

## EXERCICES PHYSIQUE

### CH17 La lumière: image et photons, aspect corpusculaire de la lumière

Bac S 2018 Amérique du Sud

#### EXERCICE III – OBSERVER LE SOLEIL EN «H ALPHA» (5 points)

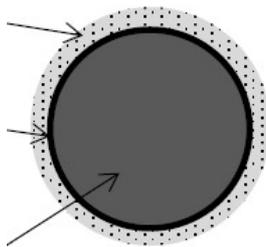
Un filtre solaire « H alpha » est un accessoire pour télescope, permettant notamment d'observer avec beaucoup de précision les détails de la chromosphère, couche peu dense mais très active de l'atmosphère solaire : protubérances, turbulences, filaments, taches...

##### Vue simplifiée du Soleil en coupe

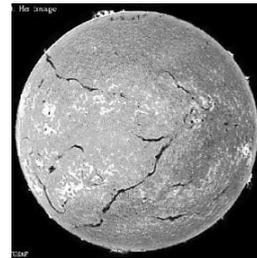
Chromosphère et couronne  
(gaz sous faible pression)

Photosphère (émettant  
l'essentiel de la lumière du  
Soleil)

Gaz très chauds et très  
denses



##### Une image de la chromosphère obtenue à l'aide d'un filtre « H alpha »



[http://www.spaceweathercenter.org/swop/Gallery/Solar\\_pics/Halpha.html](http://www.spaceweathercenter.org/swop/Gallery/Solar_pics/Halpha.html)

La lumière intense émise par la photosphère empêche un observateur terrestre de distinguer la chromosphère. Pour pallier cet inconvénient, on utilise des filtres appropriés à l'observation du Soleil. Les atomes d'hydrogène présents dans la chromosphère absorbent la lumière émise par la photosphère et la réémettent vers l'extérieur. La longueur d'onde, sélectionnée par ces filtres, correspond à une raie du spectre de l'hydrogène appelée H alpha ( $H_{\alpha}$ ). La photosphère est alors invisible et seule la chromosphère apparaît.

##### Données

Charge élémentaire :  $e = 1,602 \times 10^{-19}$  C

Électron-volt :  $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19}$  J

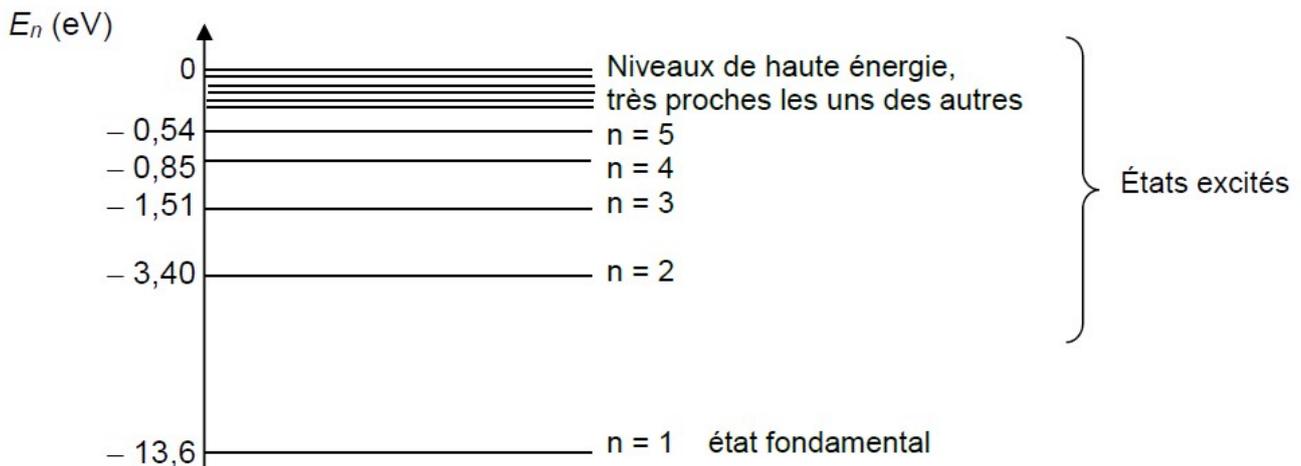
Constante de Planck :  $h = 6,626 \times 10^{-34}$  J.s

Célérité de la lumière dans le vide :  $c = 2,998 \times 10^8$  m.s<sup>-1</sup>

#### 1. La raie « H alpha »

1.1. La longueur d'onde mesurée dans le vide de la raie  $H_{\alpha}$  est  $\lambda_{\alpha} = 656,3$  nm. En déduire la fréquence  $\nu_{\alpha}$  d'une telle radiation.

Le diagramme ci-dessous représente les niveaux d'énergie (exprimés en électrons-volts) de l'atome d'hydrogène.



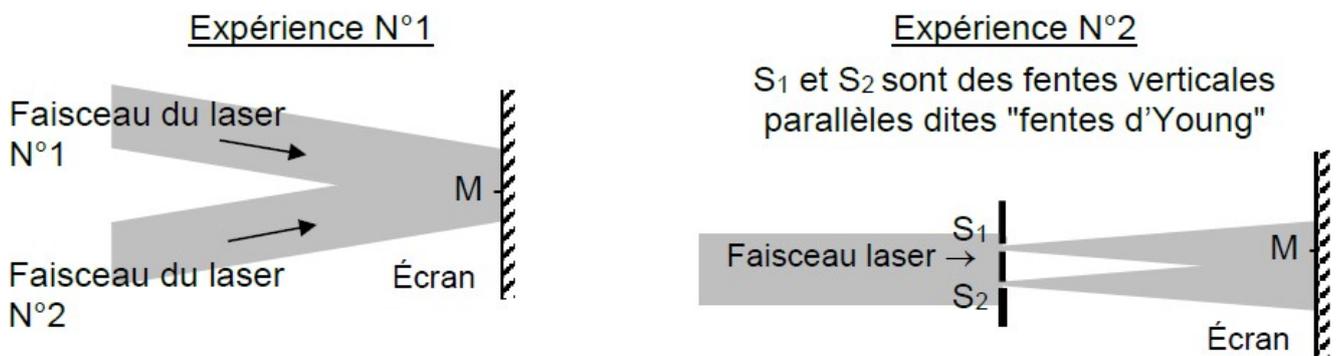
1.2. Identifier la transition qui correspond à l'émission de la raie  $H_\alpha$ .

## 2. Filtre interférentiel

On utilise le principe des interférences constructives et destructives pour « sélectionner » certaines longueurs d'onde au détriment d'autres.

### 2.1. Obtenir une figure d'interférences

Deux expériences sont proposées pour observer des interférences lumineuses sur un écran :



2.1.1. Quelle expérience permet d'obtenir de façon certaine des interférences ?

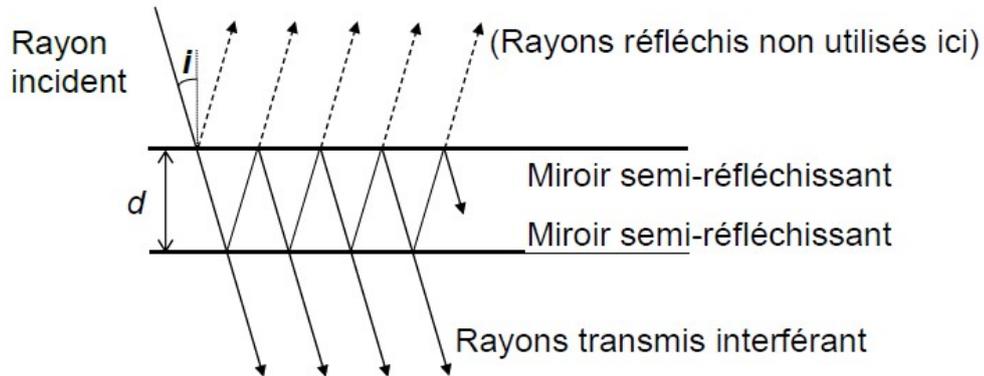
Dans l'expérience N°2, des rayons de lumière monochromatique de période  $T$ , provenant d'un faisceau laser, passent à travers deux fentes d'Young  $S_1$  et  $S_2$  et viennent interférer sur l'écran. Soit M un point quelconque de cet écran.

La différence de trajet parcouru par les rayons provenant respectivement de  $S_1$  et  $S_2$  entraîne un retard  $\tau$  entre les deux ondes au point M.

2.1.2. À quelle condition, portant sur  $\tau$  et  $T$ , le point M appartient-il à une frange brillante ? à une frange sombre ?

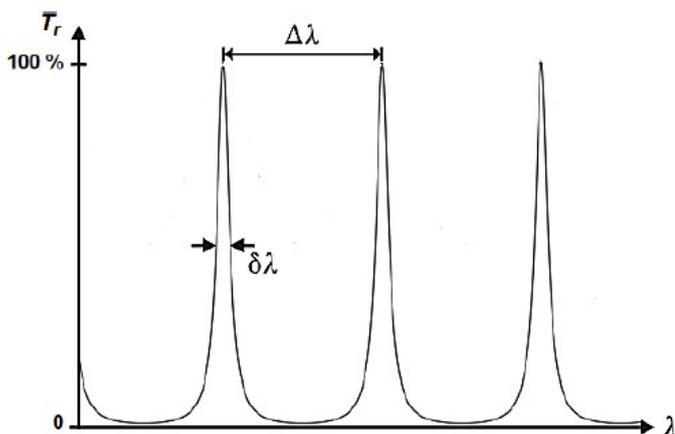
## 2.2. L'interféromètre de Fabry-Pérot

L'interféromètre est constitué de deux miroirs parallèles partiellement réfléchissants, séparés d'une distance  $d$ . En raison des réflexions multiples entre les deux miroirs, des rayons transmis, parallèles entre eux, sortent de la cavité et interfèrent.



En raison de la multiplicité des réflexions, seules les radiations dont les longueurs d'onde vérifient la condition d'interférences constructives seront transmises avec une forte intensité lumineuse. Lorsque les interférences sont destructives, l'intensité transmise est très faible.

La figure ci-dessous représente l'évolution du coefficient de transmission en intensité,  $T_r$ , de l'interféromètre en fonction de la longueur d'onde de la radiation incidente.



$\Delta\lambda \approx \frac{\lambda^2}{2d}$  représente l'écart entre deux longueurs d'onde successives vérifiant la condition d'interférences constructives.

$\delta\lambda$  dépend des miroirs : plus ils sont réfléchissants, plus les pics sont fins.

D'après <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fabry-Perot-Transmissionsspektrum.svg>

On considère une radiation de longueur d'onde  $\lambda$  qui pénètre dans l'interféromètre sous l'angle d'incidence  $i$ , comme indiqué sur la figure ci-dessus.

On admet qu'il y aura des interférences constructives si et seulement si la relation suivante est vérifiée :

$$2 d \cdot \cos(i) = k \cdot \lambda \text{ où } k \text{ est un nombre entier.}$$

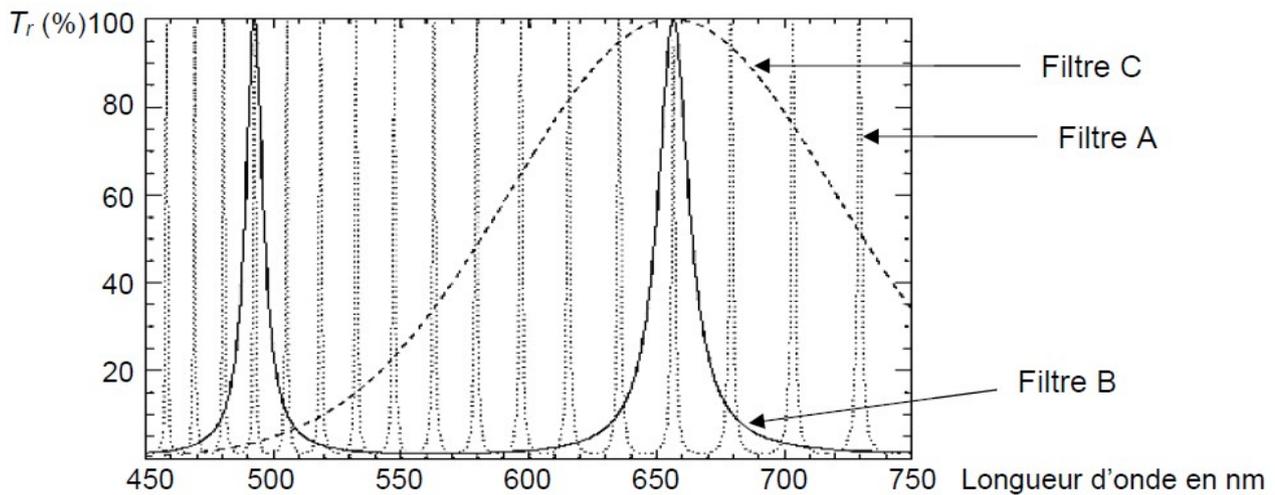
**2.2.1.** Vérifier que si  $d = 49,88 \mu\text{m}$  et  $i = 0,000^\circ$ , les interférences sont constructives pour la longueur d'onde  $\lambda_\alpha = 656,3 \text{ nm}$ . Préciser la valeur de  $k$ .

**2.2.2.** Parmi les longueurs d'ondes qui vérifient la condition d'interférences constructives, déterminer la valeur de la longueur d'onde de la radiation qui précède directement, ou qui succède (au choix), à la radiation de longueur d'onde  $\lambda_\alpha$ .

**2.2.3.** Calculer alors la valeur de l'écart  $\Delta\lambda$  entre deux longueurs d'onde successives et vérifier que  $\Delta\lambda \approx \frac{\lambda_\alpha^2}{2d}$ .

### 2.3. Utilisation de l'interféromètre comme filtre

On donne ci-dessous les courbes de transmission (variations du coefficient de transmission  $T_r$  en fonction de la longueur d'onde) de trois filtres notés A, B et C, utilisés dans un filtre solaire.



D'après [http://solaire.obspm.fr/pages/obs\\_amateur/coronado.html](http://solaire.obspm.fr/pages/obs_amateur/coronado.html)

**2.3.1.** Déterminer la longueur d'onde de la radiation transmise commune à ces trois filtres. Commenter.

**2.3.2.** Les filtres A et B sont de type « Fabry-Perot ». Comparer qualitativement leurs paramètres : distance entre les deux miroirs, nature plus ou moins réfléchissante des miroirs.

**2.3.3.** Expliquer brièvement pourquoi il est nécessaire de superposer plusieurs filtres pour sélectionner correctement la raie  $H_\alpha$ .

## EXERCICE III – Observer le soleil en « H alpha » (5 points)

## 1. La raie « H alpha »

1.1. Pour une OEM, la longueur d'onde  $\lambda$  et la fréquence  $\nu$  (nu) sont liées par la relation :  $\lambda = \frac{c}{\nu}$

Pour la raie H $\alpha$ ,  $\lambda_\alpha = \frac{c}{\nu_\alpha} \Leftrightarrow \nu_\alpha = \frac{c}{\lambda_\alpha}$

donc  $\nu_\alpha = \frac{2,998 \times 10^8}{656,3 \times 10^{-9}} = \underline{4,568 \times 10^{14} \text{ Hz}}$

1.2. D'après la relation de Planck-Einstein,  $E_{\text{photon}} = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$

L'énergie d'un photon qui correspond à l'émission de la raie H $\alpha$  est donc :

$$E_{\text{photon}} = 6,626 \times 10^{-34} \times \frac{2,998 \times 10^8}{656,3 \times 10^{-9}} = 3,027 \times 10^{-19} \text{ J} = \frac{3,027 \times 10^{-19}}{1,602 \times 10^{-19}} \text{ eV} = \underline{1,889 \text{ eV}}$$

L'énergie de ce photon doit correspondre à la différence entre deux niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène ; ici, il s'agit de la transition entre les niveaux  $n = 2$  et  $n = 3$  ( $\Delta E = 3,40 - 1,51 = 1,89 \text{ eV}$ )

Comme il s'agit d'une raie d'émission, il y a diminution de l'énergie de l'atome avec émission d'un photon : la transition est donc du niveau  $n = 3$  vers  $n = 2$ .

## 2. Filtre interférentiel

## 2.1. Obtenir une figure d'interférences

2.1.1. L'expérience N°2 permet d'obtenir de façon certaine des interférences car les ondes qui se rencontrent sont cohérentes (de même fréquence et de déphasage constant) car issues de la même source (contrairement à l'expérience N°1).

2.1.2. Pour une frange brillante, les ondes sont en phase donc  $\tau = k \cdot T$  avec  $k$  entier relatif.

Pour une frange sombre, les ondes sont en opposition de phase donc  $\tau = (2k + 1) \cdot \frac{T}{2}$ .

## 2.2. L'interféromètre de Fabry-Pérot

2.2.1. Pour que les interférences soient constructives, la relation  $2 d \cdot \cos(i) = k \cdot \lambda$  doit être vérifiée

avec  $k$  nombre entier :  $2 d \cdot \cos(i) = k \cdot \lambda \Leftrightarrow k = \frac{2 d \cdot \cos(i)}{\lambda}$

$k = \frac{2 \times 49,88 \times 10^{-6} \times \cos(0,000)}{656,3 \times 10^{-9}} = 152,0$  :  $k$  est bien un nombre entier, les interférences sont constructives.

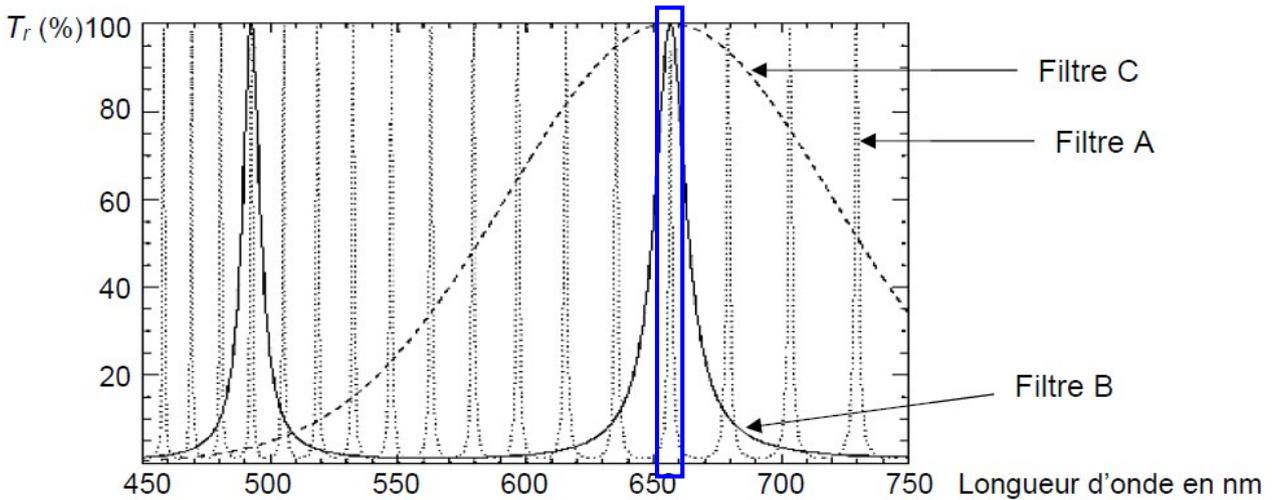
2.2.2.  $2 d \cdot \cos(i) = k \cdot \lambda \Leftrightarrow \lambda = \frac{2 d \cdot \cos(i)}{k}$

<b>k = 152,0 + 1 = 153,0</b>	<b>k = 152,0 - 1 = 151,0</b>
$\lambda = \frac{2 \times 49,88 \times 10^{-6} \times \cos(0,000)}{153,0}$	$\lambda = \frac{2 \times 49,88 \times 10^{-6} \times \cos(0,000)}{151,0}$
$\lambda = 6,520 \times 10^{-7} \text{ m} = 652,0 \text{ nm}$	$\lambda = 6,607 \times 10^{-7} \text{ m} = 660,7 \text{ nm}$
<b>2.2.3. <math>\Delta\lambda = 656,3 - 652,0 = 4,3 \text{ nm}</math></b>	<b><math>\Delta\lambda = 660,7 - 656,3 = 4,4 \text{ nm}</math></b>

$$\frac{\lambda_{\alpha}^2}{2d} = \frac{(656,3 \times 10^{-9})^2}{2 \times 49,88 \times 10^{-6}} = 4,318 \times 10^{-9} \text{ m} = 4,318 \text{ nm} : \text{ La relation } \Delta\lambda \approx \frac{\lambda_{\alpha}^2}{2d} \text{ est bien vérifiée.}$$

### 2.3. Utilisation de l'interféromètre comme filtre

**2.3.1.** La longueur d'onde de la radiation transmise commune à ces trois filtres est environ 657 nm (lecture graphique peu précise). Il s'agit de la longueur d'onde de la raie H $\alpha$  (656,3 nm).



D'après [http://solaire.obspm.fr/pages/obs\\_amateur/coronado.html](http://solaire.obspm.fr/pages/obs_amateur/coronado.html)

**2.3.2.** D'après l'énoncé,  $\Delta\lambda \approx \frac{\lambda^2}{2d}$  représente l'écart entre deux longueurs d'onde successives vérifiant la condition d'interférences constructives.

Ici  $\Delta\lambda$  (filtre A) <  $\Delta\lambda$  (filtre B) donc  $d$ (filtre A) >  $d$ (filtre B) car  $\lambda$  est fixée et  $d$  est au dénominateur.

D'après l'énoncé,  $\delta\lambda$  dépend des miroirs : plus ils sont réfléchissants, plus les pics sont fins.

Ici, les pics dus au filtre A sont plus fins que ceux dus au filtre B donc les miroirs du filtre A sont plus réfléchissants.

**2.3.3.** Il est nécessaire de superposer plusieurs filtres pour sélectionner correctement la raie H $\alpha$  car un filtre seul transmet plusieurs longueurs d'onde.

En 1929, le prix Nobel de physique est attribué au mathématicien et physicien français Louis de Broglie pour sa découverte de la nature ondulatoire des électrons. Ses travaux sont considérés aujourd'hui comme fondateurs de la physique quantique, dont une des lois fondamentales, dite loi de de Broglie, peut s'énoncer de la façon suivante :

« À toute particule matérielle de masse  $m$  et de vitesse  $v$  est associée une onde de matière de longueur d'onde  $\lambda$  :

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

$h$  étant la constante de Planck et  $p$  la quantité de mouvement de la particule. »

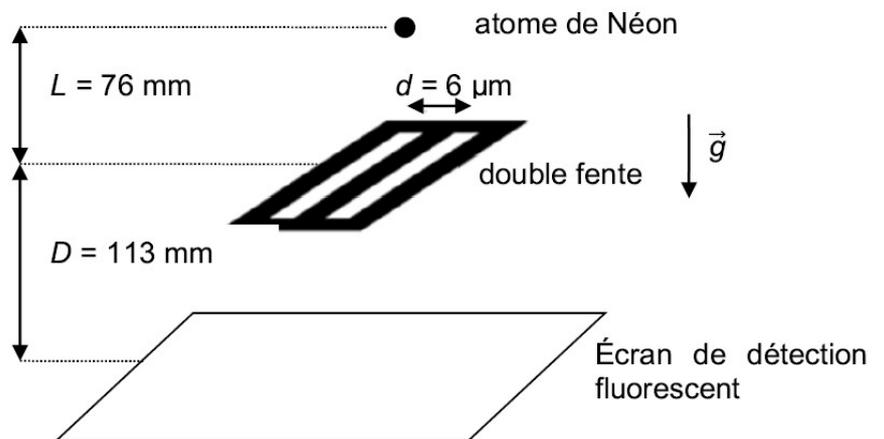


De nos jours, cette loi est à la base du principe de fonctionnement de certains gravimètres, appareils permettant d'obtenir une valeur très précise de l'intensité de pesanteur. Une application des gravimètres est la détection d'anomalies gravitationnelles permettant d'anticiper la détection de séismes ou de faire de la prospection pétrolière ou archéologique.

Un gravimètre à atomes froids utilise un dispositif vertical dont le principe de fonctionnement simplifié est schématisé ci-dessous. Il utilise des atomes de Néon piégés et refroidis à une température de 2,5 millikelvins. Ces atomes quittent le piège sans vitesse initiale et tombent dans le champ de pesanteur  $\vec{g}$ .

Le piège est situé à une hauteur  $L$  au-dessus de deux fentes séparées d'une distance  $d$ .

Un écran de détection est placé à une distance  $D$  des deux fentes ; il permet de détecter chaque impact d'atome de Néon.



On obtient sur l'écran de détection une figure d'interférences constituée d'environ 6000 impacts d'atomes.

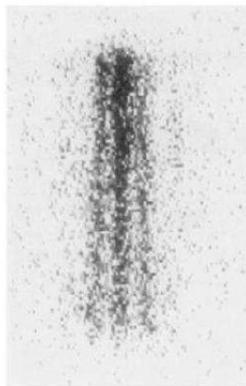


Figure d'interférences observée sur l'écran de détection  
D'après F. Shimizu, K. Shimizu, H. Takuma, "Double-slit Interference with ultracold metastable neon atoms"; *Physical Review A*; 1992.

**Données :**

- masse d'un atome de Néon :  $m = 3,35 \times 10^{-26}$  kg ;
- constante de Planck:  $h = 6,63 \times 10^{-34}$  J.s ;
- vitesse des atomes au niveau de la double fente :  $v_F = 1,2$  m.s<sup>-1</sup>.

On applique successivement deux modèles mécaniques aux atomes de Néon pour expliquer le fonctionnement du gravimètre.

**2. Le modèle de de Broglie**

La figure obtenue sur l'écran du dispositif est une image d'interférences.

**2.1.** Quel caractère de la matière est ainsi mis en évidence ?

**2.2.** Quelle relation mathématique lie les grandeurs physiques  $p$ ,  $m$  et  $v_F$  au niveau de la fente ? Préciser l'unité de chaque grandeur.

**2.3.** Montrer que, dans le modèle de de Broglie, la longueur d'onde  $\lambda_{th}$ , associée à un atome de Néon, au niveau de la double fente, est égale à  $1,6 \times 10^{-8}$  m.

**2.4.** À partir du document fourni en **ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, déterminer, avec le plus de précision possible, la valeur de l'interfrange.

**2.5.** Déterminer, parmi les propositions suivantes, la formule qui permet de calculer l'interfrange à partir des caractéristiques de l'expérience. Préciser la méthode utilisée.

$$i = \frac{\lambda \cdot D}{d}$$

$$i = \frac{\lambda^2 \cdot d}{D}$$

$$i = \frac{d \cdot D}{\lambda^2}$$

**2.6.** En déduire la valeur expérimentale de la longueur d'onde de de Broglie,  $\lambda_{exp}$ , associée aux atomes de Néon.

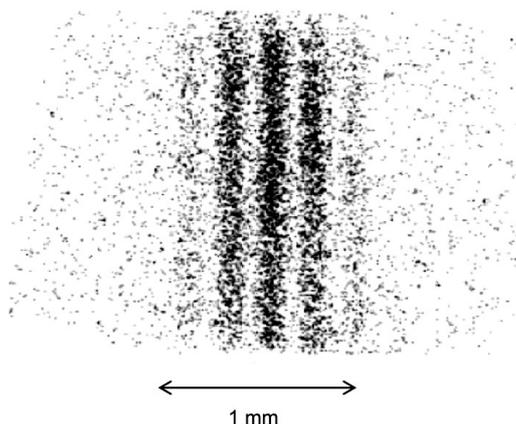
**2.7.** Comparer les longueurs d'onde  $\lambda_{exp}$  et  $\lambda_{th}$ .

**2.8. Analyse des résultats**

**2.8.1.** Après les deux fentes, la mécanique classique ne peut plus être utilisée. Par contre, la gravitation continue de s'exercer après les fentes. Comment évolue la quantité de mouvement associée aux atomes de Néon entre la double fente et l'écran ?

**2.8.2.** Comparer qualitativement la longueur d'onde associée aux atomes de Néon au niveau de la double fente et au niveau de l'écran.

**2.8.3.** À quelle longueur d'onde aurait-on dû comparer la longueur d'onde obtenue expérimentalement ?

**Annexe de l'exercice III : Détermination de l'interfrange**

**EXERCICE III : INTERFÉRENCES AVEC DES ATOMES FROIDS (5 points)**

**2. Le modèle de de Broglie**

2.1. Le phénomène d'interférences est caractéristique des ondes : cette expérience prouve le caractère ondulatoire de la matière (onde de matière).

2.2. Par définition de la quantité de mouvement :  $p = m \cdot v_F$

$$\begin{matrix} \text{kg.m.s}^{-1} & & \text{kg} & \cdot & \text{m.s}^{-1} \\ & \swarrow & & \swarrow & \\ & & & & \end{matrix}$$

2.3. La relation de de Broglie relie l'aspect particulaire et l'aspect ondulatoire de la matière :  $p = \frac{h}{\lambda}$

Donc  $\lambda_{th} = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v_F}$

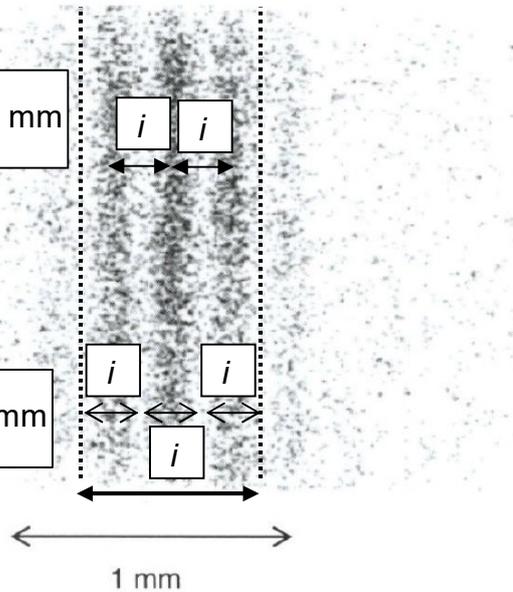
$$\lambda_{th} = \frac{6,63 \times 10^{-34}}{3,35 \times 10^{-26} \times 1,2} = 1,6 \times 10^{-8} \text{ m comme indiqué.}$$

2.4. L'interfrange est la plus distance entre deux franges de même nature. Pour plus de précision, on mesure plusieurs interfranges. Soit de centre à centre de zones sombres (2i), soit de centre à centre de zones claires (3i).

$$\left. \begin{matrix} 2i \Leftrightarrow 1,6 \text{ cm} \\ 1 \text{ mm} \Leftrightarrow 3,6 \text{ cm} \end{matrix} \right\} i = \frac{1 \times 1,6}{3,6 \times 2} = 0,22 \text{ mm}$$

ou

$$\left. \begin{matrix} 3i \Leftrightarrow 2,4 \text{ cm} \\ 1 \text{ mm} \Leftrightarrow 3,6 \text{ cm} \end{matrix} \right\} i = \frac{1 \times 2,4}{3,6 \times 3} = 0,22 \text{ mm}$$



2.5. Seule la relation  $i = \frac{\lambda \cdot D}{d}$  est homogène : on en conclut que c'est elle qui convient.

Démonstration :  $i = \frac{\lambda \cdot D}{d}$  donne  $m \Leftrightarrow \frac{m \cdot m}{m} \Leftrightarrow m$  donc relation homogène

$i = \frac{\lambda^2 \cdot d}{D}$  donne  $m \Leftrightarrow \frac{m^2 \cdot m}{m} \Leftrightarrow m^2$  donc relation non homogène

$i = \frac{d \cdot D}{\lambda^2}$  donne  $m \Leftrightarrow \frac{m \cdot m}{m^2} \Leftrightarrow$  sans unité donc relation non homogène

2.6. On en déduit  $\lambda_{exp} = \frac{i.d}{D}$  alors  $\lambda_{exp} = \frac{0,22 \times 10^{-3} \times 6 \times 10^{-6}}{113 \times 10^{-3}} = 1,2 \times 10^{-8} \text{ m} \approx 1 \times 10^{-8} \text{ m}$  (1

CS en toute rigueur)

2.7. On constate donc que  $\lambda_{exp} < \lambda_{th}$  ( $1,2 \times 10^{-8} \text{ m} < 1,6 \times 10^{-8} \text{ m}$ ).

2.8.1. Vu que la gravitation continue de s'exercer sur les atomes, alors leur vitesse continue d'augmenter après les fentes et donc leur quantité de mouvement  $p = m \cdot v$  augmente également.

2.8.2. Vu que  $p$  augmente, la longueur d'onde de matière donnée par la relation de de Broglie diminue

car  $\lambda = \frac{h}{p}$  avec  $h = \text{Cte.}$

2.8.3. On aurait donc dû comparer  $\lambda_{exp} = \frac{i.d}{D}$  qui correspond aux interférences des ondes de matière sur l'écran avec la longueur d'onde de matière qui arrive sur l'écran et pas sur les fentes.

**NON DEMANDÉ :**

Par analogie, on applique la relation  $v_F = \sqrt{2.L.g}$  pour la chute libre jusqu'à l'écran :  $v_E = \sqrt{2.(L+D).g}$

La longueur d'onde de de Broglie de l'onde de matière qui arrive sur l'écran est :

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m.v_E} = \frac{h}{m.\sqrt{2.(L+D).g}}$$

$$\text{AN : } \lambda = \frac{6,63 \times 10^{-34}}{3,35 \times 10^{-26} \times \sqrt{2 \times (76 + 113) \times 10^{-3} \times 9,8}} = 1,0 \times 10^{-8} \text{ m}$$

Ce résultat est plus proche du résultat expérimental que le résultat précédent.

On se propose dans cet exercice d'étudier le modèle de l'atome d'hydrogène proposé par Niels Bohr en 1913. Ce modèle est une continuité du modèle planétaire proposé par Ernest Rutherford, avec cette différence essentielle que Niels Bohr introduisit un nouveau concept, à savoir la quantification des niveaux d'énergie dans l'atome.

## 2. La quantification de Bohr

Dans le modèle de Bohr, l'énergie de l'atome est quantifiée.

2.1. Expliquer succinctement ce que signifie l'adjectif « quantifié ». On pourra, pour illustrer le propos, faire une comparaison avec l'énergie déterminée dans le cadre de la mécanique de Newton.

L'énergie de l'atome d'hydrogène se met sous la forme :

$$E_n = \frac{-13,6}{n^2} \text{ (eV)}$$

où  $n$  est un nombre entier strictement positif appelé nombre quantique principal.

À chacune de ces énergies est associée une orbite circulaire de l'électron dont le rayon  $r_n$  vérifie :

$$r_n = a_0 n^2$$

avec  $a_0$  une grandeur appelée « rayon de Bohr », valeur du rayon de l'atome pour la plus petite valeur de  $n$  à savoir  $n = 1$ .

2.2. Compléter le **tableau joint dans l'annexe à rendre avec la copie** en indiquant la valeur de l'énergie de l'atome ainsi que le rayon de l'orbite de l'électron en fonction de  $n$ . Le rayon sera exprimé en multiple de  $a_0$ .

$n$	1	2	3	4	5
$E_n$ (eV)	-13,6	-3,40	-1,51		
$r_n$	$a_0$	$4a_0$	$9a_0$		

2.3. Vers quelle valeur évolue l'énergie  $E_n$  de l'atome lorsque la valeur du nombre quantique principal  $n$  devient très grande ? Même question concernant la valeur du rayon  $r_n$ .

L'image que l'on peut donner à l'électron en interaction avec le proton dans l'atome d'hydrogène est celle d'un puits dans lequel l'électron serait « piégé ». Le document fourni en **annexe**, donne une représentation graphique de ce puits.

2.4. Quelle énergie minimale faut-il fournir à l'atome pour « libérer » l'électron de ce puits ?

2.5. Quelle modification subit l'atome d'hydrogène si l'électron est « libéré » de ce puits ?

2.6. On apporte à l'atome, dans son état de plus basse énergie  $E_1$ , une énergie  $\Delta E = 10,2$  eV (on ne cherchera pas à savoir comment). Dans quel état énergétique se retrouve alors l'atome après avoir reçu cette énergie ?

2.7. Dans ce nouvel état, l'atome est instable et va chercher à retrouver son état de plus basse énergie. Ce phénomène s'accompagne de l'émission d'un photon.

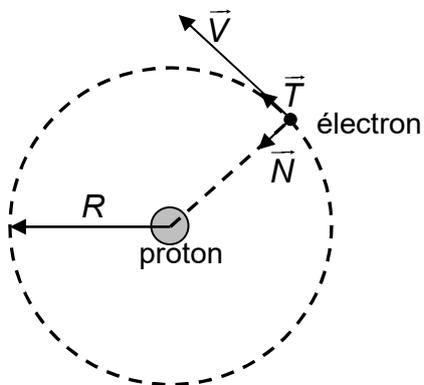
Déterminer sa fréquence puis sa longueur d'onde dans le vide.

On donne  $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$  et  $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

2.8. À quel domaine spectral appartient la radiation émise ?

**Annexe de l'exercice III. à rendre avec la copie**

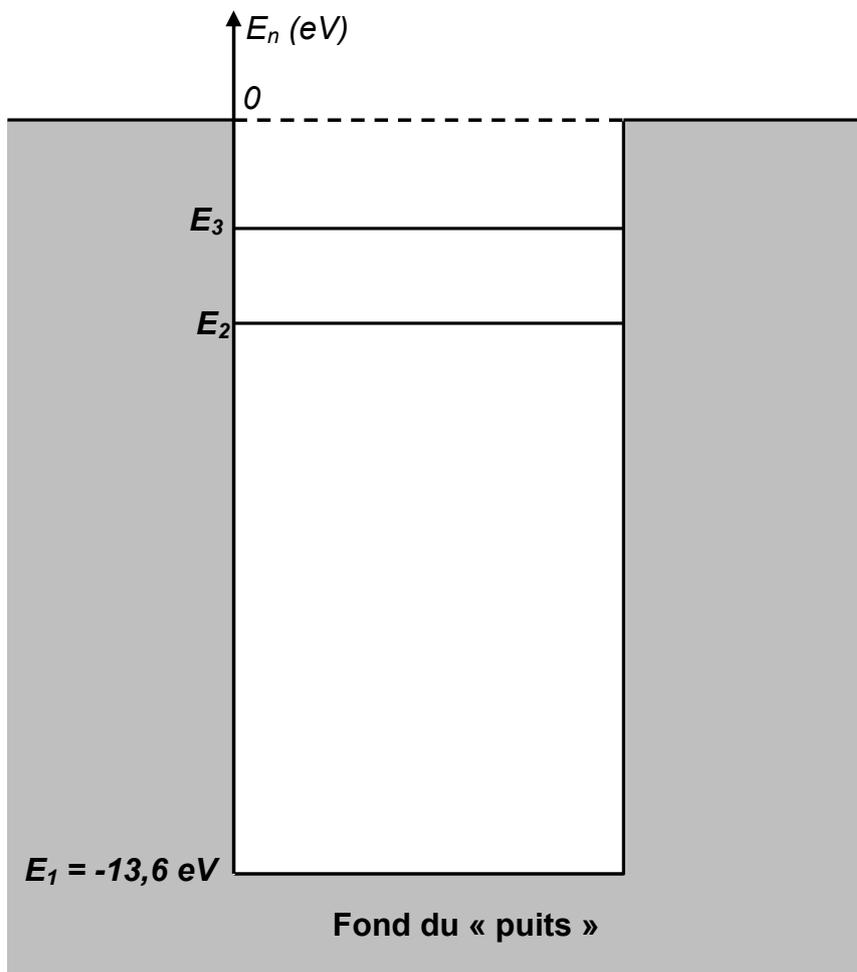
Question 1.1.



$n$	1	2	3	4	5
$E_n \text{ (eV)}$	-13,6	-3,40	-1,51		
$r_n$	$a_0$	$4a_0$	$9a_0$		

Question 2.2.

Question 2.3.



Ne sont représentés sur ce diagramme que les trois premiers niveaux d'énergie, à savoir  $E_1$  (le niveau fondamental ou fond du « puits »)  $E_2$  et  $E_3$

## 2. La quantification de Bohr

2.1. Dans le cadre de la mécanique de Newton, un système peut prendre, à priori, **toutes les valeurs possibles** de l'énergie mécanique. L'énergie mécanique varie de façon continue.

Par contre, dans le cadre de la mécanique quantique, l'énergie de l'atome ne peut prendre que **certaines valeurs particulières** : l'énergie de l'atome est dite « **quantifiée** ».

## 2.2. (0,25)

n	1	2	3	4	5
$E_n$ (eV) = $-13,6/n^2$	-13,6	-3,40	-1,51	<b>- 0,850</b>	<b>- 0,544</b>
$r_n = a_0 n^2$	$a_0$	$4a_0$	$9a_0$	<b><math>16a_0</math></b>	<b><math>25a_0</math></b>

2.3.(0,125) Si n devient très grand alors  $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$  tend vers zéro.

(0,125) Et le rayon  $r_n = a_0 n^2$  tend vers « l'infini ».

2.4.(0,125) Pour libérer l'électron « piégé » au fond du puits dans l'état fondamental d'énergie  $E_1 = -13,6$  eV, il faut qu'il acquiert une énergie nulle au minimum, ainsi il faut fournir une énergie minimale égale à 13,6 eV.

2.5.(0,125) L'atome d'hydrogène devient un cation, il est alors ionisé.

2.6.(0,125) L'atome est initialement dans son état de plus basse énergie  $E_1$ .

On lui apporte l'énergie  $\Delta E = 10,2$  eV =  $E_n - E_1$ . Il passe alors dans un état d'énergie  $E_n$  tel que :

$$E_n = E_1 + 10,2 = -13,6 + 10,2 = -3,4 \text{ eV} = E_2.$$

Ainsi l'électron se retrouve dans l'état d'énergie  $E_2$  (premier état excité).

2.7. L'atome retrouve son état de plus basse énergie  $E_1$  en libérant un photon d'énergie  $\Delta E$  et de

fréquence  $\nu$  tel que  $\Delta E = h \cdot \nu$  soit  $\nu = \frac{\Delta E}{h}$  avec  $\Delta E$  en J

$$(0,25) \nu = \frac{10,2 \times 1,602 \times 10^{-19}}{6,62 \times 10^{-34}} = 2,468 \times 10^{15} = \mathbf{2,47 \times 10^{15} \text{ Hz}}$$

La longueur d'onde dans le vide  $\lambda$  du photon émis est alors :  $\lambda = \frac{c}{\nu}$

$$(0,25) \text{ Soit } \lambda = \frac{3,00 \times 10^8}{2,468 \times 10^{15}} = \mathbf{1,215 \times 10^{-7} \text{ m} = 122 \text{ nm.}}$$

2.8.(0,125) Comme  $\lambda = 122 \text{ nm} < 400 \text{ nm}$ , la radiation émise appartient au domaine des radiations ultraviolettes.