

Corrigé de l'examen d'Histoire et Méthode des Sciences

20 Janvier 2009

Licence L₂ MPM

POLYCOPIÉ SUR L'ATOME DISTRIBUÉ EN COURS AUTORISÉ.
ATTENTION LES RÉPONSES NE SONT PAS UNIQUEMENT DANS LE TEXTE !

Questions relatives au texte

1. Quel anachronisme apparaît dès le titre ?

Thomson publie entre 1890 et 1908, Bohr publie ses articles à partir de 1913. Il n'y a donc pas un siècle entre Thomson et Bohr.

2. Les éléments « qui restent à découvrir » sont-ils si nombreux au début du XX^e siècle ?

Au début du XX^e siècle, il ne reste que quelques cases vides dans le tableau de Mendéleiev. Ce n'est que beaucoup plus tard, avec les premières réactions nucléaires artificielles que d'autres éléments seront découverts qui viendront ajouter des cases supplémentaires.

3. Thomson peut-il être clairement crédité de la découverte de l'électron ? Justifiez votre réponse.

En toute rigueur, George Stoney a baptisé l'électron en 1891. La mise en évidence d'une particule de faible masse et chargée négativement remonte à Eugen Goldstein (1886) et Crookes (1891). Toutefois, c'est Thomson qui détermine, tout d'abord le rapport $\frac{e}{m}$ puis chacune de ces deux grandeurs. De ce fait, il peut être crédité de la découverte de l'électron.

4. Est-ce que les « rayons cathodiques » sont nécessairement « bleu-vert » ? Si non, de quoi dépend la couleur du rayonnement ?

Les rayons cathodiques sont en fait des électrons circulant entre les deux électrodes du tube. Le rayonnement de fluorescence correspond à l'ionisation du gaz traversé par ses électrons. La couleur du rayonnement dépend principalement de la nature du gaz.

5. Le tube est-il vide ? Qu'observerait-on si le tube était réellement vide ?

Le tube n'est jamais complètement vide. Les électrons circulerait toujours mais il n'y aurait plus de fluorescence.

6. Rappelez la première hypothèse de Thomson à laquelle la formule « c'est une « matrice » chargée positivement dans laquelle baignent les électrons » fait allusion. En quelle année a-t-elle été publiée ?

La première hypothèse est celle d'une sphère d'électricité positive uniformément chargée dans laquelle sont plongés des anneaux d'électrons.

7. Est-ce que cette formulation de la première hypothèse de Thomson résume bien la conception qu'avait Thomson en ce qui concerne l'atome ? Comment auriez-vous formulé cette hypothèse si vous vous étiez adresser à un très large public ?

Thomson, suite à une analogie avec les aimants de Mayer, avait déjà pensé à des anneaux d'électrons en 1897. Il complète cette image de l'atome par une sphère d'électricité positive en 1904. Une présentation possible du modèle de Thomson pourrait être : « *c'est une sphère d'électricité positive dans laquelle baignent des anneaux d'électrons.* »

8. Est-ce que la découverte du rayonnement α a effectivement ruiné le modèle de Thomson en 1903 ? Pourquoi ?

En 1903, Rutherford découvre les rayons α et β . A cette époque, il ne sait ce que sont ces rayons (d'où les noms α et β). Ce n'est qu'en 1908 que les particules α sont identifiées à des noyaux ^2He . Ce n'est qu'après 1913 que l'idée que ces particules pouvaient provenir du noyau. En 1903, le modèle de Thomson n'est pas ruiné et il perdure jusque vers les années 1910. Ce n'est qu'en 1911, que Rutherford montre que le noyau devrait être très petit.

9. « Reste à trouver comment ces charges opposées s'organisent entre elles ». Quelle réponse fondamentale doit être trouvée avant de penser à l'organisation des particules α au sein de l'atome ?

Pour répondre de la stabilité du noyau, il faut introduire le neutron, ce qui ne sera fait que dans les années 1930. Avant de considérer le problème de la stabilité du noyau, il faut déjà avoir clairement identifié que les particules α émanaient du noyau.

10. Rutherford a-t-il utilisé l'image d'un système planétaire en 1911 ? Qui a introduit le premier cette image du système planétaire.

Non ! Le premier à introduire l'image d'un système planétaire est Jean Perrin dans une conférence datant de 1901. En 1911, Rutherford parle d'un petit noyau plongé dans une sphère d'électricité opposée.

11. Que pensez-vous de l'image du « gros » noyau autour duquel tournent les électrons ? Est-ce là le résultat majeur obtenu par Rutherford en 1911 ?

A la suite des expériences de Marsden et Geiger, Rutherford a montré que le noyau devait être très petit par rapport à l'échelle atomique et être très massif. L'image du « gros » noyau est donc complètement erronée.

12. Est-ce que le modèle de Rutherford fut ruiné par le modèle de Bohr ? Et celui de Thomson ?

Le modèle de Thomson se présente comme une sphère d'électricité positive dans laquelle sont plongés des anneaux d'électrons. Le modèle de Rutherford est constitué d'un noyau très petit et massif (probablement positif ¹ plongé dans une sphère d'électricité opposée. Le modèle de Bohr se présente donc comme une synthèse de ces deux modèles, à l'image du modèle planétaire de Perrin ou Nagaoka, à laquelle il ajoute l'hypothèse de stabilité des orbites électroniques.

13. Est-il approprié de citer Newton et Einstein ici ? En quoi leurs travaux pourraient-ils servir de référence pour l'explication du modèle atomique ?

Si l'on pourrait encore comprendre que Newton soit cité ici pour la mathématisation de la mécanique, la physique d'Einstein (relativité, photon, équivalence masse-énergie) n'a que peu à voir avec la stabilité de l'atome. La mécanique en jeu est plutôt celle de l'électrodynamique. Aucune avec Newton et Einstein n'est clairement justifiée.

14. Est-ce qu'une particule chargée animée d'un mouvement circulaire perd nécessairement de l'énergie ? Comment était formulé correctement ce problème de la stabilité de l'électron sur son orbite ?

Oui une particule chargée sur une orbite circulaire doit émettre un rayonnement. La stabilité de la structure atomique n'est « expliquée » que par le postulat de Bohr selon lequel il n'y a aucun échange d'énergie tant que l'électron demeure sur sa trajectoire.

15. « les électrons suivent, chacun, un sillon bien déterminé dont il leur est impossible de s'extraire sans apport d'énergie ». Est-ce que cette image est correcte ? Quelle propriété pourrait contredire cette image ?

L'image du sillon est inappropriée car elle implique le besoin d'un apport d'énergie pour quitter une orbite : que ce soit pour descendre sur une orbite d'énergie inférieure — avec émission d'un photon, c'est-à-dire avec émission d'énergie — ou pour « grimper » sur une orbite d'énergie supérieure — avec absorption d'un photon, donc avec apport d'énergie. Cette image est donc, une fois de plus, contre productive, puisqu'induisant une image contraire aux faits.

¹Rutherford écrit en 1911 : « *Il n'a pas encore été possible de résoudre cette question du signe avec certitude* ».

A la fin du XX^e siècle, une chaise est une association d'atomes ; on peut même dire lesquels... mais on ignore tout de leur structure interne. Les XVIII^e et XIX^e siècles ont en effet marqué le décollage des « sciences atomiques » : on a découvert une myriade de nouveaux éléments chimiques et les lois réglant leurs combinaisons. On a classé ces éléments sur un tableau « périodique » dont les cases vides indiquent aux chercheurs les atomes qui restent à découvrir... Dès lors, les efforts vont se porter sur l'énigme de la structure atomique. C'est principalement entre les décennies 1890 et 1910 que le « modèle atomique » se construit. Le premier des composants des atomes à se manifester — et la première « particule élémentaire » identifiée — est l'électron. C'est l'Anglais Joseph John Thomson qui, en 1897, prouve son existence et donne la première estimation du rapport entre sa masse et sa charge électrique². Pour ce faire, il conduit plusieurs expériences sur les « rayons cathodiques », un mince arc de lumière fluorescente bleu-vert qui apparaît entre deux électrodes lorsqu'on les soumet à une tension électrique dans un tube vide. Thomson postule que les particules des rayons cathodiques proviennent des atomes des électrodes. Comme les atomes sont électriquement neutres et que ces particules — les « électrons » — portent une charge négative, le physicien formule une première hypothèse sur la structure atomique : c'est une « matrice » chargée positivement dans laquelle baignent les électrons... Mais son modèle sera bientôt ruiné par son propre élève. En 1903, en effet, Ernest Rutherford qui s'intéresse au phénomène de radioactivité, constate que du matériau radioactif — le thorium —, lorsqu'il se désintègre, émet des particules chargées positivement (des particules α) : la matière est donc composée non seulement d'électrons mais aussi de particules positives. Reste à trouver comment ces charges opposées s'organisent entre elles... Huit ans plus tard, Rutherford parachève sa vision de la structure des atomes, à l'image d'un système planétaire, l'atome est composé d'un « gros » noyau autour duquel tournent les électrons. Le noyau, chargé positivement, rassemble quasiment toute la masse de l'atome, les électrons faisant figure de petits satellites dont le rôle est de contrecarrer cette charge positive pour rendre l'ensemble électriquement neutre. En 1919, il découvrira l'un des composants du noyau atomique, le proton... Mais entre-temps, son modèle aura subi le même sort que celui de Thomson : la ruine. Car rien dans la physique de Newton ou d'Einstein n'explique comment les électrons se maintiennent de manière stable — et sans apport d'énergie — autour du noyau. En effet, toute particule chargée, en mouvement circulaire, perd de l'énergie par rayonnement. L'électron devrait donc tomber sur le noyau. La solution est donnée en 1913 par le Danois Niels Bohr : les électrons suivent, chacun, un sillon bien déterminé dont il leur est impossible de s'extraire sans apport d'énergie. L'atome, enfin, devient un édifice stable. Même s'il reste à comprendre l'origine énigmatique de ces sillons.

²On sait aujourd'hui que la masse de l'électron vaut $9 \cdot 10^{-31}$ kg et que sa charge est de $-1,6 \cdot 10^{-19}$ coulomb.