

Physique moderne — devoir n° 1

Données

- constante de PLANCK $h \approx 6,6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$;
- masse de l'électron $m \approx 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$;
- charge élémentaire $e \approx 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

Formulaire : transformation de Lorentz

Dans un référentiel \mathcal{R} associé à une base cartésienne $(\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$ et une horloge, les coordonnées d'une particule sont notées $(x, y, z; t)$. Dans un référentiel \mathcal{R}' associé à une base cartésienne $(\vec{e}'_x, \vec{e}'_y, \vec{e}'_z)$ et une seconde horloge, les coordonnées d'une particule sont notées $(x', y', z'; t')$. Si la vitesse du référentiel \mathcal{R}' par rapport au référentiel \mathcal{R} est $\vec{v} = v\vec{e}_x$, avec $v > 0$, alors les changements de coordonnées de la particule (transformation de LORENTZ) pour passer de \mathcal{R} à \mathcal{R}' sont :

$$\begin{cases} ct' = \gamma(ct - \beta x) \\ x' = \gamma(x - \beta ct) \\ y' = y \\ z' = z \end{cases}$$

avec $\beta = v/c$, $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$ et c la vitesse des ondes électromagnétiques dans le vide.

Exercice 1 — Questions courtes (10 points)

1. Spectre d'émission

- 1.a) Expliquer la différence entre le spectre de la lumière du Soleil et celui d'une lampe contenant un corps pur à l'état gazeux, comme le Néon.
- 1.b) Au cours de quel phénomène naturel peut-on observer le spectre de la lumière du Soleil?
- 1.c) Au cours d'une séance de travaux pratiques, quel objet ou instrument peut-on utiliser pour observer le spectre d'une source de lumière?

2. Modèle de Bohr

- 2.a) Rappeler les deux postulats utilisés par N. BOHR dans son modèle de l'atome.
- 2.b) En quoi la quantification des rayons des orbites de l'électron est contradictoire avec un modèle planétaire en mécanique classique?

3. Relativité restreinte

- 3.a) Rappeler les deux postulats formulés par A. EINSTEIN
- 3.b) En reprenant le cadre et les notations du formulaire, dans quelle limite retrouve-t-on la transformation de GALILÉE à partir de la transformation de LORENTZ? Le montrer.

Exercice 2 — Effet Hall (4 points)

En 1879, HALL a constaté qu'un champ magnétique d'intensité B traversant une surface parcourue par un courant électrique engendrait une tension perpendiculaire à la direction du courant.

1. Déterminer une action typique \mathcal{S}_1 de ce phénomène faisant intervenir l'aire A de la surface, la charge élémentaire e et le champ magnétique B .
2. Calculer, en unité de h , un ordre de grandeur de cette action typique pour un champ magnétique de 1 T et une surface de 1 cm^2 . Conclure.
3. Depuis les années 1980, les physiciens peuvent réaliser la situation précédente, mais sur des surfaces de taille caractéristique $\ell \approx 60 \text{ nm}$.
 - 3.a) Expliquer pourquoi un tel système sera décrit par la physique quantique.
 - 3.b) Ces mêmes systèmes peuvent être caractérisés par une action typique $\mathcal{S}_2 \sim Re^2$, où R est la résistance (en Ω) du matériau parcouru par le courant. En faisant une hypothèse équivalente à celle de BOHR pour l'atome d'hydrogène, que s'attend-on à observer pour la résistance de ce matériau ?

Exercice 3 — Effet photoélectrique (6 points)

Un expérimentateur éclaire un matériau avec une source de longueur d'onde $\lambda_1 = 160 \text{ nm}$ et observe que les électrons arrachés ont une énergie cinétique $E_1 = 5 \times 10^{-19} \text{ J}$. Lorsque le même matériau est éclairé avec une source de longueur d'onde $\lambda_2 = 240 \text{ nm}$, les électrons arrachés ont une énergie cinétique $E_2 = 9 \times 10^{-20} \text{ J}$.

Remarque : pour les questions 3 à 5, on attend une expression en fonction des données du problème avant toute application numérique.

1. Généralités

- 1.a) Pour quel type de matériau peut-on observer l'effet photoélectrique ?
- 1.b) Qu'appelle-t-on travail d'extraction ?
2. Dans quel domaine du spectre électromagnétique se situent les sources utilisées par l'expérimentateur ?
3. Sans passer par une valeur connue de la constante de PLANCK, déterminer le travail d'extraction W de ce métal.
4. Donner une expression de la constante de PLANCK en fonction des paramètres du problème. Faire l'application numérique.

5. Longueur d'onde de de Broglie

- 5.a) Dans l'hypothèse où les électrons arrachés ont une vitesse très petite devant celle de la lumière, déterminer leur longueur d'onde de DE BROGLIE λ_{dB} pour une source de longueur d'onde λ_1 . Faire l'application numérique en utilisant la valeur de h donnée en début d'énoncé.
- 5.b) Déterminer la vitesse des électrons lorsque la longueur d'onde de la source est λ_1 . Commenter le résultat numérique ainsi que le résultat obtenu à la question précédente.