

Partie Comprendre : Lois et modèles

CHAP 15-POLY Transferts quantique d'énergie et dualité onde-particule

Objectifs : Comment la matière se comporte-t-elle à l'échelle microscopique ?

Notions et contenus	Compétences exigibles
Dualité onde-particule Photon et onde lumineuse.	Savoir que la lumière présente des aspects ondulatoire et particulaire.
Particule matérielle et onde de matière ; relation de de Broglie.	Extraire et exploiter des informations sur les ondes de matière et sur la dualité onde-particule. Connaître et utiliser la relation $p = \frac{h}{\lambda}$ Identifier des situations physiques où le caractère ondulatoire de la matière est significatif.
Interférences photon par photon, particule de matière par particule de matière.	Extraire et exploiter des informations sur les phénomènes quantiques pour mettre en évidence leur aspect probabiliste.
Transferts quantiques d'énergie Émission et absorption quantiques. Émission stimulée et amplification d'une onde lumineuse. Oscillateur optique : principe du laser.	Connaître le principe de l'émission stimulée et les principales propriétés du laser (directivité, monochromaticité, concentration spatiale et temporelle de l'énergie). <i>Mettre en œuvre un protocole expérimental utilisant un laser comme outil d'investigation ou pour transmettre de l'information.</i>

1. ASPECTS ONDULATOIRE ET PARTICULAIRE DE LA LUMIERE

1.1 Comportement ondulatoire de la lumière

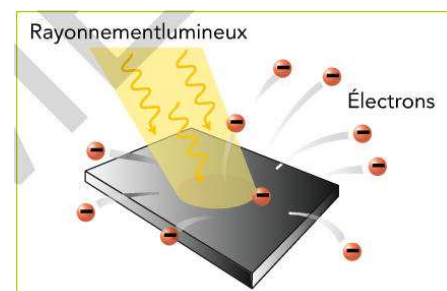
- Huygens (1629-1695) interprète la lumière comme la propagation
.....
- Maxwell (1831-1879) introduit la théorie de la propagation des
.....
- La devient alors un cas particulier d'ondes électromagnétiques de longueurs d'onde comprises entre 380 et 780 nm.



Les phénomènes de ou sont des manifestations du comportement ondulatoire de la lumière.

1.2. Comportement particulaire de la lumière

- Newton (1643-1727) : la lumière est composée de petites
.....massiques et rapides. C'est une conception particulaire de la lumière.
- Einstein (1879-1955) propose le modèle du , qu'on peut considérer comme une particule transportant un quantum d'énergie.



Certains phénomènes, comme , sont des manifestations du comportement particulaire de la lumière.

1.3. dualité onde-particule de la lumière

a) Définition

La lumière se comporte tantôt comme une onde, tantôt comme une particule : ce sont les conditions de l'expérience qui orientent son comportement. Pour désigner ce double comportement, on utilise l'expression de

b) Energie de la lumière

Un quantum d'énergie associé à une radiation lumineuse de fréquence ν (μ) contient la quantité d'énergie ΔE :

$$\Delta E = \dots\dots\dots \text{ ou } : \Delta E = \dots\dots\dots$$

- h : est une constante universelle appelée constante de ($h = 6,62.10^{-34} \text{ J.s}$)
- : La fréquence du photon. En Hertz (Hz). C'est la fréquence de l'onde électromagnétique associée au photon.
- c : Célérité de la lumière (m.s^{-1}). Dans le vide, $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
- λ : longueur d'onde (m)

ΔE en Joules ; si ΔE est , l'atome se « désexcite » en cédant de l'énergie au milieu extérieur
si ΔE est , l'atome « s'excite » en captant de l'énergie du milieu extérieur

Application: calculer l'énergie des rayonnements rouge et bleu, se déplaçant dans le vide, de longueur d'onde respectives $\lambda(\text{rouge}) = 720 \text{ nm}$; $\lambda(\text{bleu}) = 450 \text{ nm}$.

2. PARTICULES MATERIEL ET ONDE DE MATIERE

2.1 Hypothèse de Broglie

- en 1924, Louis de Broglie propose de généraliser la dualité onde-particule, admise pour la lumière, à tous les objets (électrons, protons, neutrons...)
- Cette hypothèse est confirmée en 1927 par l'observation du phénomène de **diffraction pour des**

Les objets microscopiques de la matière (électrons, protons...) présentent, comme la lumière, un double aspectet

2.2. La relation de Broglie

Louis de Broglie introduit la notion **d'onde de**.....

À chaque particule en mouvement est associée une onde de matière de longueur d'onde λ , liée à de la particule par la relation :

$$p = \dots\dots$$

- h : est une constante universelle appelée constante de Planck. ($h = 6,62.10^{-34} \text{ J.s}$)
- λ : longueur d'onde (m)
- p : quantité de mouvement (kg.m.s^{-1})

La relation qui porte son nom permet de relier les deux concepts classiques d'onde et de particule.

2.3. Condition d'observation du comportement ondulatoire

*Le comportement ondulatoire des objets microscopiques est significatif lorsque la de l'obstacle ou de l'ouverture est du même ordre de grandeur que la
.....*

Application: Déterminer la longueur d'onde de l'onde de matière associée à un électron de masse $m = 9,11 \times 10^{-31}$ kg et de vitesse $v = 400 \text{ m.s}^{-1}$. Quelle est la taille de l'ouverture permettant d'observer la diffraction d'un faisceau d'électrons possédant ces caractéristiques?

3. ASPECT PROBABILISTE DE LA PHYSIQUE QUANTIQUE

3.1. Phénomènes quantiques

Les phénomènes quantiques sont les phénomènes où interviennent des objets microscopiques de la matière (électrons, protons...) et qui ne s'expliquent pas par les de la physique.

Exemple :

..... est un phénomène quantique

3.2. comportement aléatoire

- Cette distribution chaotique puis ordonnée des impacts peut s'interpréter par un comportement de la particule de matière

3.3. Aspect probabiliste

- Le comportement aléatoire les particules quantiques permet tout de même d'extraire des informations de nature

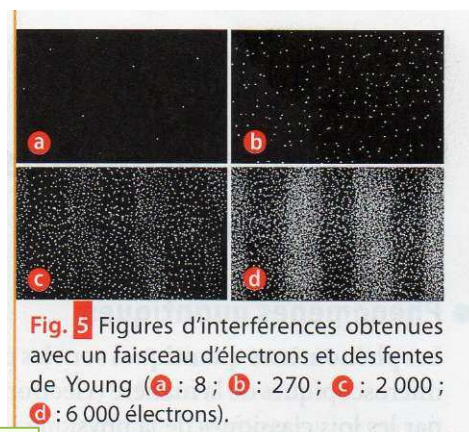


Fig. 5 Figures d'interférences obtenues avec un faisceau d'électrons et des fentes de Young (a : 8 ; b : 270 ; c : 2 000 ; d : 6 000 électrons).

Les particules du monde microscopique sont soumises à des lois probabilistes. Seule l'étude d'un de particules permet d'établir un comportement.

Exemple :

ANIMATION : [interférence](#)

- on ne peut pas prédire le lieu du prochain impact d'un photon sur l'écran: caractère aléatoire

- mais la probabilité d'impact est plus importante/faible dans les zones claires/sombres.

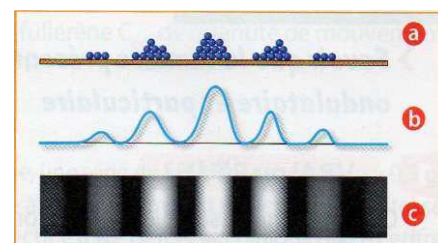


Fig. 7 Interférences obtenues avec de la lumière blanche.
a : nombre d'impacts sur l'écran ;
b : probabilité de l'impact en fonction de la position ;

RADIOACTIVITE

- on ne peut pas prévoir si un noyau de ^{14}C radioactif va se désintégrer dans la seconde qui suit : caractère aléatoire

-mais un noyau a une chance sur deux d'être désintégré au bout de 5 730 ans.

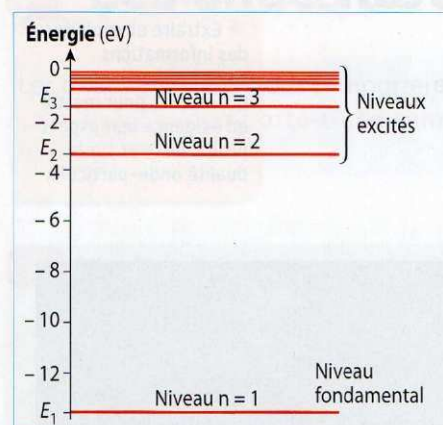
RESUME : VIDEO

4. LE LASER

1.1 Emission et absorption quantique

- L'énergie des entités microscopiques (atomes, ions et molécules) ne peut pas prendre n'importe quelle valeur.

- Les valeurs possibles de l'énergie sont en nombre restreint : on dit que l'énergie est



9 Diagramme d'énergie (en eV) de l'atome d'hydrogène.

- Lors d'une transition radiative de l'entité entre deux niveaux d'énergie E_{bas} et $E_{\text{haut}} > E_{\text{bas}}$

on a

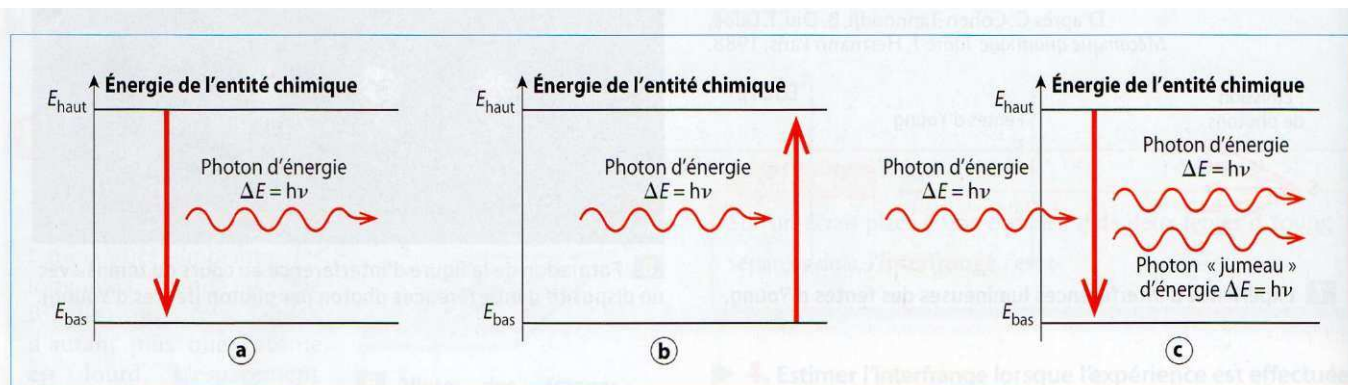
$$\Delta E = E_{\text{haut}} - E_{\text{bas}} = \dots\dots\dots \quad \text{cf 1.3.b)}$$

Il existe trois types de transitions :

a) Emission spontanée

b) L'absorption

c) L'émission stimulée



1.2. Principe de fonctionnement du laser [ANIMATION exécutable](#)

a) Milieu actif

La plupart des lasers sont composés d'un milieu actif ou amplificateur : il s'agit d'atomes, d'ions ou de molécules.

Exemple :

Le milieu est un gaz dans le laser hélium-néon, un solide dans les diodes laser (utilisées dans les lecteurs de CD) et le laser à rubis, ou encore un liquide dans un laser à colorant.

b) Amplification de l'onde

- Les entités du milieu amplificateur sont excitées par un dispositif de pompage qui leur fournit de l'énergie. La transition d'un niveau excité vers un état d'énergie inférieure des entités du milieu actif est alors rendue possible.

- Un photon initialement émis de façon spontanée peut créer, par émission stimulée, un grand nombre de photons qui lui sont jumeaux, en une sorte de « réaction en chaîne » appelée amplification laser.

Remarque :

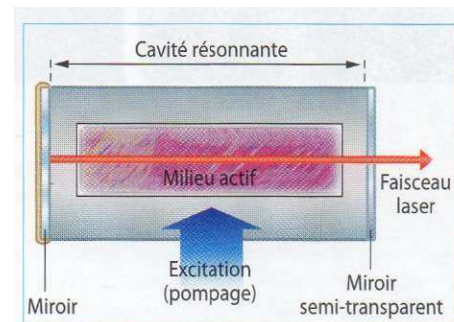
Le pompage s'effectue grâce à des flashes lumineux (« pompage optique »), ou à des décharges électriques (comme dans le cas du laser hélium-néon).

- Dans le cas d'un milieu à l'équilibre, il y a davantage d'entités dans les niveaux de plus basse énergie. Or l'amplification laser nécessite un état excité d'énergie E_{haut} plus peuplé que l'état d'énergie inférieure E_{bas} , afin que l'émission stimulée soit plus importante que l'absorption.

Cette « **inversion de population** » est assurée par le pompage mis au point initialement par le physicien français Alfred Kastler.

c) Cavité de résonance

- Afin d'amplifier l'onde, il est souvent fait appel à une cavité résonnante constituée par exemple de deux miroirs, l'un parfait, l'autre assurant une transmission partielle vers l'extérieur de l'onde lumineuse qui se trouve dans la cavité (doc. 13).
- Le laser constitue un oscillateur optique, qui sélectionne une onde de fréquence déterminée, tout comme un oscillateur mécanique présente une fréquence propre



13 Les éléments fondamentaux d'un laser sont le milieu actif, le dispositif de pompage et la cavité résonnante.

1.3. Propriétés des lasers

- Tous les photons émis par le laser ont la même fréquence. Un laser produit donc un **faisceau lumineux**
- Ces photons sont aussi en phase. Un laser produit donc un **faisceau lumineux**
- Ces photons ont la même direction. Un laser produit donc un **faisceau lumineux**
- La puissance du faisceau, donc l'énergie, est beaucoup plus concentrée dans.....

Rem :

Dans un laser à impulsions permet de concentrer dans..... l'énergie grâce à des émissions de très courte durée.

5. DOMAINE SPECTRAL ET TRANSITION QUANTIQUE

- Une molécule est constituée d'atomes qui vibrent les uns par rapport aux autres (cf image ci-dessous).
- Elle possède donc de l'énergie vibratoire en plus de l'énergie électronique liée à la répartition des électrons.
- Ces deux énergies sont quantifiées, c'est-à-dire qu'elles ne peuvent prendre que certaines valeurs particulières. On parle de valeurs discrètes.

- Comme pour l'atome, on définit des niveaux d'énergie électronique de la molécule. À chaque niveau d'énergie électronique correspondent des sous-niveaux d'énergie vibratoire

