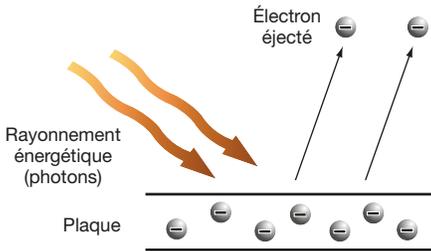


LE PHOTON

Qu'est-ce qu'un photon ? Un corpuscule, une onde ou un peu des deux ? Pour le physicien américain Richard Feynman, prix Nobel de physique 1965 pour ses contributions à la théorie des particules élémentaires, « personne ne le sait et c'est mieux de ne pas essayer d'y penser ». Relevons néanmoins ce défi...



Un regard, une pensée, un éclair. La radio, la chimie, la dureté du bois, la fluidité de l'eau. La vie en somme. À chaque étape, le photon (nom dérivé du mot grec signifiant lumière) intervient puisqu'il est la particule associée à l'interaction électromagnétique et que tous ces phénomènes en dépendent.

L'effet photoélectrique

Lorsqu'une plaque de métal est éclairée par de la lumière, des électrons peuvent être arrachés du métal. Ce phénomène ne se produit que si la fréquence des ondes lumineuses atteint une valeur seuil, indépendante de son intensité.

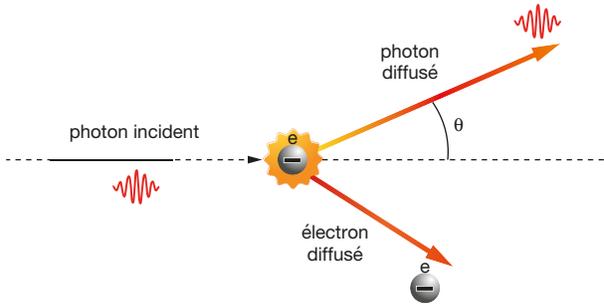
Cette observation conduit Einstein à supposer que la lumière est composée de corpuscules, les photons, dont l'énergie est proportionnelle à la fréquence de l'onde électromagnétique.

L'effet photoélectrique est alors le résultat de collisions entre photons et électrons, ces derniers ne pouvant être éjectés du métal que si les particules incidentes sont suffisamment énergétiques.

La description de la lumière a longtemps oscillé entre deux visions en apparence opposées. D'un côté, celle d'une onde similaire à une vague se déplaçant à la surface de l'eau ; de l'autre, celle d'un ensemble de corpuscules minuscules et d'énergie bien définie. Certains phénomènes s'expliquent dans le premier cadre tandis que d'autres demandent la seconde interprétation.

Une avancée déterminante se produit en 1900 lorsque Max Planck utilise un « artifice mathématique » pour déterminer le rayonnement émis par une cavité fermée et portée à une température donnée – un corps noir. Les calculs menés en supposant des échanges d'énergie continus, une hypothèse logique à l'époque, ne reproduisent pas les observations. Planck postule que les processus d'émission et d'absorption se font *via* des unités élémentaires – les quanta, d'énergie proportionnelle à la fréquence du rayonnement électromagnétique – ce qui lui permet d'obtenir le bon résultat.

En 1905, Albert Einstein va plus loin : il utilise ces quanta pour expliquer d'autres phénomènes comme l'effet photoélectrique. On peut arracher des électrons à un métal en l'éclairant mais ce processus ne se déclenche que si la lumière atteint une certaine fréquence, indépendante de son



intensité. Cette observation trouve une explication naturelle avec le concept de photons : ceux-ci ne peuvent briser la cohésion des atomes que s'ils apportent individuellement une quantité d'énergie suffisante.

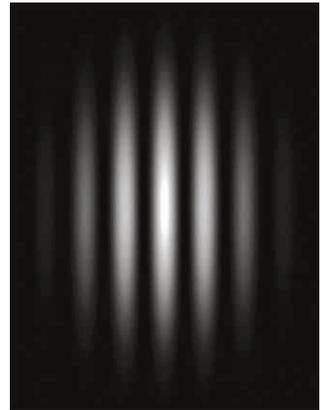
Cette idée novatrice (onde électromagnétique = photons) se trouve finalement confirmée en 1922. Arthur Compton envoie des rayons X sur une plaque de métal – une expérience dite de « diffusion » – et explique les résultats observés par les chocs entre de minuscules boules de billard : des photons d'un côté, des électrons des nuages atomiques de l'autre. Plus les photons perdent de l'énergie et plus ils sont déviés ; la variation de longueur d'onde mesurée suit exactement la loi attendue.

Le photon est donc un objet compliqué qui peut apparaître comme une onde ou comme un corpuscule selon la manière dont on l'observe. Ces deux facettes de sa personnalité sont bien décrites par la mécanique quantique dont il est à l'origine. Le photon a d'autres propriétés étonnantes. Par exemple, sa masse est nulle ce qui explique pourquoi il se déplace dans le vide sans ralentir ni accélérer et à une vitesse (environ 300 000 km/s) qu'aucun objet massif ne peut atteindre. Dans la matière, il est plus lent parce qu'il entre en collision avec les atomes du milieu traversé. Une conséquence de sa légèreté « parfaite » est que le photon est stable, c'est-à-dire qu'il ne se désintègre pas de lui-même. Bien qu'il soit neutre électriquement, le photon est la particule médiatrice de l'interaction électromagnétique : deux particules chargées s'attirent ou se repoussent en échangeant des photons.

Pour la physique de l'infiniment petit, une conséquence importante du lien entre énergie et longueur d'onde est que l'énergie qu'il faut apporter pour sonder la matière est d'autant plus élevée que l'échelle de longueur étudiée est petite.

Diffusion Compton

Lors d'un choc avec un électron, un photon perd de l'énergie ce qui se traduit par un changement de fréquence de l'onde électromagnétique associée. Le calcul permet de relier l'angle θ de déviation de sa trajectoire avec la quantité d'énergie perdue. Dans cette expérience, le photon se comporte comme un corpuscule.



Franges d'interférences lumineuses

L'expérience des fentes d'Young (1801) : on place un panneau opaque percé de deux petites fentes entre une source lumineuse monochromatique et un écran dont on observe l'éclairement. Une alternance de bandes claires (resp. sombres) correspond à des interférences constructives (resp. destructives). Dans cette expérience, la lumière se comporte comme une onde.