

# 原子干渉計を用いたベリー位相の測定



盛永 篤郎

東京理科大学理工学部

球面上のある閉曲線に沿ってベクトルをぐるりと1周平行移動させると、元に戻ったベクトルは最初のベクトルと別の方向を向いてしまうことがある。このベクトルの向きの変化は閉曲線が囲む面の曲率と面積だけで決まる。これと同じことが量子系で起こることを1984年M. V. Berry (ベリー)が発見した。例えば、スピンを持った粒子に磁場を印加し、磁場の方向を回転軸周りに断熱的に1回転させると、スピンの波動関数の位相は最初の状態の位相と比べると、力やポテンシャルによる動力的位相とは別に、スピン量子数と立体角との積で決まる量だけ変化している。フェルミ粒子に印加する磁場を1回転させると波動関数の符号が反転するのもこの例である。

量子系に現れる幾何学的位相をベリー位相と呼ぶが、これまでにさまざまな量子系で干渉、偏光(極)を用いて検証された。それらには、ベリーの提案にあるスピン粒子の実空間での方向回転だけでなく、ポアンカレ球上の光の偏光状態の回転、ブロッホ球上の2準位粒子など実空間ではないパラメータ空間上での回転も含まれる。また、時間的に一定な回転は関与するスペクトルの周波数シフトを引き起こすことも見つけられた。さらに、理論的な研究は、ベリー位相の条件を非断熱過程、部分回転な

どを含む一般的条件のもとに拡張した。このように、発見から30年が経つ今日、ベリー位相は量子系では良く知られた現象となり、種々の量子物理現象との類似性が議論され、原子操作や光操作、量子演算などに応用されている。

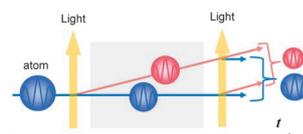
しかしながら、実験の立場からベリー位相を検証してみようとする、大きな動力的位相に埋もれて検出が難しい。そのため、多くの検証実験では動力的位相が現れにくい系を用いて行われる。これまで、中性子のスピンフリップや光の偏光状態変化によるパラメータ空間での測定が検証研究に用いられてきた。一方、原子系は豊富な磁気量子数の準位を持っているので、これらの準位を用いた原子干渉計は実空間での方向回転のベリー位相の測定に適している。しかも、符号の異なる $g$ 因子を持つ超微細構造準位間には、ゼーマン効果による磁場依存性がほとんど無い遷移がある。そこで、筆者は学生達と異符号の $g$ 因子を持つ状態間の遷移を使って原子干渉計を構成し、磁場の方向を回転させて生じるベリー位相の測定を行った。磁場の1回転後の位相シフト、磁場回転下での共鳴周波数シフト、部分回転位相などについて測定したので、その結果について紹介する。

## —Keywords—

### 原子干渉計：

物質波干渉計の1つで、原子を異なる方向(運動量)または異なる内部状態の重ね合わせ状態とし、空間的または時間的に発展させた後、同一の方向または状態に重ね合わせで干渉させ、位相差を測定する装置である。豊富な原子源と多様な構成があり、精密測定や量子現象の測定などに用いられる。

本研究で用いられる原子干渉計は冷却原子の基底と励起の2準位を利用するラムゼー型原子干渉計で、空間に捕捉した基底状態の原子に時間的に離れたコヒーレントな共鳴電磁波パルスで2回照射し干渉計を構成している。時間発展中2準位間に生じた位相差を励起確率の変化から測定する。光学での偏光干渉計に相当する。



### 原子系での $g$ 因子：

ボア磁気単位での磁気モーメントと $\hbar$ を単位とした角運動量との比。Landéの $g$ 因子とも言われ、弱い磁場のもとでのゼーマンエネルギー分裂の大きさに関係する。負電荷の粒子の $g$ 因子の符号は一般的に負であるので、原子物理学では、符号を反転して用いる。