

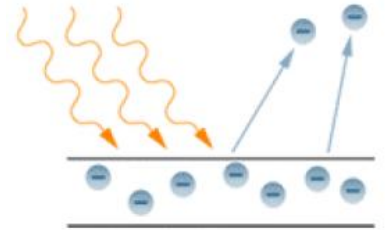
Aspect corpusculaire de la lumière

Approche expérimentale

- Effet photo-électronique d'Albert Einstein

Effet photo-électronique seulement avec des UV, rayons X ou γ
($\lambda < 400 \text{ nm}$ ou $f > 10^{14} \text{ Hz}$)

⇒ Lumière = particules dont l'énergie dépend de la fréquence ?



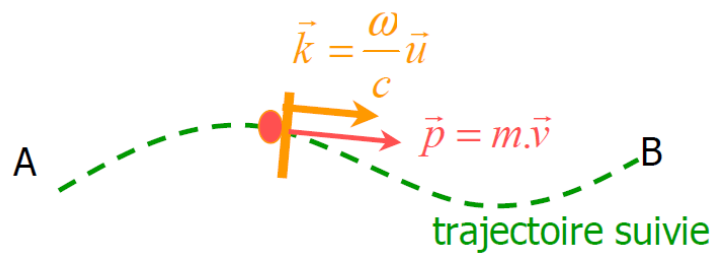
Dualité onde-corpuscule

Problème: trouver un modèle physique qui intègre à la fois les deux caractéristiques de la lumière :

- ⇒ Ondulatoires : réflexion, réfraction, diffraction, interférences...
- ⇒ Corpusculaires : chocs

Idée: modéliser grâce au principe de moindre action et à l'analogie entre :

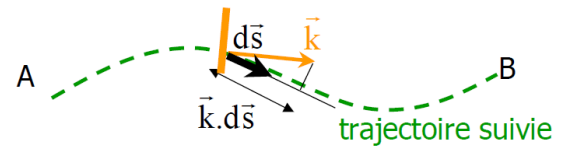
- ⇒ Ondulatoire : surface d'onde / vecteur d'onde
- ⇒ Corpusculaire : masse / quantité de mouvement



Principe de moindre action

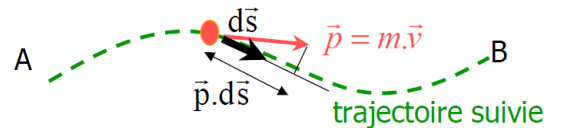
- Aspect ondulatoire : principe de Fermat

$$A = \int_A^B \vec{k} \cdot d\vec{s} \quad \text{minimal}$$

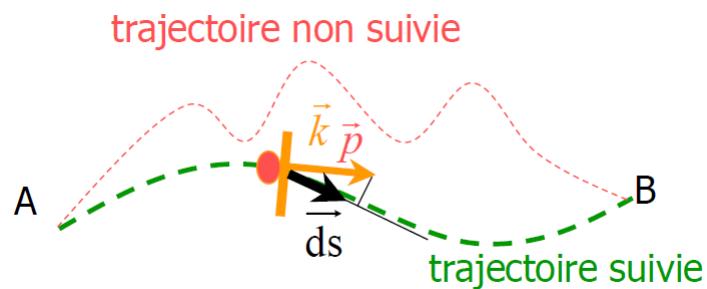


- Aspect corpusculaire : principe de Maupertuis

$$A' = \int_A^B \vec{p} \cdot d\vec{s} \quad \text{minimal}$$



La trajectoire suivie est celle qui correspond à un minimum de vitesse pour un minimum de chemin parcouru.



Description ondulatoire et corpusculaire de la lumière

⇒ A et A' minimaux ensemble

Il suffit d'avoir p et k proportionnels : $\vec{p} = \hbar \cdot \vec{k}$

Relation de Louis de Broglie

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

λ : longueur d'onde (m)

p : quantité de mouvement de la particule ($kg \cdot m \cdot s^{-1}$)

h : constante de Planck ($\hbar = h/2\pi$)

Cette relation s'applique à toutes les particules (intérêts pour les microparticules).

Les propriétés ondulatoires d'un corps ne s'expriment que pour des objets dont la taille est de l'ordre de λ .

Conséquences de la dualité onde-corpuscule

- **Relation du quantum d'Einstein**

Problème : Comment appliquer $\lambda = h/p$ à une particule se déplaçant à la vitesse de la lumière ?

Solution: la relativité restreinte (A. Einstein, 1905) généralise la notion de quantité de mouvement suivant :

$$E^2 = p^2 \cdot c^2 + m^2 \cdot c^4$$

Donc, pour une particule de lumière : $E_\varphi = p \cdot c$

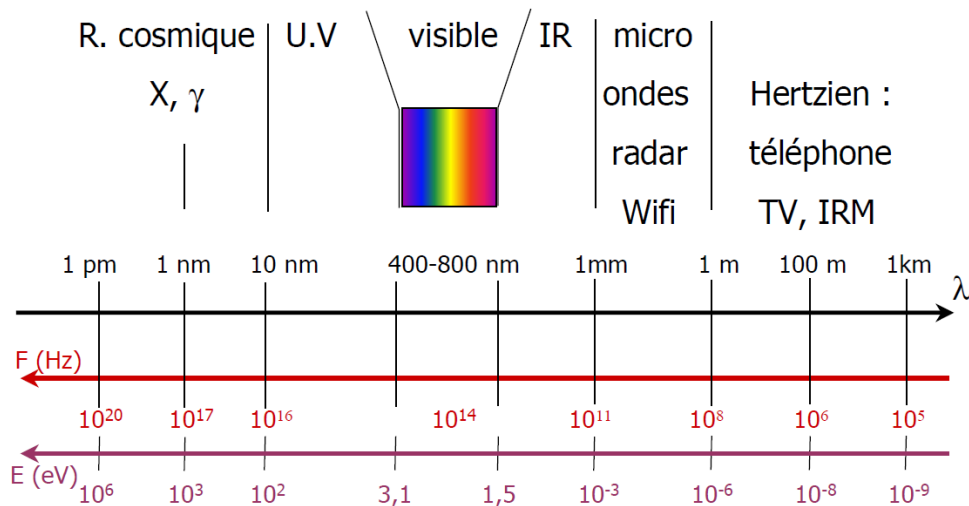
($m = 0$ car $v = c$) : d'après Einstein, une particule se déplaçant à la vitesse de la lumière à forcément une masse nulle

$$E_\varphi = \frac{h \cdot c}{\lambda(m)} = h \cdot f = \hbar \cdot \omega \quad (\text{joule})$$

Cette relation n'est valable que pour des particules de masse au repos nulle.

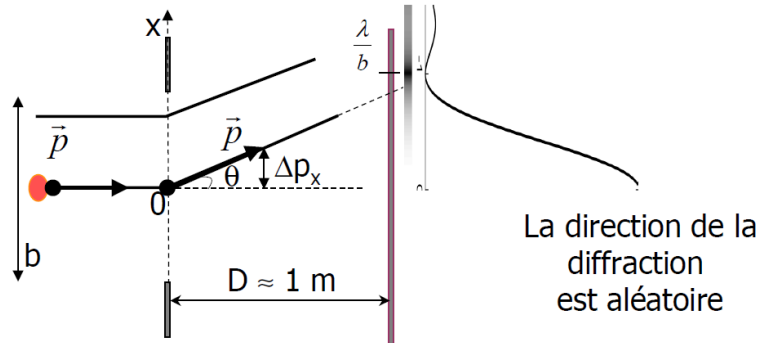
$$E_\varphi = \frac{1240}{\lambda(nm)} \quad (eV)$$

Classification simplifiée



- **Relations d'incertitudes d'Heisenberg**

Retour sur la diffraction



La **même figure d'interférences** est enregistrée sur une plaque photographique lorsque les photons sont **émis un par un**.

Incertitude sur la position du photon : $\Delta x = b$

Incertitude sur l'impulsion de photon : $\Delta p_x = p \cdot \sin \theta \approx p \cdot \sin \theta = p \cdot \lambda / b$

$$\Delta x \cdot \Delta p_x = p \cdot \lambda = h$$

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar \neq 0$$

L'incertitude sur la direction de diffraction de l'OEM se retrouve dans l'impossibilité de connaître avec une absolue précision à la fois la position et l'impulsion (quantité de mouvement) du photon.

Donc, il n'y a **pas de trajectoire définie** à l'échelle des particules élémentaires, mais seulement des **probabilités de présence p**.

- **Quantification des grandeurs physiques**

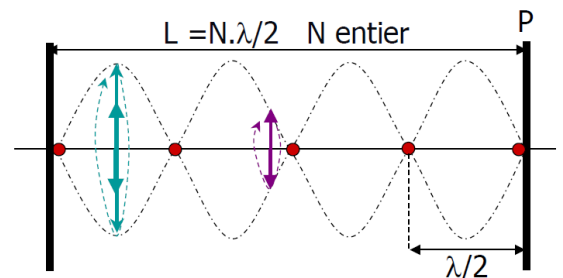
Si une particule est confinée dans un **espace limité** (toujours le cas), l'onde associée est forcément une **onde stationnaire**.

Dualité onde-corpuscule :

⇒ $\lambda = 2L/N$: longueur d'onde **quantifiée**

⇒ $f = c/\lambda$: fréquence **quantifiée**

⇒ $E = h \cdot f$: énergie **quantifiée**



Les grandeurs physiques ne varient pas continûment, mais par **multiples d'une grandeur élémentaire** (cf. modèle de Bohr)