

論文の内容の要旨

論文題目 ルビジウム原子気体のボース・アインシュタイン凝縮体の
生成および原子波干渉計への応用

氏 名 鳥 井 寿 夫

1995年、これまでのレーザー冷却技術の集大成として、原子気体のボース・アインシュタイン凝縮が実現された。原子気体のボース凝縮体は、単一の量子状態にマクロな数の原子が存在している。この状況は1つの共振器モードにマクロな光子が存在している光のレーザーと似ていることから、ボース凝縮体はしばしば“原子レーザー”と形容される。実際、これまでの実験でボース凝縮体が光レーザーと同じようなコヒーレンス特性を保有していることが確認されてきている。

このように、我々は今や「原子レーザー」を手に入れることができたわけだが、原子レーザーの応用は、これまで光のレーザーを用いて行われていた実験を、単に原子レーザーに置き換えて実行することだけに留まらない。光子と違って質量と豊富な内部自由度を持つ原子レーザーは、光のレーザーでは原理的に実現不可能であるような現象やデバイスを生み出す可能性を秘めている。そのような原子レーザーの応用実験を今後大きく進展させていくためには、これまで光レーザーのために開発されてきた種々の光学素子の「原子レーザー版」を開発していく必要がある。本研究では、光定在波によるボース凝縮体のブラッグ回折を利用して、ボース凝縮体のミラー、ビームスプリッターを開発し(図1)、さらにボース凝縮体によるマッハ・ツェンダー型干渉計を世界で初めて実現した(図2)。

本研究で実現されたボース凝縮体の干渉計は、凝縮体の極めて狭い運動量幅と長いコヒーレンス時間を反映して、ほぼ100%のフリンジコントラストを示した(図2(b))。これは原子波干渉計では、初めて得られた値である。しかし、今回の実験は、単なるコントラストの定量的な進歩ではない。原子ビームの干渉計が基本的に一原子干渉によるものである

のに対し、ボース凝縮体の干渉計ではマクロな数の原子が同時に干渉しているという点で、根本的に新しい実験である。

今回実現されたボース凝縮体のミラー、ビームスプリッターおよびブラッグ干渉計の応用は多岐にわたる。反射率を任意に調節できるビームスプリッターは、原子レーザーを用いた原子光学実験における非常に便利な道具となる。また、ボース凝縮体のブラッグ干渉計は、これまで光のレーザーを用いて行われていた重力加速度などの物理量の精密測定や、量子渦といったボース凝縮体の位相特性の観測などに応用できる。

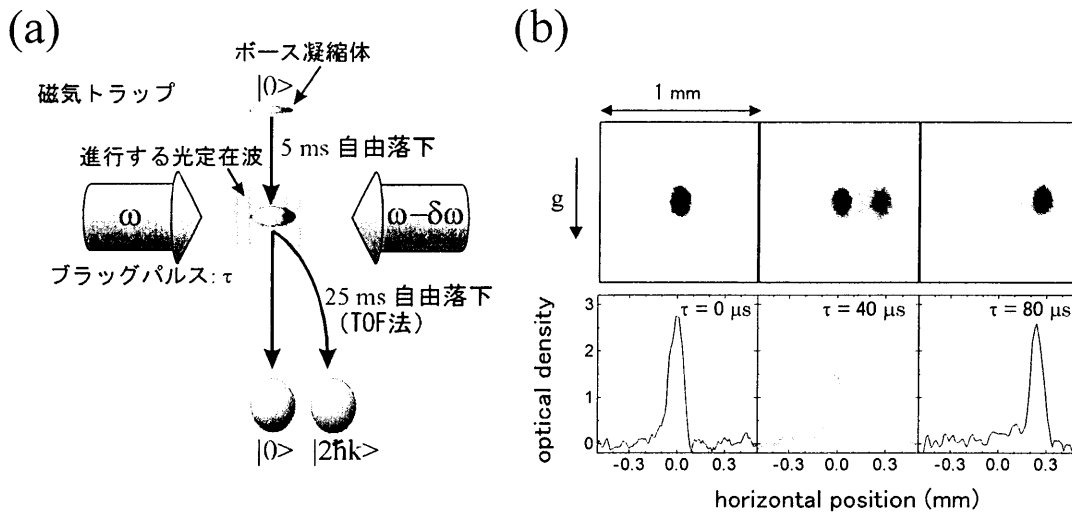


図1 (a)ボース凝縮体のブラッグ回折。周波数が 15kHz (2 光子反跳周波数) だけ違う対向するレーザー光 (ブラッグパルス) は、ボース凝縮体にとって進行する回折格子を生成する。(b)ブラッグパルス照射後から 20ms 後の吸収イメージング画像。中心と右側の斑点がそれぞれ $|p=0>$ と $|p=2\hbar k>$ の凝縮体に対応している。 $\tau=40\mu\text{s}$ ($80\mu\text{s}$) のとき、回折効率は 50% (100%) であり、ボース凝縮体にとって $\pi/2$ (π) パルスとなっている。

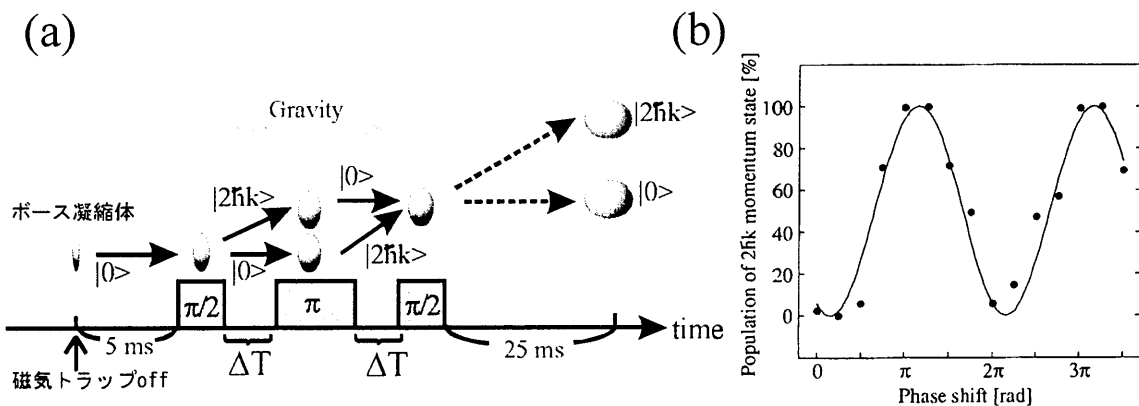


図2 (a)ボース凝縮体のマッハ・ツェンダー干渉計の構成するためのブラッグパルスのタイミングチャート。出力である $|0>$ と $|2\hbar k>$ の存在確率の比は、最後の $\pi/2$ パルスの位相で決まる。(b) $\Delta T=190\mu\text{s}$ (パスの分離が $2.2\mu\text{m}$) のときの干渉計のフリンジパターン。ほぼ 100% のコントラストが得られた。