

1. Introduction générale

2. Modèle de Lieb-Liniger et approche Bethe Ansatz

a) Rappel

- i) Dynamique particule libre dans espace à une dimension , périodique
- ii) Première à seconde quantification

A) Outil pour le Bethe Antsatz

b) Description du modèle de Lieb-Liniger

- i) Introduction au modèle de gaz de Bose unidimensionnel et Hamiltonien du modèle

A) Champs de Bose

B) Expression de l’Hamiltonien

C) Commutation canonique

D) Équation du mouvement associée

- ii) Fonction d’onde et Hamiltonien et moment à N corps

A) Cas d’une particule libre dans une boîte périodique : base des états propres à une particule

- Contexte physique du système.
- Détermination des états propres.
- État à une particule dans la base de Fock.
- Orthonormalité de la base.
- Fonction d’onde à une particule.
- Hamiltonien dans le cas à une particule.
- Hamiltonien dans le cas à une particule et Action de l’Hamiltonien.
- Équation de Schrödinger différentielle.
- Résolution avec conditions périodiques.
- Énergies quantifiées.
- Notation adoptée et interprétation.

B) Deux particules

- Introduction au système à deux bosons avec interaction de contact.
- Forme générale de l’état à deux particules dans la base de Fock
- Définition et orthonormalisation de la base positionnelle bosonique.
- Symétrie et normalisation de la fonction d’onde à deux particules.
- Réécriture de l’Hamiltonien du champ.
- Action de l’Hamiltonien sur l’état à deux particules et Forme explicite de l’Hamiltonien effectif à deux corps
- Changement de variables : coordonnées du centre de masse et relatives.
- Résolution du problème de centre de masse et de coordonnée relative.
- Forme symétrique de la fonction d’onde pour bosons.
- Condition de discontinuité à cause du potentiel delta.
- Détermination de la phase Φ .
- Phase de diffusion à un corps.
- Lien entre phase de diffusion et décalage temporel : interprétation semi-classique.
- Retour aux coordonnées du laboratoire.

C) Cas général à N particules : l’Ansatz de Bethe

- iii) Opérateurs conservés (intégrales du mouvement)

A) Opérateurs nombre de particules Q et moment P

B) Propriétés

C) L’état propre

c) Équation de Bethe et distribution de rapidité

- i) Condition aux bords périodiques et équation de Bethe Ansatz
- ii) Thermodynamique du gaz de Lieb-Liniger à température nulle
- iii) Excitations élémentaires à température nulle

3. Théorie thermodynamique et équilibre généralisé

a) Dynamique hors équilibre et notions d’équilibre

- i) Limit Thermodynamique

A) Limite

B) The dressing

- ii) Notion d’état d’équilibre généralisé (GGE)

A) Configuration des états à N particules.

B) Observables diagonales dans la base des états propres.

C) Définition générale d’observables conservées.

D) Principe de maximisation de l’entropie.

E) Définition de la matrice densité et de la fonction de partition

F) Interprétation physique des multiplicateurs de Lagrange.

G) Probabilité d’un état à rapidités fixées.

H) Moyenne d’un observable et dérivées de Z.

I) Moments d’ordre supérieur et fluctuations.

J) Cas particulier de l’équilibre thermique.

- iii) Rôle des charges conservées extensives et quasi-locales

A) Écriture des observables thermodynamiques comme sommes sur les rapidités.

B) Interprétation fonctionnelle et échange des sommes.

C) Expression de la matrice densité généralisée.

D) Probabilité associée à une configuration de rapidités

E) Moyennes d’observables dans le GGE.

F) Interpretation.

G) Rôle dans le formalisme GGE.

H) D’un point de vue mathématique.

b) Thermodynamique de Bethe et relaxation

- i) Statistique des macro-états : entropie de Yang-Yang et moyennes dans le GGE

A) Macro-états et entropie dans la TBA.

B) Distribution de rapidité comme macro-état.

C) Dénombrement local des configurations microcanoniques.

D) Estimation asymptotique à l’aide de Stirling.

E) Entropie de Yang-Yang : définition .

F) Énergie généralisée.

G) Observables locales dans la limite thermodynamique.

H) Passage à la limite continue.

I) Formule fonctionnelle pour les moyennes.

- ii) Équations intégrales de la TBA

A) Moyenne des observables dans l’ensemble généralisé de Gibbs.

- Approximation au point selle.
- Développement fonctionnel au premier ordre.
- Équation intégrale de la TBA.

4. Hydrodynamique généralisée

a) Hydrodynamique et régimes asymptotiques

- i) Hydrodynamique classique des systèmes chaotiques
- ii) Hydrodynamique des systèmes intégrables et distribution de rapidité
- iii) Équation d’hydrodynamique généralisée (GHD)

5. Fluctuations autour des états d’équilibre

a) Introduction

b) Développement autour du point selle

c) Définition de la fonction de corrélation

d) Fluctuations autour de la distribution moyenne et rôle de la Hessienne

e) Fluctuations autour de la distribution moyenne

f) Fonction correlation du nombre d’atomes et de l’énergie

6. Expériences sur les gaz 1D hors-équilibre

a) Présentation de l’expérience

- i) Piégeage transverses et longitudinale

b) Outil de sélection spatial

7. Protocoles expérimentaux avancés

a) Dispositif expérimental

- i) Préparation et Confinement du Gaz Ultra-Froid de 87Rb

- ii) Confinement Longitudinal et Stabilisation du Piège Quartique

- iii) Sélection Spatiale et Réalisation de la Coupure Bipartite

- iv) Dynamique Après Coupure

b) Prédictions de la GHD

c) Données expérimentales

d) Sonder la distribution locale des rapidités

e) Détails sur les calculs

- i) Facteur d’occupation et distribution de rapidité à l’équilibre thermique

- ii) Dynamique du contour dans l’espace des phases (x,θ)

- iii) Simulation de la déformation du bord

- iv) Simulation de l’expansion

8. Mise en place d'un confinement longitudinale dipolaire

a) Calculs analytiques pour le confinement dipolaire

- i) Transformation de jauge et simplification du Hamiltonien

A) Cadre sans potentiel vecteur.

B) Hamiltonien simplifié.

C) Conclusion - Simplification par transformation de jauge.

- ii) Effet Stark dynamique et interaction dipolaire atomique

A) Polarisabilité scalaire, vectorielle et tensorielle dans les états fins

- Interprétation physique
- Cas des atomes alcalins (ex. Rubidium)

- iii) Cas du Rubidium 87 dans une polarisation rectiligne

A) Champ électrique appliqué

B) Cas de désaccords très importants.

- Décalage d’énergie au second ordre.
- Structure orbitale et opérateur dipolaire.
- Application du théorème de Wigner-Eckart.
- Application au cas 5S \rightarrow 5P et q= 0.

C) Piégeage dipolaire d’un atome à deux niveaux - généralités.

- Introduction.
- Système à deux niveaux et interaction avec le champ.
- Expression du potentiel.
- Conditions de validité.
- Interprétation physique.
- Confinement optique.
- Taux de diffusion spontanée.
- Bilan - compromis intensité / désaccord

D) Structure fine et base des états $|L,S;J,m_J\rangle$.

- Décalage d’énergie au second ordre.
- Projection dans la base découplée.
- Application au cas 5S1/2 \rightarrow 5P1/2,3/2 avec q = 0.
- Potentiel dipolaire

- iv) Quelle longueur d’onde du laser?

- v) Quelle Puissance du laser?

b) laser , MOPA, etc .. Données

9. Conclusion et perspectives