

Conseils :

- Ce devoir comporte 3 exercices indépendants.
- Le correcteur tiendra compte de la **présentation** (soin apporté aux schémas) et de la **rédaction de votre copie** : justifiez rapidement vos affirmations, donnez la **valeur littérale simplifiée** des résultats en fonction des données de l'énoncé, **vérifiez l'homogénéité et la cohérence** (tout résultat non homogène sera sanctionné).
Les résultats NON ENCADRÉS ne seront pas notés. Laissez une marge à gauche pour le correcteur.
- Numérotez les questions et ajoutez le label de la marge Q1, etc.
- L'usage des **calculatrices est autorisé**.

HOMOGÉNÉITÉ ET ATOMES

Les atomes sont des systèmes constitués d'électrons, de charge électrique négative $q_e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C} \simeq 10^{-19} \text{ C}$ et de masse $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \simeq 10^{-30} \text{ kg}$, en interaction électromagnétique avec un noyau de charge électrique positive. Le noyau est constitué de protons et de neutrons en interactions nucléaires. La masse du proton vaut $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \simeq 10^{-27} \text{ kg}$, et celle du neutron vaut $m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \simeq 10^{-27} \text{ kg}$. La charge électrique des protons est positive et vaut « exactement » l'opposé de la charge des électrons : $q_p = q_e$. Les neutrons ont une charge globalement neutre : $q_n = 0$. Dans cet exercice on utilisera la constante de Planck réduite : $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ ($\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg.s}^{-1} \simeq 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg.s}^{-1}$) dès que des effets quantiques seront impliqués.

1. On rappelle que l'intensité de la force d'interaction électrostatique s'exerçant entre deux charges q_A et q_B distante de r est donnée par

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_A q_B}{r^2}$$

- Q1 où ϵ_0 est appelée permittivité diélectrique du vide et vaut $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ A}^2\text{s}^4\text{kg}^{-1}\text{m}^{-3} \simeq 10^{-11} \text{ A}^2\text{s}^4\text{kg}^{-1}\text{m}^{-3}$. Donner la dimension de ϵ_0 .
- Q2 2. En physique atomique, c'est la constante $k^2 = q_e^2/(4\pi\epsilon_0)$ qui est fréquemment utilisée. Fournir sa dimension, son unité et estimer sa valeur.
- Q3 3. Dans le cadre de l'électrodynamique quantique (théorie quantique et relativiste de l'électromagnétisme) on introduit une nouvelle constante, notée α et appelée « constante de couplage » de l'interaction électromagnétique. À partir des quantités k^2 , $\hbar$ et c la vitesse de la lumière dans le vide, donner l'expression puis estimer la constante de couplage α . Cette constante est sans dimension et plus petite que 1. On cherchera α sous la forme $\alpha = k^2 c^\alpha \hbar^\beta$.
- Q4 4. À partir des quantités k^2 et $\hbar$ donner, par analyse dimensionnelle, l'expression de la vitesse caractéristique des électrons dans les atomes, notée v_a . Donner l'expression de v_a en fonction de α et c . Estimer v_a .
- Q5 5. À partir des quantités k^2 , $\hbar$ et m_e , donner l'expression de la taille caractéristique des atomes, notée r_a . Donner l'expression de r_a en fonction de α , c , $\hbar$ et m_e . Estimer r_a .

- Q6 6. L'énergie d'ionisation caractéristique des atomes, notée E_H , est l'énergie qu'il faut fournir pour arracher les électrons extérieurs d'un atome. À partir des quantités k^2 , h et m_e , donner l'expression de E_H . Déterminer E_H en fonction de α , c et m_e . Estimer E_H en J et en électron-Volt. (L'électron-Volt, noté eV, est l'unité d'énergie utilisée dans les domaines physiques de l'infiniment petit (physique atomique, physique nucléaire et physique des particules), la correspondance entre unités est donnée par la relation $1\text{eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.)
- Q7 7. À partir des quantités r_a et m_p , donner l'expression puis estimer la masse volumique caractéristique des atomes, notée ρ_a .

LOCALISATION D'UNE ÉPAVE À L'ŒIL NU

1 Découverte de l'épave

Lors d'une expédition en mer, alors que le soleil est au zénith à la verticale du lieu où il se trouve, un pêcheur de coquillages se trouvant à une hauteur $H = 1,0\text{m}$ au-dessus de la surface aperçoit un éclat brillant au fond de l'eau, lequel se trouve à une profondeur $h = 20\text{m}$. Il décide donc de plonger et découvre une épave du XVIII^{ème} siècle. L'éclat brillant aperçu provient d'un miroir abandonné dans le carré des officiers, à la verticale d'un puits de lumière, incliné de telle sorte que la lumière réfléchiée a été renvoyée par une large brèche percée plus loin dans le pont.

La situation est modélisée sur la figure 1, qu'il est inutile de reproduire sur la copie. On notera $n_e = 1,34$ l'indice de réfraction de l'eau de mer, et $n_a = 1,00$ celui de l'air.

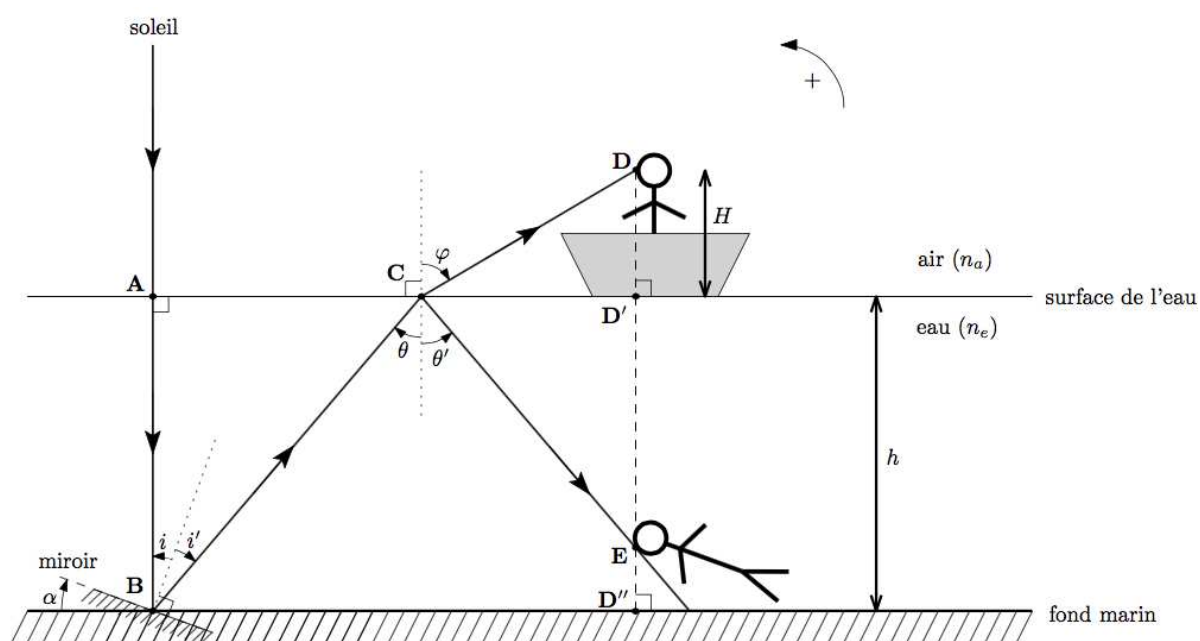


Figure 1 - Schéma (pas à l'échelle ! et pas nécessairement réaliste ...) de la situation. Pour plus de clarté, l'épave n'a pas été représentée ; seul le miroir figure sur le dessin.

- Q8 1. Rappeler la définition de l'indice de réfraction n d'un milieu transparent.
- Q9 2. Rappeler les lois de Descartes pour la réfraction. Faites un schéma.
- Q10 3. Justifier le tracé du rayon lumineux lorsqu'il frappe l'eau au point A (incidence normale).

- Q11 4. Exprimer l'angle i d'incidence sur le miroir au point B en fonction de l'angle α que fait le miroir avec le fond de la mer.
On fera attention aux angles orientés : les angles sont pris positifs selon la convention choisie sur le schéma. i est ainsi pris positif. i et α sont orientés de façon opposée. Faites un schéma des angles autour de B .
- Q12 5. Exprimer l'angle i' de réflexion sur le miroir en fonction de l'angle i d'incidence sur le miroir, puis en fonction de α .
- Q13 6. En déduire l'angle θ d'incidence à la surface de l'eau au point C du rayon réfléchi par le miroir, en fonction de i et i' . En déduire que :
- $$\theta = 2\alpha$$
- Q14 7. Que se passe-t-il au point C ?
- Q15 8. (a) Exprimer l'angle φ , d'abord en fonction de θ , n_a et n_e , puis en fonction de α , n_a et n_e . On pourra utiliser les fonctions trigonométriques inverses.
- Q16 (b) Faire de même pour l'angle θ' .
9. On note D la position du pêcheur sur son bateau, D' le projeté orthogonal de D sur la surface de l'eau, et D'' le projeté orthogonal de D sur le fond marin. Déterminer :
- Q17 (a) la distance CD' , en fonction de φ et H (on fera attention au signe de φ qui est négatif, la distance doit bien être positive),
- Q18 (b) la distance AC , en fonction de θ et h .
- (c) la distance BD'' , en fonction de α , h , H , n_a et n_e .
- Q19 (d) Effectuer l'application numérique pour $\alpha = -20^\circ$. A priori, le plongeur peut-il parcourir cette distance en apnée ?
- Q20 10. À quelle profondeur $D'E$ le pêcheur, plongeant à la verticale de son bateau, aurait-il dû se trouver pour apercevoir l'éclat lumineux dû au rayon réfléchi en C ?

2 Pourquoi l'épave n'a-t-elle pas été détectée auparavant ?

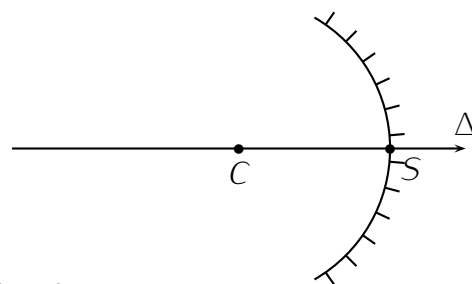
Le pêcheur va toujours pêcher sensiblement dans la même zone. Pourtant jamais auparavant il n'a aperçu depuis son bateau l'éclat brillant... pourquoi ? La réponse est due à un crabe, qui s'est abrité sous le miroir, et l'a fait bouger !

- Q21 11. Expliquer pourquoi il n'existe pas toujours, au point C , un rayon émergent hors de l'eau. Comment appelle-t-on ce phénomène ?
- Q22 12. (a) Déterminer, en fonction de n_a et n_e , l'angle limite α_{lim} en-dessous duquel le rayon émergent n'existe plus.
- (b) Effectuer l'application numérique.
- Q23 13. L'angle α était-il plus grand ou plus petit avant que le crabe fasse bouger le miroir ?

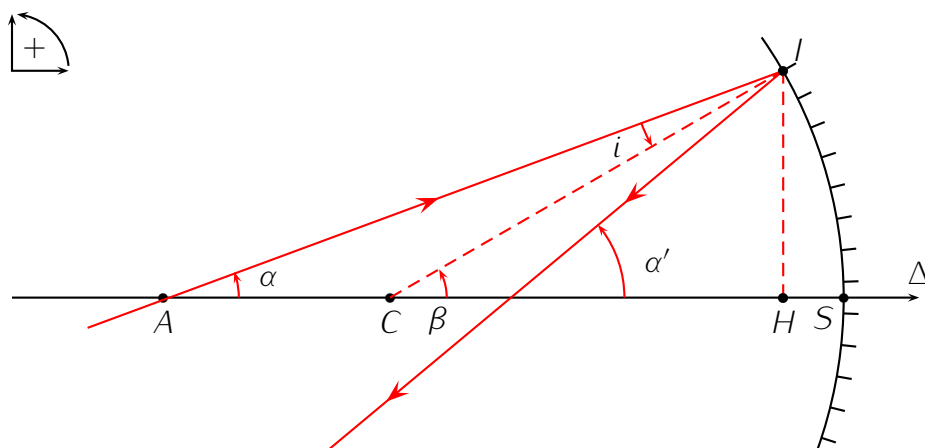
MIROIR SPHÉRIQUE

Ce problème propose d'établir et d'utiliser une relation de conjugaison pour un miroir sphérique. On note C le centre de la sphère sur laquelle est déposée une couche parfaitement réfléchissante et R son rayon. On note S l'intersection entre le miroir et l'axe optique.

La convention d'orientation des angles et des axes est notée par un schéma en haut à gauche de la figure.



Q24 1. Que vaut la distance $\overline{SC}$ en fonction des données du problème ?



Q25 2. On a tracé sur le schéma ci-dessus la marche d'un rayon issu d'un point A sur l'axe optique. Quel autre rayon peut-on tracer pour trouver facilement la position de A' l'image de A par le miroir ? Placer A' sur le schéma. Est-elle réelle ou virtuelle ? Justifier.

Q26 3. Déterminer une relation entre β , α et i .

Q27 4. En utilisant les lois de la réflexion en I , déterminer une relation entre β , α' et i .

Q28 5. Montrer que $2\beta = \alpha + \alpha'$.

Q29 6. Décrire les conditions de Gauss. On considèrera pour la suite que tous les rayons sont dans les conditions de Gauss. Dans ce cas, on admet que $H \simeq S$. Quelle approximation peut-on alors faire pour $\tan \alpha$?

Q30 7. Exprimer β , α et α' en fonction de $\overline{HI}$, $\overline{AS}$, $\overline{A'S}$ et $\overline{SC}$. On sera particulièrement vigilant sur les signes.

Q31 8. En utilisant les questions précédentes, montrer que :
$$\frac{1}{\overline{SA}} + \frac{1}{\overline{SA'}} = \frac{2}{\overline{SC}}$$

Q32 9. Que signifie la phrase «le miroir sphérique présente un stigmatisme approché» ? En quoi l'obtention de cette formule (dans les conditions de Gauss) justifie-t-elle que l'on a un stigmatisme approché ?

10. Mise en pratique :

Q33 (a) Par utilisation de la formule démontrée à la question 8, déterminer la position de l'image C' du point C . Est-ce cohérent avec ce que vous trouvez via un tracé en utilisant les lois de la réflexion ?

Q34 (b) Rappeler la définition du foyer objet F d'un système optique. Par utilisation de la formule démontrée à la question 8, déterminer la position de F .

Q35 (c) Faire de même pour le foyer image F' .

HOMOGÉNÉITÉ ET ATOMES

- Q1 1. Cf DM1 : $[\epsilon_0] = I^2 M^{-1} L^{-3} T^4$
- Q2 2. Par définition, on a : $[k^2] = [\frac{1}{4\pi\epsilon_0} q_e^2] = [F_e r^2] = [m a r^2] = M L^3 T^{-2}$, ce qui donne $k^2 = 2,5 \cdot 10^{-28} \text{ kg.m}^3.\text{s}^{-2}$.
- Q3 3. Méthode 1 : raisonnement intuitif direct On a $[k^2] = M L^3 T^{-2}$, $[c] = L.T^{-1}$ et $[h] = M L^2 T^{-1}$. On constate immédiatement que le produit $h c$ est homogène à e^2 , ainsi le rapport des deux facteurs $h c$ et e^2 est sans dimension. Donc $\alpha = \frac{k^2}{h c}$. Méthode 2 : calcul On pose : $\alpha = (k^2) c^y h^z$. Ainsi : $[\alpha] = 1 = M^1 L^3 T^{-2} L^y T^{-y} M^z L^{2z} T^{-z}$ On obtient le système suivant :

$$\begin{cases} (M) : 1 + z = 0 \\ (L) : 3 + y + 2z = 0 \\ (T) : -2 - y - z = 0 \end{cases}$$

Les trois équations obtenues ne sont pas indépendantes bien qu'elles soient cohérentes. En résolvant le système, on retrouve le résultat obtenu par le raisonnement intuitif direct.

Numériquement on obtient $\frac{k^2}{h c} = 7,275 \cdot 10^{-3}$.

- Q4 4. Grâce à la question précédente, et en se rappelant que c est une vitesse on déduit immédiatement que $[v_a] = [c] = [k^2/h] = L.T^{-1}$ et donc que la vitesse caractéristique des électrons dans les atomes vaut : $v_a = k^2/h = \alpha c = 2,19 \cdot 10^6 \text{ m.s}^{-1}$.
- Q5 5. Pour déterminer l'expression de r_a , la taille caractéristique des atomes, l'intuition est mise à rude épreuve, le plus simple est de poser le calcul :

$$r_a = (k^2)^1 m_e^y h^z \Rightarrow [r_a] = M^{1+y+z} L^{3+2z} T^{-2-2z} = L$$

La résolution du système donne : $x = -1$, $y = -1$ et $z = 2$ La taille caractéristique des atomes est donc donnée par : $r_a \simeq h^2/(m_e k^2) = 5,26 \cdot 10^{-11} \text{ m}$

- Q6 6. Une énergie a pour dimension $[E_H] = M L^2 T^{-2}$. On sait que $[k^2] = M L^3 T^{-2}$, donc $[k^2/E_H] = L$. Comme les expressions de E_H et de r_a utilisent les mêmes constantes, on en déduit que $L = [r_a] = [k^2/E_H]$. L'énergie d'ionisation caractéristique des atomes est donnée par : $E_H = k^2/r_a = \alpha^2 m_e c^2 = 4,35 \cdot 10^{-18} \text{ J} = 27,2 \text{ eV}$.

Un calcul beaucoup plus rigoureux, réalisé dans le cadre quantique, donnera le même résultat divisé par un simple facteur 2 pour l'atome d'hydrogène ! Pour ioniser un atome d'hydrogène, c'est-à-dire pour expulser l'électron de l'atome, il faut fournir une énergie de 13,6 eV.

- Q7 7. La masse volumique, est par définition le rapport entre la masse et le volume. Pour l'atome le plus simple, l'hydrogène, on a vu que $m_H \simeq m_p$, ce qui justifie l'utilisation du paramètre m_p pour estimer la masse volumique caractéristique des atomes ρ_a . Un raisonnement purement dimensionnel indique que le volume V_a est proportionnel à la taille caractéristique des atomes r_a au cube : $[V_a] = L^3 = [r_a^3]$. D'où $\rho_a \simeq m_p/r_a^3 = 11,5 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^3$.

Si on se souvient que l'eau a une masse volumique de $\rho_{eau} = 10^3 \text{ kg.m}^3$, on voit que les ordres de grandeurs sont parfaitement corrects, ce qui confirme que les masses volumique des atomes et de la matière ordinaire sont similaires.

LOCALISATION D'UNE ÉPAVE À ŒIL NU

- Q8 1. Pour un milieu transparent, on définit l'indice de réfraction par $n = \frac{c}{v}$
 où c est la vitesse de la lumière dans le vide et v la vitesse de la lumière dans le milieu.
L'interprétation est intéressante, mais ne permet pas de faire des mesures quantitatives et des prédictions quantitatives. Il faut connaître les définitions précises.
- Q9 2. Lois de Descartes pour la réfraction avec schéma et angles orientés. Attention à ne pas oublier la première et à bien définir le plan d'incidence (souvent les étudiants pensent avoir compris ce qu'est le plan d'incidence mais le définissent très mal, voir de façon fautive ; respectez scrupuleusement la définition vue en cours). De plus les lois ne sont valables que s'il y a réfraction bien sûr (dit autrement, on ne parle pas du rayon réfracté s'il y a réflexion totale).
- Q10 3. Le rayon arrive sur le dioptre air/eau avec un angle d'incidence nul (incidence normale). D'après la seconde loi de Snell-Descartes pour la réfraction, le rayon réfracté n'est pas dévié.
 REMARQUE : il existe aussi un rayon réfléchi qui n'est pas représenté car il ne peut être vu par le pêcheur.
- Q11 4. D'après la question précédente, le rayon incident en B est perpendiculaire au fond marin.
 Puisque deux angles à côtés perpendiculaires sont égaux, l'angle i entre la normale au miroir et ce rayon est égal à celui entre le miroir et le fond marin. $i = -\alpha$
- Q12 5. D'après la seconde loi de Snell-Descartes pour la réflexion, on a $i' = -i = \alpha$
- Q13 6. Le rayon (AB) étant normal à la surface de l'eau, les angles θ et $(i' - i)$ sont des angles alternes-internes égaux. $\theta = i' - i = 2\alpha$

Certes l'énoncé disait qu'il était inutile de reproduire le schéma dans son intégralité, mais vous «pouvez» reproduire à chaque question la partie pertinente du schéma pour aider à justifier vos réponses.

- Q14 7. En C, le rayon incident (BC) rencontre un dioptre eau/air. D'après la 1^{ère} loi de Snell-Descartes, on observe toujours un rayon réfléchi (CE) et parfois un rayon réfracté (CD) tels que le rayon incident, le rayon réfléchi, le rayon réfracté s'il existe et la normale à la surface de l'eau en C sont coplanaires.
8. (a) Expression de φ :
 D'après la 2^{nde} loi de Snell-Descartes pour la réfraction : $n_e \sin(\theta) = n_a \sin(\varphi)$.
- Q15 Donc si le rayon réfracté existe, $\varphi = \arcsin\left(\frac{n_e}{n_a} \sin(\theta)\right)$
 D'après la question 5), on a $\varphi = \arcsin\left(\frac{n_e}{n_a} \sin(2\alpha)\right)$
- (b) Expression de θ' :
- Q16 D'après la 2^{nde} loi de Snell-Descartes pour la réflexion, il vient $\theta' = -\theta = -2\alpha$
9. On note D la position du pêcheur sur son bateau.
- Q17 (a) (DD') est normale à la surface de l'eau, donc les angles φ et $\left(\widehat{\overrightarrow{DD'}}, \overrightarrow{DC}\right)$ sont alternes-internes égaux. Ainsi, dans le triangle CDD' rectangle en D' , on a : $\tan(\varphi) = -\frac{CD'}{DD'}$ Attention au signe, φ est négatif et les distances sont positives $\Rightarrow CD' = -H \tan(\varphi)$

Q18 (b) Dans le triangle ABC rectangle en A, et d'après la question 5) :

$$\tan(i - i') = -\tan(\theta) = \frac{AC}{AB} = \frac{AC}{h} \Rightarrow \boxed{AC = -h \tan(\theta)}$$

(c) * $AD'D''B$ étant un rectangle, $BD'' = AD' = AC + CD'$ car A, C et D' sont alignés.

* D'après les questions a) et b), on en déduit :

$$BD'' = -h \tan(\theta) - H \tan(\varphi)$$

* D'après les questions 5) et 6), il vient finalement

$$\boxed{BD'' = -h \tan(2\alpha) - H \tan\left[\arcsin\left(\frac{n_e}{n_a} \sin(2\alpha)\right)\right]}$$

Q19 (d) Numériquement : $\boxed{BD'' \simeq 18 \text{ m}}$

Il est tout à fait raisonnable pour un pêcheur en apnée bien entraîné de couvrir cette distance, en effet, cela représente environ 1/3 d'une piscine olympique ce qui est très abordable avec une bonne impulsion initiale. (En réalité, le pêcheur doit couvrir $BD' = \sqrt{BD''^2 + h^2} \simeq 27 \text{ m}$ et remonter à la surface ensuite ! Cela devient alors nettement plus délicat, mais l'énoncé ne demandait que BD'').

10. Les angles θ' et $\widehat{(\vec{ED'}, \vec{EC})}$ sont alternes-internes égaux, donc dans le triangle $D'CE$ rectangle en D' :

Q20 $\tan(\theta') = \frac{CD'}{D'E}$

$$D'où D'E = \frac{CD'}{\tan(\theta')}$$

Donc, d'après les questions précédentes :

$$\boxed{D'E = H \frac{\tan\left[\arcsin\left(\frac{n_e}{n_a} \sin(2\alpha)\right)\right]}{\tan(2\alpha)}}$$

$$\boxed{D'E \approx 2,0 \text{ m}}$$

Cette profondeur est très facile à atteindre par tout être humain sans problème de santé particulier.

11. D'après la question 8) : $\varphi = \arcsin\left(\frac{n_e}{n_a} \sin(2\alpha)\right)$ avec $n_e > n_a$

Q21 Par conséquent, si l'angle α est trop petit (donc grand en valeur absolue), l'argument de l'arcsin sera < -1 et φ ne sera pas défini. On n'observera alors pas de rayon réfracté : ce phénomène est appelé réflexion totale car seul le rayon réfléchi existe.

S'il y a réflexion totale, alors il n'y a pas de rayon réfracté et l'angle φ ne peut donc pas être défini. Comment pourrait-il être plus grand que $\pi/2$? De plus, les conditions de réflexion totale sont $n_2 < n_1$ et $|\theta| > \theta_{lim}$ et non $|\theta| = \theta_{lim}$

Q22 12. D'après le raisonnement mené à la question précédente (*attention, α est négatif*), le rayon émergent n'existe plus lorsque

$$\frac{n_e}{n_a} \sin(2\alpha) < -1 \quad \Leftrightarrow \quad \sin(2\alpha) < -\frac{n_a}{n_e} \quad \Leftrightarrow \quad 2\alpha < \arcsin\left(-\frac{n_a}{n_e}\right) \text{ car arcsin est croissante}$$

$$\boxed{\alpha < \alpha_{lim} = -\frac{1}{2} \arcsin\left(\frac{n_a}{n_e}\right)}$$

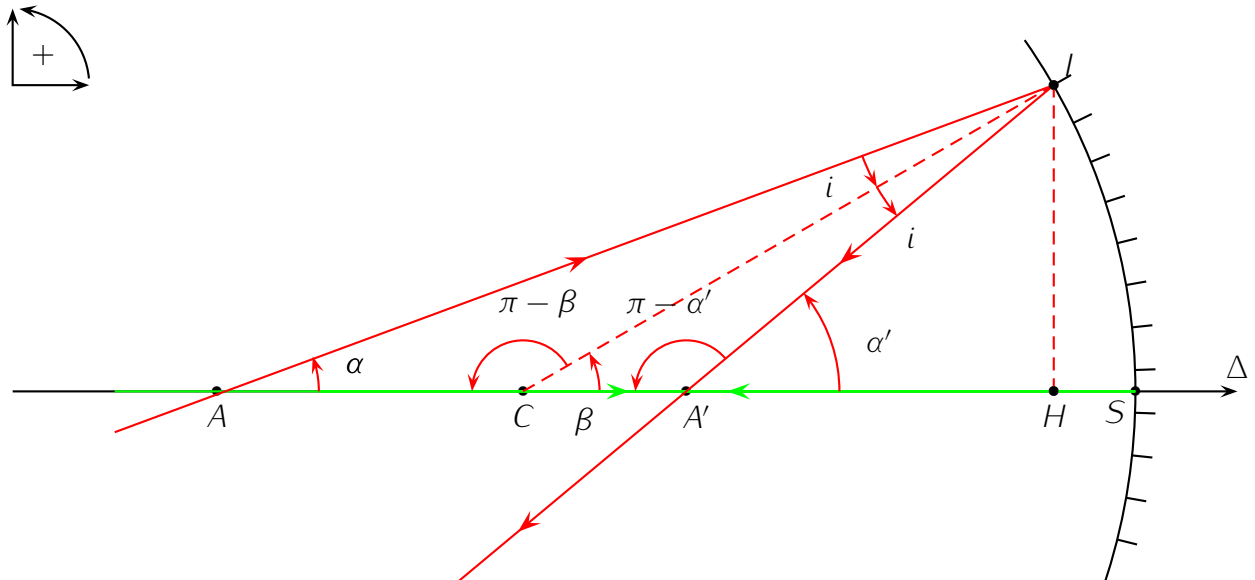
$$\boxed{\alpha \approx -0,421 \text{ rad} \approx -24,1^\circ}$$

Q23 13. Auparavant, le rayon réfracté n'existait pas : il y avait réflexion totale et on était donc dans le cas $\alpha < \alpha_{lim}$. Par conséquent,

$$\boxed{\text{L'angle } \alpha \text{ était plus petit (plus grand en valeur absolue).}}$$

MIROIR SPHÉRIQUE

- Q24 1. En faisant attention à l'orientation de l'axe optique, on trouve $\overline{SC} = -R$.



- Q25 2. Pour trouver facilement la position de A' l'image de A par le miroir, on peut également tracer le rayon selon l'axe optique (et qui revient selon l'axe optique après réflexion). A' est une image réelle car elle est effectivement à l'intersection de rayon émergents (c'est l'espace images réelles mais aussi objets réels).
- Q26 3. Dans le triangle ACI , la somme des angles (tous orientés dans le sens positif) vaut $+\pi$ soit $\pi = \alpha + i + (\pi - \beta)$ d'où $\beta = \alpha + i$
- Q27 4. En utilisant les lois de la réflexion en I , on place à nouveau l'angle i sur le schéma. Dans le triangle $CA'I$, la somme des angles (tous orientés dans le sens positif) vaut π soit $\pi = \beta + i + (\pi - \alpha')$ d'où $\beta = \alpha' - i$
- Q28 5. En sommant les deux relations précédentes, on obtient bien : $2\beta = \alpha + \alpha'$
- Q29 6. Les rayons dans les conditions de Gauss sont peu inclinés par rapport à l'axe optique et proches de l'axe optique. On peut alors faire l'approximation $\tan \alpha \simeq \alpha$
- Q30 7. En admettant que $H \simeq S$, on a : $\beta = \frac{\overline{HI}}{\overline{CH}} \simeq -\frac{\overline{HI}}{\overline{SC}} > 0$
 $\alpha = \frac{\overline{HI}}{\overline{AS}} > 0$ et $\alpha' = \frac{\overline{HI}}{\overline{A'H}} \simeq \frac{\overline{HI}}{\overline{A'S}} > 0$
- Q31 8. En utilisant $2\beta = \alpha + \alpha'$, on trouve en utilisant les expressions précédentes et en divisant par $\overline{HI}$: $\frac{-2}{\overline{SC}} = \frac{1}{\overline{AS}} + \frac{1}{\overline{A'S}}$ soit la relation demandée en changeant les signes :

$$\frac{1}{\overline{SA}} + \frac{1}{\overline{SA'}} = \frac{2}{\overline{SC}}$$
9. Un système optique est dit stigmatique si pour un point objet, son image est elle aussi ponctuelle, c'est-à-dire que tous les rayons lumineux se croisent en un seul point. C'est bien le cas ici avec

Q32 la formule précédente car la position obtenue pour A' ne dépend pas de i et donc tous les rayons partant de A se croisent bien au même A' quelque soit leur orientation.

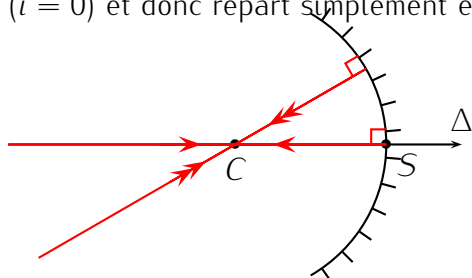
Toutefois, ce stigmatisme n'est qu'approché car il n'est valable que dans les conditions de Gauss et nous avons été "obligé" de faire l'approximation $\alpha \simeq \tan \alpha$ ainsi que $H \simeq S$. Sans ces approximations, on se rendrait compte que l'image d'un point est une tâche de petite dimension (tant que les angles restent faibles), d'où le terme "approché" dans "stigmatisme approché".

10. Mise en pratique :

(a) En utilisant la relation de conjugaison du miroir avec $A = C$:

Q33
$$\frac{1}{\overline{SC}} + \frac{1}{\overline{SC'}} = \frac{2}{\overline{SC}} \text{ soit } \frac{1}{\overline{SC}} = \frac{1}{\overline{SC'}} \text{ d'où } \boxed{C' = C}$$

C'est cohérent avec le tracé : un rayon partant de C arrive forcément en incidence normale ($i = 0$) et donc repart simplement en sens inverse en repassant toujours par C .



Q34 (b) Le foyer objet F d'un système optique est le point de l'axe optique dont l'image est à l'infini sur l'axe optique.

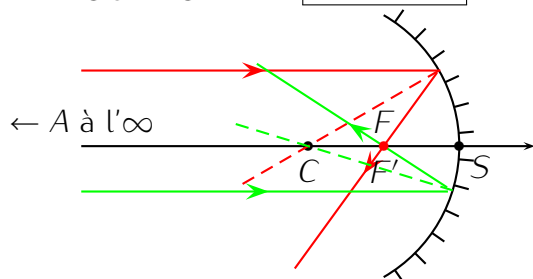
En utilisant la relation de conjugaison du miroir avec $A = F$ et $\overline{SA'} = -\infty$, on trouve :

$$\frac{2}{\overline{SC}} = \frac{1}{\overline{SF}} \text{ soit } \boxed{\overline{SF} = \frac{\overline{SC}}{2}}$$

Q35 (c) Le foyer image F' d'un système optique est le point de l'axe optique image d'un point objet à l'infini sur l'axe optique.

En utilisant la relation de conjugaison du miroir avec $A' = F'$ et $\overline{SA} = -\infty$, on trouve :

$$\frac{2}{\overline{SC}} = \frac{1}{\overline{SF'}} \text{ soit } \boxed{\overline{SF'} = \frac{\overline{SC}}{2}}$$



On constate que dans ce système particulier les foyers sont confondus (ce n'est pas le cas pour les lentilles).