

双極フェルミ気体の崩壊現象

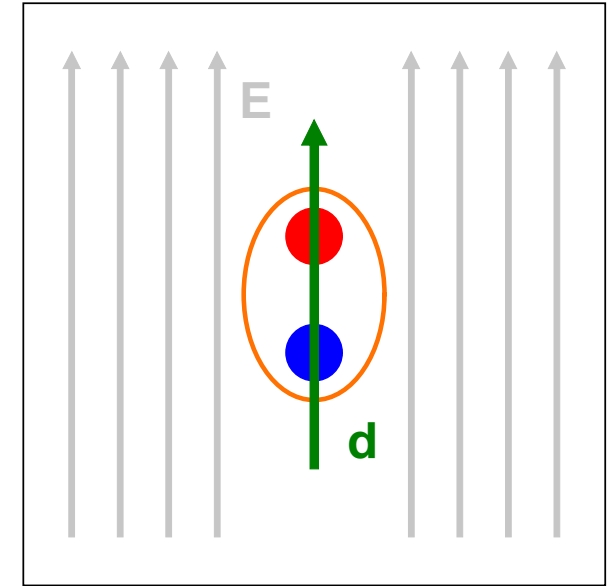
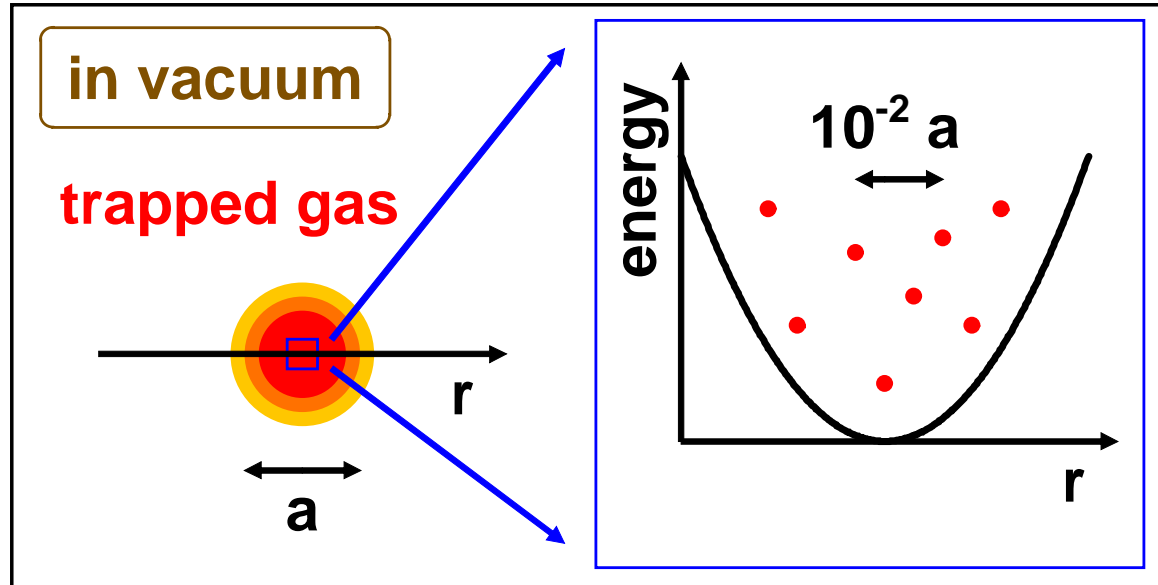
Takushi NISHIMURA (西村 拓史)^A

collaborated with 丸山智幸^B

^A お茶大アカプロ, ^B 日大生物資源

3-5 September 2009 at 基研研究会「熱場の量子論とその応用」

電場中の偏極した双極フェルミ分子気体



$$a \sim 10^{-(4\sim 6)} \text{ [m] (dilute)}$$

$$T \sim 10^{-(5\sim 9)} \text{ [K] (ultracold)}$$

$$\text{e.g. } {}^{40}\text{K}-{}^{87}\text{Rb} \text{ [1]}$$

$$(\mathbf{F} + \mathbf{B} \rightarrow \mathbf{F})$$

[1] JILA (Jin group), Nature Physics 4, 622; Science 322, 231 (2008)...

双極ボース気体との比較

ボース気体 (^{52}Cr BECs [2])

- 磁気双極子 (原子)
- $E_{\text{dd}} \sim 10^{-(1\sim 2)} E$
- 短距離力あり
- 座標空間で異方的

フェルミ気体 (^{40}K - ^{87}Rb)

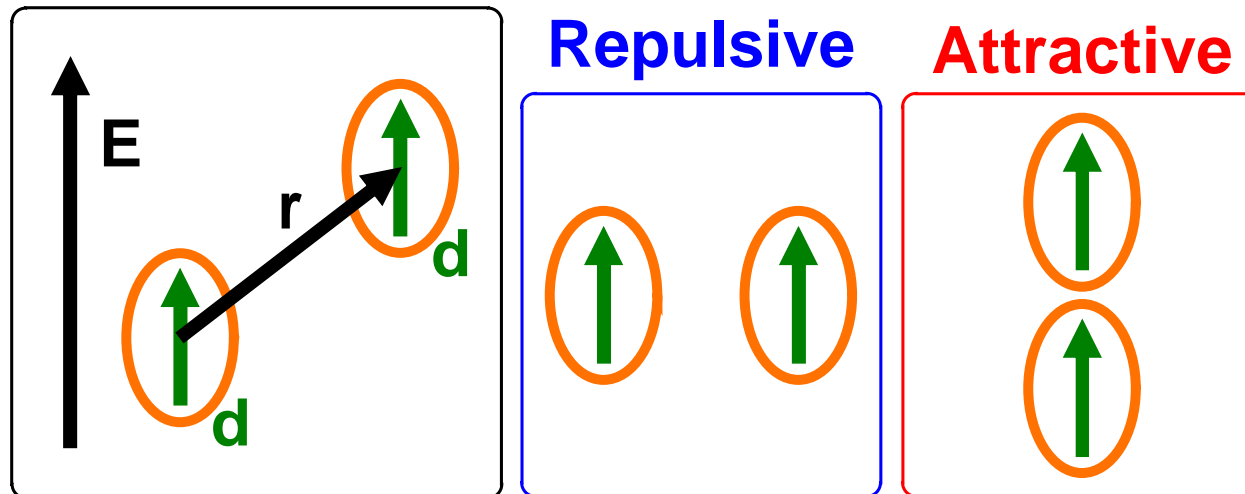
- 電気双極子 (分子)
- $E_{\text{dd}} \sim 10^{-(0\sim 3)} E$
- 短距離力なし
- 位相空間で異方的

[2] 川口, 齊藤, 上田, 日本物理学会誌 64, 623 (2009)

双極フェルミ気体系の特徴

純粋にテンソル力に支配される新しい量子多体系

$$v_{dd}(r) = \frac{\mathbf{d}_1 \cdot \mathbf{d}_2 - 3(\mathbf{d}_1 \cdot \mathbf{r})(\mathbf{d}_2 \cdot \mathbf{r})/r^2}{r^3} = d^2 \frac{1 - 3r_z^2/r^2}{r^3}$$



研究の動機

- 量子分子気体の物理 → 学生講演 2 (柴藤), 3 (松田)
- 長距離テンソル力の支配するフェルミ多体系とは？
- 新しい集団運動現象などの可能性
- 分子形成や集団運動の量子制御にとって重要な基盤になりうる

双極フェルミ気体系の話題

- 異方的かつ長距離の量子相関をもつフェルミ多体系
- 量子気体の位相空間分布の異方的な変形
- 量子多体的な集団運動
- 自由膨張の量子動力学 [3]
- 長距離型テンソル力による崩壊現象
- ...

[3] TN and T. Maruyama, arXiv:0907.1757

量子気体の崩壊現象

1. 局所的密度揺らぎによる崩壊 (局所崩壊): e.g. “Bose nova”

$$\frac{\delta^2 F}{\delta n^2} \leq 0$$

★ 一様系でも発生しうる

2. 大局的に密度分布が不安定 (大局的崩壊): e.g. dipolar BECs

$$\exists N_{\max}$$

★ トラップの形状に依存する

双極フェルミ気体には両方の崩壊の可能性がある

Hartree-Fock平均場近似

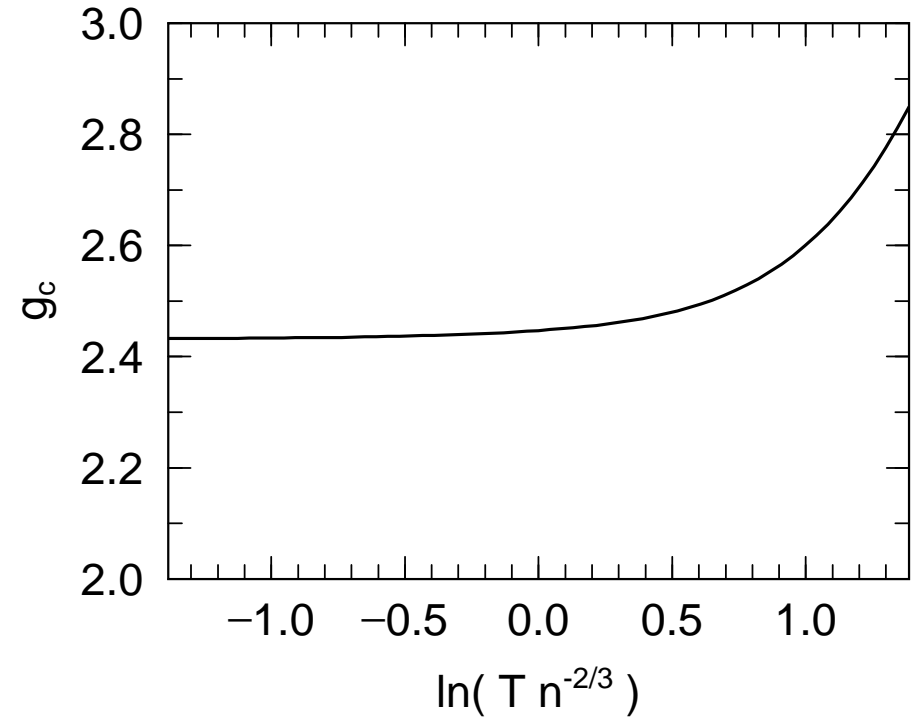
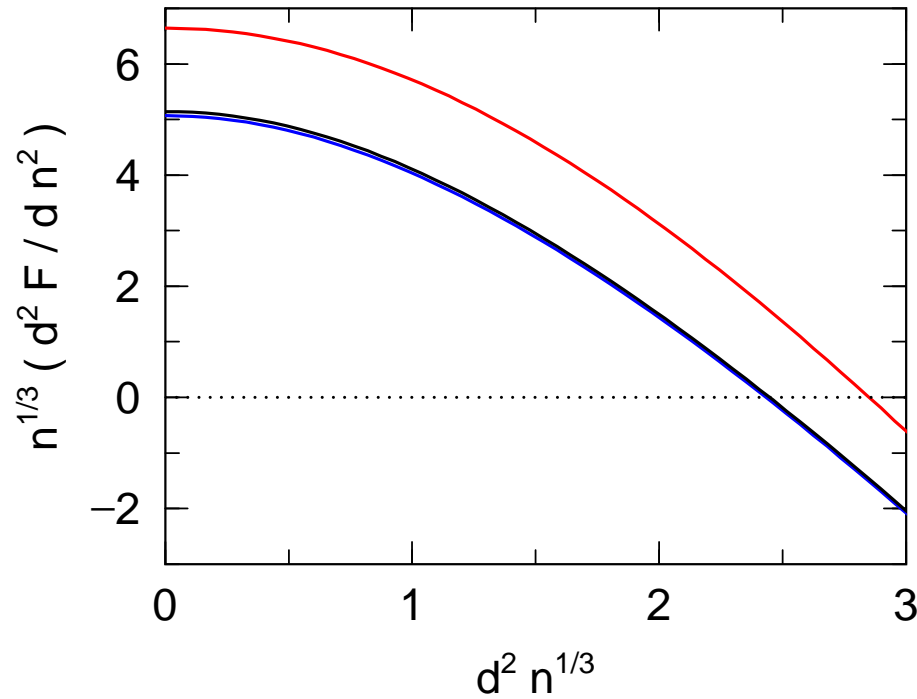
$$H \approx H_0 + H_{\text{H}} + H_{\text{F}} - \frac{1}{2} \langle H_{\text{H}} + H_{\text{F}} \rangle \quad \star m = 1, \hbar = 1$$

$$H_0 = \frac{\nu}{(2\pi)^3} \int dp \left(\frac{p^2}{2} \right) a_p^\dagger a_p, \quad H_{\text{F}} = \frac{\nu}{(2\pi)^3} \int dp U_{\text{F}}(p) a_p^\dagger a_p$$

$$U_{\text{F}}(p) = - \int \frac{dq}{(2\pi)^3} V(p-q) \langle a_q^\dagger a_q \rangle, \quad V(p) = -\frac{4\pi}{3} d^2 p^2 - \frac{3p_z^2}{p^2}$$

球对称境界条件 $\rightarrow H_{\text{H}} = 0$

Hartree-Fock理論による局所崩壊



$$T/n^{2/3} = 0.25, 1, 4$$

温度を下げていくと、崩壊が起こりうる

相互作用展開と異方的有効質量

★ 以下では、 $T = 0$

$$\begin{aligned}
 V(p - q) &= -\frac{4\pi}{3}d^2 \sum_{n=0}^{\infty} a_n(\cos \theta_p, \cos \theta_q) \left(\frac{p}{q}\right)^n \quad (q > p) \\
 &= \quad \quad \quad (p \leftrightarrow q) \quad \quad \quad (p > q)
 \end{aligned}$$

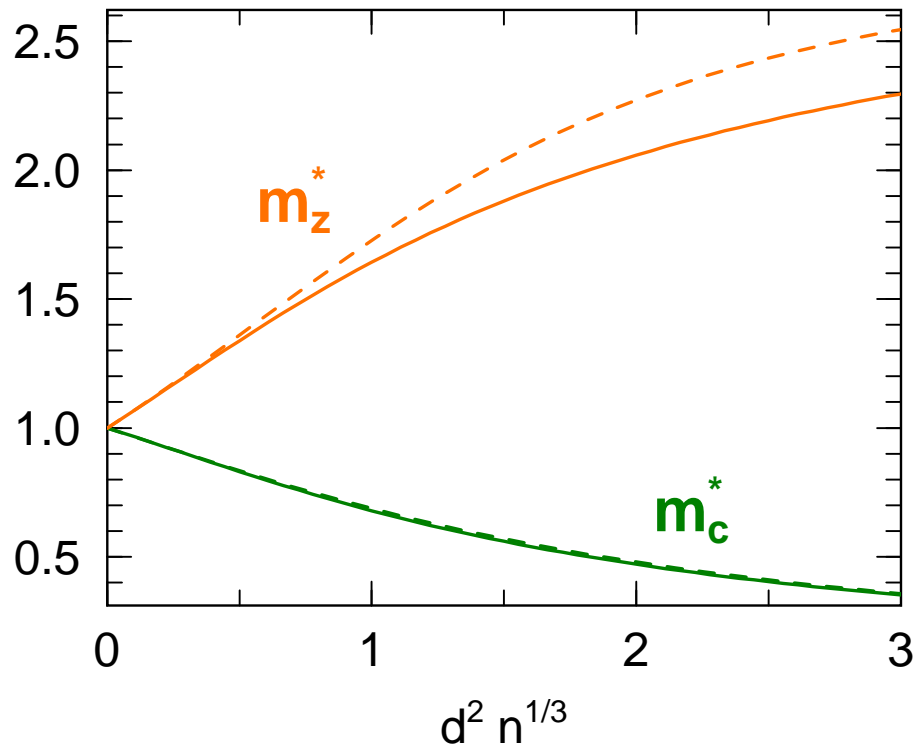
$$a_0 = -\frac{8}{5}P_0(\cos \theta_p)P_2(\cos \theta_q)$$

$$a_2 = -a_0 - \frac{8}{25}P_2(\cos \theta_p) \left[P_0(\cos \theta_q) - \frac{4}{7}P_2(\cos \theta_q) + \frac{16}{21}P_4(\cos \theta_q) \right]$$

$$n \leq 2 \text{ まで取る } \rightarrow \varepsilon = \frac{p^2}{2} + U_F = \frac{p_c^2}{2m_c^*} + \frac{p_z^2}{2m_z^*} + U_0$$

異方的有効質量

$$m_z^* - 1 = -2(m_c^* - 1) > 0 \rightarrow \text{運動量分布が葉巻型変形}$$



点線は $|p| = 0$ でのHF計算

2次までの計算では

$$g_c \approx 2.46$$

HF計算では

$$g_c \approx 2.41$$

別の変分計算 [4] では

$$g_c \approx 3.23$$

[4] Sogo et al., arXiv:0812.0948

まとめ

1. 双極フェルミ気体の局所**崩壊**を理論的に研究
2. 密度揺らぎに対して、**崩壊**の分岐が起こりうる
3. **崩壊**は低温であるほど起こりやすい
4. 局所**崩壊**は異方的フェルミ面と有効質量の寄与による

今後の課題

- 今後は量子動力学の直接計算により集団現象を解明したい

★ Thank you for your attention.