Bose-Einstein凝縮体の膨張と干渉効果

都立大理　小田研二

近年盛んに研究が進められている希薄な原子ガスでのBE凝縮では、原子半径に比べて原子間距離が長いため、粒子間の相互作用の弱い不完全Boseガスの凝縮として扱うことができる。また、空間的に有限な領域で凝縮しているために、粒子の運動量は良い量子数にはなっておらず、このために、束縛を解くと膨張を起こす。そして、BE凝縮の一般的な特徴として、巨視的な数の粒子がエネルギーの基底状態に凝縮しているため、コヒーレントな性質をもち、波束として扱うことができる。この性質により、凝縮体に干渉性が現われることが考えられ、実験で確認された。この研究では二つの凝縮体の膨張運動によって、干渉性を議論した。

凝縮体の運動は秩序変数$\psi(\boldsymbol{r},t)$によって記述され、その運動は非線形偏微分方程式であるGross-Pitaevskii方程式

$$i\hbar\frac{\partial\psi(\boldsymbol{r},t)}{\partial t}=-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\psi(\boldsymbol{r},t)+\frac{1}{2}m\omega_t^2\boldsymbol{r}^2\psi(\boldsymbol{r},t)+NU_0\left|\psi(\boldsymbol{r},t)\right|^2\psi(\boldsymbol{r},t) \tag{1}$$

に従うことが知られている。mは粒子の質量、ω_tは、閉じ込めポテンシャルの固有振動数、Nは凝縮体の粒子数を表わす。U_0は凝縮体同士の相互作用を表わし、

$$U_0=\frac{4\pi\hbar^2 a}{m} \tag{2}$$

と表わせられる。aはs波の散乱長である。この方程式を数値的に解くことによって、凝縮体の膨張解を求めた。

この膨張解から、$t=0$に距離dだけ離れた二つの凝縮体がそれぞれ自由に膨張する状況を仮定した。二つの凝縮体間の相互作用が小さいとして、二つの凝縮体の秩序変数をそれぞれの秩序変数の和

$$\psi_{total}=\psi_{left}+\psi_{right} \tag{3}$$

で表した。粒子の分布は、この二つの凝縮体の位相差によって干渉する（図. 1)。

干渉縞の間隔は干渉を起こしている粒子の運動量と関係づけることができる。計算の結果では粒子間の相互作用により、自由な膨張よりも運動量が小さくなっていることが分かった。

粒子間の相互作用の効果は、粒子間の斥力による加速の効果と、初期分布において波束が広がり、実効的な凝縮体間の距離がちぢむ効果の二つの効果に分けて

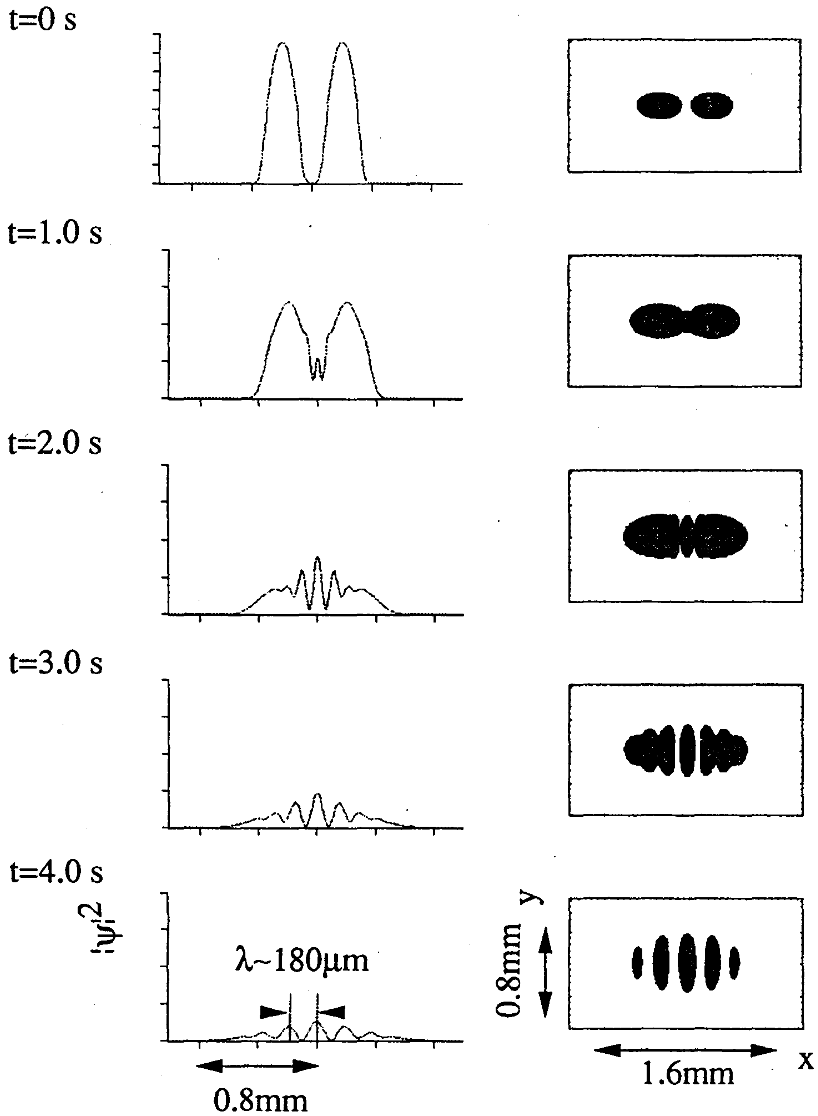

図 1: Na（粒子数 $N = 2.5 \times 10^6$）凝縮体の干渉。

考えることができる。膨張により凝縮体の密度は急速に小さくなり加速の効果は比較的小さい。つまり、第一近似ではフリーな膨張で表すことができる。二つの凝縮体が十分離れた状態では波束の広がりの効果の方が大きく、運動量の小さな粒子が干渉に寄与する。