

LP36 : ABSORPTION ET ÉMISSION DE LA LUMIÈRE (L2)

Prérequis

- base de mécanique quantique
- corps noir
- notion de photon

Idées directrices à faire passer

- c'est un modèle phénoménologique qui est interprété dans un cadre plus général de MQ
- permet d'expliquer de nombreux phénomènes et a été à l'origine de la conception des systèmes à émission stimulée

Commentaires du jury

–

Bibliographie

- [1] Physique atomique I, Cagnac, Dunod (attention, il faut la nouvelle édition)
- [2] Einstein aujourd'hui, co-écrit, EDP Sciences
- [3] Introduction aux lasers et à l'optique quantique, Aspect, Ellipses

Introduction : présenter ce que l'on va faire : 1) les 3 interactions rayonnement-matière, 2) bilan de ces interactions
3) application à la construction d'un laser

I Description phénoménologique des interactions lumière-matière

1 Absorption [1]

- p87 du Cagnac
- écrire la formule de variation de la population en atome dans le niveau E_1 en fonction des paramètres intéressants
- traiter le cas monochromatique en introduisant une fonction forme de raie normalisée : cette forme de raie est à relier à la largeur naturelle de raie, mais selon les cas elle peut aussi prendre en compte les sources d'élargissement non intrinsèques. En déduire la forme du coefficient d'Einstein dans ce cas.
- faire l'équivalent dans un cas polychromatique en considérant un cas "broad line". En déduire la forme du coefficient d'Einstein dans ce cas.

2 Emission spontanée [1]

- p93
- introduire le concept de désexcitation spontanée
- préciser que c'est une vision statistique des choses
- introduire le coefficient d'Einstein associé et le relier à un temps de vie
- le phénomène est additif s'il y a plusieurs voies possibles de désexcitation

3 Emission stimulée [1]

- p100
- bref historique de l'introduction de l'émission stimulée par Einstein
- le symétrisme de l'absorption
- on peut donc écrire la même genre d'équation et différencier le cas monochromatique et polychromatique "broad line"

4 Relations entre les probabilités de transitions radiatives [1] et [2]

- utiliser le Cagnac (p103) pour les hypothèses de l'équilibre thermique et Einstein aujourd'hui pour faire la comparaison (bien plus synthétique et directe)
- on compare la densité spectrale (trouvée à l'équilibre de populations) à celle d'un corps noir et on identifie les termes
- utiliser le Cagnac pour donner des ODG de toutes les grandeurs précédemment introduites (sans faire référence explicitement à l'expérience de jet atomique du Cagnac)

II Equation bilan de l'interaction lumière-matière

1 Bilan sur un système à deux niveaux : impossibilité de l'amplification [1]

- utiliser les pages 106 et 114
- donner la population n_2 en régime stationnaire dans le cas limite d'une densité spectrale infinie
- évaluer alors la variation de puissance du faisceau sur la traversée de la zone -> on montre facilement que l'amplification est impossible
- en revanche, le milieu devient transparent à haute puissance
- remarquer que sur la partie "faisceau", on ne considère pas l'émission spontanée. En effet, sa contribution est négligeable par isotropie

2 Conséquences de l'émission stimulée : saturation de l'absorption [3]

- on a vu qu'un milieu saturé devenait transparent
- expliquer le principe de ce que l'on fait et la construction expérimentale
- il y aura transparence si la pompe et la sonde excite les mêmes atomes
- par ailleurs, comme ils sont contrapropageant, cette condition est vérifiée pour les atomes de vitesse nulle, et alors l'absorption a lieu à leur fréquence propre de résonance
- lier la distribution des vitesses à la distribution des pulsations de résonance autour de la pulsation propre -> largeur bien supérieure à la largeur de raie naturelle) -> faire des schémas!
- on remonte ainsi à la largeur de raie naturelle (et non celle due à l'effet Doppler) -> c'est une technique de spectroscopie hyperrésolue

III Le laser

1 Inversion de population [1]

- on veut une inversion de population pour avoir amplification (cohérente qui plus est)
- présenter le principe d'un laser à 4 niveaux sous forme d'un schéma (sans chercher à résoudre)
- expliquer comment on a l'inversion de population par cette méthode
- même si on ne résout pas les équations, de toute évidence on a gagné!
- attention, si l'émission spontanée n'intervient pas explicitement dans l'équation, elle est présente et elle diminue l'inversion de population, et ce d'autant plus à grande fréquence. C'est pourquoi on a fait des masers avant de faire des lasers!
- donner quelques techniques de pompage (sans entrer dans les détails)

2 Comment faire un laser ? [3]

- la description du Aspect est un peu trop complète (mais claire) : ne conserver que les grandes lignes
- il faut être clair et précis : milieu à gain mais de gain faible, alors il faut reboucler pour faire de nombreux passages dans le milieu amplificateur
- cavité (avec faible perte pour sortir un faisceau quand même)
- cette cavité donne les modes longitudinaux possibles (séparés de l'ISL)
- faire une présentation sous forme de système bouclé avec gain et perte sur un tour
- un mode peut exister si pour ce mode, le gain est supérieur aux pertes
- manipulation : présenter en parallèle sur le laser en kit qu'on fera fonctionner en direct
- parler du cas des lasers monomodes, multimodes... on pourra aussi parler de saut entre modes

Conclusion : ouvrir par exemple sur les lasers impulsionnels (mais sans aller trop loin)