

中性気体原子のボーズ凝縮体を用いた応用実験

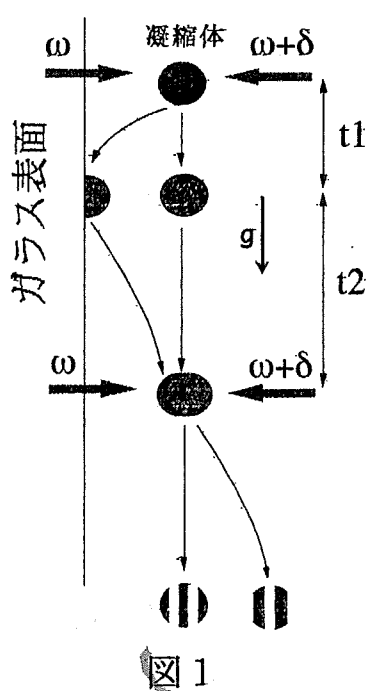
東大院総合 久我隆弘、上妻幹男、杉浦俊昭、東松修太郎

Application of Bose-Einstein condensates

T. Kuga, M. Kozuma, T. Sugiura, and S. Tohmatsu

Institute of Physics, University of Tokyo

中性気体原子のボーズ凝縮体は、高い空間コヒーレンスを持つ高密度の原子集団である。そのためこのボーズ凝縮体をなんらかの形で自由空間に射出したものを原子版のレーザー、すなわち原子波レーザーと呼ぶこともある。昨年度、我々のグループはこの凝縮体に対するミラーそしてハーフミラーを光定在波を用いることで実現した。それらの原子波光学素子を組み合わせることでマッハツェンダー干渉計や物質波増幅器をも実現した。しかしレーザー光を用いて原子波に対する光学素子を実現する場合、原子波の持つ優れた物理特性が、使用しているレーザーの持つ諸特性によって制限されることがよくおこる。例えば、熱原子（凝縮には至っていない冷却原子）干渉計を用いた精密測定では、レーザーの持つ周波数ノイズや強度ノイズが測定誤差を与えてしまう。従ってボーズ凝縮体に対して、「光を用いない真の光学素子」を実現することが非常に重要となってくる。ごく最近になって、電気通信大学の清水富士夫教授が冷却原子を固体表面で反射させることに世界で初めて成功した。固体表面にはファンデルワールス力、カシミア・ポルダーク力といった引力が働いており、古典的には原子が反射してくる可能性はゼロだが、量子論によれば原子は波として振舞うため、十分低速（ $\sim 1\text{mm/s}$ ）でありさえすれば、「引力ポテンシャルによる波の反射」がおこりうる。実際清水富士夫教授は数10%の反射を観測することに成功した。我々は、凝縮体を用いてこの量子反射を行うことで、反射の際に原子波の位相コヒーレンスが維持されているかどうかを確認する実験を進めている。具体的には図1に示されるように光ブラッグ回折を利用して凝縮体をコヒーレントに二つに分裂させる。一方がガラス表面によって量子反射をし、もう一つの凝縮体と空間的に重なりあったところで再び光を照射し、両者を混ぜ合わせる。量子反射において位相コヒーレンスが保たれていれば、二つの凝縮体が干渉をおこすはずである。凝縮体の空間位相面は、自由落下中に平均場によって回転をはじめめる。そのため、 t_1 と t_2 をわずかに違えておくと、干渉の結果図の



ような空間ビートがあらわれる。すなわち、たった一度の試行で量子反射の際の位相コヒーレンスが確かめられるわけである。実際にこうした実験を行うには、まず凝縮体を固体表面近傍まで移動させなければならない。我々はレーザー光を集光することで光トラップをつくり、凝縮体をそのトラップを用いて表面近傍まで移動することを考えている。ただし我々の計算によると、ルビジウム凝縮体の場合、3体非弾性衝突のためにトラップの寿命が100ms程度にまでしかのびない。ポテンシャルの深さを浅くすればよいと思うかもしれないが、実際には重力に抗して原子を支えなければならないため、ポテンシャルをそれほど浅くするのは難しく、したがって寿命は大きくのびない。我々はshaking optical trapというものを考案し、この問題を解決することにした。重力と水平方向にレーザーを高速でゆさぶることで、水平方向のトラップの曲率をさげ、3体衝突のレートをさげる。この方法を用いれば計算上は10s程度の寿命を獲得することが可能である。