

## SÉRIE DE TRAVAUX DIRIGÉS N° 01

### LIMITES DE LA THÉORIE CLASSIQUE

#### EXERCICE 01 (\*): Rayonnement du corps noir.

La densité d'énergie rayonnée par un corps noir  $u(\nu, T)$  en fonction de la fréquence  $\nu$  et de la température  $T$  est donnée par la loi de Planck

$$u(\nu, T) = \frac{8\pi \cdot h}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1}$$

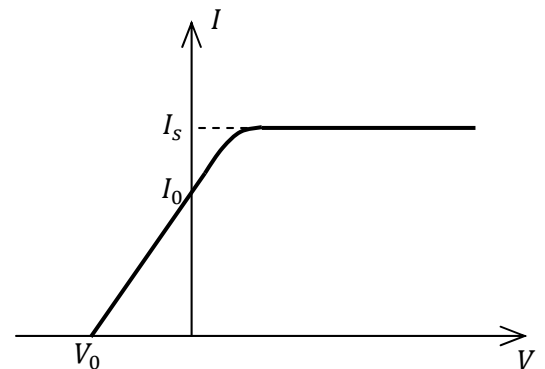
1. Représenter qualitativement  $u(\nu, T)$  en fonction de  $\nu$  pour une température donnée.
2. Pour une température  $T$  donnée déterminez la position du maximum de cette densité.
3. Quelle est la valeur de ce maximum en fonction de la température ?
4. D'après cette relation, quelle est la longueur d'onde correspondant au maximum de rayonnement thermique d'un corps humain à la température de  $37^\circ\text{C}$  ? à quel domaine appartient-elle ?

#### EXERCICE 02 : Effet photoélectrique.

La figure ci-contre représente la variation de l'intensité du courant  $I$  en fonction de la différence de potentiel  $V$  au bord de l'ampoule dans le montage expérimental de Lennard-Jones.

1. Que représente dans cette courbe les valeurs  $I_0$ ,  $I_s$  et  $V_0$  ?
2. En écrivant la conservation de l'énergie mécanique totale de l'électron sortant de la photocathode, trouver la relation entre  $V_0$  et l'énergie cinétique de l'électron à sa sortie.
3. On donne le tableau suivant reliant  $V_0$  à la fréquence  $\nu$  du rayonnement incident sur la photocathode.

$V_0$ (Volt)	1,141	3,212	5,283	7,353
$\nu$ ( $10^{15}$ Hz)	1	1,5	2	2,5



Représentez ci-dessous  $V_0$  en fonction de  $\nu$ . (échelle :  $1 \text{ volt} \rightarrow 1 \text{ cm}$  ;  $0,2 \times 10^{15} \text{ Hz} \rightarrow 1 \text{ cm}$ ).

4. En considérant que le rayonnement incident est constitué de photons d'énergie  $E = h\nu$ , justifier par le calcul théorique la pente de la courbe précédente puis comparer entre la valeur théorique et la valeur donnée par la courbe.
5. Pour quelle fréquence  $\nu_s$  le potentiel  $V_0$  s'annule ? (donner la valeur numérique)
6. Que représente cette fréquence ?
7. Expliquer pourquoi l'existence de la fréquence  $\nu_s$  est contradictoire avec la théorie électromagnétique classique.

#### EXERCICE 03 : Effet photoélectrique.

Un faisceau parallèle de photons de fréquence  $\nu$  est envoyé perpendiculairement sur la surface d'une photocathode.

1. En appelant  $P$  la puissance transportée par ce faisceau, déterminer  $dN_p$  de nombre de photons tombant sur la photocathode pendant un temps  $dt$ .
2. En supposant que le rendement quantique  $R$  est égal à l'unité, c'est-à-dire que chaque photon arrivant sur la photocathode extrait un électron. Calculer le courant photoélectrique  $I$  en fonction de la longueur d'onde incidente.
3. En pratique, le rendement quantique  $R$  est très inférieur à l'unité. Calculer en fonction de  $R$  le courant photoélectrique dans ce cas.
4. En maintenant constantes les caractéristiques du faisceau (puissance fixée) et de la photocathode (rendement quantique fixé), montrer que le courant atteint une limite supérieure que l'on déterminera.

**EXERCICE 04 (\*) : Effet photoélectrique.**

Le travail de sortie  $W_s$  des métaux constituant la photocathode d'une cellule photoélectrique est donné (en électronvolt) par le tableau suivant

Photocathode	Césium	Potassium	Aluminium	Cuivre	Tungstène	Nickel	Platine
$W_s$ (eV)	1,8	2,2	3,0	4,1	4,5	5,0	5,4

- Déterminer la longueur d'onde seuil permettant d'observer l'effet photoélectrique dans chaque cas.
- On éclaire la photocathode avec une radiation à la limite inférieure du spectre visible, soit  $\lambda = 3500 \text{ \AA}$ . En déduire l'énergie cinétique des électrons à la sortie de la photocathode dans chaque cas.

**EXERCICE 05 : Effet Compton.**

Un faisceau de rayons X de longueur d'onde  $\lambda_0$  tombe sur une cible en graphite. Les rayons diffusés font un angle  $\theta$  par rapport au faisceau incident. On donne :  $\lambda_0 = 0,095 \text{ \AA}$  et  $\theta = 37^\circ 30'$ .

- Calculer la longueur d'onde des rayons diffusés.
- Calculer l'énergie et l'impulsion des photons incidents et diffusés.
- Calculer les caractéristiques de l'électron de recul : énergie, impulsion, vitesse et angle d'éjection.

**EXERCICE 06 (\*) : Effet Compton.**

Des photons de grande énergie sont envoyés sur un bloc de matière. On cherche à établir la théorie relativiste de la diffusion observée, en supposant que les électrons de la matière sont faiblement liés.

- Ecrire les équations de conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement en supposant que les électrons sont au repos avant le choc.
- Déterminer la variation de la longueur d'onde sous la forme  $\Delta\lambda = \lambda_c \cdot f(\theta)$ , où  $\theta$  est l'angle de diffusion des photons.
- Montrer que la longueur d'onde de Compton  $\lambda_c$  correspond à des photons dont l'énergie est égale à l'énergie au repos des électrons.
- Calculer l'énergie cinétique des électrons après le choc, en fonction de leur angle d'éjection  $\varphi$  et de l'énergie des photons incidents.

**EXERCICE 07 : Modèle de Bohr de l'atome d'Hydrogène.**

Soit un électron décrivant un mouvement circulaire uniforme autour d'un proton immobile :

- Déterminer la position et la vitesse de l'électron ainsi que l'énergie de ce système en fonction du nombre quantique  $n$  introduit par la condition de quantification.
- Calculer les grandeurs précédentes pour le premier niveau ( $n = 1$ ).
- Calculer la constante de Rydberg  $R$ .
- Déterminer les longueurs d'ondes des trois premières raies des séries de Lyman et de Balmer pour cet atome.
- Reprendre les deux dernières questions dans le cas où on prend en compte l'entraînement du noyau (non fixe).

**EXERCICE 08 (\*) : Modèle de Bohr.**

Soit un atome d'hydrogène constitué d'un électron tournant autour d'un proton supposé immobile :

- Calculer l'énergie de ce système en fonction de la distance électron-proton.
- En écrivant la condition de quantification, en déduire la nouvelle expression de l'énergie qui en découle.
- Déterminer la fréquence des photons émis ou absorbés par l'atome lors de transitions entre deux niveaux.