

LP-38 : Aspects corpusculaire, Rayonnement, notion de photons

présenté par : LESVESQUES Maéva, retranscrit par : BRAUD Valentin
U. de Rennes 1

15 mai 2020

Niveau : Licence

Prérequis :

- Notion du corps noir
- OEM
- Bases de la mécanique quantique
- Bases de la relativité
- Diffraction
- Interférences
- Polarisation

[1][2]

1 Nature corpusculaire de la lumière

1.1 Corps noir

Soit la densité spectrale en longueur d'onde d'énergie volumique d'un corps noir u_λ^0 et la densité d'énergie totale :

$$u_{em} = \int_0^\infty u_\lambda^0(\lambda, T) d\lambda$$

Cette densité spectrale d'énergie volumique peut aussi être exprimé comme densité spectrale d'énergie en fréquence (u_ν^0).

Elle est donnée par la loi de Planck :

$$u_\lambda^0 = \frac{8\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda k_b T}\right)}$$

On peut aussi présenter le diagramme du rayonnement du corps noir (avec un pic à λ_{max}) (DIAPO 1).

1.2 Effet photo-électrique

L'effet photoélectrique désigne l'émission d'électron par un matériau soumis à l'action de la lumière. Cet effet induit l'éjection d'électrons du matériau ainsi que la modification de la conductivité de celui-ci.

On illustre l'effet photoélectrique par une manipulation (DIAPO 2) :

- On prend la contre tension $|V_0|$ maximale (DIAPO 3).

- La fréquence seuil dépend du matériau.
- $|V_0|$ varie linéairement en fonction de ν .
- On a $P \propto I_{max}$

Einstein pose :

$$E = h\nu \quad \text{avec} \quad h = 6,626.10^{-34} \quad m^2.kg.s^{-1}$$

On a ensuite l'équivalent en énergie du système :

$$h\nu + (-W_s) = \frac{1}{2}mv^2$$

Dans le cas où $h\nu \geq W_s = h\nu_s$:

$$\frac{1}{2}mv^2 = h(\nu - \nu_s) \quad \text{avec} \quad \nu \geq \nu_s$$

Dans le cas où $h\nu \leq W_s$:

$$eV_0 = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{avec} \quad |V_0| = \frac{h}{e}(\nu - \nu_s)$$

1.3 Modèle de Bohr

Le modèle de Bohr complète le modèle de Rutherford qui est un modèle planétaire. Il énonce 3 postulats :

- L'électron ne rayonne aucune énergie lorsqu'il se trouve sur une orbite stable. L'orbite est supposée circulaire.
- Le moment cinétique est quantifié : $L_n = \hbar n$
- L'électron ne rayonne ou n'absorbe de l'énergie que lors d'un changement d'orbite. Ceci nous amène à la formule de Rydberg permettant de retrouver les différentes séries de raies de l'atome d'hydrogène.

L'interaction entre le noyau et son unique électron est électrostatique, la force intervenant étant la force de Coulomb. Ceci nous permet donc d'écrire l'énergie potentielle de l'électron à une distance r du noyau comme :

$$E_p = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_e^2}{r}$$

avec ϵ_0 la permittivité du vide et q_e la charge de l'électron.

2 Caractéristiques du photon

2.1 Quantité de mouvement

Soit une onde polarisée selon Ox :

$$\begin{cases} \mathbf{E} = E_0 \cos(\omega t - kz) \mathbf{u}_x \\ \mathbf{B} = B_0 \cos(\omega t - kz) \mathbf{u}_y \end{cases}$$

Le photon est soumis à la force de Laplace par l'intermédiaire du champ électromagnétique :

$$\langle \mathbf{F} \rangle = q \langle \mathbf{E} \rangle + q \langle \mathbf{v} \wedge \mathbf{B} \rangle \longrightarrow \langle F_z \rangle = q \langle \frac{v}{c} E \rangle \mathbf{u}_z$$

En appliquant le PFD, on obtient :

$$p = \frac{h\nu}{c} \longrightarrow \text{La quantité de mouvement du photon}$$

2.2 Masse

En considérant le quadrivecteur de la quantité de mouvement défini tel que $\tilde{p} = (\frac{E}{c}, \mathbf{p})$:

$$\tilde{p}^2 = \frac{E^2}{c^2} - \mathbf{p}^2 = m^2 c^2$$

$$E = \sqrt{m^2 c^4 + p^2 c^2}$$

Or on a $m^2 c^4 = 0$ donc $m_{ph} = 0$.

2.3 Moment cinétique

Pour le moment cinétique, il y a présence d'un couple :

$$\Gamma_z = \frac{2P}{W}$$

D'après le théorème du moment cinétique :

$$\frac{dL}{dt} \frac{P}{W} \longrightarrow \mathbf{L} = \hbar$$

3 Application : Interférences à un photon

3.1 Fentes d'Young

L'expérience originelle de Thomas Young était interprétée de manière « classique », elle mettait en évidence le caractère ondulatoire de la lumière en utilisant entre autre le principe de Huygens-Fresnel.

L'expérience de Young a par la suite été affinée, notamment faisant en sorte que la source S émette un photon à la fois. Ceux-ci sont détectés un par un sur l'écran placé après les fentes de Young : on observe alors que les impacts forment petit à petit la figure d'interférences (DIAPO 2). Selon des lois classiques concernant les trajectoires de ces corpuscules, il est impossible d'interpréter ce phénomène.

On peut interpréter le phénomène de manière quantique : le quantum émis prend un état superposé lors du franchissement de la plaque :

$$|\varphi\rangle = |\varphi_{S1}\rangle + |\varphi_{S2}\rangle$$

φ_{S1} et φ_{S2} correspondant respectivement au photon passant par S1 et passant par S2.

On obtient la fonction d'onde résultante. Il est possible de déterminer pour chaque point de la plaque la probabilité que le photon y soit détecté. On peut démontrer que la distribution des probabilités suit la figure d'interférence. Finalement, on peut dire que le photon interfère avec lui-même.

3.2 Expérience de Grangier et Aspect

A REPENDRE AVEC DE LA BIBLIO

Références

- [1] B. Cagnac. *Physique atomique : interactions électromagnétiques. 1, Atomes et rayonnement*. Dunod.
- [2] Fondements et premières applications Mécanique quantique : cours et exercices. 1. *C. Aslangul*. De Boeck supérieur.