(Examen – première session – 1h30)

L'ÉLECTRON ET LE BOULET

“Les rayons cathodiques sont les courants partants de la cathode, dans un tube dont le vide a été fait à un degré élevé. Nous montrerons [ailleurs] qu'ils sont formés de particules chargées négativement, [...] se mouvant en ligne droite. Supposant que telle est la nature de ces rayons, nous montrerons ici comment on peut déterminer la vitesse des particules qui les constituent et la valeur de e/m , quotient de la charge e d'une de ces particules par sa masse m . [Dans la suite du texte, on appellera “électrons¹” ces particules].”

[Ces rayons] frappent le tube en un point marqué par une tache phosphorescente et noté M_1 .

[...] Supposons le tube placé dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ fixé, les lignes du champ étant perpendiculaires aux trajectoires des électrons. Ces trajectoires seront alors des cercles de rayon $R = mv/eB$ où m est la masse de l'électron, e sa charge, v sa vitesse et B l'intensité du champ magnétique. Le point où les électrons frapperont le tube ne sera plus M_1 , mais M_2 .

En mesurant le segment M_1M_2 , nous pouvons déterminer e/vm .

Nous pouvons [par ailleurs] déterminer v de la manière suivante : deux plaques parallèles P_1 et P_2 sont disposées dans le tube, parallèlement aux lignes du champ magnétique et parallèlement au chemin primitif des rayons. On maintient ces plaques à des potentiels connus en les reliant aux pôles d'une batterie. Nous avons ainsi entre les plaques un champ électrique $\vec{E}$ dont les lignes de champs sont perpendiculaires aux lignes du champ magnétique et à la direction primitive des rayons.

On peut alors choisir E de telle sorte que les forces électriques et magnétiques s'appliquant sur les électrons soient opposées l'une à l'autre. [...] Quand ce résultat est obtenu, nous avons $v = E/B$.

[...] Pour que cette méthode soit applicable, il est nécessaire que la pression du gaz dans le tube à décharge soit très faible.

Comme nous connaissons e/vm [...], nous pouvons maintenant déterminer e/m .

Les valeurs de e/m et de v obtenues par cette méthode sont les mêmes (aux erreurs d'expérience près) que le tube soit rempli d'air, d'hydrogène ou d'acide carbonique. Ces expressions doivent donc être indépendantes de la nature du gaz [raréfié] utilisé.”

J.-J. Thomson, *Passage de l'électricité à travers les gaz*, Gauthier-Villars, Paris, 1912.

I

(14 points)

1. Dégagez le principe et l'intérêt des expériences qui sont rapportées dans ce récit. (2 points)

2. Comment Thomson peut-il expérimentalement vérifier assez simplement que les forces exercées par les champs $\vec{E}$ et $\vec{B}$ sur les électrons se compensent ? Expliquer pourquoi cette compensation entraîne $v = E/B$ (*indication : la force de Lorentz*)

¹ En réalité J. J. Thomson n'emploiera ce terme que bien des années plus tard.

qui s'applique sur une particule de masse m et de charge q plongée dans un champ magnétique $\vec{B}$ et un champ électrique $\vec{E}$ est : $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \wedge \vec{B})$. (1,5 point)

3. On suppose – dans cette question uniquement – que $\vec{B} = \vec{E} = \vec{0}$, expliquer comment on doit disposer l'anode et la cathode pour obtenir dans le tube un espace dans lequel la vitesse des électrons [issus de la cathode] soit constante. (0,5 point)
On supposera dans toute la suite que l'anode et la cathode sont bien disposées ainsi.

4. Faire un dessin du dispositif utilisé pour cette expérience, en y plaçant en particulier l'anode et la cathode, les points M_1 et M_2 , les plaques parallèles P_1 et P_2 et en indiquant la direction et le sens d'une part du champ magnétique $\vec{B}$ et d'autre part du champ électrique $\vec{E}$ créé entre ces deux plaques. (3 points)

5. Expliquer en quelques lignes pourquoi il est nécessaire “que la pression du gaz dans le tube à décharge soit très faible”, comme nous l'explique J.-J. Thomson, pour que la méthode de détermination de la vitesse qu'il propose soit applicable. (3 points)

6. On suppose que le rayon calculé (à partir de la mesure de M_1M_2) est $R = 0,09$ m, le champ magnétique $B = 35.10^{-4}$ T et le champ électrique $E = 9,8.10^4$ V/m : en déduire v et e/m à partir des équations données dans le récit. (2 point)

7. J.-J. Thomson dispose par ailleurs de nombreuses mesures de $(e/m)_A$ pour des ions A divers, et en particulier pour l'ion hydrogène H^+ ; le rapport $(e/m)_{H^+}$ dont il dispose pour ce dernier étant le plus grand de tous les rapports e/m connus jusqu'alors. Sachant d'une part que, selon les calculs de Thomson², $(e/m)_{H^+} \simeq 10^8$ C/kg, et sachant d'autre part que certaines expériences amènent Thomson à penser que la charge portée par un électron est identique à la charge portée par un ion hydrogène, que peut-il en conclure quant aux particules composant les rayons cathodiques ? Quel est l'intérêt de la remarque consignée dans le dernier paragraphe du récit ? (2 points)

II

(6 points)

8. Le petit Larousse (Édition 1980) définit un “boulet” comme “un projectile sphérique de pierre ou de métal dont on chargeait les canons”. Peut-on dire d'un électron qu'il est un “objet physique” au même titre qu'un boulet ? Pourquoi ? Peut-on dire que les expériences décrites par J.-J. Thomson *prouvent* l'existence d'une telle particule ? (2 points)

9. A partir du récit de ces expériences, comment pourriez-vous caractériser – le plus objectivement possible – un électron ? (2 points)

10. Commenter la phrase de Gaston Bachelard³ : “La science *réalise* ses objets, sans jamais les trouver tout à fait [dans la nature].” (2 points)

² Les mesures actuelles donnent un chiffre un peu supérieur.

³ Cette phrase est extraite de *La formation de l'esprit scientifique*, Vrin, Paris, 1972.