

L'atome et la mécanique de Newton : Ouverture au monde quantique

Lord Kelvin affirme en 1892 que "tous les concepts de la physique sont déterminés, et qu'il n'y a plus qu'à trouver quelques décimales supplémentaires aux constantes de la physique".
 Il y a juste un petit problème qui n'est pas encore résolu : la structure de l'atome !
 Et ce petit problème va révolutionner la physique.

Nous allons découvrir comment la recherche de la structure de l'atome a pu permettre une ouverture au monde quantique en deux étapes :

Les lois de la physique à la fin du 19ème siècle et au début du 20ème.

Les recherches sur la structure de l'atome.

Les lois de la physique à la fin du 19ème siècle et au début du 20ème.

1687



Issac Newton



Loi de la gravitation

$$\vec{F}_{S/T} = -G \frac{m_S m_T}{r^2} \cdot \vec{u}_{ST}$$

$$F_{S/T} = F_{T/S} = G \frac{m_S m_T}{r^2}$$

Deux corps ponctuels de masse m_S et m_T s'attirent avec une force proportionnelle à chacune des masses, et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare.

Lois de Newton

Première loi de Newton : Principe d'inertie. Si $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0} \Leftrightarrow$ alors $\vec{v}_G = \vec{const}$ et réciproquement

Deuxième loi de Newton : $\sum \vec{F}_{ext} = m \vec{a}_G$

Troisième loi de Newton : principe des actions réciproques.

A et B étant deux corps en interaction. $\vec{F}_{A/B} = - \vec{F}_{B/A}$

1736 - 1806



Charles Augustin Coulomb



Lois de l'électrostatique

L'interaction électrostatique est une force qui agit sur les objets ayant une charge électrique.

Deux objets de charges électriques de même signes se repoussent. Deux objets de charges électriques de signes opposés s'attirent.

$$F = k \frac{|q_A q_B|}{r^2}$$

$$\vec{F}_{A/B} = -k \frac{q_A q_B}{r^2} \cdot \vec{u}_{AB}$$

1860



James Clerk Maxwell



Lois de l'électromagnétisme

Toutes particules chargées électriquement crée un champ électrique
Toutes particules chargées électriquement en mouvement crée un champ magnétique
Toutes particules chargées électriquement accélérées rayonne de l'énergie

1900



Max Planck



Energie quantifiée

Max Planck énonce à partir d'expériences sur le corps noir que l'énergie associée à une radiation lumineuse de fréquence ν est quantifiée et a pour expression $\Delta E = n h \nu$

h est une constante universelle. Elle est appelée constante de Planck. $h = 6,62 \times 10^{-34}$ J.s

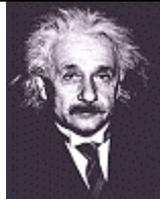
ν est la fréquence (Hz)

Il effectue des calculs statistiques qui viennent confirmer ces résultats. Planck n'interpréta pas plus loin cette découverte

1905



Albert Einstein



Photon

Einstein introduit la notion de photon

Les photons sont des « paquets » d'énergie élémentaires appelés "quanta"

Chaque photon transporte une énergie

$$E = h \nu = hc / \lambda$$

c est la célérité de la lumière dans le vide.

$$c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$$

1903

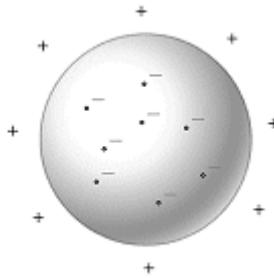


Joseph Thomson



Modèle de Thomson :

L'atome est une boule chargée positivement dans laquelle circulent des électrons.



Expérience réalisée pour confirmer ce modèle :

Des particules alpha (noyau d'hélium) sont envoyées sur une feuille d'or. Thomson s'attend à ce que toutes les particules traversent la feuille d'or car les interactions électriques entre les électrons sont de faible intensité et elles ne dévieront pas les particules α .

Résultat de l'expérience :

On observe une fois sur 8000 le retour de certaines particules α .

Question discussion réponse :

Le modèle de Thomson est-il validé ?

Proposer une hypothèse permettant d'expliquer la déviation et le retour de quelques particules α .

Réponse et conclusion :

Le modèle de Thomson n'est pas validé.

On peut émettre l'hypothèse qu'il y a à l'intérieur de l'atome un noyau positif dont les interactions sont suffisamment importantes pour dévier les particules α .

1911



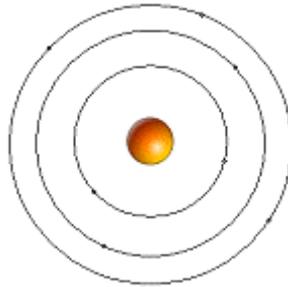
Ernest Rutherford



Modèle de Rutherford :

On peut représenter l'atome selon un modèle planétaire.

Les électrons gravitent autour d'un noyau positif en décrivant une orbite circulaire.



Question discussion réponse :

1. Dans ce modèle planétaire, les électrons subissent-ils une accélération ?
Donner les caractéristiques de cette accélération en vous aidant de vos connaissances sur le mouvement des satellites.
2. En vous appuyant sur la loi de l'électromagnétisme énoncée par Maxwell :

Toutes particules chargées électriquement accélérées rayonne de l'énergie

Indiquer si les électrons peuvent rester sur leurs "orbites" ?

Que va t-il se passer ?

Réponse et conclusion :

1. Oui, les électrons subissent une accélération centripète, radiale.
2. Si les électrons subissent une accélération centripète, ils rayonnent de l'énergie. Cette énergie perdue entraîne une diminution de la vitesse des électrons et leur effondrement sur le noyau central.

Conclusion : Le modèle planétaire n'est pas stable.

1913



Niels Bohr



Modèle de Bohr :

En s'appuyant sur la théorie des quanta énoncé par Planck, Bohr postule qu'il n'existe qu'un nombre déterminé d'orbites électroniques et que les électrons n'émettent pas de rayonnement sur ces orbites.

Hypothèses de Bohr :

1. L'énergie de l'électron est fixée et quantifiée.
2. Les radiations ne sont émises ou absorbées que si un électron passe d'une orbite à l'autre. (transition électronique) Ces rayonnements ne sont donc pas liés à la fréquence de rotation de l'électron autour du noyau comme on le croyait avant.

Réaction du Prix Nobel von Laue sur ces hypothèses : c'est absurde !

Les variations d'énergie de l'atome sont quantifiées.

Par la suite on a découvert que la quantification pouvait s'appliquer non seulement à l'atome (de l'ordre de l'eV pour le cortège électronique), mais aussi au noyau (de l'ordre du MeV) et au molécules.

Question discussion réponse :

Un atome de mercure passe d'un niveau énergétique $E_1 = -4,99$ eV à un niveau $E_2 = -10,45$ eV.

1 eV = 1 electron volt

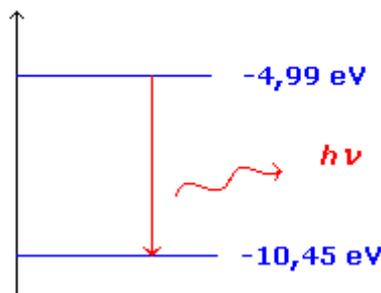
1 eV = $1,6 \times 10^{-19}$ Joules

1. L'atome perd-il ou gagne t-il de l'énergie ?
2. Cette transition énergétique s'accompagnera-t-elle d'une émission ou d'une absorption d'une radiation lumineuse ?
3. Quelle est la valeur de la longueur d'onde de cette radiation lumineuse ?
4. Est-elle visible ?

Réponse :

1. L'énergie de l'atome passe de -4,99 eV à -10,45 eV. Il perd donc de l'énergie.
2. Cette transition énergétique s'accompagne d'une émission d'une radiation lumineuse.

Energie de l'atome (eV)



3. La longueur d'onde est donnée par la relation $\Delta E = h\nu = hc / \lambda$

$$\lambda = hc / \Delta E = 6,62 \times 10^{-34} \times 3,0 \times 10^8 / (10,45 - 4,99) \times 1,6 \times 10^{-19} = 2,3 \times 10^{-7} \text{m} = 230 \text{ nm}$$

4. Cette radiation n'est pas visible (domaine visible : 400 nm - 780 nm). Il s'agit d'un rayonnement ultraviolet.

1913



James Franck ; Gustav Hertz



Les expériences de Franck et Hertz

Expérience n° 1 (1887) : Effet photoélectrique

Hertz tente d'arracher des électrons d'une plaque de zinc sous l'action d'une lumière incidente de fréquence ν .

Résultat :

Cet arrachement n'a lieu que si la fréquence ν est supérieure à une fréquence seuil, même pour une intensité très faible du faisceau lumineux.

Question discussion réponse :

Si on envoie une lumière de très forte intensité, le nombre d'électrons sera-t-il plus important, identique ou moins important ?

Résultat :

Le nombre d'électrons arrachés ne dépend que de la fréquence.

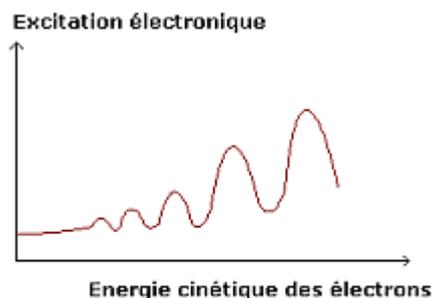
Les expériences de Franck et Hertz (suite)

Expérience n° 2 (1914) :

Franck et Hertz envoient des électrons sur une cuve remplie de vapeurs de mercure.

Résultat :

Ils obtiennent une courbe représentant l'excitation électronique en fonction de l'énergie cinétique des électrons incidents :



Question discussion réponse :

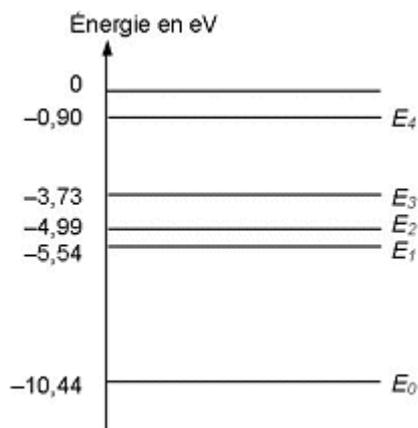
L'excitation électronique des atomes s'effectue-t-elle de manière continue ou discontinue ?

Réponse : L'excitation électronique s'effectue de manière discontinue.

L'expérience réalisée par Franck et Hertz confirme la nécessité d'une approche quantique. Il s'agit de la première expérience permettant de déterminer la différence de valeur entre deux niveaux d'énergie atomique.

Question discussion réponse :

On envoie un rayonnement ultraviolet de longueur d'onde égale à 254 nm sur une cuve remplie de vapeur de mercure. On observe un phénomène d'excitation électronique par transition électronique entre l'état énergétique le plus bas appelé état fondamental, notée E_0 et un état énergétique plus élevé appelé état excité, noté E_n



Entre quels niveaux d'énergie, la transition va-t-elle avoir lieu ?

Données :

$$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Réponse :

$$\Delta E = hc / \lambda = (6,62 \times 10^{-34} \times 3,0 \times 10^8) / 254 \times 10^{-9} = 7,82 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\Delta E = 7,82 \times 10^{-19} / 1,6 \times 10^{-19} = 4,90 \text{ eV}$$

Soit un niveau énergétique excité égal à $10,44 - 4,90 = 5,54 \text{ eV}$

La transition va avoir lieu entre le niveau E_0 et le niveau E_1 .