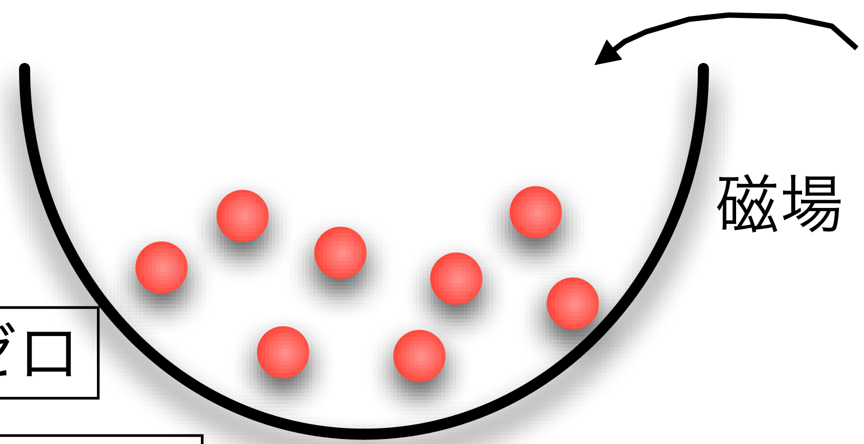
化学平衡による分子生成を伴う混合原子気体の有限温度における凝縮相と相図

立命館大学理工学研究科　総合理工学専攻　博士後期課程　物理型
松田裕一

極低温原子ガス

系の特徴



真空に浮いている

磁場・レーザーで冷却してトラップされた原子ガス

不純物ゼロ

入れる原子の種類が多様

色々な冷却法
- 放射圧冷却
- ドップラー冷却
- MOT
- 蒸発冷却

外部から原子間相互作用を制御
フェッシュバッハ共鳴

系の中身

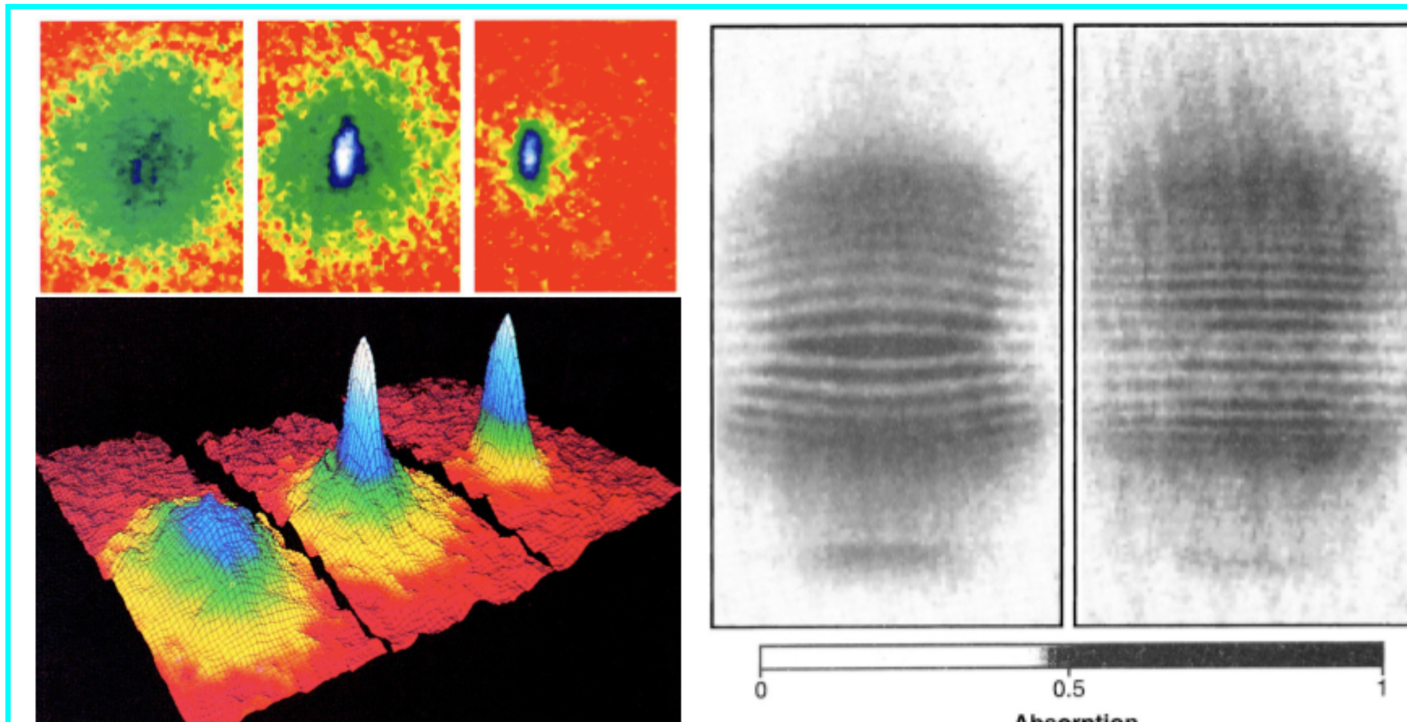
ポテンシャルの幅　$\sim \mu m$

冷却原子の数 $n = 10^3 \sim 10^9$ 個

温度 $\boxed{\mu K \sim nK}$

希薄なのにBECになるくらい温度が低い

Bose-Einstein(1924)からの
70年越しの実現！！



Cornell, et al(1995)

Obserbation of BEC in ultra-cold gas

二種類の原子を混ぜる（混合系）

二種類の原子ガスを混ぜる混ぜ方

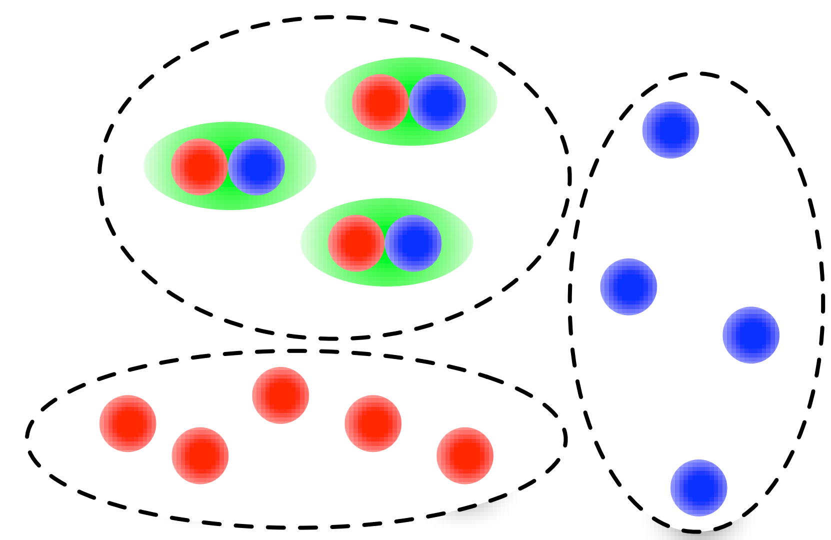
ボソン　＋　フェルミオン

フェルミオン　＋　フェルミオン

ボソン　＋　ボソン

$n_{A1total}$: all

$n_{A2total}$: all



原子—原子の二体間相互作用で結合している

$$A1 + A2 \leftrightarrow M(A1, A2)$$

一個ずつの対で分子になっている

原子数の関係式

$$n_{A1total} = n_{A1} + n_M$$

$$n_{A2total} = n_{A2} + n_M$$

$$n_{A1total} + n_{A2total} = n_{total} = const$$

原子数保存

分子数が決まれば、原子数は決まる

フェルミオン二つからなる粒子はボソンと見なすので

$$B1 + F2 \leftrightarrow M(B1, F2) = Fermion$$

$$F1 + F2 \leftrightarrow M(F1, F2) = Boson$$

$$B1 + B2 \leftrightarrow M(B1, B2) = Boson$$

解いてるもの

化学平衡方程式を量子統計に基づいて解いている

量子統計（粒子数方程式）

$$n_s = \frac{1}{(\lambda_{T,m_s})^3} B_{3/2}(-\mu_s/k_B T) + n_s^0$$

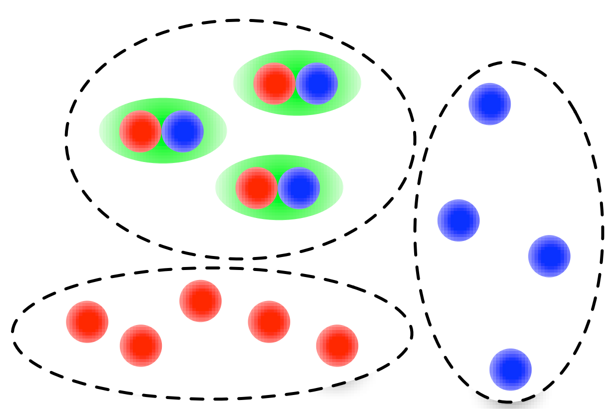
$$n_s = \frac{1}{(\lambda_{T,m_s})^3} F_{3/2}(-\mu_s/k_B T)$$

化学平衡方程式

$$\mu_{A1} + \mu_{A2} = \mu_M + \Delta E$$

粒子数の束縛条件
（全粒子数一定）

n_M



n_{A1} n_{A2}

有限温度での化学平衡理論（BB系）

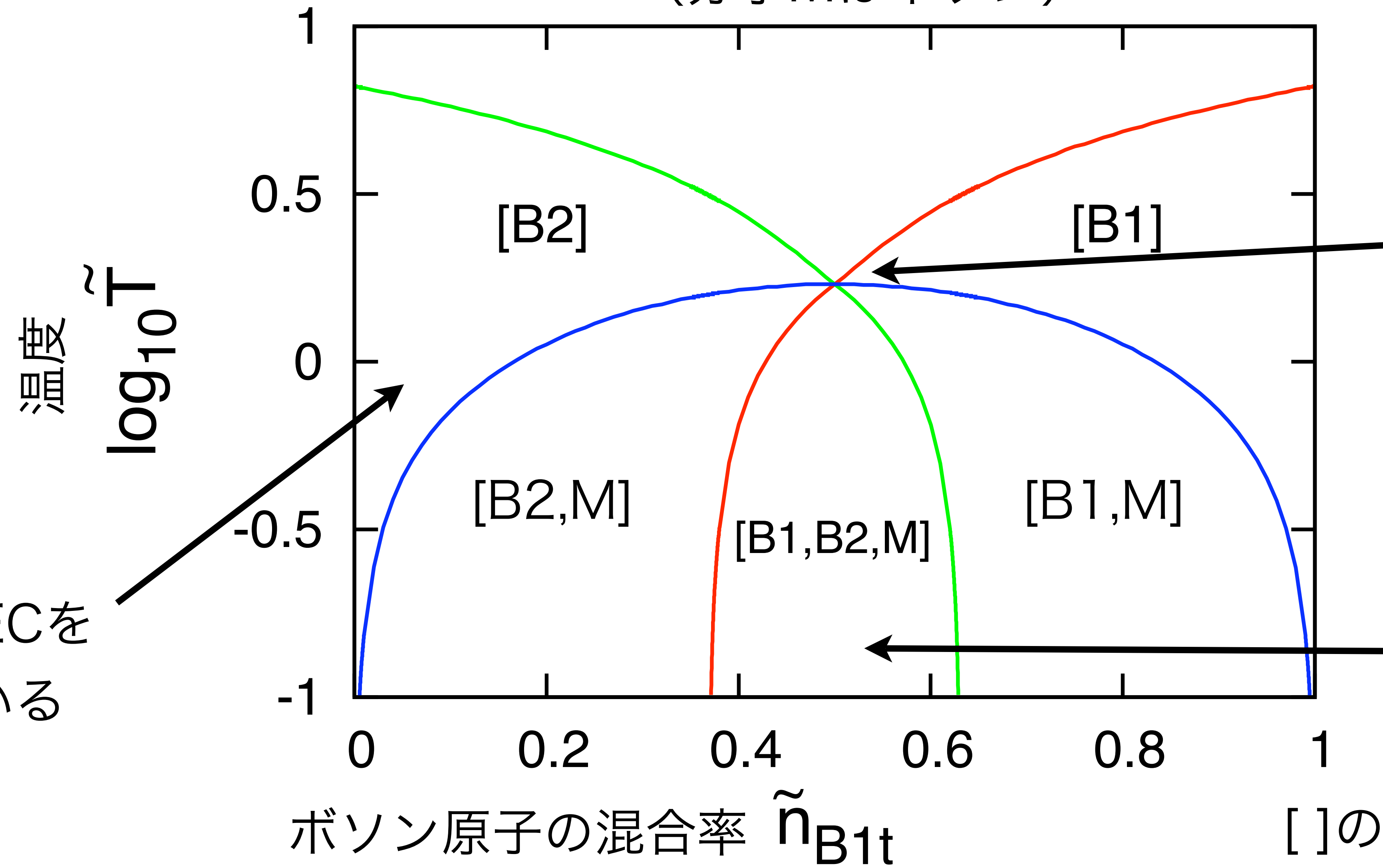
$$\tilde{\mu}_{A1}(\tilde{T}) + \tilde{\mu}_{A2}(\tilde{T}) - \tilde{\mu}_{M}(\tilde{T}) = \tilde{\alpha}\tilde{n}_M + \tilde{\gamma}$$

これを数値計算で解いている

解かれた分子数から　転移温度　$k_B T_c \sim 3.31 \dfrac{\hbar^2 n^{2/3}}{m}$　描いている

ボソン原子B1とボソン原子B2の混合系の転移温度 $\tilde{\gamma} = \tilde{\gamma}_c$

（分子Mはボソン）



転移温度の三重点が存在する

原子のみBECを起こしている

三種BEC共存相

[ ]の中の文字はBECを起こしている粒子の種類

有限温度での化学平衡理論（BB系）