Répétition #1 (16/02/2020)

Introduction (‘)

* Spectre du soleil : pourquoi des trous dans le spectre : on peut vraiment l’expliquer
* On ne peut expliquer le spectre du mercure
* On sait l’expliquer avec quoi ?

1 Phénomènes d’absorption et d’émission (1‘)

1 1 Position du problème

On va s’intéresser à l’interaction entre matière et rayonnement.

* Energie En, système à deux niveaux
* Pour que l’atome et la lumière interagissent il faut E=hv (est-ce que c’est un prérequis)
* Grand nombre d’atomes : étude statistique
* Largeur en énergie : mal dit ; élargissement spectral ok. Distribution spectrale (sur le schéma préciser la fréquence centrale : ce n’est pas 0)

Cette interaction décrit les changements d’états produit par l’ébs/l’emm de photons

1 2 Emission stimulée (5‘30)

* Est-ce pertinent de le mettre en premier ? Tu voulais dire spontanée non ?
* SPONTANEE
* Caractéristiques du photon émis

1 3 Absorption (8’45)

* RAS c’était bien
* Peut-être mentionner l’absorption stimulée (pour faire la transition)

1 4 Emission stimulée (12’)

* Propriétés du photon émis

Ne pas oublier les manips : explication commencées à 15’

* Le goniomètre pour séparer (ça sert plutôt à mesurer ce que tu fais ensuite)
* Rhodamine on est d’accord tu montres juste qualitativement
* Mentionner que tu reviendras sur l’émission stimulée plus tard

Si tu voulais gagner du temps sur les différents processus, peut-être le présenter sous forme de tableau puisqu’en plus tu répètes le même schéma 3 fois.

2 Comparaison des phénomènes (17‘)

2 1 Bilan à l’équilibre thermique

* Pourquoi écrire l’expression de u(v0) en fonction de N2/N1 ? u(v0) c’est bien la densité volumique d’une onde incidente non ?
* A deusun B deusun…
* Expression de u(v0) en fonction des coefficients d’Einstein puis en remplaçant les population des niveaux par la statistique de Boltzmann
* Dans le corps noir il faut prendre en compte l’émission stimulée

2 2 Comparaison des processus

* Discours par clair sur l’évolution des populations dues aux processus
* Variation de la population du niveau excité
* A 300K l’émission stimulée est négligeable : il faut aller dans le domaine microonde. Peut-être tracer l’évolution du coefficient alpha en fonction de T sur slide ?

Conclusion : dans la vie de tous les jours, on ne voit pas l’émission stimulée, pas de lumière cohérente. Tu as dit que le processus stimulé était important pourquoi on ne le voit jamais ?

Y a pas un lien avec la catastrophe ultraviolette ?

3 Application au laser (29‘)

3 1 Amplification d’une onde lumineuse

* Je n’ai pas compris ce qui est négligeable
* Dire clairement on s’intéresse à un milieu contenant des atomes à deux niveaux, on fait un bilan d’énergie entre z et z+dz
* Peut-être exprimer d’abord la variation temporelle d’énergie puis faire un bilan avec poynting
* Poynting en Pi plutôt que P ?
* Fluide incompressible pour exprimer Pi = c u(v)
* Pourquoi l’amplification se fait de façon cohérente. J’ai peut-être raté le passage ou tu dis que c’est l’émission stimulée qui permet ca

3 2 Le laser (36’)

* Utiliser P pour poynting et P pour les pertes c’est pas top
* Pour le schéma sur les conditions de laser : peut-être limiter le

Conclusion (40’)

40’

17/02/2020 La vraie

Correcteur Jean Hare

LP21 Absorption et émission de la lumière

Niveau : CPGE

Prérequis :

* Corps noir ;
* Optique ondulatoire ;
* Modèle de l’électron élastiquement lié ;
* Distribution de Boltzmann ;
* Mécanique quantique : quantification de l’énergie.

Introduction

Le modèle de l’e- élastiquement lié permet d’expliquer les spectres d’absorption mais as d’émission. (slide du soleil)

Il faut un nouveau modèle pour décrire le spectre d’émission du Hg par exemple

I Les phénomènes d’absorption et démission (1’30)

I 1 Position du problème ()

Solution proposée par Einstein avec un modèle phénoménologique.

On veut décrire l’interaction entre la lumière et la matière :

* Matière = atome système à deux niveaux
* Lumière : photon E = hv
* Pour qu’il y ai interaction il faut E2 – E1 = hv
* On va s’intéresser à Ni le nombre d’atome par unité de volume d’énergie Ei
* On pose aussi u(v) la densité spectrale volumique d’énergie électromagnétique
* Les niveaux d’énergie ne sont pas infiniment fins : on prend en compte le profil spectral de la transition g(v) dont l’integration vaut 1

Ni est très grad ce qui permet d’utiliser un modèle statistique

I 2 Les coefficients d’Einstein 4’30

Einstein a proposé trois phénomènes pour décrire les interactions

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Emission spontanée | Absorption | Emission stimulée |
| Schéma | Schéma | Schéma |
| A21 avec l’équation | B12 | B21 |
| Dir, pol, phase aléatoires |  | Dir, pol, phase identiques au photon incident |

Exp : raies de la lampe à vapeur de mercure qualitatif d’abord pour avec le prisme puis quantitatif sur le goniomètre avec le réseau à 600 traits par mm. On compare pour les trois raies les plus intenses (il y a le doublet jaune donc 4 raies au total). Ce type d’étude spectral permet d’identifier les gaz par leur empreinte digitale spectrale.

Pour l’abs dans le cas d’un spectre large bande (schéma avec u large devant le profil de raie)

Exp : absorption de la rhodamine dans l’éthanol.

L’émission stimulée apparait symétriquement à l’abs (stimulée). Grâce à l’émission stimulée on peut obtenir de la lumière cohérente utile pour faire des interférence par exemple.

L’émission nstimulée est difficile à observer. C’est ce quon va voir.

II Mise à l’épreuve du modèle

II 1 Bilan à l’équilibre thermique (16’)

On veut confronter le modèle à des observations expérimentales en vogue à l’époque : celui du corps noir.

Equations…

A l’équilibre thermique on peut utiliser le facteur de Boltzmann pour décrire les population de chancun des niveaux n’énergie.

Equations…

On compare au résultats obtenus par Planck avec la formule du corps noir

Equation

On trouve B12 = B21 = B

Et A21/B21 = 8 pi v / c^3

L’emission stimulée permet est bien nécessaire pour retrouver le spectre du corps noir.

On veut comparer les processus d’émission spontanée et stiùulée

II 2 Comparaison des processus (22’)

On s’intéresse au coefficient alpha

Slide sur le spectre du corps noir et alpha

On discute pour différentes valeurs de alpha :

* 300 K, 600 nm : alpha = 10^-25 : l’émission spontanée l’emporte
* 300 K, >30 µm : alpha > 1 dans le domaine microonde
* 5000 K, à 600 nm alpha = 10^-2 lumière du soleil incohérente
* 35000 K, à 600 nm, alpha = 1

Dans la vie de tous les jours on ne peut observer l’émission stimulée, il faut se placer hors équilibre

III Application au laser

III 1 Amplification (26’)

Bilan d’énergie sur le volume entre t et t+dt

On se place aux grandes densités volumiques d’énergie ce qui permet de négliger l’émission spontanée.

En régime permanent on a du/dt = 0 ce qui permet d’exprimer dPi/dz

On a amplification si N2>N1 ce qui revient à avoir une inversion de population.

On a toujours pas de vraie source cohérente car les photons incidents sont de pol, phase aléatoire

III 2 Le laser (34’)

Pour ça il faut boucler le système avec une cavité FP

Schéma avec R=1 et R<1

Pour que ce terme soit >0 il faut gamma > beta.

On peut le représenter graphiquement et on le fait : avec profil de gain, profil de perte (plat), et profil des résonance de la cavité.

Exp : speckle pour mettre en évidence la cohérence du faisceau du laser.

Slide avec maser et laser pour les dates d’invention.

Slide avec la zoologie des différents laser

Conclusion (38’)

A Einstein a développé un nouveau modèle pour expliquer l’interaction rayonnement matière.

Ouverture sur différentes application du laser blu ray chirurgie, GPS, SHG

(39’)

Question :

* Pouvez-vous nuancer le propos E2 – E1 = hv ? Il faut considérer la probabilité de la transition
* Est-ce intéressant de se placer à résonance ? Oui dans le cas des atomes froids pour le refroidissement, effet Doppler Zeeman
* Est-ce que ça a un rapport avec g(v) ? Qu’est-ce que ça veut dire qu’elle est normée ? Quelle est sa dimension
* Quelles sont les raison de la largeur du profil de raie ? Origine fondamentale avec Heisenberg, doppler, collisions. *Pour un atome immobile on a seulement élargissement fondamental à cause des inégalités d’Heisenberg. Il y a aussi effet Doppler qui donne un élargissement inhomogène (odg : Na durée de vie radiative : 1 MHz environ, doppler 100 MHz donc un atome donné résonne seulement à une fréquence mais pour une assemblée d’atomes ils absorbent avec des fréquences différentes).*
* Quelle est l’origine du tau dans E tau = hbar/2 ?
* Dans l’émission spontanée les propriétés du photon émis sont-elles vraiment aléatoire ? il y a des transitions interdites qui impliques des restrictions sur la polarisation, la phase est aléatoire, la direction est aléatoire. *La polarisation peut être conditionnée par les règles de conservation du moment cinétique. Si on considère un dipôle, il y a un diagramme de rayonnement mais sans condition ext isotrope. En présence d’un champ B ou E ce n’est plus isotrope. La phase est bien aléatoire*
* L’expérience sur la rhodamine correspond-elle au modèle présenté ? On n’a pas un système à deux niveaux, molécule complexe donc multiples niveau très proches. Que peut-on dire sur la profondeur de l’absorption ? Si ça descend à zéro ou non ? ca dépend des coefficients d’Einstein. Comment faire pour mettre à zéro la transmission ? Loi de Beer-Lambert
* Comparaison des processus : alpha rapport entre émission sti et spon ? Lien avec le 8 pi v^3 / c^3 ? Comment est introduit ce coefficient ? On compare l’expression obtenue avec les coefficients d’Einstein et l’expression connue du corps noir.
* Ext ce que ces coefficient dépendent de la nature de l’atome ? Est-il possible de calculer les coefficients d’Einstein ou bien est-ce qu’il faut tenir compte de la situation de rayonnement dans lequel se situe l’atome ? Dépend du temps de vie, de la fréquence. *Les coefficients dépendent du couplage de l’atome au rayonnement et donc dépend de la structure de l’atome. Les coefficients peuvent donc être différents.*
* Est-ce le même pour Hg et H si on oublie a différence en fréquence ? Oui sauf si je ne vois pas quelque chose… Est-ce que ça dépend des propriétés fines de l’atome.
* Quelques exemples de méthode pour réaliser l’inversion de population ? laser avec des atomes à quatre niveaux dans le Nd:YAG excitation avec un laser, lampe flash. Décharges électrique dans He:Ne avec un modèle à trois niveaux. Laser semi-conducteur avec jonction pn
* Sur la courbe de gain du laser avec gamma, pertes et modes de la cavité : Peut-on montrer que le laser a un seuil ? Que se passe-t-il si l’ISL est plus petit et qu’il y a plusieurs modes de cavité qui peuvent résonner ? Dépend de si on a un gain homogène (une seule fréquence) ou inhomogène (plusieurs fréquence) *Si le FP a des pics de Dirac c’est bon mais il faut faire apparaitre la saturation du gain ce qui a été fait. Du coup plusieurs comportements suivant l’évolution du gain avec le nombre de modes. Dans les lasers à semi-conducteurs l’ISL est très grand mais quand même plus petit que la plage de gain. Ici les différents modes sont en concurrence et seul un l’emporte. Un laser en dessous du seuil est un système simple linéaire mais au-dessus du seuil on a un comportement non linéaire (quadratique avec modèle proie prédateur pour le plus simple)*
* Vous avez parlé de dégénérescence dite en plus ? Comment ça se manifeste dans les équations ? Quand on parle d’équilibre thermique on doit faire intervenir g1 et g2. En fait ça sort des équations de la dynamique… pas compris
* Dans la rhodamine que se passe-t-il si on ne se place pas en face mais pas sur le côté non plus.
* Que se passe-t-il si on remplace la lumière blanche par un laser vert ? Elargissement spectral de l’émission avec des processus non radiatifs
* Sur la longueur de cohérence des lasers par quoi est-elle limité ? Largeur des pics du Fabry-Perot.

Commentaire

* Vous pouvez aplaudir devant le caractère remarquable de cette leçon et séance de questions !
* Le dynamisme est très appréciable !
* En 1917 on s’intéressait plus vraiment au corps noir (Planck entre 1900 et 1903, Einstein en 1905 prix Nobel en 1920). Les équations vues s’appellent les équations de taux car on ne s’intéresse qu’aux populations.
* Tant que le rayonnement est très large devant l’atome les équations sont valides. Dans le cas inverse il faut tenir compte des cohérences et les équations sont fausses.
* La largeur du laser est la finesse divisée par le nombre de photons dans la cavité. Les pertes traduisent le fait qu’il y a un petit champ incohérent en compétition avec le grand champ cohérent du laser.