

COLLEGE DE FRANCE

COURS DE PHYSIQUE

ATOMIQUE ET MOLECULAIRE

Claude COHEN-TANNOUDJI

ANNEE SCOLAIRE : 1992 - 1993

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Résumé du cours 1991-1992	I-1
Introduction au cours 1992-1993	I-5
1 - Thème choisi	I-5
2 - Développements récents ayant permis l'éclosion d'un tel sujet	I-5
3 - Comparaison avec d'autres types d'optique ou d'interférométrie	I-7
4 - Quelques remarques générales à propos des phénomènes d'interférence	I-8

LAME SÉPARATRICE POUR ATOME ASSOCIÉE A UNE ONDE LASER PLANE PROGRESSIVE

1 - Modèle choisi - Notations	II-1
2 - Effet sur l'atome de la traversée de l'onde laser	II-2
3 - Effet sur l'atome de la traversée successive de 2 lames	II-6
4 - Franges de Ramsey à 2 ondes	II-7

ÉCHOS DE PHOTONS, FRANGES DE RAMSEY ET INTERFÉROMÉTRIE ATOMIQUE

1 - Echos de photons à 2 ondes progressives	III-1
a) Etude qualitative	III-1
b) Comment apparaît le phénomène d'écho	III-3
2 - Franges de Ramsey à 4 ondes progressives	III-5
a) Problème physique étudié	III-5
b) Effets d'interférence pouvant donner des franges de Ramsey	III-6
c) Calcul de la probabilité de changer d'état interne après traversée des 4 ondes	III-6
d) Discussion physique	III-7
3 - Lien avec l'interférométrie atomique	III-8
a) Autre représentation possible de l'état atomique externe	III-8
b) Autre interprétation possible du brouillage des signaux par moyenne sur v	III-8
c) Comment éliminer le brouillage des effets d'interférence	III-10

FONCTION D'ONDE, PROPAGATEURS ET INTÉGRALES DE CHEMIN

1 - Rappels classiques	IV-1
a) Chemins possibles et chemins effectivement suivi, ou réel	IV-1
b) Principe de moindre action	IV-1

c) Variations de l'action entre 2 mouvements réels très voisins	IV-2
2 - Propagateur quantique - Formulation de Feynman	IV-3
a) Définition	IV-3
b) Expression de Feynman pour le propagateur	IV-3
c) Limite classique	IV-4
d) Sommation sur les états intermédiaires	IV-4
e) Fonction d'onde et propagateur	IV-5
f) Lien avec la formulation traditionnelle	IV-6
3 - Cas simple des Lagrangiens quadratiques	IV-6
a) Hypothèses	IV-6
b) Forme simple du propagateur - Dépendance en z_a et z_b	IV-6
c) Propagation de la fonction d'onde	IV-8
d) Propagation en présence d'ondes laser progressives	IV-10

PROPAGATION D'UNE PARTICULE DANS UN CHAMP DE PESAN- TEUR

1 - Calcul du propagateur - Approche de Feynman	V-1
a) Lagrangien - Impulsion - Hamiltonien	V-1
b) Action	V-1
c) Expression du propagateur	V-2
2 - Approche quantique traditionnelle	V-2
a) Idée générale	V-2
b) Détermination de la transformation unitaire $T(t)$	V-3
c) Nouvel hamiltonien	V-3
d) Expression de l'opérateur d'évolution de l'ancienne représentation	V-4
e) Propagation de la fonction d'onde	V-4
3 - Cas où le champ de pesanteur est une petite perturbation	V-5
a) Buts de ce paragraphe	V-5
b) Lien entre les fonctions d'ondes	V-6
c) Application au calcul du déphasage	V-7
4 - Expérience de Colella, Overhauser, Werner	V-7
a) Principe de l'expérience	V-7
b) Schématisation - Calcul du déphasage gravitationnel	V-8
c) Discussion - Ordres de grandeur	V-9
d) Exemple de résultats expérimentaux	V-10

EXPÉRIENCE DE KASEVICH ET CHU

1 - Transitions Raman stimulées	VI-1
a) Diagramme d'énergie et ondes laser	VI-1
b) Famille d'états d'impulsion-énergie couplés	VI-2
c) Equation de Schödinger	VI-2
d) Elimination adiabatique de l'état excité	VI-3
e) Discussion physique	VI-4
2 - Principe de l'expérience d'interférométrie	VI-5
a) Séquence d'impulsions	VI-5
b) Analogie avec une expérience d'échos de photons	VI-6
c) Représentation des chemins classiques dans l'espace-temps	VI-6
3 - Calcul du déphasage gravitationnel	VI-7
a) Déphasage dû à la propagation dans le champ gravitationnel	VI-7
b) Déphasage dû aux interactions avec les ondes laser	VI-8
4 - Discussion physique	VI-9
5 - Exemples de résultats expérimentaux	VI-10

PROPAGATION D'UNE PARTICULE DANS UN RÉFÉRENTIEL TOURNANT

1 - Lagrangien, Hamiltonien et Action	VII-1
a) Référentiel galiléen et référentiel tournant	VII-1
b) Lagrangien - Equations de Lagrange	VII-1
c) Impulsion	VII-2
d) Hamiltonien	VII-2
e) Solution des équations du mouvement	VII-2
f) Action	VII-3
2 - Propagateur - Déphasage dû à la rotation	VII-4
a) Expression du propagateur	VII-4
b) Propagation de la fonction d'onde	VII-4
c) Calcul traditionnel	VII-4
d) Déphasage dû à la rotation	VII-4
e) Déphasage dans un interféromètre	VII-6
3 - Expérience de Werner, Staudenmann et Colella	VII-6
a) Principe de l'expérience	VII-6
b) Ordres de grandeur	VII-7
c) Résultats	VII-7

4 - Interféromètres optiques sensibles à la rotation	VII-8
a) Effet Sagnac	VII-8
b) Comparaison avec les neutrons	VII-10

INTERFÉROMÈTRES ATOMIQUES SENSIBLES À LA ROTATION

1 - Principe des expériences	VIII-1
2 - Calcul du déphasage entre les 2 bras des interféromètres	VIII-2
a) Méthode utilisant les trajectoires non perturbées	VIII-2
b) Méthode utilisant les trajectoires perturbées	VIII-4
3 - Etude expérimentale en l'absence de rotation ($\Omega = 0$)	VIII-5
a) Observation du doublet de recul	VIII-5
b) Suppression d'une composante du doublet de recul	VIII-6
c) Sensibilité à la phase des ondes laser	VIII-6
d) Déphasage produit par un déplacement lumineux	VIII-7
4 - Etude expérimentale de la sensibilité à la rotation	VIII-8
a) Résultats expérimentaux	VIII-8
b) Discussion physique	VIII-9

PROPAGATION D'UNE PARTICULE À TRAVERS UNE OU PLUSIEURS FENTES

1 - Problème de base à résoudre	IX-1
a) Hypothèses - Notations	IX-1
b) Formulation mathématique	IX-2
c) Approximation de Kirchhoff	IX-2
2 - Approximation paraxiale	IX-2
a) Définition	IX-2
b) Transformation de l'équation aux valeurs propres pour $g = 0$	IX-3
c) Transformation de l'équation aux valeurs propres pour $g \neq 0$	IX-3
3 - Diffraction par une fente	IX-5
a) Nouvelle formulation du problème	IX-5
b) Transformation de l'intégrale dans le plan de la fente	IX-7
c) Diffraction proche et lointaine - Nombre de Fresnel	IX-7
d) Discussion physique - Les 2 causes de variation transversale de la fonction d'onde IX-8	
e) Cohérence spatiale transverse	IX-9
4 - Passage à travers 2 fentes - Interférences	IX-10

a) Problème physique	IX-10
b) Calcul du déphasage et de l'interfrange	IX-10

INTERFÉROMÈTRES ATOMIQUES UTILISANT DES DOUBLES FENTES

1 - Expérience de O. Carnal et J. Mlynek à Constance	X-1
a) Principe de l'expérience	X-1
b) Résultats	X-2
c) Discussion	X-3
d) Amélioration de la monochromaticité du jet	X-3
2 - Expérience de F. Shimizu, K. Shimizu et H. Takuma à Tokyo	X-5
a) Principe de l'expérience	X-5
b) Résultats	X-7
c) Effet d'un champ électrique statique	X-8