

Questionnaire d'analyse – Expérience de Stern et Gerlach

Énoncé

1. Préciser l'objectif initial de l'expérience de Stern et Gerlach. Quelle propriété physique des atomes cherche-t-on à mettre en évidence ?
2. Décrire le dispositif expérimental de l'expérience de Stern et Gerlach. Quel est le rôle du champ magnétique non uniforme ?
3. Dans un cadre classique, quelle répartition des atomes sur l'écran de détection devrait-on observer ? Justifier qualitativement.
4. Décrire le résultat expérimental effectivement observé. En quoi est-il incompatible avec la description classique ?
5. Quelle grandeur physique est quantifiée dans cette expérience ? Préciser la nature de cette quantification.
6. Pourquoi l'interprétation correcte de l'expérience fait-elle intervenir le spin de l'électron ? Pourquoi le moment cinétique orbital ne permet-il pas d'expliquer le résultat pour l'atome d'argent ?
7. Montrer que l'expérience de Stern et Gerlach constitue un exemple fondamental de mesure quantique. Que peut-on dire de l'état du système après la mesure ?
8. Que se passerait-il si l'on réalisait une seconde expérience de Stern et Gerlach avec un champ magnétique orienté selon un axe différent du premier ? Que révèle cette situation sur les observables quantiques ?
9. Relier les résultats de l'expérience aux postulats de la mécanique quantique concernant les observables et leurs valeurs propres.
10. Expliquer en quoi l'expérience de Stern et Gerlach marque une rupture conceptuelle majeure entre la physique classique et la physique quantique. Citer au moins deux notions fondamentales illustrées par cette expérience.

Corrigé attendu

1. L'objectif initial de l'expérience est d'étudier l'interaction entre le moment magnétique d'un atome et un champ magnétique extérieur. Elle vise à mettre en évidence la structure interne des atomes et la quantification du moment cinétique.
2. Le dispositif est constitué d'un four produisant un jet d'atomes d'argent, d'un champ magnétique non uniforme et d'un écran de détection. Le champ magnétique non uniforme exerce une force sur les atomes proportionnelle au gradient du champ et à la projection de leur moment magnétique selon la direction du champ.
3. Classiquement, les orientations du moment magnétique sont supposées continues et aléatoires. On devrait donc observer un étalement continu du faisceau sur l'écran, correspondant à une distribution continue des déviations.
4. Expérimentalement, on observe une séparation du faisceau en deux taches distinctes. Ce résultat est incompatible avec la physique classique car il révèle des orientations discrètes du moment magnétique.
5. La grandeur quantifiée est la projection du moment cinétique (et donc du moment magnétique) selon l'axe du champ magnétique. Cette projection ne peut prendre qu'un nombre fini de valeurs discrètes.
6. Pour l'atome d'argent, le moment cinétique orbital total est nul ($L = 0$). L'effet observé ne peut donc pas provenir du moment orbital. Il est expliqué par l'existence du spin de l'électron, moment cinétique intrinsèque quantifié, associé à un moment magnétique.
7. L'expérience constitue une mesure quantique car elle force le système à prendre une valeur propre bien définie de la projection du spin selon l'axe de mesure. Après la mesure, l'atome est projeté dans un état propre correspondant à cette valeur mesurée.
8. Si l'on effectue une seconde expérience avec un champ orienté selon un autre axe, les résultats ne sont pas prédictibles avec certitude à partir de la première mesure. Cela montre que les projections du spin selon des axes différents correspondent à des observables non commutantes.
9. L'expérience illustre le postulat selon lequel les observables physiques sont représentées par des opérateurs dont les valeurs mesurées sont les valeurs propres. La mesure ne peut fournir que ces valeurs propres, de manière probabiliste.
10. L'expérience marque une rupture majeure avec la physique classique en introduisant la quantification, le caractère probabiliste de la mesure et la notion d'état quantique. Elle met en évidence la non-classicité des observables et le rôle central de la mesure.