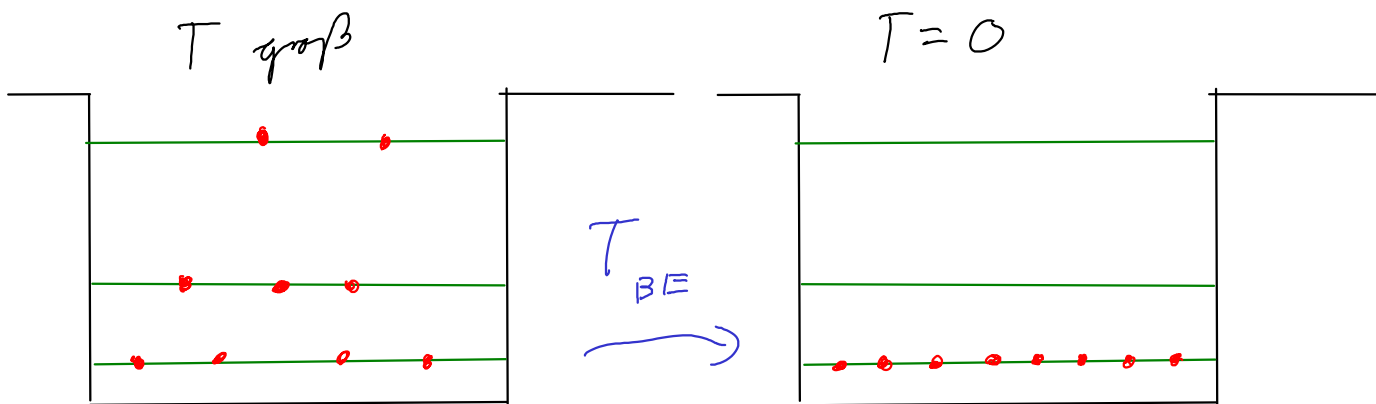


Wir haben bisher Temperatur $T=0$ diskutiert

Als Funktion der Temperatur $T > 0$ tritt ein Phasenübergang von einem klassischen Gas zu einem Quantengas auf.



Übergangstemperatur?

Vereinfachte Herleitung:

Idee Wenn die thermische de-Broglie-Wellenlänge vergleichbar wird zum mittleren Teilchenabstand, dann erwarten wir etwas Besonderes.

PHYSIK III

mittlere Energie pro Teilchen in 3 D
(klass. Ideales Gas)

$$E_{\text{kin}} = \frac{3}{2} k_B T$$

$$= \frac{p^2}{2m} \Rightarrow p = \sqrt{3 m k_B T}$$

de Broglie-Wellenlänge:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{3 m k_B T}}$$

mittlerer Teilchenabstand Δx in 3D

$$\Delta x = \left(\frac{N}{V}\right)^{-\frac{1}{3}} \quad (N \text{ Teilchenzahl} / V \text{ Volumen})$$

$\hat{=} \text{Vollmenschichte}$

$\lambda \approx \Delta x$ Phasenübergang

$$T = T_{BE} = \frac{h^2}{3m k_B} \left(\frac{N}{V}\right)^{\frac{2}{3}} \hat{=} \text{kritische Temp.}$$

Abschätzung

Temp Bose-Einstein

$T(\rho)$ von Dichte abhängig

Eine korrekte Herleitung aus Quantenstatistik

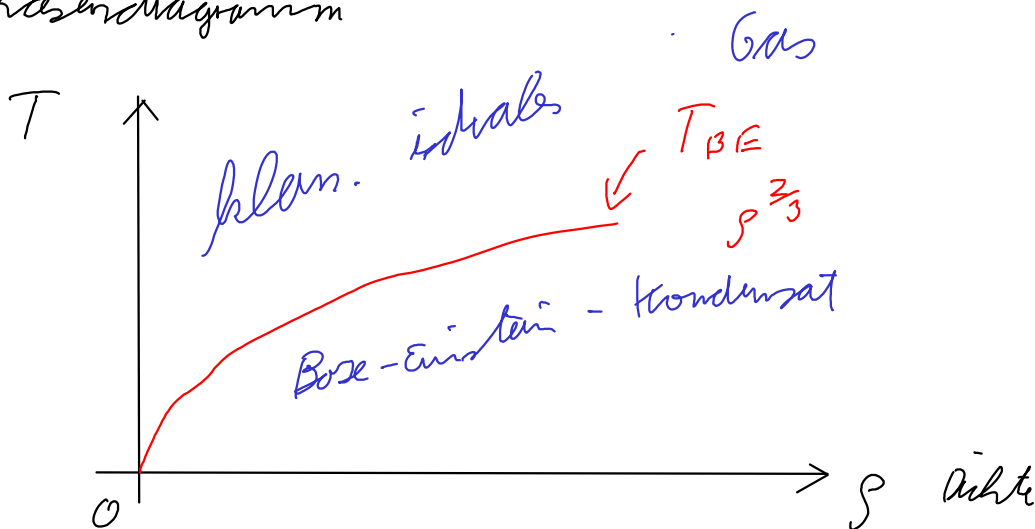
$$\underline{3} \rightarrow 2\pi(2S+1) \zeta\left(\frac{3}{2}\right)$$

\uparrow | Riemann. Zeta-Fkt

z.B. $S=0$ oder 1 $\zeta\left(\frac{3}{2}\right) = 2,6124$

der Rest bleibt gleich

Phasendiagramm



BE-Kondensat ist prinzipiell verschieden vom Übergang
gasförmig \rightarrow flüssig in Kapitel III

Dort war die Wechselwirkung der Atome entscheidend
(\Rightarrow reals Gas)

BE-Kondensat tritt konzentriert ohne Wechselwirkung
auf und ist Folge der totalen Symmetrisierung
der Wellenfkt. der Bosonen.

Beispiel

BE - Kondensation wurde 1995 erstmalig
beobachtet an

Rb. - Atom:

^{87}Rb mit Masse $1,44 \cdot 10^{-25}$ kg
(radioaktives Isotop von ^{85}Rb)

Dichte: $\frac{N}{V} \sim 2,5 \cdot 10^{12} \frac{1}{\text{cm}^3}$ (Teilchenabstand:
 $\sim 1 \mu\text{m}$)

$N \sim 10^6$ Teilchen

Messung ergab Temp. von ca. 170 mK
($1,7 \cdot 10^{-7}$ K)

Für die Parameter liefert unsere Formel

$$T_{BE} = 136 \text{ mK}$$

Bsp 2 (Exzitonen im FK)

hier $m = m_c = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg

T_{BE} steigt um $\sim 10^5$

Erhöhung der Dichte

$$\frac{N}{V} = 10^{18} \frac{1}{\text{m}^3} = 10^{24} \frac{1}{\text{m}^3} \text{ realistisch}$$

$\Rightarrow T_{BE}$ steigt um 10^4

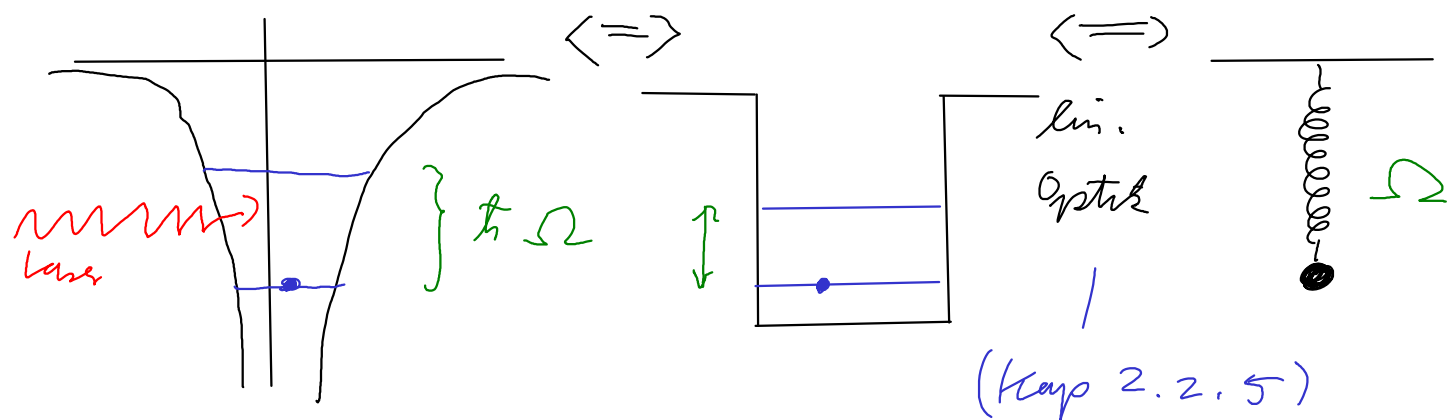
\Rightarrow Insgesamt steigt die Übergangstemp. in den Kelvin-Bereich.

Technische Schwierigkeiten:

3.2.1 "Magneto-optische Falle"

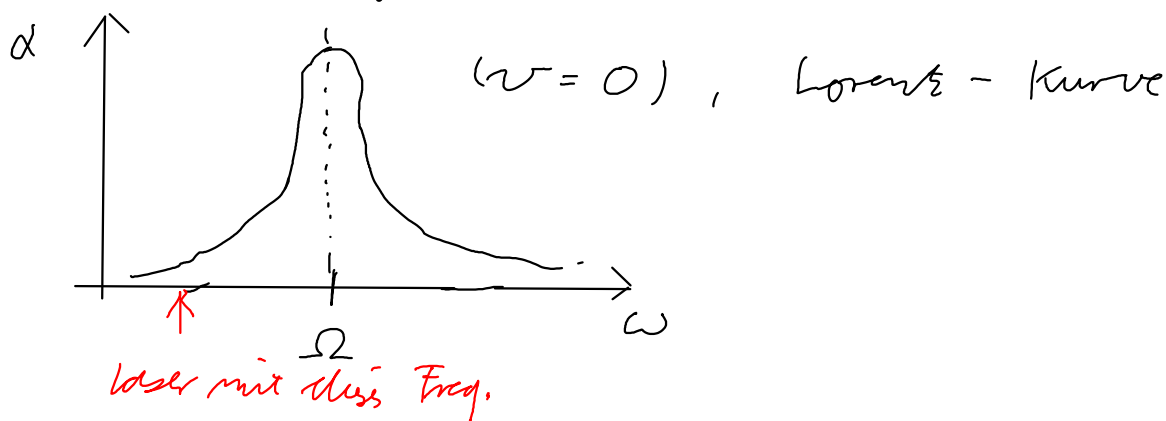
MOT magneto optical trap

- essentiell für BE-Kondensation
- nette Anwendungen bereits distributierter Aspalste

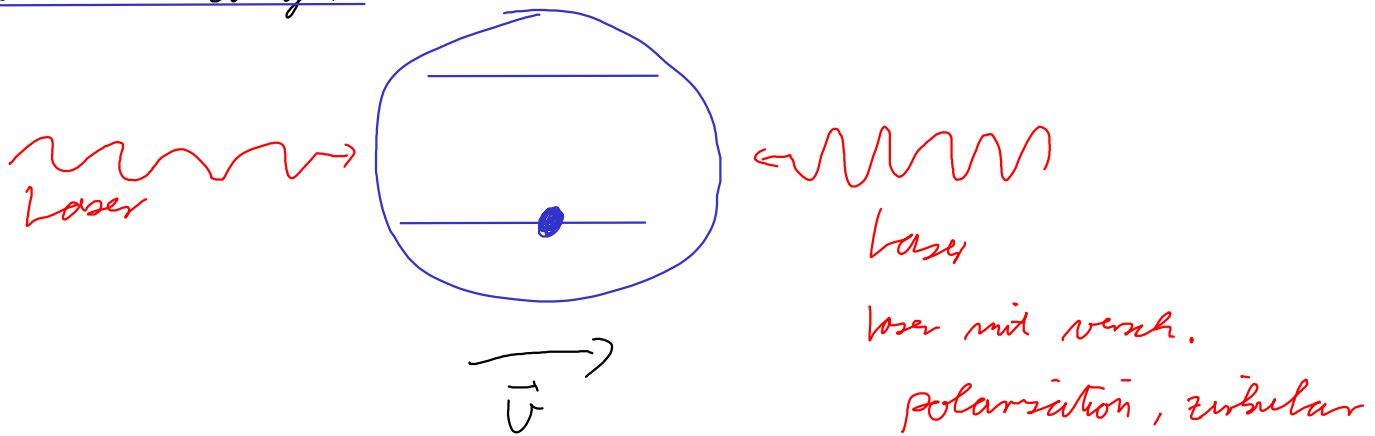


Dipolmatrixelement $d \neq 0 \Leftrightarrow$ Bahndrehimpuls $\Delta l = \pm 1$
 $\hat{=} \text{Zirkular pol. Licht}$

\Rightarrow Absorptionskoeff. α



Laserkühlung =



$v \neq 0 \Rightarrow$ Doppler-Effekt. Wir "setzen" uns auf Atom

z.B. Geschwindigkeit zeigt bei einem Atom nach rechts \Rightarrow Blauverschiebung des rechten Lasers

\Rightarrow Absorptionswahrscheinlichkeit von rechts ist größer als die von links

\Rightarrow Impulsübertrag nach links

\Rightarrow Abbremsung

(das emittierte Photon wird in zufällige Richtung ausgestrahlt \Rightarrow im Mittel kein Impulsübertrag)

Spontane Emission ist isotrop \Rightarrow im Mittel kein Impulsübertrag

\Rightarrow Insgesamt: Abbremsung \Leftrightarrow Abkühlung