

原子を冷やして投げ上げ精度向上

原子泉方式セシウム周波数標準器

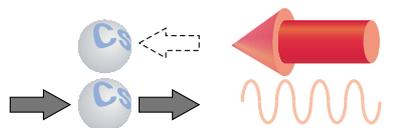
産総研では周波数一次標準器を開発し、保持している。周波数一次標準器とは時間標準のおおもとになる装置であり、その内部で発生させたマイクロ波の周波数をセシウム原子の遷移周波数と比較し、その差をマイクロ波の発生源にフィードバックすることで秒の定義と整合性のある信号を作り出している。マイクロ波の周波数とセシウム原子の遷移周波数の差は、マイクロ波と相互作用させた後のセシウム原子の遷移の様子から求めることができる。このとき、セシウム原子との相互作用時間が長いほどマイクロ波の周波数を高い分解能で得ることができるが、これまで外力のかからない状態でセシウム原子とマイクロ波との相互作用時間を長くすることは非常に困難であった。しかし近年、原子のレーザー冷却技術が確立されたことにより、今までにない長い相互作用時間が得られるようになった。

原子のレーザー冷却とは、原子の共鳴スペクトルを利用してその速度選択を行い、レーザー光に対向する速度成分のみを減少させる技術である。レーザー光を6方向から照射することにより、原子の熱運動を抑制（＝冷却）することができ、ついには原子を真空中で静止させることができる（図1）。

新しく開発された周波数一次標準器におい

ては、静止させた原子をレーザー光を利用し鉛直上方に投げ上げ、その後重力に引かれて落ちてくることを利用している。この結果、セシウム原子は放物運動を行う。（放物運動時の原子の軌跡が噴水の水の動きに似ていることから、これを利用する周波数一次標準器を「原子泉」方式と呼んでいる。）セシウム原子が投げ上げられて落ちてくるまでの間には、マイクロ波との相互作用領域に入って一度静止して自由落下するため、長い相互作用時間を得ることができるのである。

我々はこの原子泉方式の周波数一次標準器を使い、セシウム原子の遷移周波数付近でのマイクロ波の周波数と遷移確率の様子（ラムゼー共鳴）を観察し（図2。線幅は1Hz以下）、マイクロ波の安定化に成功している。従来方式の周波数一次標準器におけるラムゼー共鳴の線幅が100Hz程度であったことから、大幅な不確かさの低減と正確さの向上が期待できる。これまでに、積算時間 τ に対して $\sigma(\tau)=7 \times 10^{-13} \times \tau^{-1/2}$ の安定度が得られている。現在行っている周波数標準器からの出力である安定化されたマイクロ波と秒の定義との間のシフト量とその不確かさの推定作業の後、この標準器を用いてTAI（国際原子時）の校正を始める予定である。



a) レーザの周波数が原子の吸収線に近いとき
 ・静止していた原子は光を吸収して運動量を得る
 ・運動している原子は光を吸収しない



b) レーザの周波数が原子の吸収線より少し低いとき
 ・静止していた原子は光を吸収しない
 ・レーザーの進行方向と逆向きに運動している原子は光を吸収し、静止する

図1 レーザ冷却の原理

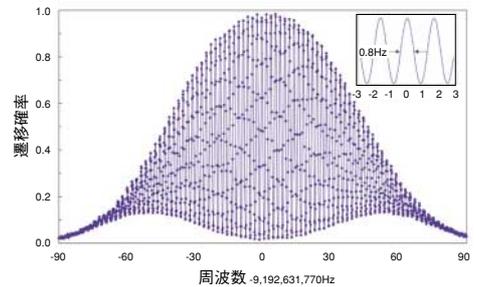
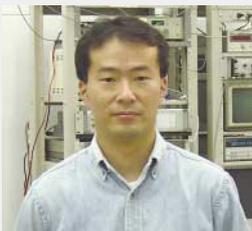


図2 原子泉方式周波数一次標準器で得られたラムゼー共鳴



ふくやま やすひろ
 福山康弘
 y.fukuyama@aist.go.jp
 計測標準研究部門

関連情報

● <http://staff.aist.go.jp/y.fukuyama/time/>