

ボース凝縮体を用いたアトムチップ上での干渉計

堀越 宗一

原子干渉計の精度向上と可搬性を同時に実現可能な、捕獲ポテンシャル中での原子干渉計について、ボース凝縮体 (BEC) とアトムチップにより生成される磁場ポテンシャルを用い、長いコヒーレント時間の実現へ向けて研究された。本研究の焦点は、今日コヒーレント時間が制限されている主な原因である、磁場ポテンシャルと BEC 内の原子間相互作用が引き起こすディフェージングのメカニズムの解明と、この問題を克服できる新たな原子干渉計の提案、実現である。

BEC 干渉計の研究に当たり、アトムチップ上での高速で高効率な ^{87}Rb 原子の BEC 生成システムが開発された。従来の 6 ビーム磁気光学トラップに光誘起脱離法による Rb 原子の圧力操作を併用することにより、 3×10^7 個の冷却 Rb 原子が 1 秒で集められ、その冷却原子は高効率なローディング方法によりアトムチップの小さな磁場ポテンシャルに移行され、その十分大きな原子密度が高効率な蒸発冷却を実現した。結果 3×10^3 個の原子が 3 秒以内の全工程時間で BEC に至った。また最大個数が得られる条件では、 2×10^4 個の原子が BEC に至った。

生成された BEC を用いて、磁場ポテンシャル中でマッハツェンダー型干渉計を構成した。BEC のコヒーレントな分岐、反射は光の定在波によって引き起こされる原子のブラッグ回折を用いた。ディフェージングのメカニズムを調べるために、磁場ポテンシャルと原子密度に依存する干渉信号を詳細に調べた。その結果干渉フリンジの位相シフトとコントラスト低下が観測され、また干渉後の BEC の密度分布に空間的な干渉パターンが観測された。得られた信号を理論解析した結果、磁場ポテンシャルと BEC の原子間相互作用が BEC の波束全体に渡り不均一な位相差を与え、その結果ディフェージングが生じ干渉フリンジのコントラスト低下が引き起こされていることが定量的に説明された。この研究結果により、捕獲ポテンシャル下での BEC マッハツェンダー干渉計では、ディフェージングが避けられず長いコヒーレント時間を実現できないことが明らかになった。

そこでこのディフェージング問題を克服し長いコヒーレント時間を実現できる新しい干渉計を提案し実験を行った。調和振動ポテンシャル中で運動している波の振る舞いはその

振動周期に従うので、ブラッグパルスをポテンシャルの振動周期に合わせて与えることにより調和ポテンシャルが引き起こすディフェージングは原理的に完全にキャンセルすることができる。相互作用のある BEC においても調和ポテンシャル中においてはポテンシャルの周期に従い自由発展するためにこの原理を用いることができる。我々は BEC を用いてこの干渉計の検証実験を行ったところ、58ms の相互作用時間で 30% もの高い干渉FRINGEコントラストを得た。さらに 100ms もの長い相互作用時間においても、干渉FRINGEは外部振動により得られなかったが、空間コヒーレンスは依然保たれていることを確認した。得られたコヒーレント時間は捕獲ポテンシャル中でブラッグ回折を用いた BEC 干渉計において世界最長であり、1 秒以上のコヒーレント時間の実現も原理的に可能である。本研究によって実現された調和ポテンシャル中での原子干渉計は将来の高精度測定に向けて大きく貢献した。