

Physique statistique et évolution des systèmes quantiques

Phytem - UPMC et ENS Cachan
Alice Sinatra *alice.sinatra@lkb.ens.fr*

18 mars 2009

Table des matières

1	L'opérateur densité $\hat{\sigma}$	3
A	Opérateur densité : définition, propriétés et évolution temporelle	3
B	Entropie statistique et opérateur densité à l'équilibre	6
B.1	Ensemble Microcanonique	7
B.2	Ensemble Canonique	7
B.3	Ensemble Grand canonique	8
C	Lien avec la physique classique : distribution de Wigner	8
C.1	Transformation de Wigner	9
C.2	Equation du mouvement : évolution de $W(x,p,t)$ en temps réel	11
C.3	Evolution de $W(x,p,t)$ en temps imaginaire	12
2	Statistiques quantiques	13
A	Utilité de l'ensemble grand canonique. Grande fonction de partition bosonique et fermionique	13
B	Nombres d'occupation moyens pour bosons et fermions	14
B.1	Fluctuations des nombres d'occupation	15
B.2	Limite $T = 0$	16
C	Limite classique des statistiques quantiques	17
C.1	Condition de validité	17
C.2	Fonction de partition à la limite classique	18
C.3	Statistique de Boltzmann	19
3	Gaz quantiques de particules	23
A	Gaz de Fermi et de Bose dans la limite de faible dégénérescence	23
B	Fermions fortement dégénérés : développement à basse température des grandeurs thermodynamiques	23
C	Bosons fortement dégénérés : condensation de Bose-Einstein	23
D	Expériences sur les gaz ultrafroids et développements du domaine (video projection) . . .	23
4	Équivalence (ou non) des ensembles grand-canonique et canonique	36
A	Nombres d'occupations et fluctuations dans différents cas limites	36
B	Fluctuations de N en présence d'un condensant de Bose-Einstein	38
B.1	Calcul exact de $P(n_0)$ pour un oscillateur harmonique à 1 dimension	39
5	Gaz de photons et gaz de phonons	41
A	Photons à l'équilibre thermique	41
A.1	Modes du champ et relation de dispersion	41
A.2	Physique classique vs. physique quantique	42
A.3	Grandeurs thermodynamiques	45
A.4	Radiation émise par un corps noir	45
B	Chaleur spécifique des solides cristallins	46

B.1	Théorie d'Einstein	46
B.2	Théorie de Debye	47
6	Perturbations dépendantes du temps	50
A	Transitions entre deux états discrets	50
A.1	Résolution perturbative	50
A.2	Perturbation sinusoïdale ou constante	51
A.3	Comparaison avec un calcul exact (oscillations de Rabi)	52
B	Spin $\frac{1}{2}$ dans un champ magnétique tournant	53
C	Atome à 2 niveaux dans un champ lumineux	54
C.1	Absorbtion et émission induite	54
D	Niveau discret couplé à un continuum d'états	55
D.1	Règle d'or de Fermi et condition de validité	55
D.2	Enoncé de la règle d'or de Fermi ne faisant pas intervenir la densité d'états	57
E	Transitions de dipôle électrique et règles de sélection	58
E.1	Atome à 1 e^- , sans spin	59
E.2	En présence de couplage spin-orbite	60
E.3	Clivage Zeeman du doublet jaune du sodium	62
7	Théorie de la diffusion	63
A	Amplitude et section efficace de diffusion	63
B	Approximation de Born	66
C	Collision entre 2 particules identiques (indiscernables)	66
D	Collisions à basse énergie et longueur de diffusion en onde s	67
8	Theorie de champ moyen pour un gaz de bosons dégénéré	68
A	Potentiel réel et potentiel modèle	68
A.1	Potentiel réel pour des alcalins	69
A.2	Pseudo potentiel régularisé	69
A.3	Développement de Born pour le pseudo potentiel	70
B	Approximation de Hatree-Fock en absence de condensat	71
C	Approximation de Hertree-Fock en présence de condensat	71
D	Equation de Gross-Pitaevskii dépendant du temps	71