

## I-2) Approche documentaire : Historique de la découverte du photon

### a) Le rayonnement thermique

En 1900, pour réussir à expliquer les propriétés de l'émission thermique du rayonnement électromagnétique d'un corps chauffé (ce rayonnement est pour l'essentiel dans le domaine infrarouge), Max Planck utilisa l'hypothèse que l'énergie s'échange entre la matière et le rayonnement par multiples d'une valeur minimale, le quantum d'énergie, dont l'expression est :

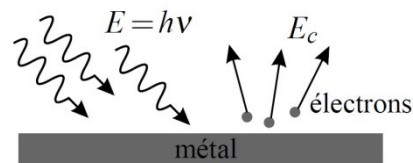
$$E = h\nu$$

où  $\nu$  est la fréquence du rayonnement et  $h$  une constante. Cette constante appelée *Hilfskonstante* par Planck, soit en français constante auxiliaire, est devenue depuis l'une des constantes fondamentales de la physique. Sa valeur actuellement admise est :

$$h = 6,636\,176 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

### b) L'effet photoélectrique

L'effet photoélectrique est l'émission d'électrons par un métal lorsqu'il est éclairé par un rayonnement du domaine visible ou ultraviolet. **Le phénomène n'existe que si la fréquence du rayonnement est supérieure à une fréquence seuil  $\nu_s$  qui dépend de la nature du métal.** Si la fréquence est plus petite que  $\nu_s$  il n'y a pas d'effet photoélectrique, même si le faisceau est très intense.



Effet photoélectrique. Chaque électron de masse  $m_e$  et vitesse  $v_e$  emporte une énergie cinétique :  $E_c \leq h\nu - W$ .

En 1905, Albert Einstein proposa une interprétation théorique de l'effet photoélectrique en reprenant l'idée de Planck. Il supposa que le rayonnement lui-même est constitué de « quanta de lumière », sortes de grains de lumière contenant l'énergie  $E = h\nu$ .

L'hypothèse de base de la théorie d'Einstein est qu'un électron du métal peut absorber un seul quantum de lumière. Il est alors arraché au métal si l'énergie  $E = h\nu$  est supérieure à une valeur minimale dépendant du métal et appelée travail d'extraction  $W$ . La condition  $E > W$  se traduit par :

$$\nu > \nu_s = \frac{W}{h}$$

La théorie d'Einstein explique ainsi l'existence de la fréquence seuil. De plus elle prédit que l'énergie cinétique maximale emportée par l'électron est :

$$E_{c,max} = E - W = h(\nu - \nu_s).$$

Des expériences, menées par Robert Andrews Millikan entre 1905 et 1915, confirmèrent cette formule et donnèrent une valeur de la constante de Planck en bon accord avec la valeur provenant des expériences sur le rayonnement thermique. Einstein reçut le prix Nobel de physique pour son travail sur l'effet photoélectrique en 1922.

### c) La diffusion Compton

Le phénomène qui finit de convaincre la communauté scientifique de l'existence de particules associées au rayonnement électromagnétique est la diffusion Compton découverte par Arthur Compton en 1922.

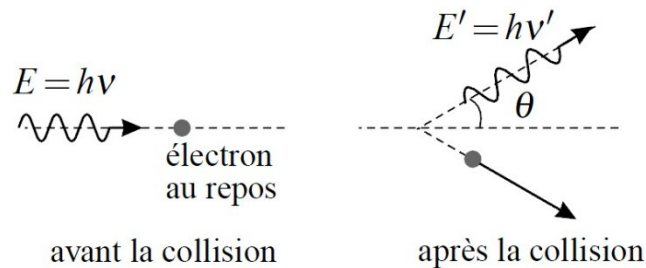
La diffusion d'un rayonnement est le phénomène selon lequel un échantillon de matière, recevant un rayonnement incident, renvoie dans tout l'espace un rayonnement de même nature appelé onde diffusée.

Classiquement on explique la diffusion des ondes électromagnétiques par le fait que les électrons contenus dans la matière sont mis en mouvement sous l'action du champ électromagnétique de l'onde incidente. L'onde diffusée est créée par les électrons en mouvement qui oscillent à la fréquence de l'onde incidente. L'onde diffusée a donc la même fréquence que l'onde incidente (parce que les équations de l'électromagnétisme et de la mécanique sont aussi linéaires).

En envoyant des rayons X de longueur d'onde  $\lambda=0,071\text{nm}$  sur une cible de carbone, A. Compton observa un rayonnement diffusé de longueur d'onde différente de la longueur d'onde incidente, en contradiction avec la théorie classique. Il put interpréter les résultats expérimentaux en faisant hypothèse d'une collision entre les électrons contenus dans l'échantillon et des particules arrivant avec le rayonnement, particules dotées :

- De l'énergie  $E=h\nu$
- De la quantité de mouvement :  $p = h\frac{\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$

Au cours de cette collision la particule du rayonnement perd une partie de son énergie, ce qui explique qu'elle reparte avec une énergie  $E'<E$ , donc une fréquence  $\nu'<\nu$  et une longueur d'onde  $\lambda' > \lambda$ . Le calcul fondé sur les lois de la mécanique relativiste donne des résultats quantitatifs en parfait accord avec l'expérience.



Effet Compton : collision entre un photon et un électron. Le calcul relativiste donne :  $\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta)$  où  $m_e$  est la masse de l'électron.

Quelques questions sur l'effet photoélectrique :

Pour le sodium, le travail d'extraction vaut  $W=2,2\text{eV}$

- a) Quelle est la fréquence seuil pour l'effet photoélectrique
- b) En déduire la longueur d'onde seuil de l'onde électromagnétique. Quel est le domaine spectral correspondant ?
- c) Une plaque de sodium est éclairée par un rayonnement UV. L'effet photoélectrique a-t-il lieu ?