

ボース・アインシュタイン凝縮体 から作った分子の観測

Observation of Molecules Produced from a Bose-Einstein Condensate

Stephan Durr, Thomas Volz, Andreas Marte, and Gerhard Rempe

Phys. Rev. Lett. 92. 020406 (2004)

平野研究室 07041045 富貴塚一規

発表の流れ

◆ボース・アインシュタイン凝縮 (BEC) とは

◆導入

◆原子BECの生成方法

◆レーザー冷却

◆蒸発冷却

◆分子の生成、観測方法

◆フェッシュバツハ共鳴

◆勾配磁場

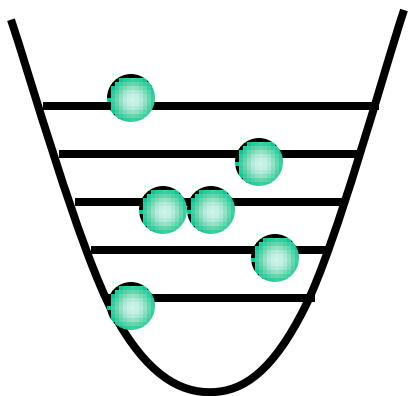
◆実験結果

◆まとめ

ボース・アインシュタイン凝縮とは

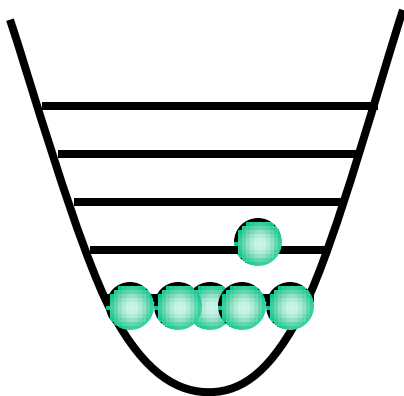
最低エネルギー準位を占めるボース粒子の数が
ある温度以下で巨視的な量になる現象

常温



様々な準位に
原子が分布

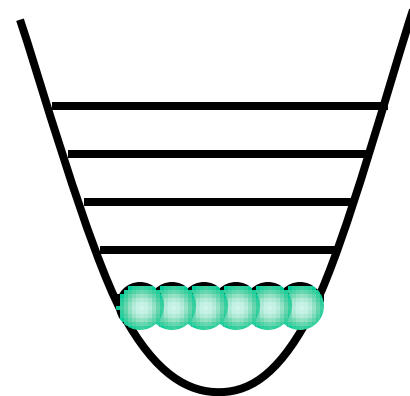
ある温度以下



最低準位に
巨視的な数の原子

BEC

絶対零度



最低準位に
全ての原子が分布

Pure BEC

導入

【背景】

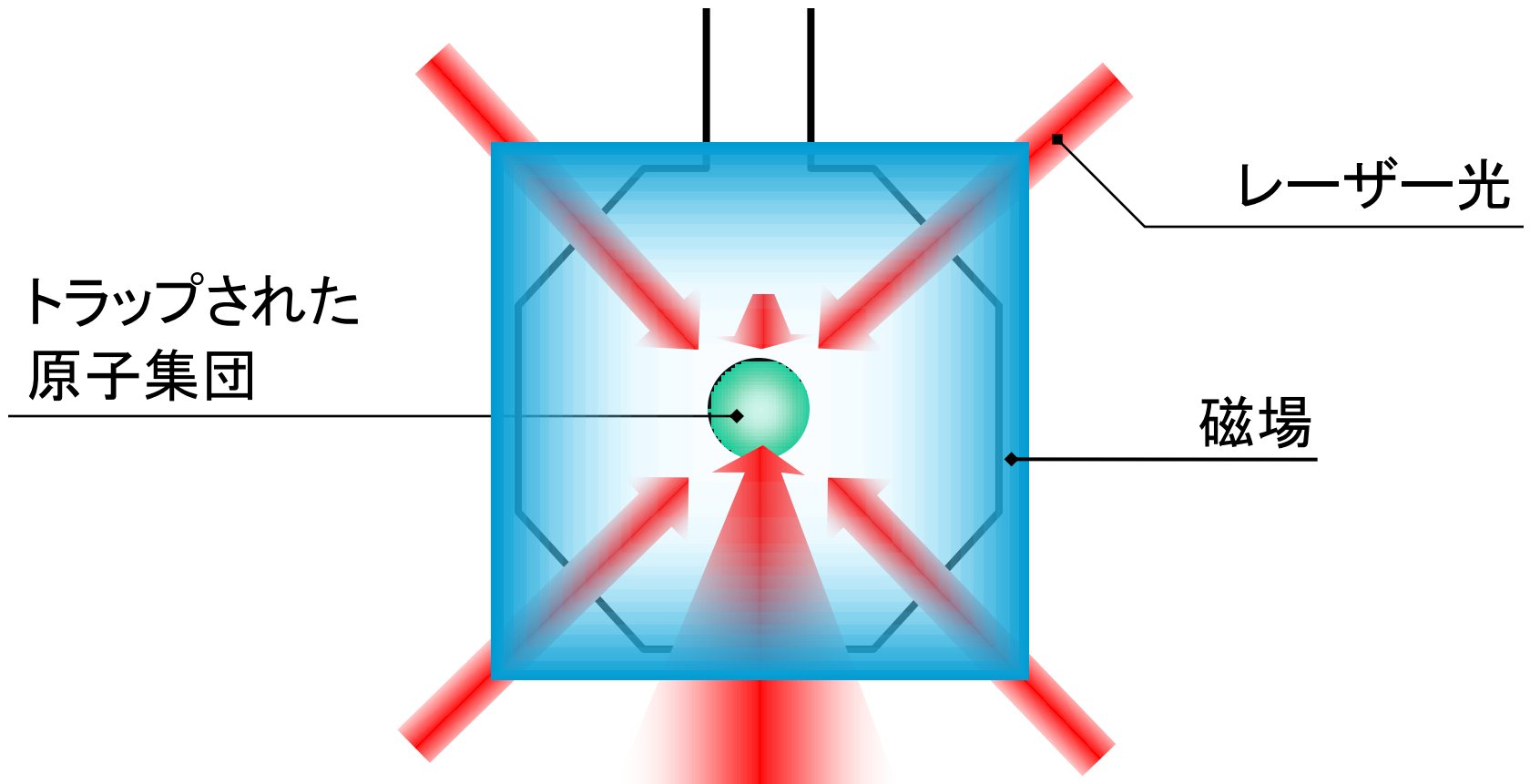
- ◆ 分子をBECまで冷却→困難
- ◆ 原子BECから分子BECを生成する→期待
- ◆ 分子を直接観測→困難
- ◆ 観測していた原子の減少によって確認

【この論文では】

- ◆ ^{87}Rb 原子BECから分子を生成する。
- ◆ 分子を原子に戻して観測する。

原子BECの生成方法

- ①レーザーで原子を冷却。
- ②磁場で原子をトラップ。

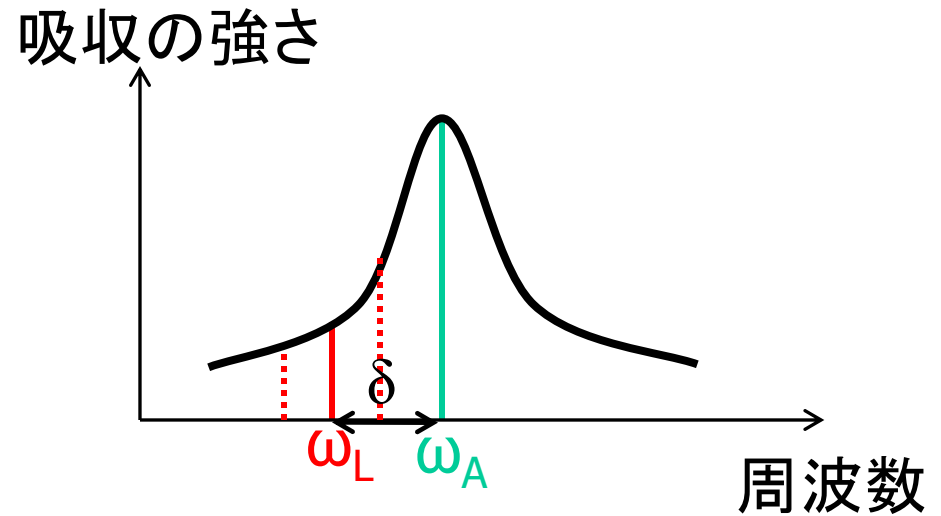


レーザー冷却

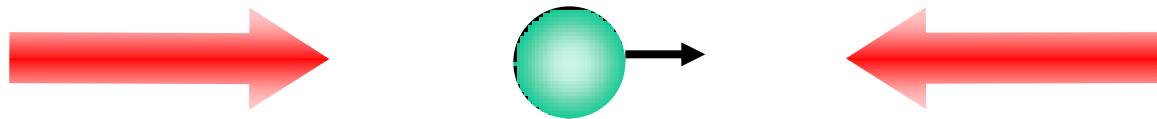
原子の共鳴周波数: ω_A

レーザー光の周波数: ω_L

離調: $\delta = \omega_A - \omega_L$



※ドップラー効果

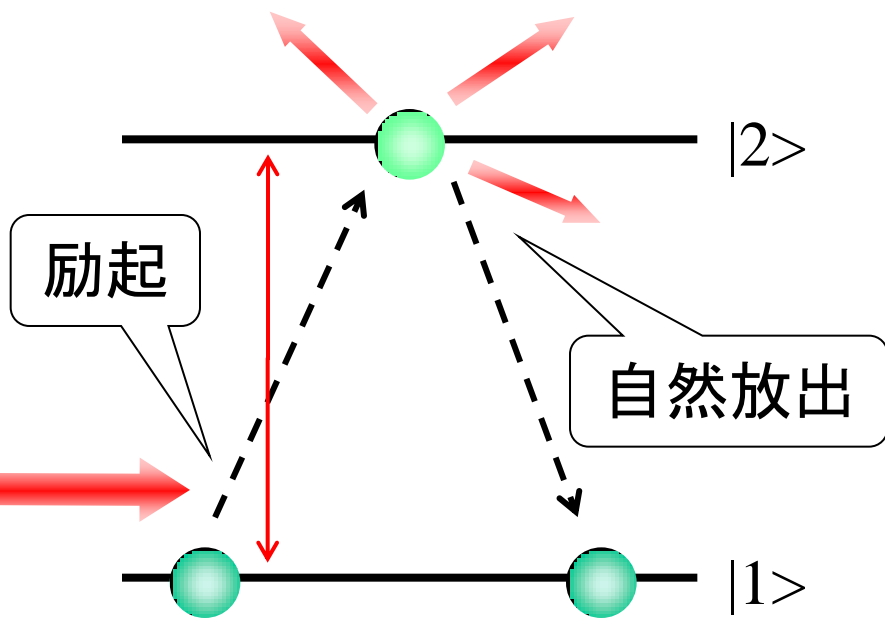


直交する3軸方向でレーザー光を対向させれば、原子がどの方向に動いていても減速できる。

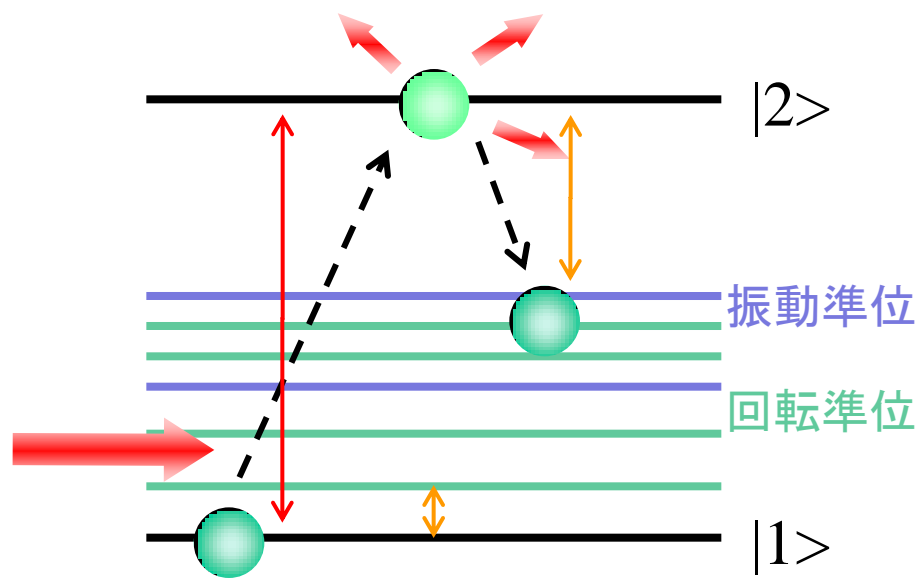
レーザー冷却

◆分子の冷却が困難である理由

原子の場合

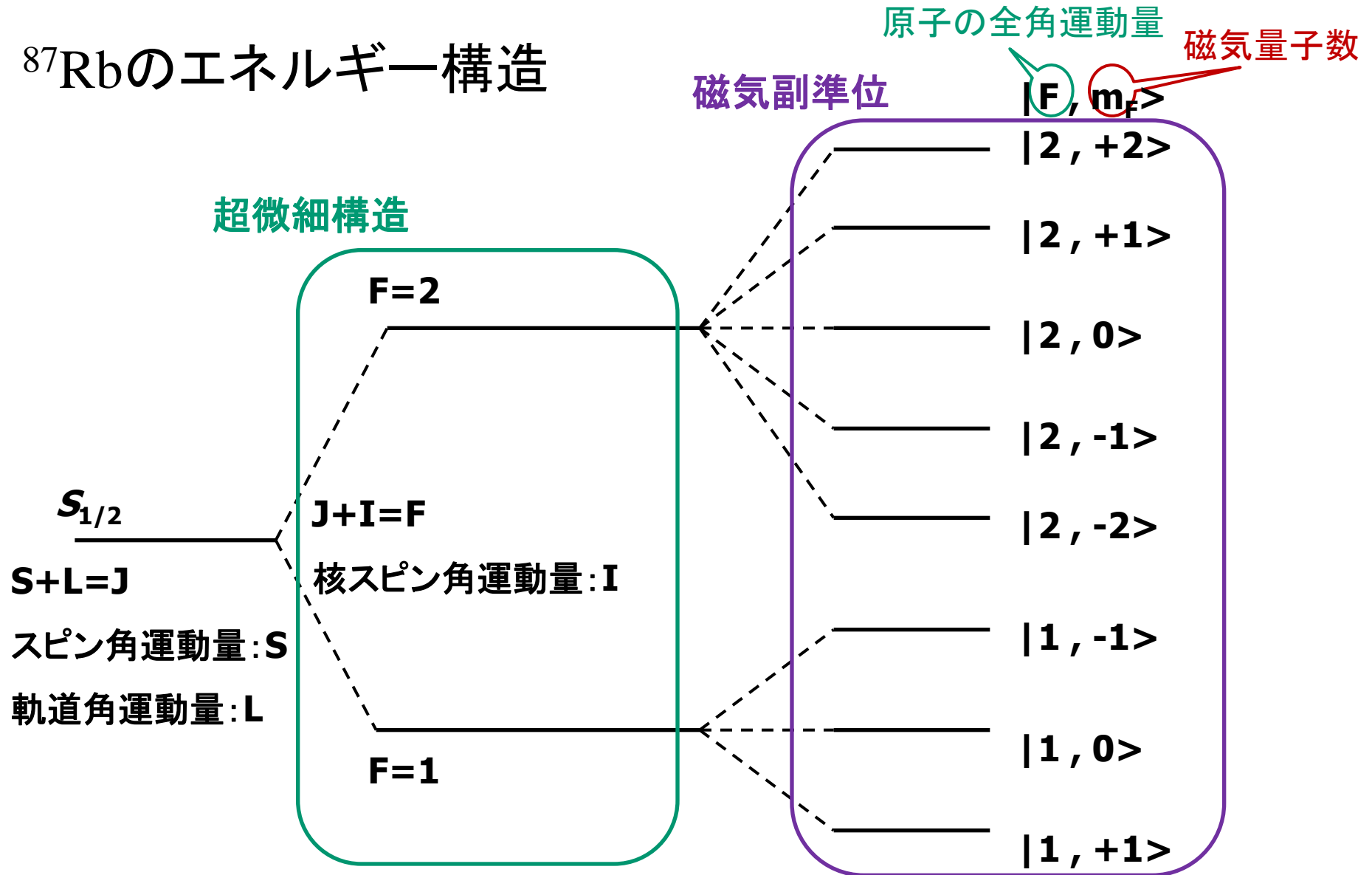


分子の場合



蒸発冷却

^{87}Rb のエネルギー構造



蒸発冷却

① 磁気による器で原子を保持する。

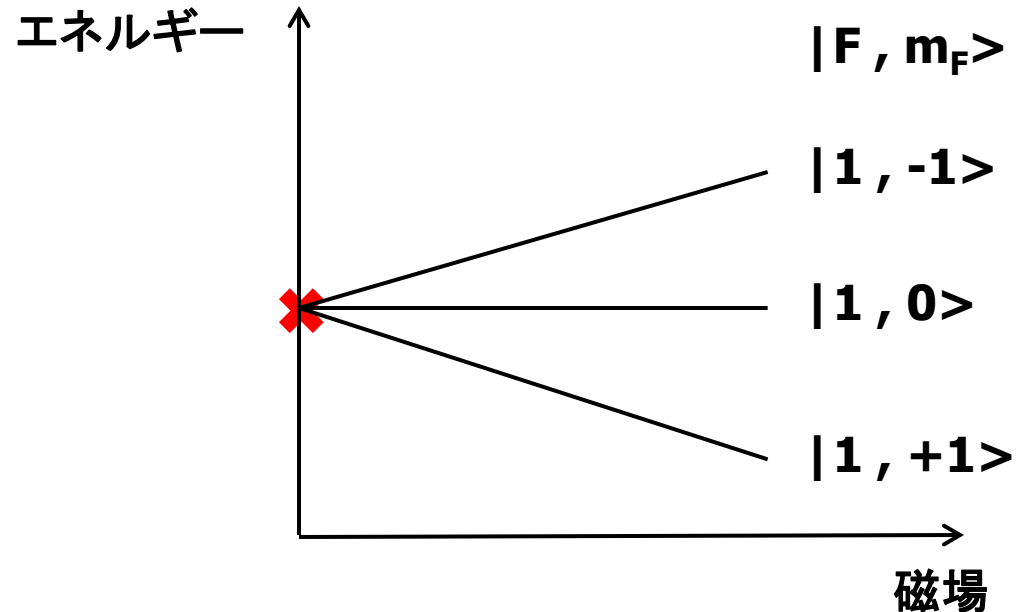
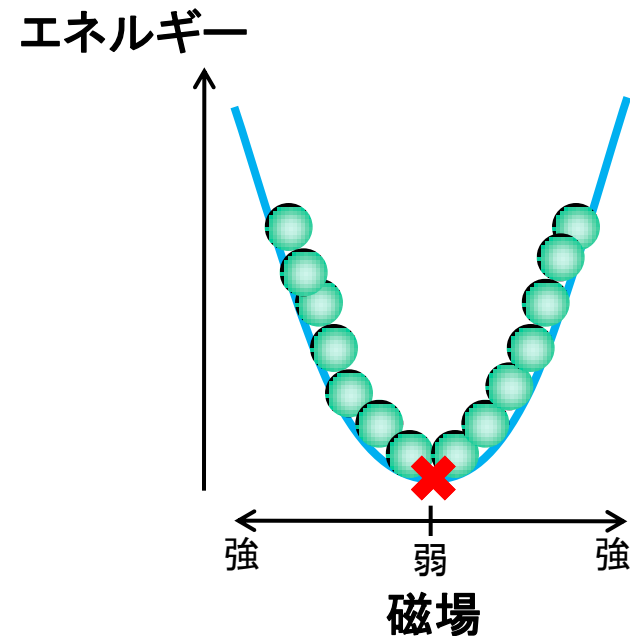
磁気トラップ

$$\Delta E_M = g_F \mu_B m_F B_Z$$

g因子: $g_F < 0$

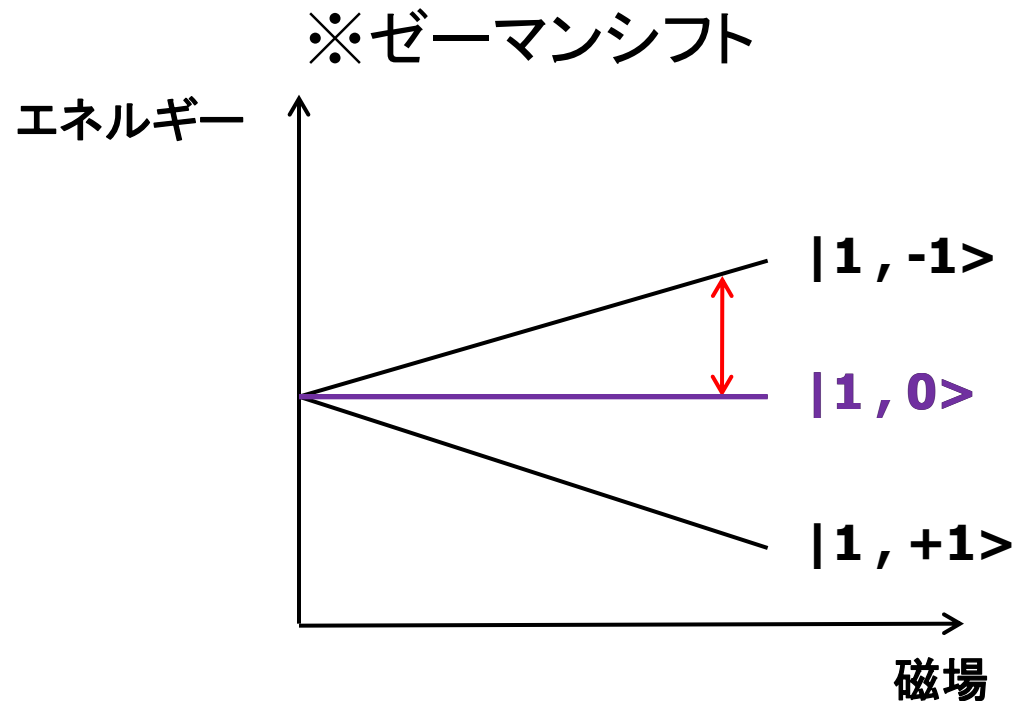
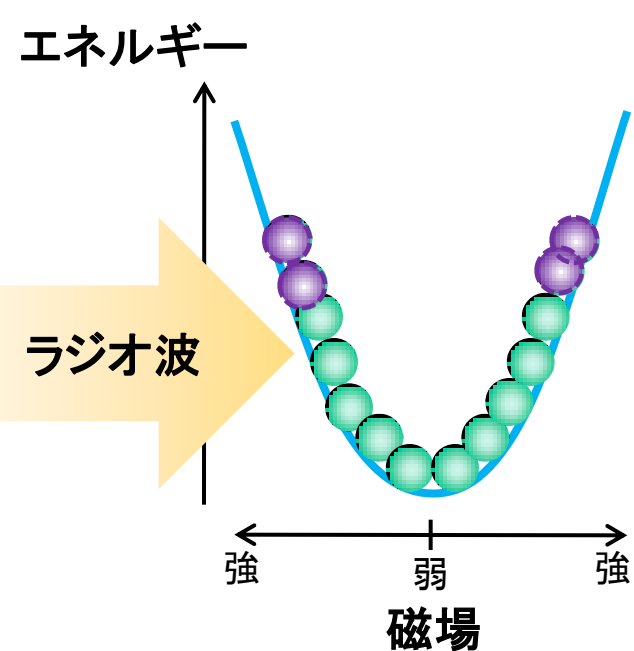
ボーア磁子: μ_B

※ゼーマンシフト



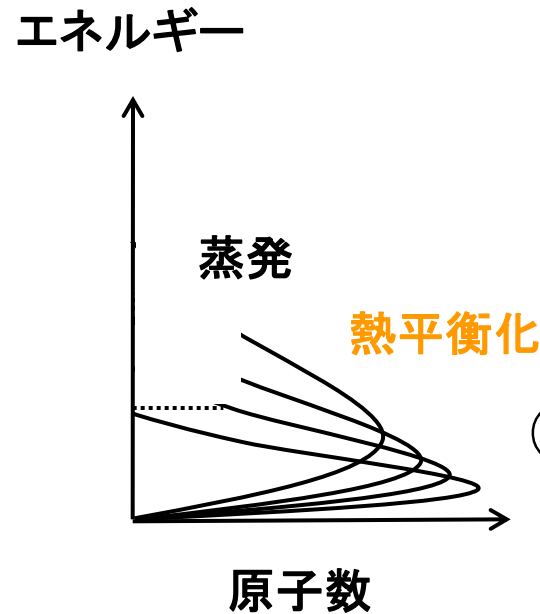
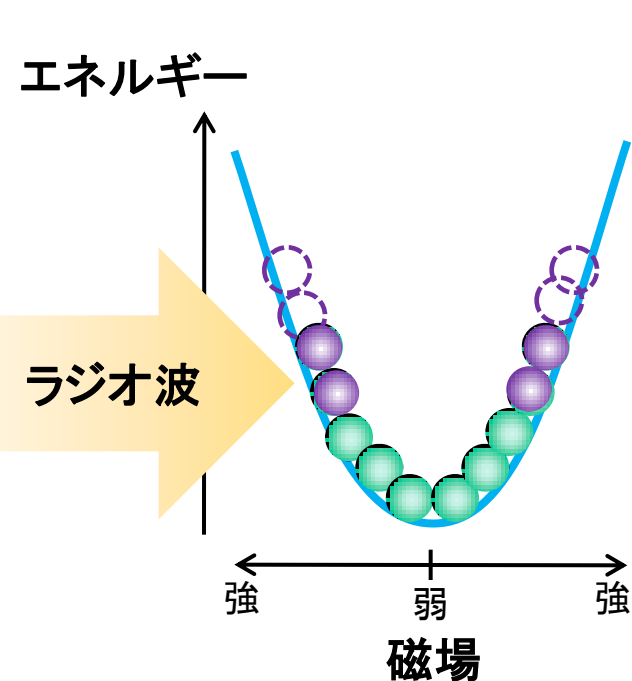
蒸発冷却

- ② ラジオ波を印加して、温度の高い原子をトラップから脱落させる。



蒸発冷却

- ③ 残った原子が熱平衡化し、低い温度の原子が増える。



②・③を繰り返し
原子BECが完成

分子の生成、観測

光トラップ中の原子BEC



自由落下



フェッシュバツハ共鳴

原子BECの分子化



勾配磁場

分子と分子化しなかった原子の分離



フェッシュバツハ共鳴

撮影の為に分子を原子に戻す



吸収イメージング(撮影)

光トラップ

原子が感じるポテンシャル: U

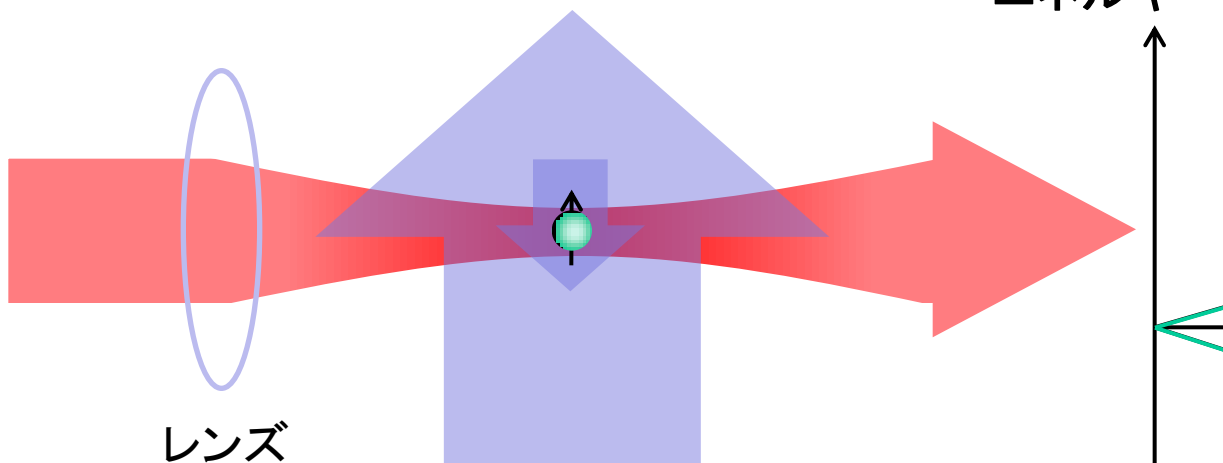
レーザー光の強度: $I(r)$

離調: $\delta = \omega_A - \omega_L$

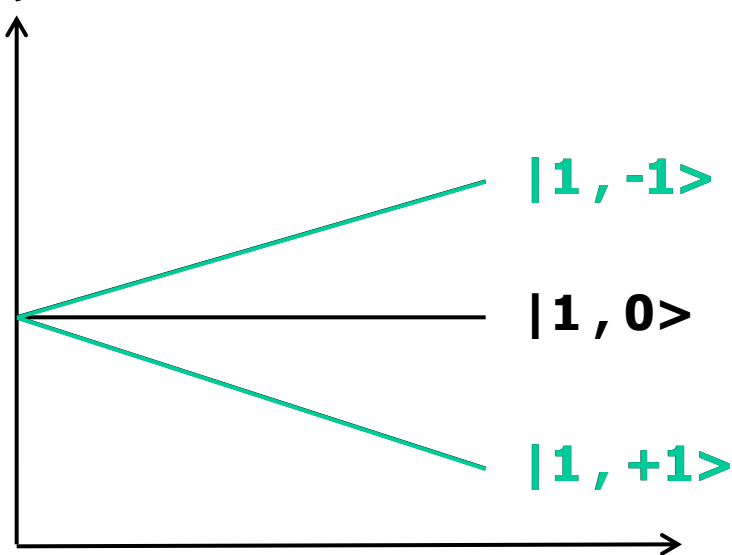
原子の共鳴周波数: ω_A

レーザー光の周波数: ω_L

$$U \propto -\frac{I(r)}{\delta}$$



エネルギー



磁場

分子の生成、観測

光トラップ中の原子BEC



自由落下



フェッシュバツハ共鳴

原子BECの分子化



勾配磁場

分子と分子化しなかった原子の分離



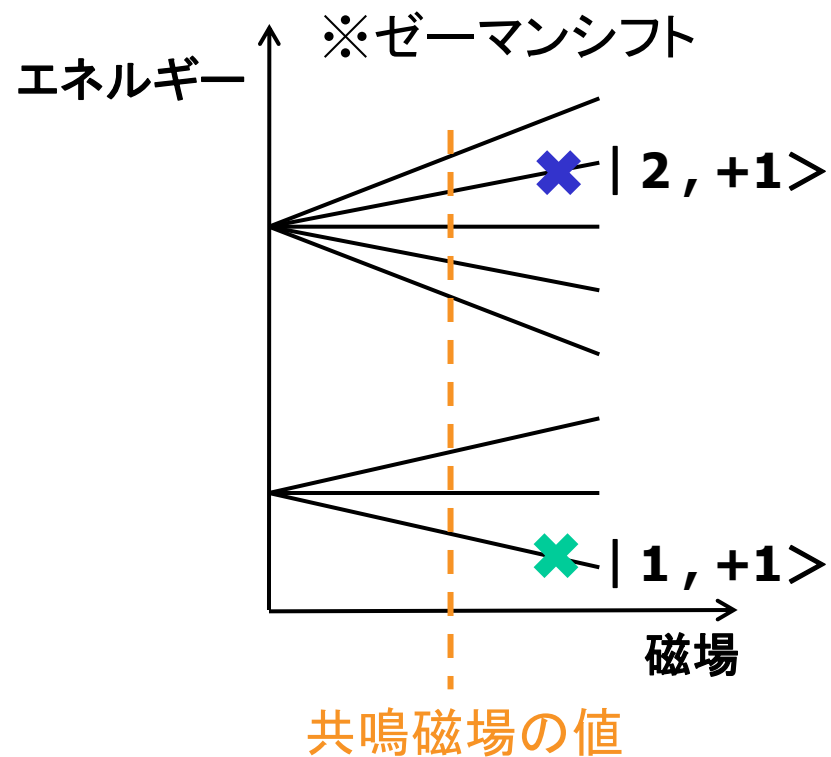
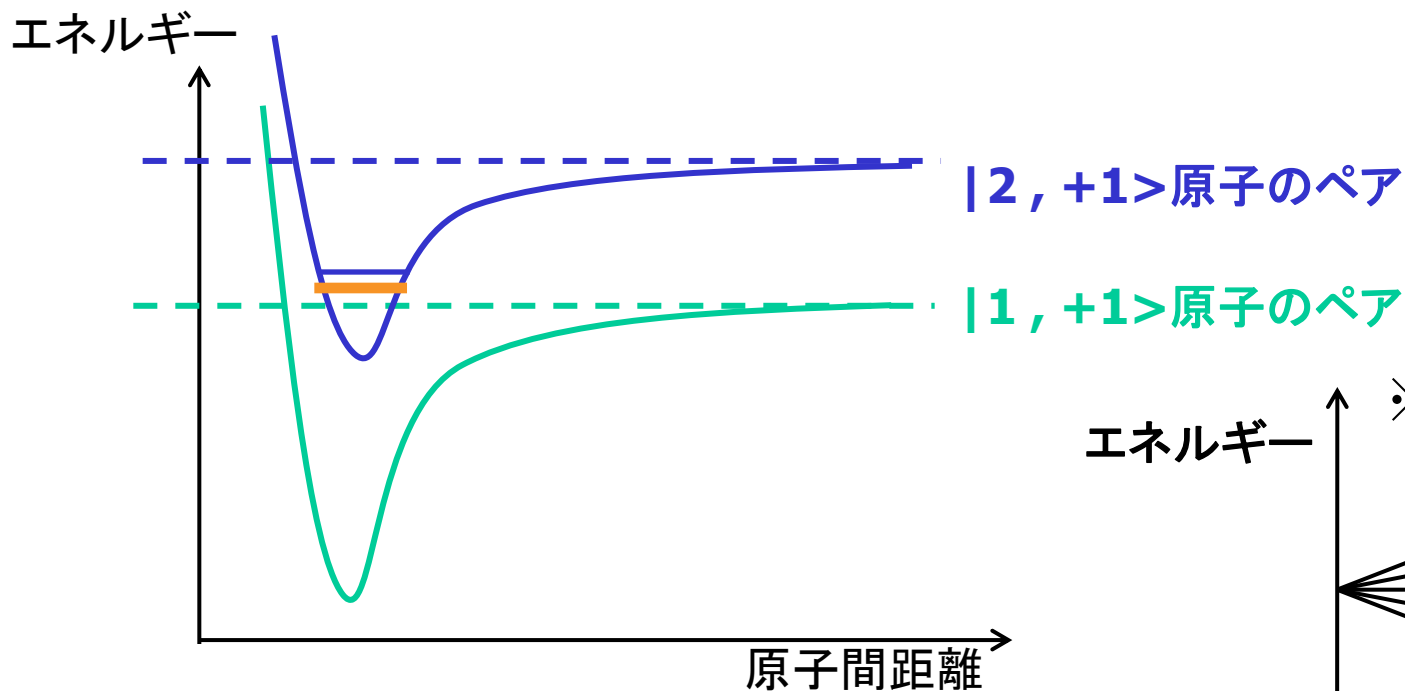
フェッシュバツハ共鳴

撮影の為に分子を原子に戻す

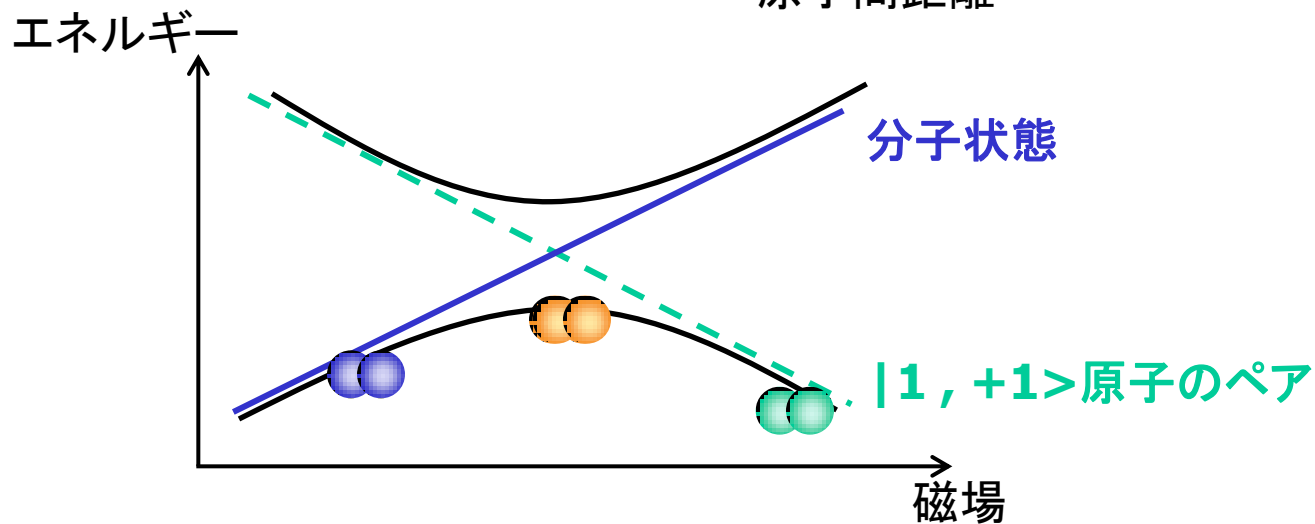
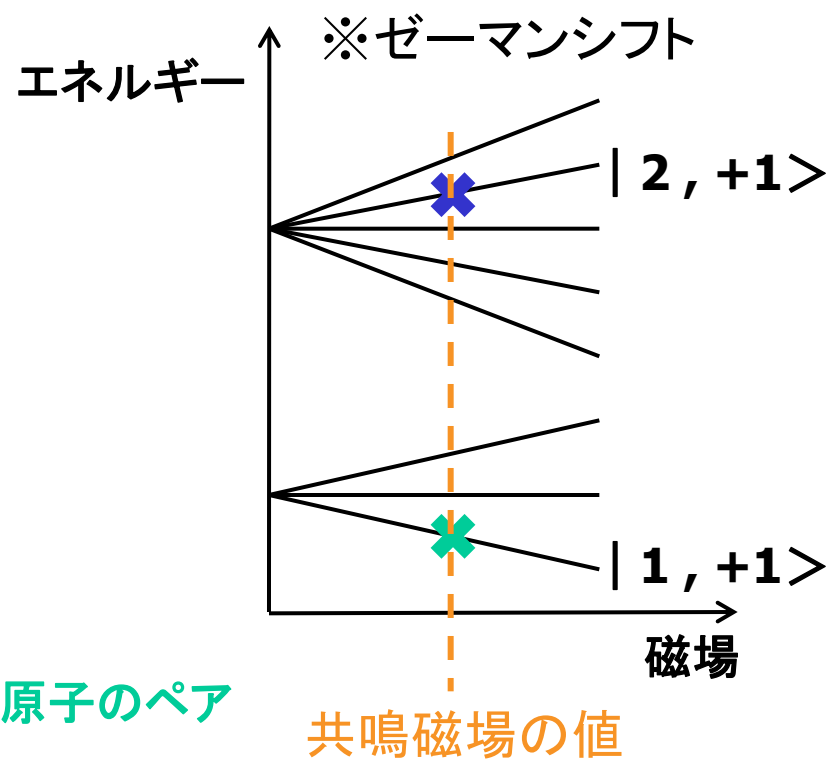
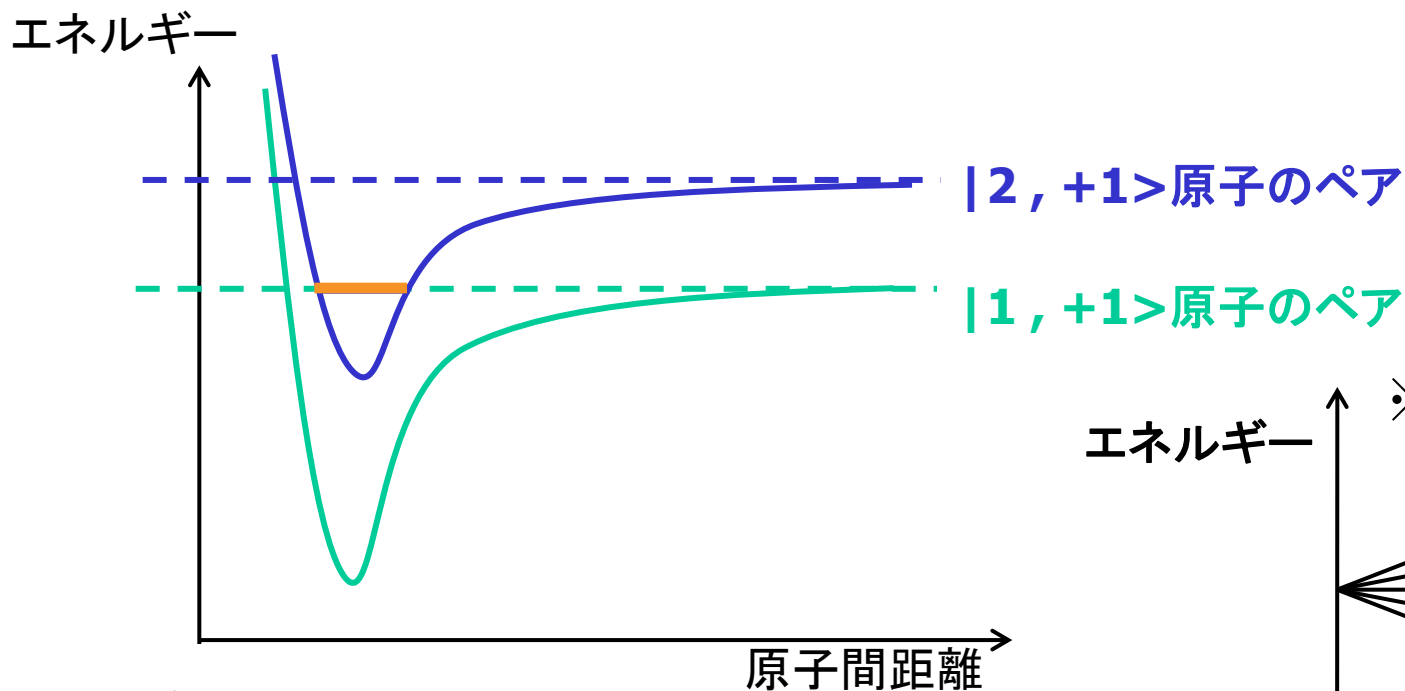


吸収イメージング(撮影)

フェツシュバツハ共鳴



フェツシュバツハ共鳴



分子の生成、観測

光トラップ中の原子BEC



自由落下



フェッシュバツハ共鳴

原子BECの分子化



勾配磁場

分子と分子化しなかった原子の分離



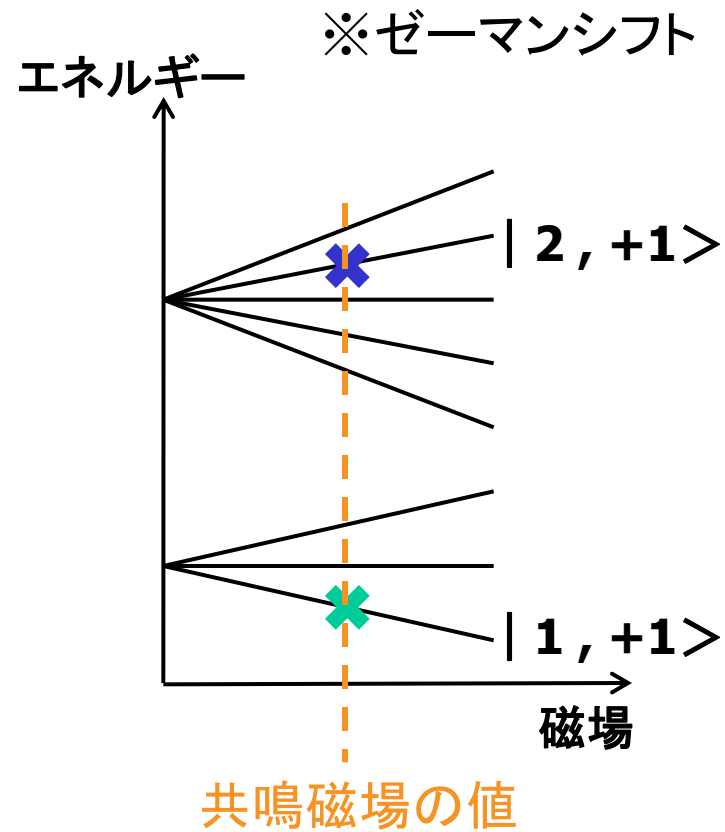
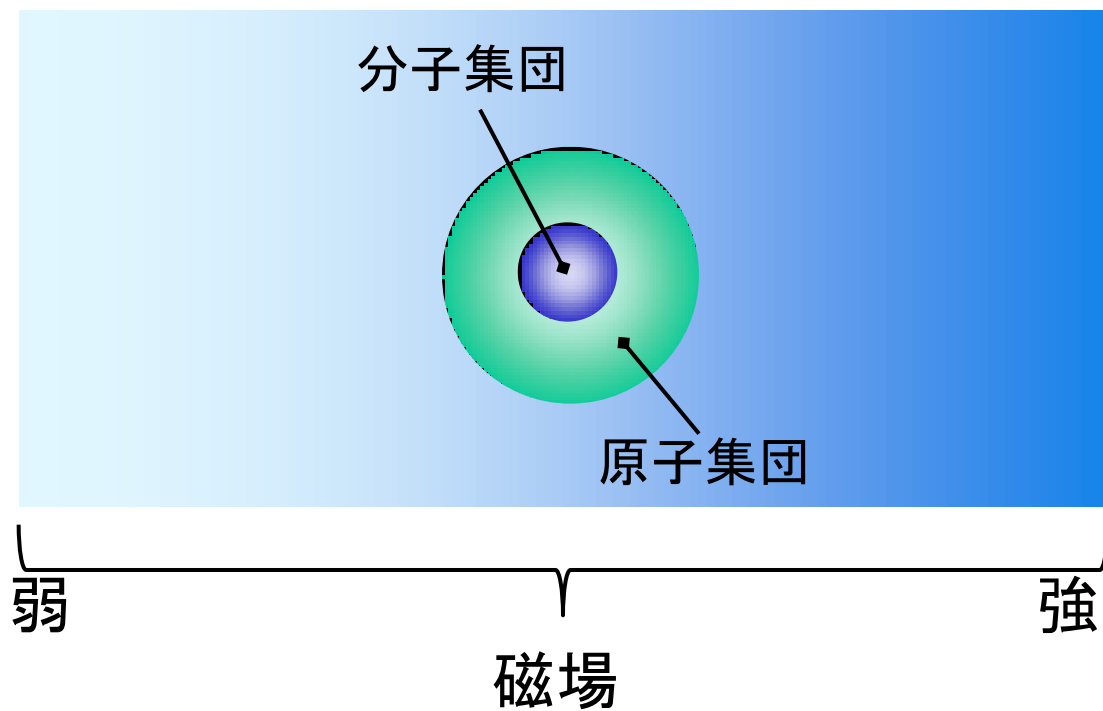
フェッシュバツハ共鳴

撮影の為に分子を原子に戻す



吸収イメージング(撮影)

勾配磁場



分子の生成、観測

光トラップ中の原子BEC



自由落下



フェッシュバツハ共鳴

原子BECの分子化



勾配磁場

分子と分子化しなかった原子の分離



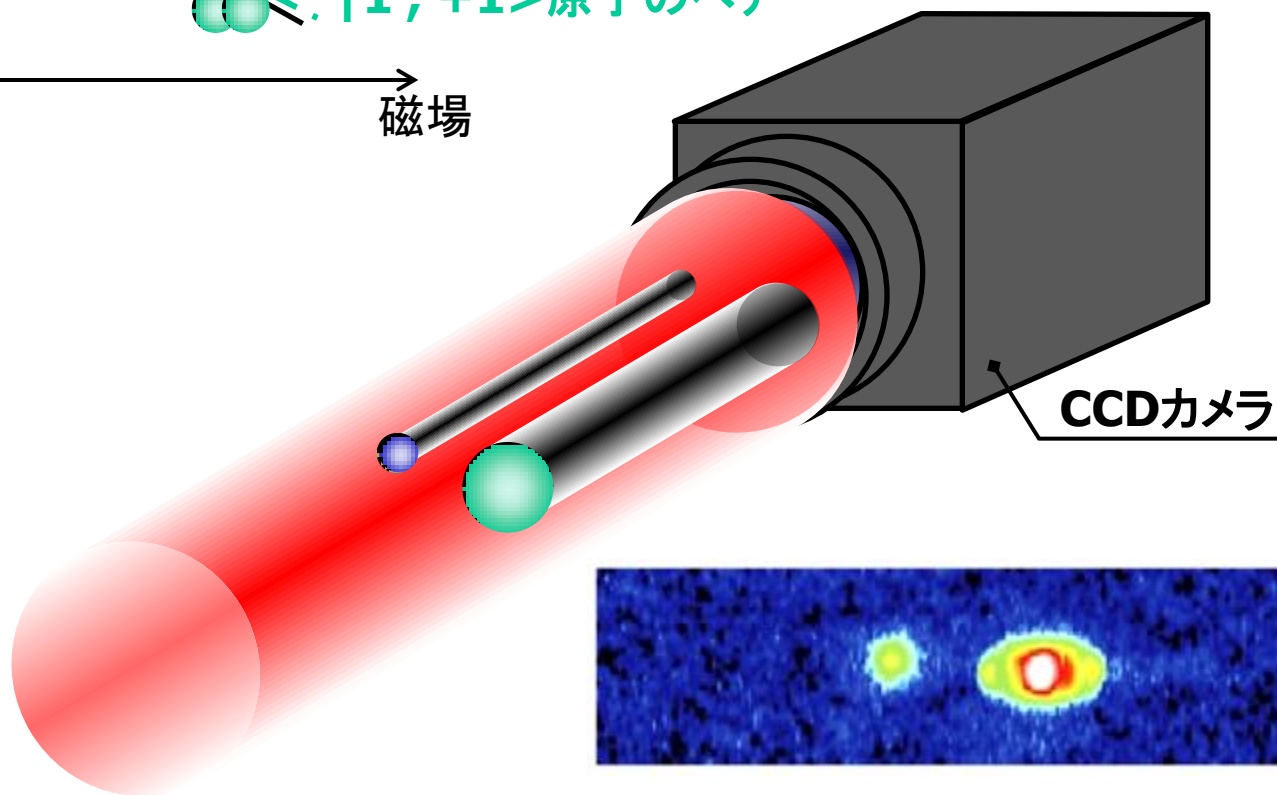
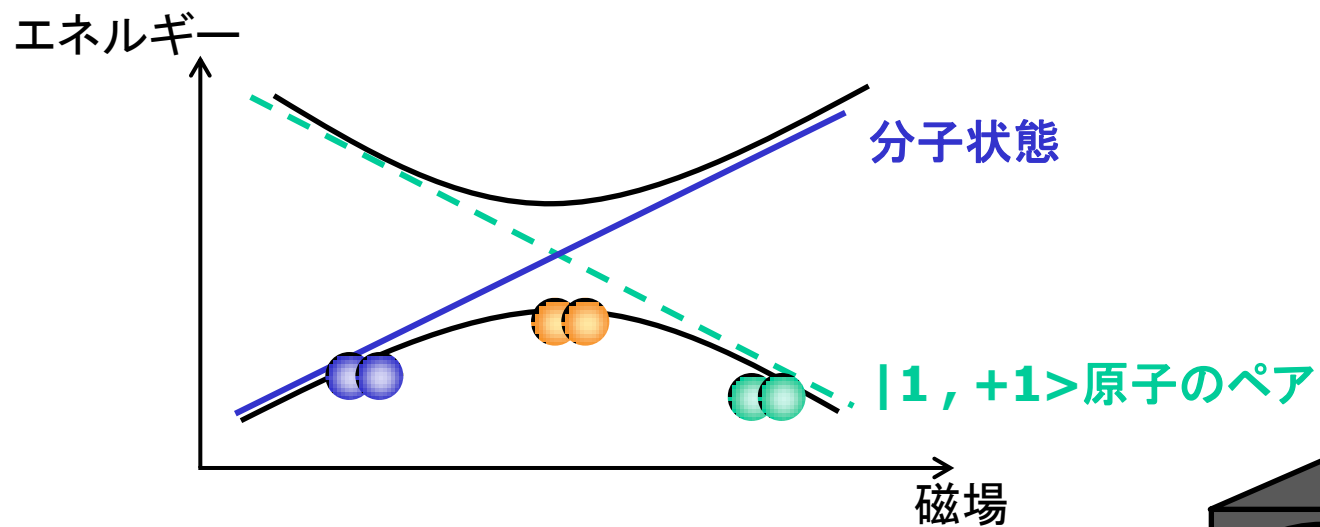
フェッシュバツハ共鳴

撮影の為に分子を原子に戻す

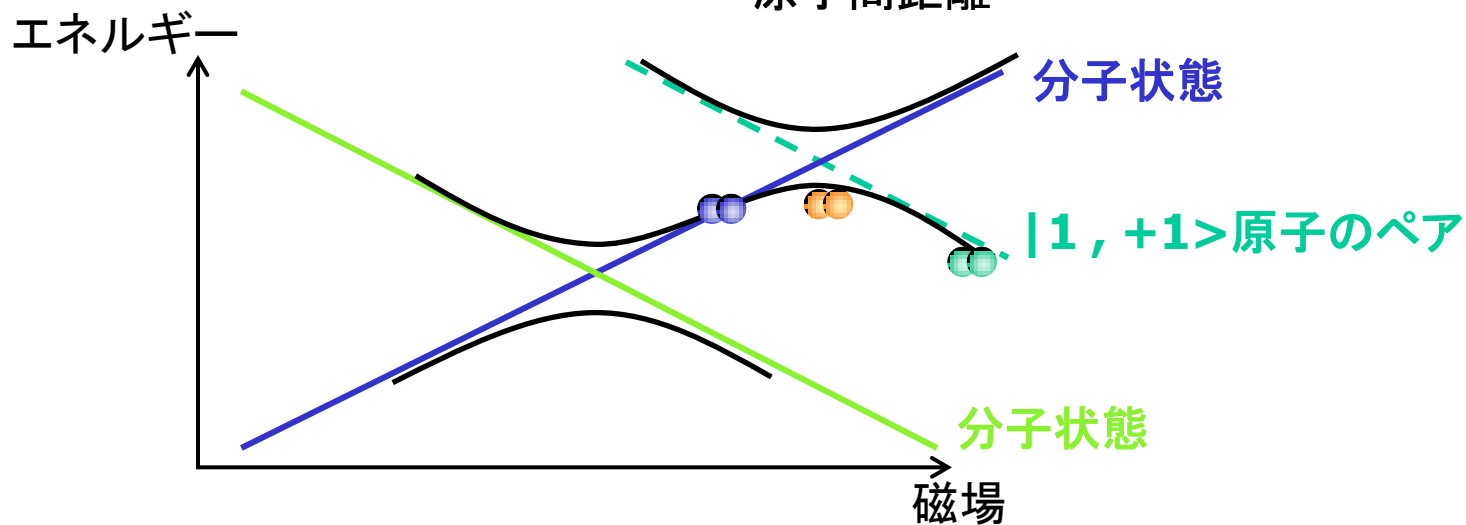
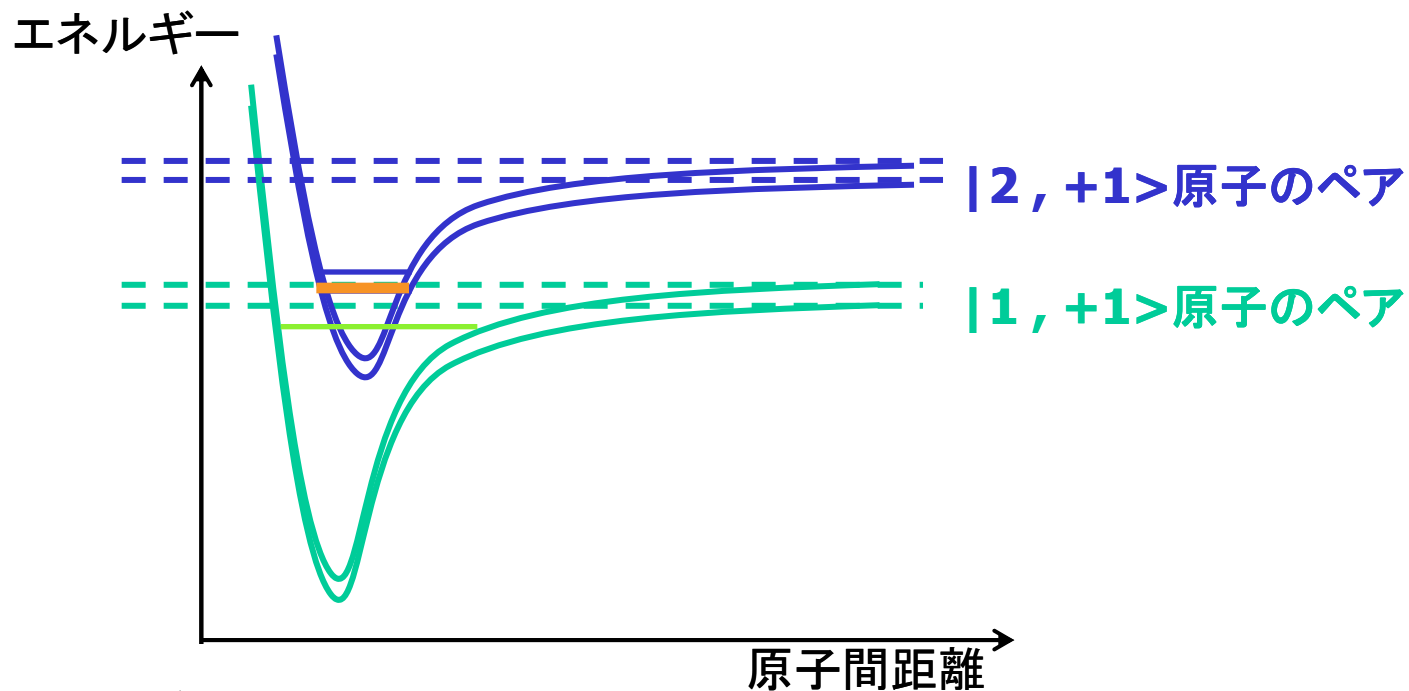


吸収イメージング(撮影)

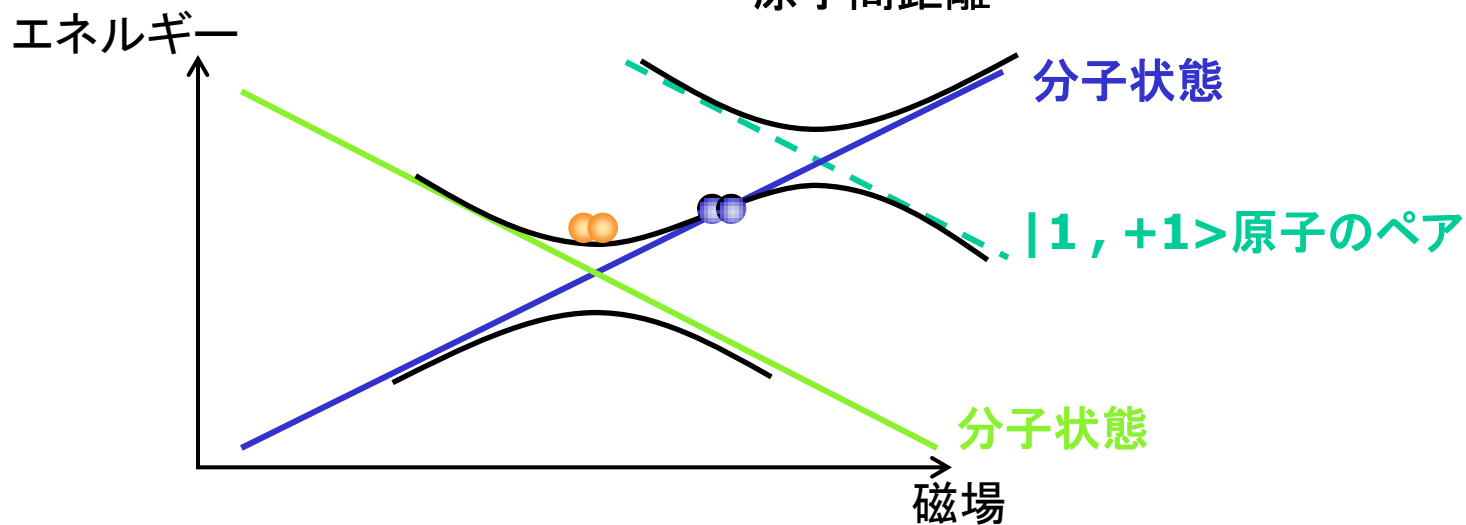
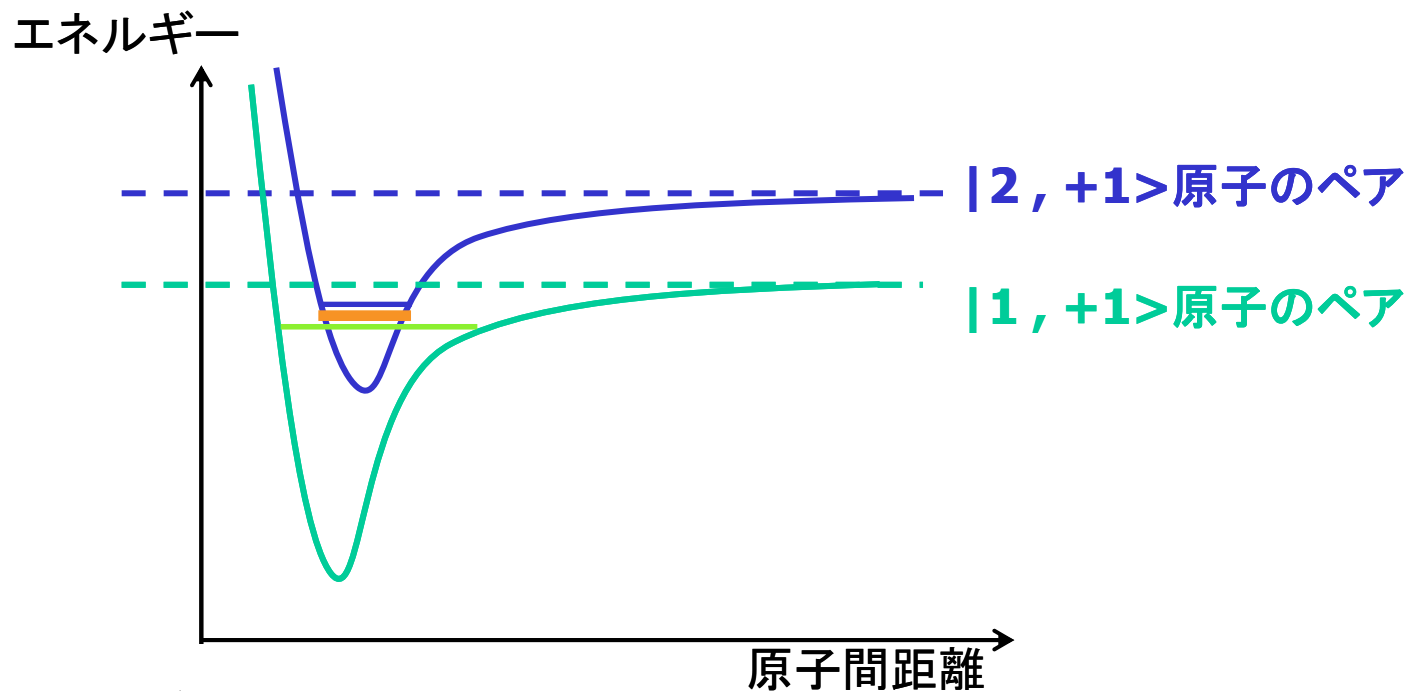
撮影



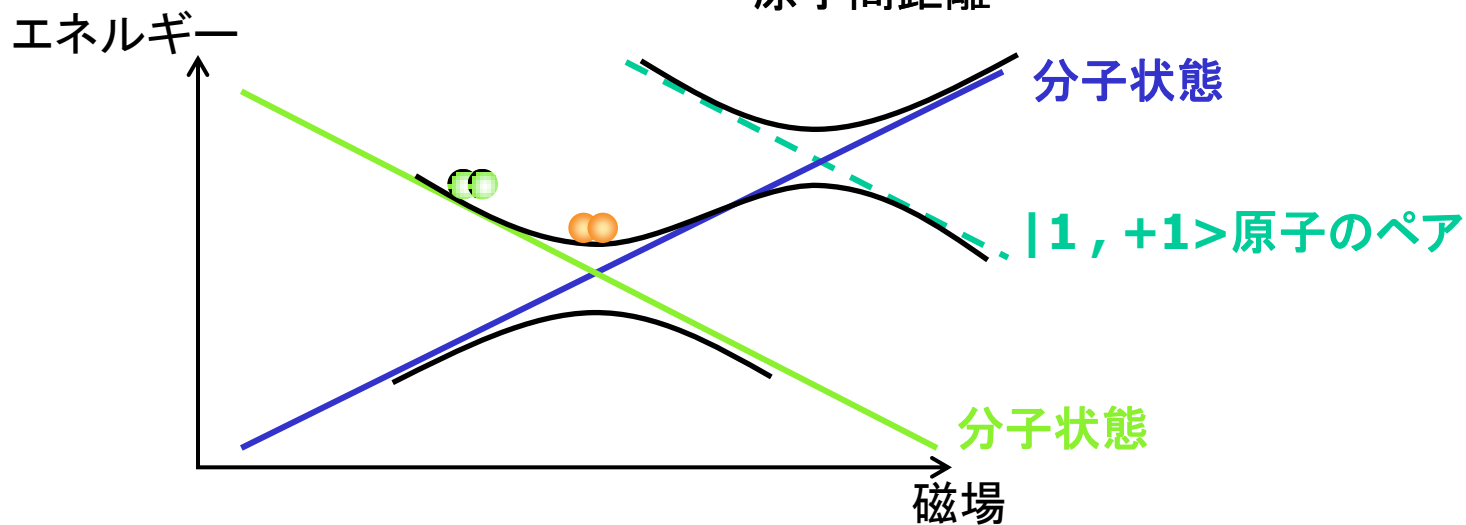
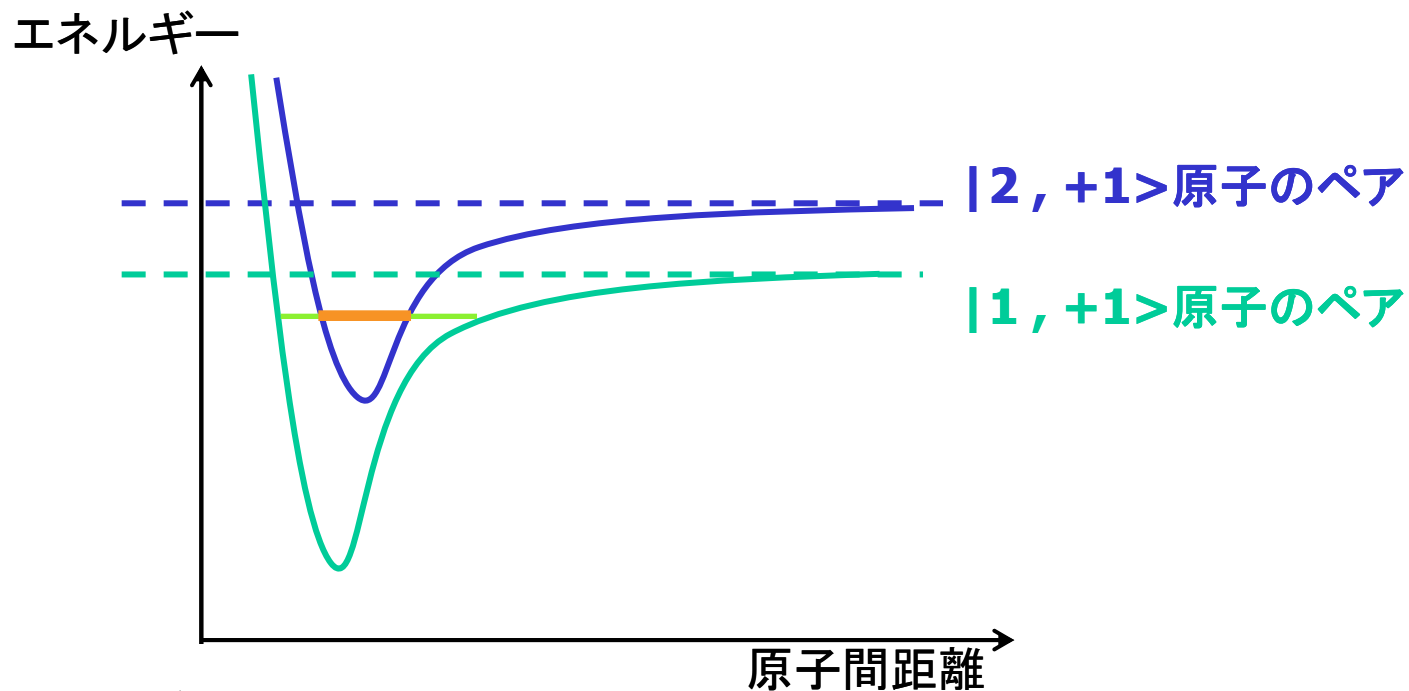
分子である事の更なる確認



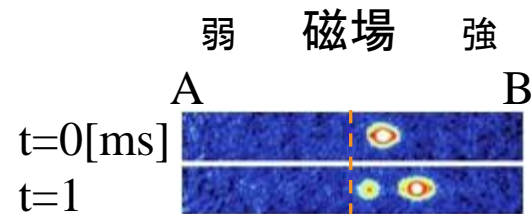
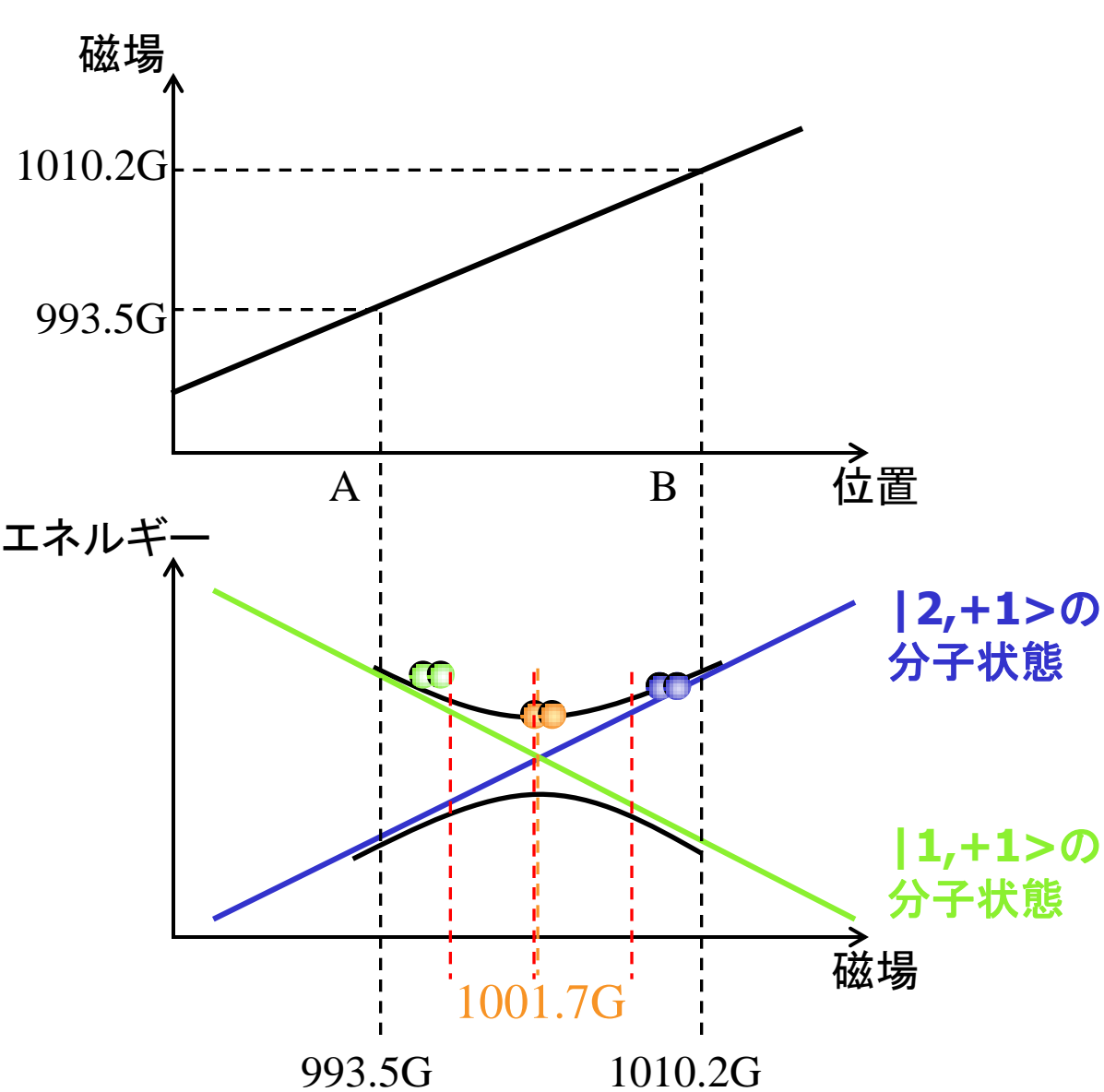
分子である事の更なる確認



分子である事の更なる確認



実験結果



1001.7G

まとめ

- ◆フェッシュバツハ共鳴で、原子BECを分子に変化させた。
- ◆勾配磁場によって、原子と分子を空間的に分離して撮影した。
- ◆勾配磁場の印加時間を変えて撮影することで、分子であったが故の振動が観測できた。