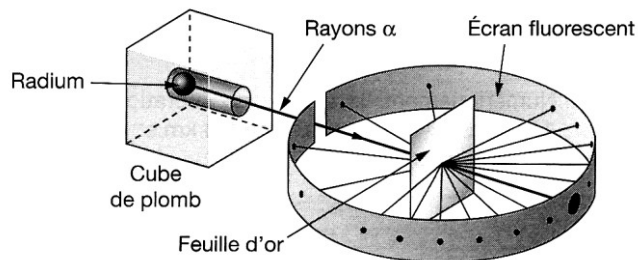


XIV-2 AD : Expérience de Rutherford

Document 1 : Dispositif expérimental

Sous la direction d'Ernest Rutherford, Hans Geiger et Ernest Marsden ont effectué en 1909 l'expérience suivante. Une source radioactive émet des particules α , c'est-à-dire des noyaux d'hélium ${}^4_2\text{He}$. En effet, Rutherford a obtenu en 1908 le prix Nobel de chimie pour avoir identifié les particules α comme des atomes d'hélium (doublement ionisés, ce point ayant été précisé pendant son discours Nobel). Le faisceau de particules α est dirigé vers une mince feuille d'or (600 nm d'épaisseur). Ensuite, un écran recouvert de sulfure de zinc permet de visualiser par un scintillement les impacts des particules α (Fig. 20). Dans l'obscurité, Geiger, Marsden et Rutherford observent à l'œil les scintillements...



L'expérience montre que la majeure partie des particules α traverse la feuille d'or sans être déviée. Néanmoins, de manière inattendue, environ une particule α sur 8 000 subit une déviation notable, allant quasiment jusqu'à un demi-tour. Afin d'illustrer l'étonnement devant ces résultats, Rutherford a comparé ce résultat à un obus (la particule a de très grande vitesse) frappant une feuille de papier (la très mince couche d'or) et rebondissant dessus. La communauté scientifique de l'époque s'attendait ainsi à ce que la totalité des particules α traversent la feuille d'or, avec éventuellement d'infimes déviations.

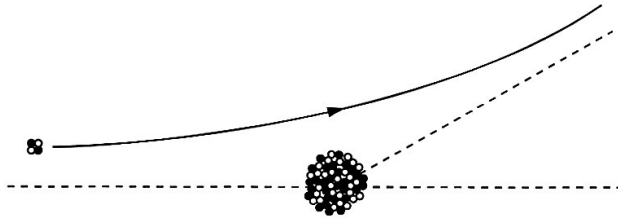
Document 2 : Interprétation corpusculaire de Rutherford

Après une année d'observations, le raisonnement de Rutherford est le suivant. La majeure partie des particules α n'a pas été déviée, l'atome est donc majoritairement vide. La répulsion subie par les particules α ayant fait demi-tour implique l'existence d'une charge positive (créant la répulsion). Au final, la charge positive d'un atome est concentrée dans un noyau de très petite taille, qui regroupe aussi la quasi-totalité de la masse de l'atome. Rutherford aboutit au modèle planétaire de l'atome : les électrons ont le même comportement que les planètes du système solaire, en orbite autour du noyau (ou du Soleil). Le remplissage de l'espace par la matière usuelle est donc lacunaire.

De manière plus quantitative, la trajectoire d'une particule α déviée est due principalement à son interaction avec un noyau d'atome d'or pouvant être considéré comme immobile vu sa masse importante par rapport à celle d'une particule α . De plus, l'effet des électrons peut être négligé. De manière imagée (donc approxima-

tive !), ceux-ci se comportent comme des balles de ping-pong entrant en collision avec une boule de bowling. La particule α est alors en mouvement conservatif, dans l'énergie potentielle électrique due à l'interaction avec le noyau d'or de charge Ze :

$$E_p = \frac{2Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$



La trajectoire d'une particule α est donc une hyperbole, vu que la force d'attraction est répulsive. De plus son énergie mécanique initiale est positive :

$$E_m = \frac{1}{2} m v_0^2$$

Il est alors possible d'estimer le rayon R du noyau en s'intéressant aux particules α ayant fait demi-tour. La conservation de l'énergie mécanique entre l'infini et le point d'approche minimale permet d'écrire pour la particule a de masse m :

$$E_m = \frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{Ze^2}{2\pi\epsilon_0 r^2}$$



Comme $Z = 79$ et $E_m = 5 \text{ MeV} = 8.10^{-13} \text{ J}$, on déduit $r_{\min} = 45 \text{ fm}$. La distance minimale d'approche est a priori supérieure au rayon R de l'atome, vu qu'un contact aurait eu des conséquences sur la composition des noyaux. L'ordre de grandeur obtenu se révèle par ailleurs très correct...

En augmentant la vitesse des particules α (pour cela, il fallut attendre la mise au point d'accélérateurs de particules), il est alors possible de diminuer la distance minimale d'approche. Des choix d'énergies croissantes pour la particule incidente permettent donc de sonder le noyau à des distances de plus en plus faibles. Des énergies plus importantes permettent de casser le noyau et de faire apparaître sa structure comme assemblage de protons et neutrons. Des énergies encore plus importantes permettent de sonder la nature même des protons et des neutrons, c'est-à-dire comme états liés de quarks.

Document 3 : Approche ondulatoire

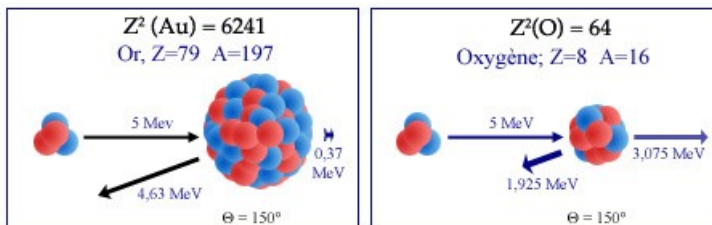
L'interprétation de l'expérience par Rutherford est purement corpusculaire et s'inscrit dans les connaissances de cette époque. Néanmoins, le principe de dualité onde-corpuscule indique que la particule α se comporte comme une onde de longueur d'onde de Broglie :

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv_0} = \frac{h}{\sqrt{2mE_m}} = 2fm$$

Or, une onde ne peut sonder que des échelles de longueur supérieures à sa longueur d'onde. Par exemple, un microscope optique permet d'accéder à des détails pouvant aller environ jusqu'au micromètre, mais guère au-dessous. De même, lorsque de la lumière atteint une fente de la taille de sa longueur d'onde, la diffraction devient quasi isotrope, et il est alors impossible de remonter à la taille de la fente par l'analyse de la lumière diffractée. Le succès de l'expérience de Rutherford est donc lié au fait que la longueur d'onde de la particule α est typiquement de l'ordre de grandeur de la taille du noyau d'or (et même un peu plus faible). La sonde ainsi choisie permet d'accéder à la structure globale du noyau et notamment à son rayon. Pour accéder à des détails plus fins, la longueur d'onde de la particule α doit être plus faible, ce qui correspond à des énergies plus élevées. On rejoint l'interprétation corpusculaire concernant la nécessité d'énergie croissante, afin d'accéder à une connaissance du noyau à une échelle de longueur plus faible.

Il est aussi possible de sonder différemment le noyau atomique. La particule α est sensible aux interactions forte et électromagnétique (l'interaction faible est négligeable). Des particules soumises uniquement à l'une ou l'autre des interactions peuvent donner accès à des informations plus simples à interpréter. On peut ainsi citer le neutron, sensible seulement à l'interaction forte et l'électron soumis uniquement à l'interaction électromagnétique. Chacune de ces particules employées comme sonde fournit des informations différentes. Par exemple, la notion de rayon atomique n'est pas définie de manière univoque, mais dépend de la sonde employée.

Document 4 : Choix de la feuille d'or.



Questions :

- Quelle est le rôle de la cage à plomb ?
- Pourquoi les particules α émettent à partir de noyau de Radium 226 ?
- Quelles sont les hypothèses faites pour arriver à la relation suivante :

$$E_m = \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{Ze^2}{2\pi\epsilon_0 r^2}$$

- Comment obtenir des particules α plus énergétiques ?
- Interpréter le document 4.