

LP37 : ASPECT CORPUSCULAIRE DU RAYONNEMENT : NOTION DE PHOTON (L3)

Prérequis

- relativité restreinte
- étude des OEM
- modèle de l'électron élastiquement lié

Idées directrices à faire passer

-

Commentaires du jury

-

Bibliographie

- [1] Physique atomique I, Cagnac, Dunod
- [2] Ondes électromagnétiques dans le vide et les milieux conducteurs, Garing, Ellipses
- [3] Sources de photons uniques et expériences à choix retardé de Wheeler, Jacques, EDP Sciences
- [4] Les lasers : cours et exercices corrigés, Dangoisse, Dunod
- [5] Introduction aux lasers et à l'optique quantique, Aspect, Ellipses

Introduction : intro historique en rappelant à quel point le débat a oscillé entre partisans des corpuscules de lumière et ceux d'une théorie ondulatoire. Maxwell a finalement mis tout le monde d'accord jusqu'à l'effet photoélectrique...

I La quantification de l'énergie

1 Effet photoélectrique

- manipulation : montrer qualitativement le phénomène : électroscope sous irradiation UV (avec ajout ensuite d'une plaque de verre qui filtre les UV pour montrer l'importance de la longueur d'onde)
- techniques plus avancées permettent de prouver que les charges arrachées sont des électrons
- constatation d'une énergie minimale
- faire le schéma du dispositif réel
- on cherche à interpréter le V_0 obtenu
- tracer les caractéristiques obtenues lorsqu'on fait varier la puissance du faisceau incident puis la longueur d'onde
- expliquer la nécessité d'introduire une quantification des échanges d'énergie pour interpréter l'évolution du potentiel d'arrêt avec la fréquence
- **attention, on prouve uniquement ici la quantification des échanges d'énergie, pas l'existence du photon.** Cependant, pour la suite, on supposera son existence comme entité bien définie

2 Application au photomultiplicateur

- problème de la mesure de faible luminosité (jusqu'au photon unique)
- donner le principe du PM -> amplification par possibilité d'arracher des électrons en accélérant successivement les électrons entre les dynodes
- donner des ODG de la sensibilité de ce type de capteur -> détecte un photon unique!!
- attention cependant, si on peut en effet détecter un photon, on ne les détecte pas tous (rendement quantique). Par ailleurs, le bruit thermique produit des artefacts semblables aux photons -> souvent on détecte donc des corrélations plutôt !

3 Relation de De Broglie

- proposé par De Broglie pour fournir un cadre ondulatoire à la matière
- cependant, cette relation peut être transférée de manière équivalente pour quantifier les OEM
- par contre attention, il faut travailler avec des notations relativistes, puisque le photon est toujours relativiste!

II Impulsion et spin du photon

1 Impulsion du photon : effet Compton

- on cherche à vérifier que le photon possède une impulsion
- schéma de la manipulation
- présentation des résultats (avec rapide point historique)
- présenter le calcul relativiste et le système d'équation à résoudre, mais ne pas le résoudre
- donner le résultat du calcul, qui permet d'interpréter parfaitement les résultats expérimentaux obtenus
- c'est donc une confirmation éclatante du fait que le photon possède une impulsion

2 Application : ralentissement d'atomes froids par laser

- suivre la présentation du Dangoisse très claire
- expliquer le processus
- en pratique on utilise de faisceaux contrapropageants de fréquence légèrement inférieure à la fréquence de résonance de l'atome à ralentir (comme ça on crée une sélection par effet Doppler)

3 Moment cinétique du photon

- suivre la démonstration du Garing "polarisation d'une onde et spin du photon"
- on retrouve ainsi facilement la quantification du moment intrinsèque ayant supposé la quantification de l'énergie
- introduire les règles de sélection (Cagnac + Aspect), puis interpréter en terme de conservation du moment cinétique total du système atome+photon
- règles : $\Delta\ell = \pm 1$ et $\Delta m = 0, \pm 1$

III Dualité onde-corpuscule

1 Expériences décisive de quantification de la lumière

- écrire la fonction de corrélation d'ordre 2 du problème
- expliquer qualitativement les choses (sinon c'est trop compliqué)
- classique : corrélation supérieure à 1 car s'il y a de la lumière, elle se partage équitablement sur les deux donc lumière sur 1 -> lumière sur 2
- quantique : indivisibilité du photon : lumière sur 1 -> rien sur 2
- on ne peut montrer cela que sur une expérience de photons uniques
- c'est ce qui a été fait, et cela confirme de manière certaine l'aspect quantifié du rayonnement

2 Sources de photons uniques

- expliquer le principe d'une source de photons uniques pouvant être synchronisée sur une horloge externe
- selon le temps disponible en fin de présentation, on pourra parler des détails de la manipulation (la création de photons uniques est le point critique de la manipulation) : caractéristique du laser pompe, focalisation sur le centre (technique confocale), détection des centres...

Conclusion : rappeler ce qu'on a vu : la lumière est quantifiée. Ces quantas possèdent une impulsion, une énergie et un moment cinétique bien défini.

Q/R

1. D'où vient le nom capacité thermique ?

2. Hypothèses et démonstration du théorème d'équipartition de l'énergie.

3. Comment passe-t-on de la relation de dispersion des phonons obtenue par diffraction à la densité de modes ?

4. Pour une molécule homodiatomique, que se passe-t-il ?

-
5. Pour des phonons, E est en T^4 et C_V en T^2 . A quoi cela fait-il penser ?
 6. GPM dans la limite BT (limite classique non valide), que se passe-t-il ?
 7. Les ddl de translation peuvent-ils être quantifiés ?
 8. pourquoi faut-il $3n - 6$ coordonnées pour repérer une molécule à n atomes ?
 9. Qu'est-ce qu'un phonon ? Lien et différence avec un photon.
 10. Qu'est-ce que l'approximation classique ?