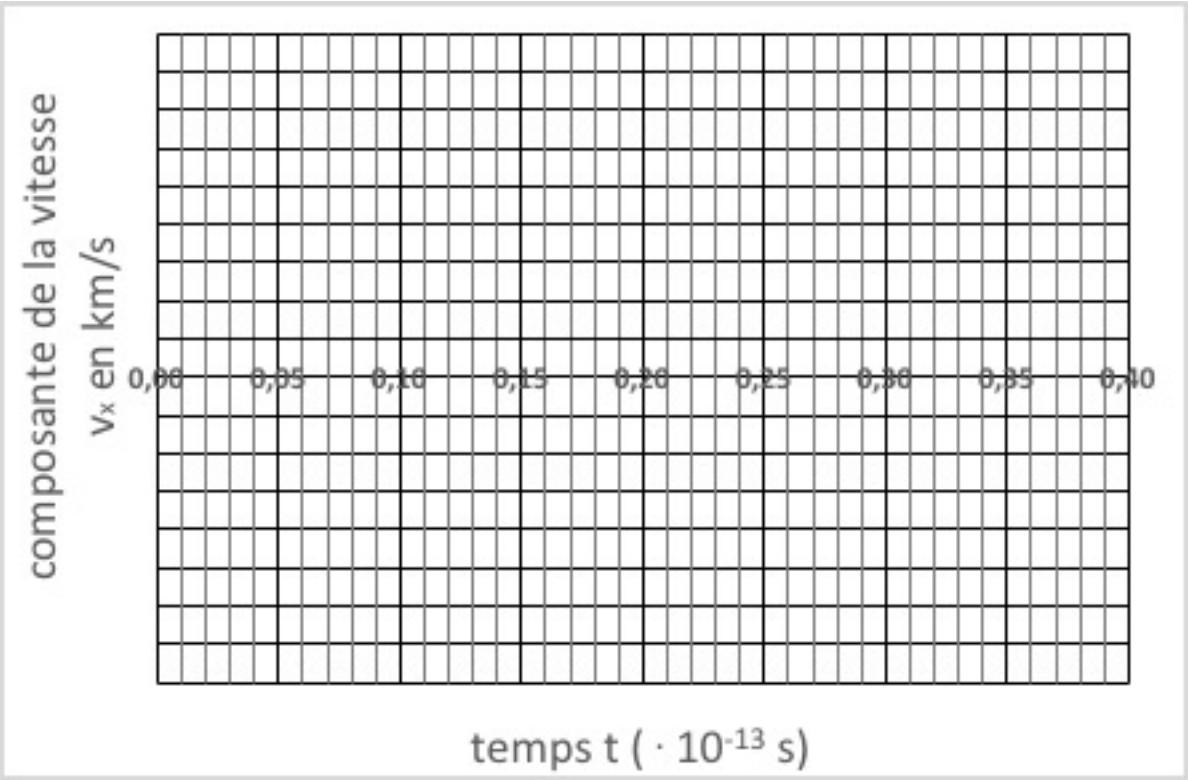
c) Écrire l'équation horaire pour le déplacement de l'atome d'hydrogène (l'élongation du ressort) avec les valeurs numériques. *($x(t) = 2{,}5 \cdot 10^{-11} \cos(1{,}82\pi \cdot 10^{14}\, t)$ en m si t en s)*

d) Trouver l'équation horaire pour la composante de la vitesse d'oscillation de l'atome d'hydrogène.

($v_x(t) = -14\,280 \cdot \sin(1{,}82\pi \cdot 10^{14}\, t)$ en m/s si t en s)

e) Tracez sur le graphique ci-dessous, la composante de la vitesse d'oscillation d'un atome d'hydrogène en fonction du temps.

Ajouter sur l'axe vertical, pour la composante de vitesse, les valeurs numériques aux extrémités du mouvement.



f) Calculer l'énergie cinétique à l'instant $t = 0{,}10 \cdot 10^{-13}$ s. ($E_c = 0{,}498 \cdot 10^{-19}$ J = 0,311 eV)

Ondes progressives mécaniques

Exercice B6 : Onde progressive

A) L'équation du mouvement d'une source est de la forme $y(t) = Y_0 \sin(\omega \cdot t + \varphi)$. La période du mouvement est égale à 8 s. La trajectoire est un segment de droite de 12 cm de longueur. A l'origine des temps la source passe par sa position d'équilibre et se déplace vers le bas. Déterminer :

a) les valeurs des trois paramètres Y_0, ω et φ ; (Y_0 = 6 cm ; $\omega = \pi/4$; $\varphi = \pi$)

b) l'élongation y_S, la vitesse v_y et l'accélération a_y de la source après 1 s ;
(y = -4,24 cm ; v_y = -3,33 cm/s ; a_y = 2,62 cm/s^2)

c) le temps au bout duquel la source se trouve pour la première fois à 3 cm au-dessus de la position d'équilibre. (t = 4,67 s)

B) On suppose que le mouvement vibratoire se propage sans amortissement dans le milieu environnant, la période dans l'espace (où longueur d'onde) étant égale à 320 cm. Calculer :

a) la célérité c dans le milieu considéré ; (c = 0,4 m/s)

b) l'élongation y_M, à l'instant t = 6 s, d'un point M du milieu situé à 20 cm de la source.
(y_M = 5,54 cm)

Exercice B7 :

L'extrémité S d'une corde est reliée à un vibreur harmonique transversal de fréquence f = 50 Hz et d'amplitude 2 cm. On suppose qu'il n'y a pas de réflexion à l'autre extrémité de la corde. Cette corde, de masse linéaire μ = 200 g/m, est tendue par un poids de 20 N.

(On définit un axe Sx parallèle à la corde, orienté dans le sens de propagation des ondes et tel que x_S = 0.)

a) Montrer que le point M d'abscisse x_M = 1,2 m est en phase avec la source S. Trouver un point de la corde qui est en opposition de phase avec M et S.

b) L'origine des temps correspond à un passage de la source S par sa position d'élongation maximale. Déterminer l'équation d'onde.
($y_S(x;t)$ = 0,02·sin[2π(t/0,02 – x/0,2) + π/2])

c) Déterminer l'élongation y_M du point M ainsi que la vitesse de déplacement v_{My} du point M à l'instant t = 0,012 s. (y_M = –1,62 cm, v_{My} =3,69 m/s)

Exercice B8 : Ondes progressives dans une corde

Une corde tendue très longue est excitée à l'une de ses extrémités par un mouvement transversal d'amplitude A = 10 cm et d'équation :

$$y = A \cdot \sin(\frac{2\pi \cdot t}{T})$$

a) Établir l'équation de l'onde progressive se propageant dans la corde. Expliquer ce qu'on entend par double périodicité de *ce phénomène*.

b) En admettant que la corde ait une masse de 100 g pour 10 m de longueur, et qu'elle soit soumise à une tension F = 15 N, calculer la célérité c du phénomène de propagation ainsi que sa longueur d'onde λ sachant que la fréquence vaut 16 Hz.

(c = 38,7 m/s ; λ = 2,42 m)

c) Écrire l'équation du mouvement d'un point M distant de 5 m de la source. Calculer son élongation à l'instant t = 2,5 s.

($y_M(x;t) = y_M(5;t) = 0{,}1\sin\left[2\pi(16t - 2{,}07)\right]$;
$y_M(5;2{,}5) = -4{,}01 \cdot 10^{-2}\, m$, calcul avec valeurs non-arrondies)

d) A quelle distance se trouvent 2 points voisins vibrant en opposition de phase. Cette distance dépend-elle de la tension F ?

($\Delta x = \lambda/2 = \frac{1}{2f}\sqrt{\frac{F}{\mu}}$ = 1,21 m et dépend de F)

e) Comment faut-il varier F pour doubler la longueur d'onde ? ($F' = 4\,F$ = 60 N)

Ondes stationnaires

Exercice B9 : Corde tendue

Par quelle force faut-il tendre une corde de longueur 0,5 m et de masse 0,8 g pour que le son fondamental émis soit le la de fréquence 220 Hz ?

Quelles sont les fréquences des deux premiers harmoniques après le son fondamental émis par cette corde dans les mêmes conditions ? (F = 77,44 N ; f'=440 Hz ; f'' = 660 Hz)

Exercice B10 : Corde de guitare

La corde ré d'une guitare a pour fréquence fondamentale 293,7 Hz ; la corde sol voisine vibre à 392 Hz. La longueur des parties vibrantes des deux cordes est 65 cm. On souhaite raccourcir la partie vibrante de l'une des deux cordes de manière qu'elle sonne à la même fréquence que l'autre.

a) Quelle corde faut-il raccourcir ? Motiver la réponse ! (raccourcir la corde ré)

b) De combien faut-il la raccourcir ? (Δl = 16,3 cm)

c) Quelle est la longueur d'onde de la vibration sonore produite alors par les deux cordes ? (La célérité du son dans l'air est 340 m/s.) (λ = 86,7 cm)

Exercice B11 : Superposition de deux ondes progressives

Les équations d'onde de deux ondes voyageant en sens contraire sur une corde sont

$$y_1(x,t) = 0,03 \cdot \sin\left[\pi\left(10t + 2x\right)\right] \text{ et } \qquad y_2(x,t) = 0,03 \cdot \sin\left[\pi\left(10t - 2x\right)\right]$$

(toutes les grandeurs sont indiquées en unités SI)

a) Déterminer la longueur d'onde et la période. ($\lambda = 1,0\ m$; $T = 0,2\ s$)

b) Écrire l'équation d'onde de l'onde stationnaire qui résulte de la superposition des deux ondes.

($y_M(x,t) = 0,06 \cdot \cos(2\pi x) \cdot \sin\left[10\pi t\right]$)

c) Trouver la position des deux nœuds les plus près de $x = 0$ (pour $x > 0$). (x=1/4m et 3/4m)

d) Trouver la position des deux ventres les plus près de $x = 0$ (pour $x > 0$). (x=1/2m et 1m)

e) Trouver l'amplitude A à $x = \lambda/8$. (A=3 $\sqrt{2}$ cm)

Exercice B12 :

Un vibreur S_1 est animé d'un mouvement oscillatoire sinusoïdal vertical de fréquence 30 Hz et d'amplitude 2 cm. A la date $t = 0$, il passe par sa position la plus basse.

a) Déterminer l'équation horaire de S_1 dans un repère Oy orienté vers le haut.

($y_{S1}(t) = 0,02 \cdot \sin(60\pi\ t - \pi/2)$)

b) S_1 est relié à une corde élastique horizontale de longueur 56 cm sur laquelle prend naissance une onde qui progresse à la célérité de 2,4 m/s. Déterminer l'équation du mouvement d'un point M situé à la distance de $x = 20$ cm de S_1. Comparer l'état vibratoire de S_1 et de M.

($y_{M1}(0,2;t) = 0,02 \cdot \sin(60\pi\ t - 11\pi/2)$, S_1 et M en opposition de phase)

c) A l'autre extrémité de la corde se trouve un deuxième vibreur S_2, identique à S_1 mais qui passe par sa position la plus haute à la date $t = 0$. Écrire l'équation horaire de S_2.

($y_{S2}(t) = 0,02 \cdot \sin(60\pi\ t + \pi/2)$)

d) Comment peut-on qualifier les 2 sources S_1 et S_2? Peuvent-elles donner naissance à un phénomène d'interférences ?

(S_1 et S_2 en opposition de phase donc cohérentes)

e) Écrire l'équation horaire du mouvement du même point M qu'en b) sous l'effet de l'onde progressive issue de S_2. Comparer l'état vibratoire de S_2 et de M.

($y_{M2}(0,2;t) = 0,02 \cdot \sin(60\pi\ t - 17\pi/2)$, S_2 et M en opposition de phase)

f) Quel est l'état vibratoire du point M sous l'effet des ondes issues de S_1 et S_2 ensemble ?

($y_M(0,2\ ;t)=0 \Rightarrow$ M est un nœud)

Exercice B13 : QCM Vibrations et ondes (repêchage juin 2019)

Questions à choix multiples.

Il y a une seule réponse correcte par question. On ne demande pas de justification.

QCM 1 : Un pendule élastique horizontal effectue des oscillations harmoniques le long d'un axe (Ox) orienté vers la droite. L'origine O de l'axe correspond au milieu du segment parcouru par le centre d'inertie G du solide de masse *m*. L'abscisse de G est notée x. L'équation horaire de G est donnée par : $x(t) = A \sin(2\pi t + \pi)$, où x est exprimé en mètres et t en secondes.

a) L'accélération de G

A. est constante
B. est maximale aux extrémités de la trajectoire de
C. est maximale en O
D. est toujours inférieure à g
E. change de signe aux extrémités

b) À l'instant initial t = 0,

A. G se trouve en *O* et se déplace vers la gauche
B. G se trouve en *O* et se déplace vers la droite
C. G se trouve à l'extrémité droite de sa trajectoire et a une vitesse nulle
D. G se trouve à l'extrémité gauche de sa trajectoire et a une vitesse nulle
E. Aucune de ces réponses

c) La vitesse maximale (en m/s) de G vaut

A. 1 B. A C. 2π D. $A \cdot 2\pi$ E. $A \cdot 4\pi^2$

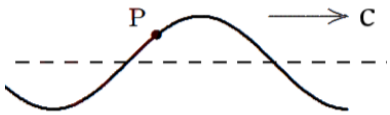
d) La période *T* des oscillations (en s) vaut

A. 0,5 B. 1 C. 2 D. π E. 2π

e) On double la masse *m* du solide. La période devient alors

A. T B. 2T C. $\sqrt{2}\,T$ D. 0,5 T E. $\frac{\sqrt{2}}{2}$ T

QCM 2 : Une onde progressive transversale se propage le long d'une corde avec une célérité c vers la droite.



a) Le sens de déplacement instantané du point P sur la corde est

A. ↑ B. ↓ C. → D. ↗ E. Aucune de ces réponses

b) L'onde progressive est décrite par l'équation d'onde : $y(x,t) = 0{,}1 \sin(6t - 3x)$, où x est exprimé en mètres et t en secondes. La célérité c de l'onde (en m/s) vaut

A. 0,1 B. 0,5 C. 2 D. 2π E. Aucune de ces réponses

QCM 3 : L'équation de l'onde stationnaire dans une corde de Melde, dont les extrémités fixes sont distantes de 40 cm, est donnée par l'expression : $y(x,t) = 0{,}04 \sin(5\pi x) \cos(40\pi t)$, où y et x sont exprimés en mètres et t en secondes.

a) La fréquence de vibration d'un point (qui n'est pas un nœud) de la corde vaut

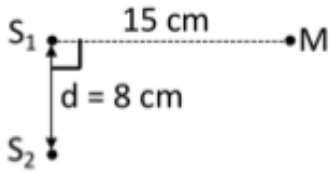
A. 2,5 Hz B. 5 Hz C. 10 Hz D. 20 Hz E. 40 Hz

b) Le nombre de fuseaux vaut A. 1 B. 2 C. 3 D. 4 E. 5

(1a) B ; 1b) A ; 1c) D ; 1d) B ; 1e) C; 2a) B; 2b) C; 3a) D; 3b) B)

Exercice B14 : Interférences d'ondes (repêchage juin 2018)

On réalise des interférences à la surface de l'eau à l'aide de deux sources cohérentes notées S_1 et S_2. Ces sources sont distantes de d = 8,0 cm, elles vibrent en phase, ont même amplitude a = 3 mm et émettent chacune une onde progressive.



1) Établir les conditions sur la différence de marche S_1S_2 pour les points où une interférence constructive a lieu.

2) a) Indiquer l'état vibratoire d'un point appartenant à la médiatrice de S_1S_2. Donner une justification.

b) Sur le segment S_1S_2, la distance entre deux points de deux franges d'interférence constructives voisines est de 0,5 cm. En sachant que les sources vibrent avec une fréquence de 40 Hz, déterminer la célérité des ondes.

c) Calculer l'amplitude du mouvement d'un point M, se trouvant à une distance de 15,0 cm de S_1 comme indiqué sur la figure.

3) Déterminer l'expression de l'équation de l'onde issue de la source S_1 au point M, sachant que la source a une équation de la forme : $y = y_m \sin(2\pi\, t/T)$

4) Pourrait-on obtenir une interférence destructive au point M en changeant la phase d'une des deux sources ? Expliquer !

(points $\in$ médiatrice => $d_1 = d_2$ => interférence constructive ; P_1P_2 (points de 2 franges constructives voisines sur segment S_1S_2) = 0,5 cm = $\lambda/2$ => λ = 0,010 m ; c = 0,400 m/s ; d_2-d_1 = $\sqrt{15cm^2 + 8cm^2} - 15cm$ =2,0 cm = n· $\lambda/2$ avec n=4= pair => M se trouve sur frange d'interférence constructive d'amplitude 2 · 0,3 cm = 0,6 cm ; $y_1(t) = 0{,}003 \sin(80\pi\, t)$ en m si t en s ; interférence destructive en M si 2 sources vibrent en opposition de phase)

Interférences lumineuses

Exercice B15 :

Une expérience d'interférences en lumière verte conduit aux résultats de mesure suivants:

- distance séparant les centres de 11 franges brillantes consécutives: 10,0 mm
- distance entre les fentes: 1,5 mm
- distance entre le plan des fentes et l'écran: 2,80 m

Calculer la longueur d'onde et la fréquence de la lumière verte. (λ = 535,7 nm)

Exercice B16 :

Deux fentes de Young sont séparées de 0,5 mm. Elles se trouvent à une distance D = 3 m d'un écran placé perpendiculairement à la médiatrice des 2 fentes. Calculer l'interfrange correspondant à la lumière rouge (λ = 700 nm) respectivement à la lumière violette (λ = 480 nm). En déduire une caractéristique des franges brillantes obtenues en lumière blanche.

(i_r = 4,2 mm et i_v = 2,9 mm, franges blanches avec bords colorés : bleu du côté de la frange centrale, rouge de l'autre côté)

Exercice B17 :

Un pinceau de lumière monochromatique émis par un laser hélium-néon éclaire deux fentes parallèles séparées par une distance a = 0,5 mm. Un écran est placé perpendiculairement au pinceau lumineux à une distance D = 2 m du plan des fentes.

a) Dessiner le dispositif expérimental.

b) Interpréter la formation des franges brillantes et obscures.

c) Définir la différence de marche aux 2 fentes d'un point M de l'écran et établir sa relation pour en déduire la position des centres des franges brillantes et obscures.

d) Préciser la nature de la frange centrale appartenant au plan médiateur des 2 fentes.

e) Définir l'interfrange. Quelle est l'influence des différents paramètres sur l'interfrange ? Comment doit-on modifier la distance entre les 2 fentes pour obtenir des franges plus espacées ?

f) Calculer la longueur d'onde en nm et la fréquence de la lumière en Hz et en THz émise par le laser, sachant que les centres de 6 franges consécutives de même nature sont espacés de 12,7 mm.
(λ = 635nm, f = 472· 10^{12} Hz = 472 THz)

g) Est-ce que la longueur d'onde ou la fréquence change (ou les deux), si le rayon lumineux se propage dans le verre ? Calculer les nouvelles valeurs. (Dans le verre la célérité de la lumière vaut 200 000 km/s.) (f = 472 THz , λ = 424nm)

C. Physique moderne

Relativité restreinte d'Einstein

Petites questions de compréhension

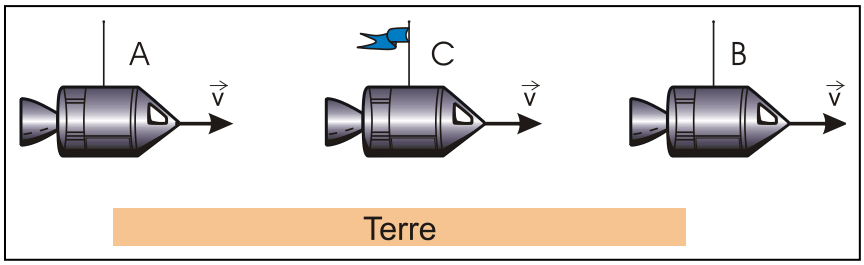
C1 Énoncer les deux postulats de la relativité restreinte.

C2 Soit un muon traversant l'atmosphère terrestre. La durée propre de son parcours et la longueur au repos de la couche atmosphérique traversée sont-elles mesurées dans le même référentiel. Justifier votre réponse.

C3 Pourquoi les effets de la dilatation du temps ne sont-ils pas aisément observables dans la vie de tous les jours ?

C4 Faisons "l'expérience par la pensée" suivante :

Trois astronautes se déplacent à travers l'espace, d'un mouvement rectiligne et uniforme par rapport à la Terre, au moyen des vaisseaux spatiaux A, C et B. Les vaisseaux se suivent à des distances rigoureusement égales. C porte le commandement pour l'ensemble de la flotte. Un ordre est transmis aux vaisseaux A et B au moyen d'ondes électromagnétiques se propageant à la vitesse c.



Trouver un référentiel où :

- l'arrivée du signal en A et en B est simultanée ;
- A reçoit le signal avant B ;
- B reçoit le signal avant A.

C5 Deux événements se produisent au même point mais à des instants différents dans un référentiel d'inertie. Ces deux événements peuvent-ils être simultanés dans un autre référentiel en mouvement rectiligne uniforme par rapport au premier ?

C6 Vous entendez vos amis dire que, selon la théorie de la relativité d'Einstein, "tout est relatif". Pour les convaincre du contraire, dressez une liste de grandeurs, qui selon la relativité restreinte, sont (a) relatives, c'est-à-dire ont une valeur qui dépend du référentiel ; (b) invariantes, c'est-à-dire ont la même valeur dans tous les référentiels d'inertie.

C7 Pourquoi n'est-il pas possible pour un électron ou un proton de voyager à la vitesse de la lumière ?

C8 A quelle condition, l'équation $p = E/c$ est-elle valable pour un électron ou un proton ?

Exercice C1 : Durée de passage d'un train

Un train de 100 m de longueur au repos mesure 80 m lorsqu'il est en mouvement.

Quelle est sa vitesse ? ($v = 0{,}6c$)

Quel temps met-il pour passer devant un arbre

a) dans le référentiel lié au sol ; ($\Delta t_{propre} = 4{,}44 \cdot 10^{-7}$ s)

b) dans le référentiel du train ? ($\Delta t_{impropre} = 5{,}56 \cdot 10^{-7}$ s)

Exercice C2 : Retard d'une horloge en mouvement

A quelle vitesse par rapport à la Terre doit-on déplacer une horloge pour que sa cadence mesurée dans le référentiel terrestre corresponde à 50 % de sa cadence mesurée dans le référentiel où elle est au repos ? (Indication : la cadence équivaut au nombre de « tic-tacs » par seconde, c.-à-d. à une fréquence.) ($v = 0{,}866c$)

Exercice C3 : Électron en mouvement rapide

Un électron se déplace à $0{,}998c$.

Trouvez son énergie cinétique et sa quantité de mouvement. ($E_c = 7{,}57$ MeV; $p = 4{,}31 \cdot 10^{-21}$ kg m/s)

Exercice C4 : Énergie acquise par un électron

Calculez l'énergie nécessaire pour accélérer un électron de

a) $0{,}6c$ à $0{,}8c$; ($E = 0{,}213$ MeV)

b) $0{,}995c$ à $0{,}998c$? ($E = 2{,}97$ MeV)

Exercice C5 : Diminution de la masse du Soleil

La puissance rayonnée par le Soleil correspond à $3{,}9 \cdot 10^{26}$ W. Sa masse est de $2 \cdot 10^{30}$ kg.

De combien sa masse décroît-elle en une seconde ? ($\Delta m = 4{,}33 \cdot 10^{9}$ kg)

Exercice C6 : Vitesse acquise dans un champ électrique

a) En physique classique, quelle est la différence de potentiel nécessaire pour accélérer un électron jusqu'à $0{,}9c$ à partir du repos ? ($U = 2{,}07 \cdot 105$ V)

b) Avec la différence de potentiel calculée en a) et si on tient compte des effets relativistes, quelle vitesse atteindrait l'électron ? ($v = 0{,}703c$)

Exercice C7 : Dilatation du temps et contraction des longueurs

Un électron ayant une énergie totale de 10 GeV parcourt 3,2 km le long du tube dans un accélérateur.

a) Déterminez la longueur du tube dans le référentiel de l'électron ? (L_{mouv} = 0,1635 m)

b) Combien de temps lui faut-il pour parcourir la distance calculée en a)

1. dans son référentiel ? ($\Delta t_{propre} = 5{,}45 \cdot 10^{-10}$ s)
2. dans un référentiel lié au tube ? ($\Delta t_{impropre} = 1{,}07 \cdot 10^{-5}$ s)

Exercice C8 : La particule élémentaire : pion

Toutes les particules élémentaires instables, produites soit en haute atmosphère soit en laboratoire, se désintègrent spontanément pour donner d'autres particules.

Elles suivent donc une loi de désintégration à décroissance exponentielle, définie par leur demi-vie dans un référentiel où les particules se trouvent au repos ($T_{½} = T_0$).

Le pion π^0 est un méson (particule hadronique composée de deux quarks) sans charge, qui se désintègre en donnant deux photons (radiation électromagnétique) avec une demi-vie d'environ $0{,}58 \cdot 10^{-16}$ s.

a) Qu'est-ce que cette demi-vie nous indique ?

b) Si un tel méson π^0 était produit dans le noyau d'un atome (prendre 10^{-10} m pour valeur du diamètre de l'atome), quelle devrait être sa vitesse minimale pour qu'il puisse quitter son atome d'origine pendant sa demi-vie ?

c) Quelle doit être sa vitesse pour parcourir 10^{-5} m et quelle pour parcourir 1 m ?

d) La vitesse nécessaire à parcourir pendant sa demi-vie une distance de 1 nm, puis de 10 nm (taille de fabrication des dispositifs à semi-conducteur depuis 2017) ou même 1 µm (taille d'une bactérie), serait-t-elle relativiste ou non ?

Remarque : Pour des questions b), c) et d) de même type de calcul, développer le calcul nécessaire, puis répondre par un tableau de réponse)

$\Delta x = L_{repos}$ (en m)	*v/c*	*v/c ; particule*	*v (en m/s)*
b) ½ ·10^{-10}	*0,29%*	*<10% ; classique*	*$8{,}621 \cdot 10^5$*
d) 10^{-9}	*5,74%*	*<10% ; classique*	*$1{,}721 \cdot 10^7$*
d) 10^{-8}	*49,85%*	*>10% ; relativiste*	*$1{,}495 \cdot 10^8$*
d) 10^{-6}	*99,98%*	*>10% ; relativiste*	*$2{,}997 \cdot 10^8$*
c) 10^{-5}	*>99,999%*	*>10% ; relativiste*	*$\approx c = 2{,}997 \cdot 10^8$*
c) 1	*>99,999%*	*>10% ; relativiste*	*$\approx c = 2{,}997 \cdot 10^8$*

Dualité Onde-Corpuscule

Exercice C9 : Effet photoélectrique

Le travail d'extraction d'un électron du zinc est égal à 3,3 eV.

a) Calculer la fréquence seuil f_S et la longueur d'onde seuil λ_S du zinc. (f_S=7,98.10^{14}Hz; λ_S=376nm)

b) On éclaire le zinc par une radiation UV de longueur d'onde 0,25 µm. Déterminer l'énergie cinétique maximale de sortie E_c des électrons et leur vitesse v. (E_c = 1,66 eV; v = 0,0025c)

c) On éclaire le zinc par la lumière d'un arc électrique en interposant une plaque de verre qui absorbe les ondes de longueur d'onde inférieure à 0,42 µm. Un effet photoélectrique est-il observé ? Motiver !

Exercice C10 : Longueur d'onde associée à une particule

a) Un ballon de football de masse m = 500 g se déplace avec une vitesse de v = 54 km/h.
Déterminer la longueur d'onde λ associée à ce ballon et en conclure qu'il est impossible de diffracter des corps macroscopiques. ($\lambda = 8{,}83 \cdot 10^{-35}$ m)

b) Dans expérience de Davisson et Germer pour étudier la nature ondulatoire de particules matérielles, des électrons ont été accélérés sous une tension de 54 V. Déterminer la longueur d'onde λ associée à ces électrons. Peuvent-ils être diffractés ? Motiver la réponse !

($\lambda = 1{,}67 \cdot 10^{-10}$ m ≈ taille d'un atome => diffraction possible)

Exercice C11 : Laser

Un laser à rubis (cristal de Al_2O_3 avec des traces d'ions Cr^{3+}) émet des impulsions lumineuses de longueur d'onde 694,3 nm (lumière rouge). Une impulsion lumineuse a une puissance moyenne de 10 MW et une durée de 1,5 ns.

a) Combien de photons sont émis pendant une impulsion ? ($N = 5{,}24 \cdot 10^{16}$)

b) Déterminez la quantité de mouvement de l'ensemble de tous les photons. ($p = 5{,}00 \cdot 10^{-11}$ kg m/s)

Physique nucléaire

Exercice C12 : Désintégration du polonium 218

Dans la famille radioactive de l'uranium, on rencontre l'élément ^{218}Po qui par deux désintégrations successives, la première de type α, la seconde du type β^-, devient un isotope de bismuth.

1. Écrire les équations traduisant les deux désintégrations.
2. On observe que la deuxième désintégration s'accompagne d'une autre émission dangereuse pour l'organisme humain. Préciser de quelle émission il s'agit et indiquer brièvement sa cause.

Exercice C13 : Désintégration du carbone 14

Le carbone 14, émetteur β-, de demi-vie 5730 ans, apparaît dans la haute atmosphère à la suite du choc de neutrons sur les atomes d'azote ^{14}N.

1. Écrire le bilan de la réaction de la formation de carbone 14.

Les plantes assimilent le dioxyde de carbone provenant de carbone 14 ou de carbone 12. La proportion des deux isotopes est la même dans l'atmosphère et dans les végétaux. Quand une plante meurt, le processus d'assimilation s'arrête et la teneur en carbone 14 diminue. Pour connaître l'époque à laquelle vécurent les humains préhistoriques dans la caverne de Lascaux, on mesure la radioactivité d'un échantillon de charbon de bois enfoui dans le sol de la grotte. Le nombre de désintégration n'est plus que 1,6 par minute alors qu'il serait 11,5 par minute pour un échantillon de charbon de bois « actuel » de même masse.

2. Combien de temps s'est-il écoulé, depuis le dernier feu, dans la grotte de Lascaux ?

($T_{1/2}$ = 16 305y)

Exercice C14 : Réaction de fission

Parmi les diverses réactions de fission possibles pour le noyau de l'atome de l'uranium $^{235}_{92}U$ lorsqu'il absorbe un neutron, l'une donne naissance au noyau ^{139}Xe, au noyau ^{95}Sr ainsi qu'à deux neutrons. Les énergies de liaison par nucléon des trois noyaux sont respectivement : 7,7 MeV pour l'uranium ; 8,4 MeV pour le xénon et 8,7 MeV pour le strontium.

1. Montrer que cette réaction est exoénergétique et calculer l'énergie libérée par la fission d'un noyau d'uranium 235.
2. Calculer l'énergie libérée par la fission totale d'un kilogramme d'uranium 235.

($E = 4{,}73 \cdot 10^{26}$ MeV = 75,8 TJ)

3. Après plusieurs désintégrations de type β^-, les produits primaires de fission aboutissent respectivement à deux nucléides stables : le lanthane (La) et le molybdène (Mo). Écrire le bilan global de ces désintégrations en précisant le nombre de masse pour chaque nucléide stable, ainsi que l'équation bilan de la fission du noyau ^{235}U conduisant aux nucléides stables. Observe-t-on, au cours de ces désintégrations, une émission de rayonnement γ ?

Exercice C15 : Réaction de fusion

Une des réactions de fusion possible afin de produire de l'énergie est :

deutérium + deutérium → hélium 3 + neutron

avec la réaction ultérieure de deutérium sur l'hélium 3 pour former de l'hélium 4.

1. Écrire les équations bilan des deux réactions ainsi que le bilan de l'ensemble de la fusion.
2. Montrer que les deux réactions sont exoénergétiques et calculer la libération d'énergie pour la fusion de 1 kg de deutérium.

On donne les masses des noyaux suivantes :
hydrogène : 1,007 276 u ; deutérium : 2,013 451 u ; hélium 3 : 3,014 933 u ;
hélium 4 : 4,001 502 u ; neutron : 1,008 655 u.

($E = 2{,}14 \cdot 10^{27}$ MeV = 343 TJ)

(enthalpies de combustions : essence : 47,3 MJ/kg ; dihydrogène : 142 MJ/kg)

Exercice C16 : Désintégration du polonium 210

Le polonium 210, noyau instable, subit une désintégration α en donnant un noyau de plomb dans son état fondamental.

1. Écrire l'équation bilan de la désintégration en précisant les nombres de masse et de charge.
2. Calculer l'énergie libérée lors de la désintégration d'un noyau de polonium en utilisant les données suivantes : (E = 5,03 MeV)

Noyau	Masse (en unités de masse atomique)
Po	209,914 6
Pb	205,907 7
He	4,001 5

3. Que signifie l'affirmation « la demi-vie du nucléide polonium 210 est de 138 jours » ?
4. Calculer la masse de polonium 210 restant au bout de 414 jours dans un échantillon qui en contenait initialement 20g. (m = 2,5g)

Exercice C17 : Désintégration du radium 226

Un noyau de radium 226 se désintègre en un noyau de radon.

1. Écrire la réaction nucléaire correspondante.
2. Connaissant les masses des noyaux de radium 226 : 225,953 2 u,
   radon 222 : 221,946 9 u,
   hélium 4 : 4,001 5 u,
   calculer l'énergie libérée lors de la désintégration d'un noyau de radium. (E = 4.47 MeV)
3. Cette énergie est entièrement acquise par la particule α sous forme d'énergie cinétique.

   a) Expliquer, en se basant sur le concept de quantité de mouvement, pourquoi l'énergie cinétique du noyau fils est négligeable.

   b) Déterminer, en appliquant les lois de la mécanique classique, la vitesse d'émission de la particule α. La valeur trouvée justifie-t-elle l'application de la mécanique classique si on admet qu'il faut recourir à la mécanique relativiste si la vitesse d'une particule est supérieure à 10% de la vitesse de la lumière ?

   ($v = 1{,}47 \cdot 10^7$ m/s = 4,9 % de c < c/10 → particule classique)

Exercice C18 : Expérience des muons revisitée (repêchage 2016)

On tente de répéter l'expérience des muons au sommet du Mont Blanc (altitude 4 810 m) et à Genève (altitude 370 m). Les muons sont des particules élémentaires produites dans la haute atmosphère qui se désintègrent spontanément d'après une loi exponentielle analogue à la loi de décroissance radioactive. Leur demi-vie dans un référentiel où ils sont au repos est T=1,5µs. Leur vitesse par rapport à un observateur terrestre est v = 0,995 c.

1) Établir la loi de décroissance radioactive.

Au sommet du Mont Blanc, on détecte, grâce à un dispositif approprié, 6 254 (= N_0) muons en une heure. A Genève, on détecte N_1 muons en une heure,

2) Considérons les événements suivants :

E_1 « Le muon passe le sommet du Mont Blanc. »

E_2 « Le muon passe Genève. »

L'intervalle de temps entre ces deux événements est-il un temps propre ou un temps impropre pour un observateur terrestre ? Expliquer !

3) Calculer le nombre de muons qu'il faudrait détecter à l'altitude de Genève, si on ne tenait pas compte des effets relativistes. (classique : $\Delta t = 1{,}48 \cdot 10^{-5}$ s et N_1 = 6,5 muons)

4) Calculer le nombre de muons qu'il faudrait détecter à Genève, si on tenait compte des effets relativistes. (relativiste : $\Delta t_{propre} = 1{,}49 \cdot 10^{-6}$ s et N'_1 = 3149 muons)

5) Sachant que le muon a une masse de 105,65 MeV/c^2, calculer son énergie cinétique.

(E_c = 952,3 MeV)

6) Préciser dans quel référentiel les événements E_1 et E_2 ont lieu au même endroit ! Ces deux événements peuvent-ils être simultanés dans un autre référentiel en mouvement rectiligne uniforme par rapport à ce référentiel ? Justifier !

États énergétiques quantifiés

Exercice C19 : Le spectre de l'hydrogène

L'énergie de l'atome d'hydrogène est donnée par $E_n = \frac{E_1}{n^2}$, avec $E_1 = -13{,}6$ eV.

a) Expliquez la signification des symboles E_1 et n.

b) Vrai ou faux ? Justifiez votre réponse !

1. L'énergie du 2e niveau excité est $-2{,}42 \cdot 10^{-19}$ J. (vrai)
2. L'atome d'hydrogène peut avoir une énergie égale à –2,8 eV. (faux)
3. Le spectre d'émission de l'hydrogène est continu. (faux)
4. Le niveau d'énergie 0 eV correspond à l'atome d'hydrogène dans son état fondamental, non excité. (faux)
5. L'atome d'hydrogène peut émettre une radiation de longueur d'onde 103 nm en passant du niveau $n = 3$ au niveau $n = 1$ (vrai)

c) Un atome d'hydrogène passe du niveau $n = 3$ à un niveau supérieur $n > 3$ en absorbant une radiation de longueur d'onde 1282 nm.

A quelle partie du spectre électromagnétique appartient cette radiation ? (IR)

Calculez le nombre n du niveau supérieur. (n = 5)

Exercice C20 : Atome d'hydrogène

1. Calculer les énergies des 3 premiers états excités (n>1) de l'atome d'hydrogène ainsi que E_∞ .
2. Dans quel état se trouve l'atome si $n \to \infty$?
3. On considère les transitions électroniques aboutissant sur la couche K (série de Lyman), sur la couche L (série Balmer) et sur la couche M (série Paschen) :

   a) Dessiner le diagramme énergétique de l'atome d'hydrogène (échelle : 1 eV≙1 cm).

   b) Représenter par des flèches quelques transitions électroniques aboutissant sur la couche K (série de Lyman), sur la couche L (série Balmer) et sur la couche M (série Paschen).

4. Quelle série se trouve dans le domaine de l'UV et quelle série se trouve dans l'IR sachant que celle de Balmer se trouve partiellement dans le domaine visible du spectre de la lumière ? Justifier sans calcul numérique.
5. Calculer la longueur d'onde du photon correspondant respectivement à la transition :

$$n = 2 \to n = 1, n = 4 \to n = 1 \text{ et } n = 3 \to n = 2$$

($\lambda_{2\text{-}b1}$=122 nm (UV), $\lambda_{4\text{-}1}$=97,3 nm (UV), $\lambda_{3\text{-}2}$=656 nm (rouge))

Exercice C21 :

Supposons qu'un proton, accéléré à partir du repos par une tension U = 24 V, cède 25 % de son énergie cinétique à un atome d'hydrogène.

a) Peut-il ioniser l'atome H se trouvant dans l'état fondamental ?

b) Peut-il ioniser l'atome H se trouvant dans le premier état excité ?

c) Peut-il assurer la transition d'un électron de la couche K vers la couche L ?
Justifier les réponses. (ΔE = 6 eV ; non ; oui ; non)

Exercice C22 :

Le 24 janvier 2009, un laboratoire de physique nucléaire a reçu une source radioactive de cobalt 60, émetteur β^- ayant une activité à cette date de 50,19 MBq. La demi-vie de cet isotope du cobalt est de 5,271 années. Le noyau fils est émis dans un état excité.

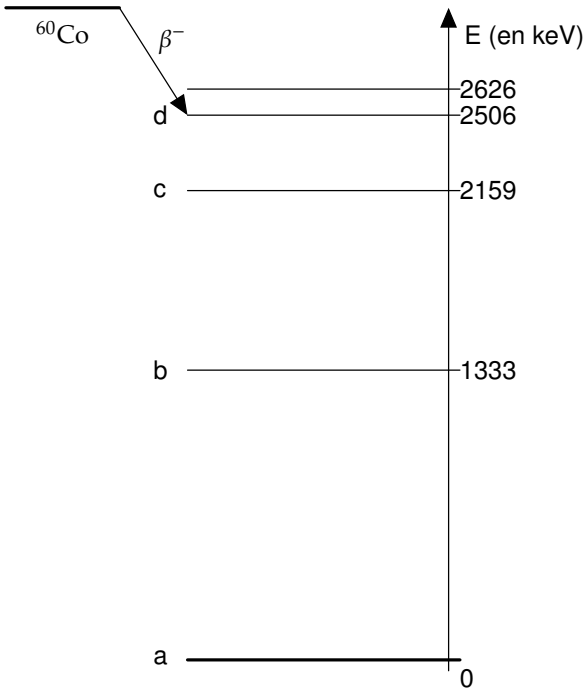
a) Écrire les équations des transformations nucléaires.

b) Calculer la masse du cobalt contenue dans la source à la date de l'achat. La masse d'un atome de cobalt est 59,93 u.

c) Calculer l'activité de la source le 24 janvier 2016.

d) Sans calculer, donner la date à laquelle l'activité n'est plus que 12,5% de l'activité initiale.

e) La figure ci-contre montre le diagramme énergétique du noyau fils. Calculer les longueurs d'onde du rayonnement émis lors des transitions successives de l'état excité d vers l'état b et de l'état b vers l'état fondamental a.



(m_0=1,20 μg; A=20,0 MBq ; t=15,8 y ; $\lambda_{d\text{-}b}$=1,06 pm, $\lambda_{b\text{-}a}$=0,930 pm)

Exercice C23 : Le laser Hélium-Néon (simplifié)

Le milieu laser d'un **laser hélium-néon** est un mélange gazeux d'hélium et de néon sous très faible pression. Lorsque le laser fonctionne, les atomes d'hélium sont excités par décharge électrique (voir figure). Ces atomes excités entrent en collision avec les atomes de néon dans leur état fondamental. Lors de cette collision il y a un transfert d'énergie des atomes d'hélium vers les atomes de néon qui se retrouvent dans un état excité E_2 d'énergie 20, 66 eV. La radiation laser se fait lors de la transition de l'état E_2 vers E_1 :

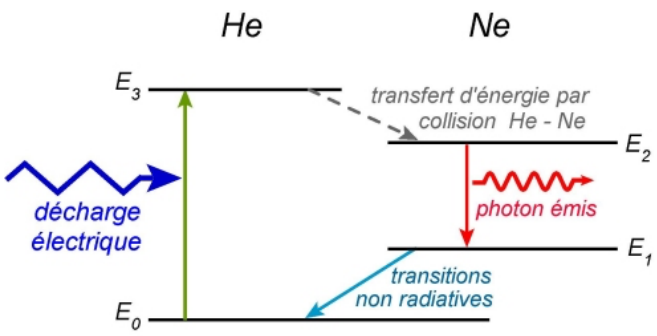


Schéma simplifié de fonctionnement du LASER He-Ne

Source : **http://www.maxicours.com/se/fiche/9/4/410449.html/ts**

a) Au cours de cette transition des photons de longueur d'onde $\lambda = 632{,}8$ nm sont émis. Calculer l'énergie d'un photon émis ? *($E = 3{,}14 \cdot 10^{-19}$ J = 1,96 eV)*

b) En déduire l'énergie du niveau E_1. *(E_1 = 18,70 eV)*

c) Quelle est la couleur de la lumière émise par le laser He-Ne? *(rouge)*

d) La puissance d'un laser hélium néon utilisée habituellement au lycée pour des expériences d'optique est égale à 1 mW. Calculer le nombre de photons émis par seconde par ce laser. *($N = 3{,}19 \cdot 10^{15}$ photons)*