

Statistische Physik und Thermodynamik, SS 2026

Prof. Dr. Michael Bonitz

Übungszettel 11, Abgabe 6. Juli 10:15

1. Wiederholung: *Quantengase*¹

- (a) Leiten Sie das großkanonische Potential und die mittlere Teilchenzahl im Einteilchenzustand p für Bosonen ab.
- (b) Erläutern Sie die Bedingung für Bose-Einstein-Kondensation, den Kondensat-Anteil und die kritische Temperatur.
- (c) Diskutieren Sie die thermodynamischen Eigenschaften des idealen Bosegase, insbesondere innere Energie und spezifische Wärme.
- (d) Was ist Suprafluidität, wo tritt sie auf und wie lässt sie sich experimentell beobachten?

2. Aufgaben: *Bosegas* (33 Punkte - ohne 50%-Schwelle)

- (a) Untersuchen Sie die mittleren Besetzungszahlen für ein relativistisches ideales Bosegas. Stellen Sie das Ergebnis graphisch dar. (4 Punkte)
- (b) Berechnen Sie die mittlere Fluktuation der Besetzungszahlen $\langle(\Delta n_p)^2\rangle_G$ und die relative Fluktuation (bezogen auf n_p^2) für ein Bosegas und vergleichen Sie mit dem Fall von Fermionen und Boltzmannionen (spinlose Teilchen). *Hinweis*: man berechne die Erwartungswerte aus ζ_p , analog zu $\langle n_p \rangle_G$. (6 Punkte)
- (c) Berechnen Sie die Entropie des idealen Bose- bzw. Fermigases aus dem Großkanonischen Potential. Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem für das ideale Boltzmannngas. *Hinweis*: beide Fälle lassen sich vereinigen durch Einführung von $\zeta_p^{(a)} = a \ln [1 + ae^{\beta(\mu - \epsilon_p)}]$, mit $a = \pm 1$. (8 Punkte)
- (d) Dimensionsabhängigkeit der Bose-Einsteinkondensation (BEC) in einem idealen Bosegas, kritische Temperatur, T_c .
 - i. Untersuchen Sie die Möglichkeit von BEC in 2 Dimensionen bzw. in 1D.
 - ii. Untersuchen Sie die Möglichkeit von BEC von masselosen Bosonen in 3D, 2D, bzw. in 1D und berechnen Sie T_c . *Hinweis*: man verwende die Dispersion eines ultrarelativistischen Gases.(15 Punkte)

¹Theoriefragen sind mündlich zu beantworten und an der Tafel zu demonstrieren. Für die Klausurzulassung sind drei (benotete) erfolgreiche Auftritte erforderlich.