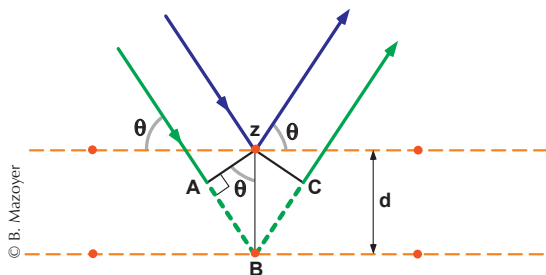




De l'atome au noyau

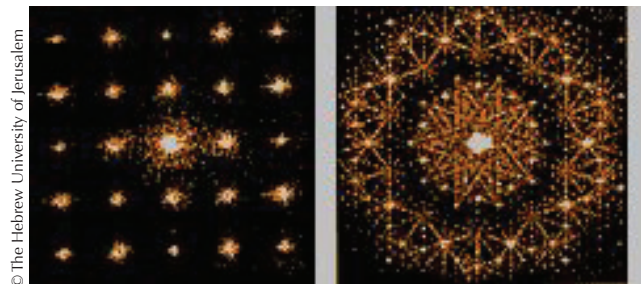


Loi de diffusion de Bragg

On considère une onde lumineuse incidente sur la surface d'un cristal sous un angle θ . Les atomes du cristal sont représentés par des points. La lumière diffusée par un atome sera en phase avec celle diffusée par l'atome situé immédiatement en-dessous si la différence des trajets, pour ces deux situations, est un multiple de la longueur d'onde lumineuse :

$$2 d \sin(\theta) = n \lambda, \text{ où } n \text{ est un nombre entier}$$

On peut généraliser ce raisonnement en considérant qu'un cristal est formé d'un réseau d'atomes à trois dimensions. Certaines directions vont ainsi être privilégiées et correspondre à des maxima d'intensité lumineuse.

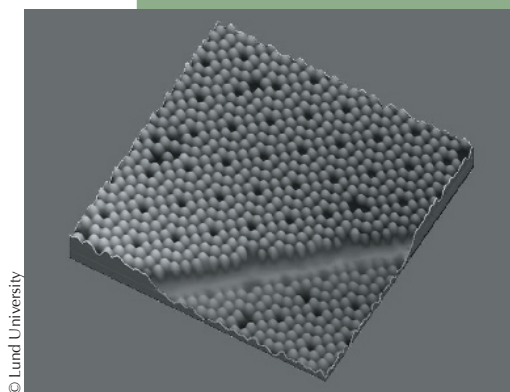


Exemples de diagrammes de diffusion de rayons X à travers des cristaux de types différents à partir desquels la structure cristalline peut-être reconstituée.

Les noyaux : petits mais costauds

La découverte du noyau de l'atome est attribuée à **Ernest Rutherford**, **Hans Geiger** et leur étudiant Ernest Marsden. Leurs mesures eurent lieu en 1909 à Manchester. L'expérience consistait à mesurer la diffusion des particules alpha (c'est-à-dire des noyaux d'hélium) par une feuille d'or. Rutherford avait observé que l'image, enregistrée sur une plaque photographique d'un faisceau de particules alpha passant à travers une feuille mince, était diffuse. Il pensait que l'étude de ce phénomène le renseignerait sur des propriétés des atomes.

Or, Rutherford et Geiger avaient développé un nouveau type de détecteur constitué d'un écran recouvert de sulfure de zinc qui émettait une faible lumière à l'endroit où passait une particule alpha. Produites par une source radioactive, les particules alpha devaient traverser une fente et formaient ensuite un faisceau étroit. La feuille d'or était placée au niveau de la fente et l'écran, une cinquantaine de centimètres plus loin. Le trajet des particules alpha devait s'effectuer dans le vide car quelques centimètres d'air suffisent à les arrêter. Pour observer les scintillations, Geiger examinait l'écran à travers un microscope qu'il déplaçait afin de compter le nombre de particules diffusées à une distance donnée de l'axe du faisceau (voir figure 4). Ces mesures indiquaient que l'angle moyen de diffusion était faible, inférieur à 1° , signe que la plupart des particules étaient peu déviées. Survint alors E. Marsden, étudiant de H. Geiger. Ce dernier demanda à Rutherford un sujet d'étude. Rutherford lui dit alors de chercher s'il y avait des particules alpha qui étaient diffusées à plus de 90° , c'est à dire qui repartaient « à l'envers ». Quelques jours plus tard, Geiger rapporta que Marsden avait observé de telles particules.



Arrangements d'atomes de silicium mesurés avec un microscope à effet tunnel au Département de recherche sur le rayonnement synchrotron de Lund (Suède). Chaque atome est visible et l'on peut observer leur disposition régulière ainsi que quelques défauts.



De l'atome au noyau

La mesure des particules alpha par scintillation

Chaque particule alpha provoque une légère émission lumineuse en frappant l'écran de sulfure de zinc, placé à l'extrémité du microscope. Cette dernière ne peut être perçue que par des yeux adaptés à l'obscurité. Une même personne ne peut compter correctement les éclairs que pendant une minute et encore faut-il que la cadence ne dépasse pas 90 à la minute. Certains ont écrit que le fait de passer de nombreuses heures dans ces conditions a incité Geiger à trouver un meilleur moyen de compter ces particules...

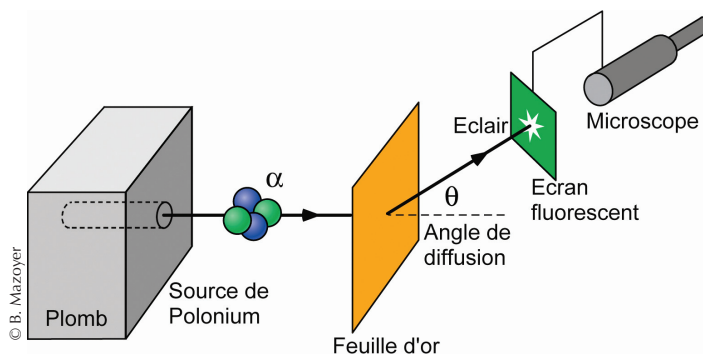
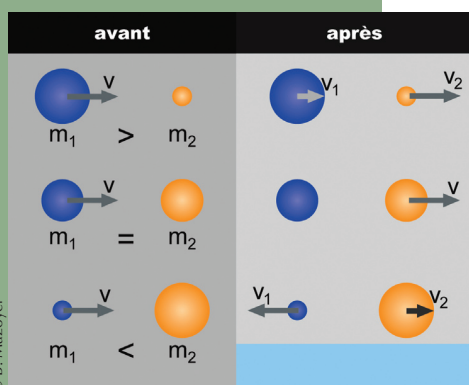


figure 4 : Schéma de principe de l'expérience de Geiger, Marsden et Rutherford.



© John L. Park

H. Geiger (à gauche) et E. Rutherford (à droite) à côté de l'appareillage ayant permis de montrer la présence d'un noyau petit et massif au centre des atomes.



© B. Mazoyer

figure 5 : Choc frontal entre deux billes de masses différentes, l'une étant à l'arrêt.

Rutherford en fut sidéré : en ayant extrapolé les résultats précédents il s'attendait à ne pas en trouver plus d'une pour un milliard. Les mesures suivantes montrèrent que les diffusions à grands angles se produisaient avec une probabilité de 1/8 000. Rutherford en conclut que certaines particules alpha rebondissaient sur quelque chose de petit et de lourd situé à l'intérieur des atomes. En effet, lorsqu'un projectile repart dans la direction opposée, après collision, sa masse est nécessairement inférieure à celle de la cible (voir figure 5). Geiger et Marsden complétèrent leurs mesures allant jusqu'à dénombrer plus de 100 000 scintillations et Rutherford en déduisit que la taille du noyau était environ 1/10 000 de celle de l'atome.

Pour expliquer ces résultats il proposa un mécanisme selon lequel les particules alpha, qui ont une charge positive, sont déviées par le champ électrique créé par la charge, également positive, du noyau atomique. La trajectoire de la particule alpha est alors une hyperbole et l'angle de déviation est directement lié à la distance d'approche de la particule au noyau (voir figure 6).

À partir de ce modèle, Rutherford fut aussi à même de prédire la variation du nombre de particules alpha en fonction de leur angle de déviation. Ces prédictions étaient en parfait accord avec les mesures. Ceci impliquait que le rayon du noyau des atomes d'or était plus petit que la distance minimale d'approche accessible à l'expérience.

Avant cette date Jean Perrin, remarquant qu'il était difficile pour des atomes d'argon d'entrer en rotation lors de chocs, en avait déduit que la masse de l'atome devait être concentrée dans une très petite région. « En définitive, je présume qu'on reste au-dessous de la vérité en admettant que la matière des atomes est contractée dans un volume au moins un million de fois plus faible que le volume apparent qu'occupent ces atomes... »

Personne n'eut, semble-t-il, de prix Nobel pour la découverte du noyau atomique...



De l'atome au noyau

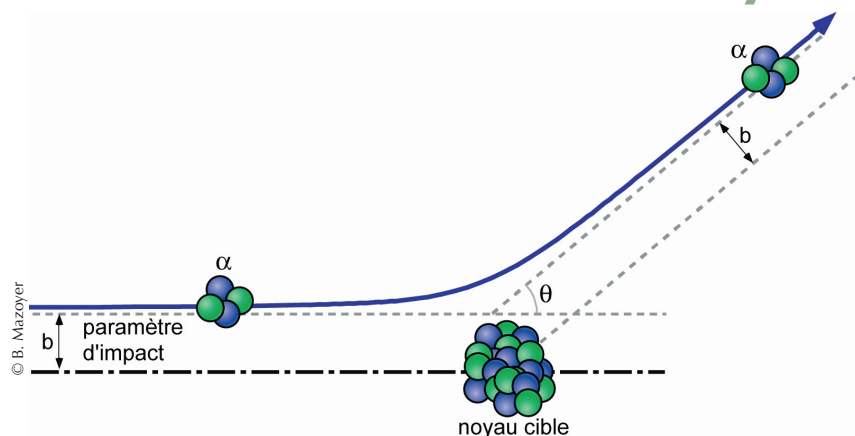


figure 6 : La particule alpha, de charge électrique $2e$, est d'autant plus déviée par le noyau atomique, de charge Ze , qu'elle passe plus près de lui. La distance d'approche, entre les deux objets est mesurée par la valeur de la quantité b appelée le paramètre d'impact. Si l'on mesure l'angle de diffusion (θ) de la particule alpha et si l'on connaît son énergie (E), on peut calculer la valeur de b sachant que les deux charges se repoussent avec une force inversement proportionnelle au carré de leur distance:

$$b = \frac{Ze^2}{E} \cot g \left(\frac{\theta}{2} \right)$$

En supposant que les particules alpha arrivent de manière uniforme dans l'espace au voisinage du noyau, l'expression ci-dessus permet d'évaluer la probabilité d'observer une particule diffusée dans une direction fixée. On trouve qu'elle est inversement proportionnelle au carré de l'énergie de la particule et à la puissance quatrième de $\sin(\theta/2)$.

Cette loi a été vérifiée par les mesures de Rutherford et de ses collaborateurs ce qui indiquait que le noyau de l'atome était plus petit que le paramètre d'impact minimal accessible.

L'expérience de Rutherford est le prototype de nombreuses expériences ultérieures destinées à sonder la matière à des distances de plus en plus faibles.

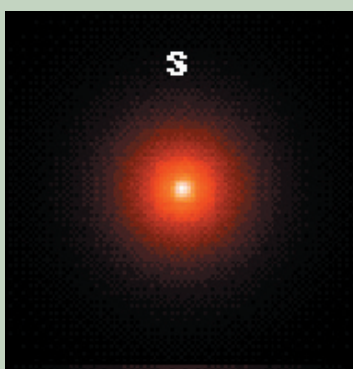
À quoi un atome ressemble-t-il ? L'exemple de l'hydrogène.

Il s'agit de l'atome le plus simple dont le noyau est constitué d'un proton autour duquel s'agit un électron. Il est impossible de donner à un instant précis la position de l'électron, autour du noyau. Par contre on sait calculer la probabilité de trouver cet électron à une distance quelconque de ce noyau.

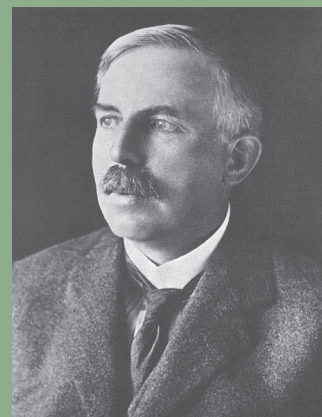
La représentation ci-contre montre cette distribution, que l'on doit encore multiplier par l'élément de volume $4\pi r^2 dr$. Elle est nulle au centre, est maximale lorsque $r = r_0$ (le rayon de Bohr) et décroît de manière exponentielle lorsque l'on s'éloigne du noyau.

Le rayon d'un atome est donc une notion un peu floue qui dépend de la manière dont l'atome va interagir avec ses congénères, en échangeant des électrons.

Le rayon $r_0 = 0,53 \times 10^{-10}$ m est gigantesque (60 000 fois plus grand) par rapport à celui du proton, situé au centre de l'atome, qui vaut $0,87 \times 10^{-15}$ m. Sachant que la masse d'un proton vaut $1,67 \times 10^{-27}$ kg on peut évaluer la densité de la matière nucléaire constituant le proton. On trouve la valeur impressionnante de 610 millions de tonnes/cm³. Tout le reste de l'atome est occupé par l'électron, animé d'un mouvement incessant et imprédictible, qui échange en permanence de nombreux photons avec le proton. La masse de l'électron n'étant que de $9,11 \times 10^{-31}$ kg, la densité de l'atome, en dehors de son noyau, est de 1,46 mg/cm³.



Ernest Rutherford (1871- 1937) est né en Nouvelle-Zélande. Il y débuta ses recherches qu'il poursuivit en 1894 à Cambridge sous la direction de J-J. Thomson. En 1898, il partit pour Montreal afin d'occuper un poste de professeur. Il retourna en Angleterre en 1907, d'abord à Manchester puis à Cambridge où il succéda comme professeur à J-J. Thomson. Ses talents d'expérimentateur furent remarqués très tôt. En 1898, il rapporta l'existence des rayons alpha et bêta émis par l'uranium et indiqua certaines de leurs propriétés. Il reçut le prix Nobel de chimie en 1908 pour ses travaux sur les particules alpha dont il montra, notamment, qu'il s'agissait de noyaux d'hélium. Il utilisa ces particules pour étudier la structure de l'atome et conclut qu'il fallait abandonner le modèle de J-J. Thomson, dit du « plum-pudding », dans lequel les charges positives et négatives sont mélangées au sein du volume atomique.



© ACJC - Archives Curie et Joliot-Curie