

# Übungen zur Laserkühlung und Bose-Einstein-Kondensation

---

## Übung 6: Originalliteratur zur Bose-Einstein Kondensation

Die Artikel

*1. Observation of Bose-Einstein Condensation in a Dilute Atomic Vapor*

M. H. Anderson, J. R. Ensher, M. R. Matthews, C. E. Wieman, E. A. Cornell  
Science **269**, 198 (1995)

*2. Evidence of Bose-Einstein condensation in an atomic gas with attractive interactions*

C. C. Bradley, C. A. Sackett, J. J. Tollett, and R. G. Hulet  
Phys. Rev. Lett. **75**, 1687 (1995)

*3. Bose-Einstein Condensation in a gas of sodium atoms*

K. B. Davis, M.-O. Mewes, M. R. Andrews, N. J. van Druten, D. S. Durfee, D. M. Kurn,  
and W. Ketterle  
Phys. Rev. Lett. **75**, 3963 (1995)

beschreiben die Erzeugung und Beobachtung der ersten drei Bose-Einstein Kondensate weltweit. Das zweite Bose-Einstein Kondensat wurde von R. Hulet und Mitarbeitern mit Atomen erzeugt, deren Streulänge negativ ist. Die negative Streulänge bewirkt eine effektive Anziehung der Atome. Die Dichte wird deshalb mit steigender Teilchenzahl so groß, dass oberhalb einer kritischen Teilchenzahl Dreikörperstoßprozesse (Molekülbildung) zu starken Verlusten führen, sodass Bose-Kondensate mit attraktiver Wechselwirkung nur unterhalb dieser kritischen Teilchenzahl stabil sind. Die Beweislage, dass Hulet und Mitarbeiter tatsächlich ein Bose-Kondensat beobachtet hatten war nicht so zwingend wie in den anderen beiden Arbeiten, zumal die Experimentatoren ein die theoretischen Erwartungen deutlich übersteigende Zahl von Teilchen im Kondensat angaben, was zu kontroversen Debatten führte. Einem 1997 veröffentlichten Erratum (Phys. Rev. Lett. 79, 1170 (1997)) zufolge wurde die Analyse des Experiments von den Autoren wiederholt und die theoretisch erwartete Kondensatsfraktion bestätigt. Dass es sich bereits in der ersten Veröffentlichung tatsächlich um ein Kondensat handelte steht wohl außer Frage. Das Kondensat aus Texas wurde dennoch bei der Vergabe des Nobelpreises 2001 nicht berücksichtigt. Eine nicht ganz unwichtige Rolle spielte dabei möglicherweise das Reglement, dass maximal 3 Personen ausgezeichnet werden können.

Lesen Sie alle drei Artikel. Stellen Sie sich dabei unter anderen folgende Fragen:

### Fragen zu 1

Welcher Fallentyp wurde verwendet? Warum kein Quadrupolfeld wie bei einer magneto-optischen Falle?

Welches Atom in welchem Zustand wurde verwendet?

Wie lange wurden zunächst Atome in einer magneto-optischen Falle gesammelt?

Die Autoren verwenden eine sogenannte „Dark MOT“. Dabei wird der Rückpumlaser selektiv in einem kleinen Bereich um das Zentrum des ausgeleuchteten Bereichs herum geblockt. Was könnte das nützen?

Damit möglichst viele Atome gefangen werden können werden die Atome vor dem Umladen in die Magnetfalle in einen bestimmten Zeeman-Zustand gepumpt. Welcher ist das und was gewinnt man genau?

Wie lange dauert die Verdampfungskühlung?

Wie wurden die Atome nachgewiesen?

Welche Indizien zeigen, dass ein Kondensat gebildet wurde?

### Fragen zu 2

Mit welchem Atom wurde gearbeitet?

Welche Art von Atomfalle verwendeten die Experimentatoren?

Welche Lebensdauer geben die Autoren für die gefangenen Atome an?

Wie wurde die Frequenz des Absorptionsstrahls zum Nachweis der Atome gewählt?

An welchem Effekt glaubten die Autoren das Kondensat erkennen zu können?

Welche Einschränkungen gegenüber den anderen beiden Experimenten resultierten aus der Besonderheit der Falle in Bezug auf den Nachweis der Atome?

Welche Anzahl von Kondensatsatomen gaben die Autoren an?

### Fragen zu 3

Mit welchem Atom wurde gearbeitet?

Die Experimentatoren verwenden ein Quadrupol-Magnetfeld, um die Atome einzuschließen. Mit welchem Trick werden Majorana Spin-Umklapp-Prozesse verhindert?

Wie lange dauerte die Verdampfungskühlungsphase?

Wie werden die Atome nachgewiesen und welche Anzeichen sprechen für die Erzeugung eines Kondensats?

Was bedeuten die Werte der in Abbildung 3 angegebenen Radiofrequenzen und wovon hängen sie ab?