

リチウム原子超微細準位の対称 CPT 共鳴による磁場計測

兵庫県立大学 大学院 物質理学研究科

石川 潔

Atomic magnetometry using symmetric hyperfine CPT resonance of Li vapor

Graduate School of Material Science, University of Hyogo

Kiyoshi Ishikawa

ガラス容器中の蒸気相リチウム(Li)原子の分光により、我々は、緩衝ガスなどの原子衝突を調べている。前回、ヘリウム(He)ガス中では基底状態 ^7Li 原子($I = 3/2$)の Coherent Population Trapping (CPT) の線幅が狭い(450 Hz)ことを発表した。今回、その狭線幅を利用した磁場測定を報告する。光を変調するのみで振動磁場を加えない CPT 共鳴の簡便さをそのままに測定するため、静磁場でエネルギーシフトしない準位 $|F, m_F = 0\rangle$ に加え、シフトする準位 $|F, m_F = \pm 1\rangle$ を CPT に組込む必要がある。横磁場(光軸 \perp 磁場)の CPT 共鳴($\Delta F = 1, \Delta m_F = 0, \pm 1$)によりスピン歳差運動、つまり、磁場を検知した先行例がある。ここでは、縦磁場測定について述べる。

実験では、Li 金属と He ガスを封入した容器の温度を 300 ~ 380 °C の範囲で一定に保ち、磁気シールド内の静磁場(210 nT)と平行に、 D_1 線に共鳴する直交する 2 つの直線偏光を照射した。それぞれの光周波数($\nu_L \pm \nu_c/2$)の差 ν_c を掃引すると ν_{00} と $\nu_{\pm 1 \pm 1}$ のとき CPT 共鳴($\Delta m_F = 0$)が生じる。共鳴線 $\nu_{\pm 1 \pm 1} (= \nu_{00} \pm 2\nu_Z)$ は、ゼーマン周波数 ν_Z を介し磁場測定に使えるが、超微細分裂周波数 ν_{00} が緩衝ガス密度や温度に依存するので長時間安定性に欠ける。そこで、2 つの光周波数を $\nu_L \pm \{\nu_c + \nu_a \cos(2\pi\nu_m t)\}/2$ のように変調すると、 $\nu_c = \nu_{00}$ かつ $\nu_m = 2\nu_Z$ のとき、周波数差が ν_{00} , $\nu_{00} \pm 2\nu_Z$ の光により 3 つの CPT 共鳴が同時に生じる。透過光強度を参照周波数 $\nu_{\text{ref}} = \nu_m$ で位相検波すると、 y 位相出力

S_{1y} が ν_c を ν_{00} に安定化する誤差信号になる。さらに、周波数 $\nu_{\text{ref}} = 2\nu_m$ で検波すると、 x 位相出力 S_{2x} が磁場安定化信号になる。信号 S_{1y} により周波数 ν_c を安定化するので、温度変化などで信号 S_{2x} はドリフトしない。感度補正のため、振幅 20 nT の縦方向の振動磁場を加え、信号 S_{2x} の時間変化を時定数 1 ms で記録した。図 1 は、そのフーリエ変換である。今のところ、磁場感度は約 $100 \text{ pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ である。ガラス Li 容器は高温動作が特徴だが、Rb 原子を使った SERF 磁力計(約 5 桁高感度)などと比較しながら、現在の磁場感度について議論する。

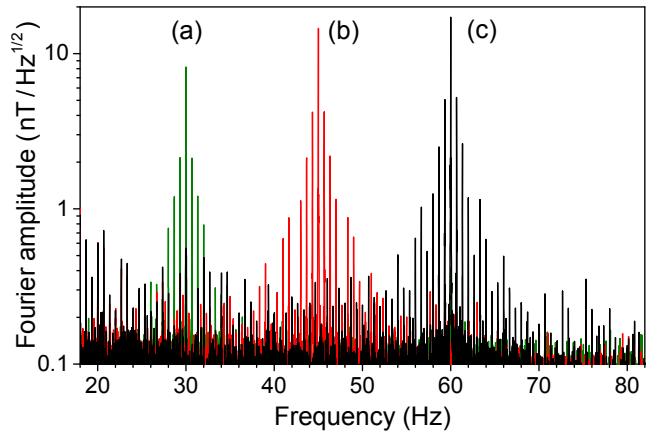


図 1. 振幅 20 nT の振動磁場を加えたときの時間波形 S_{2x} のフーリエ変換。(a) 温度 310 °C, 振動磁場周波数 30 Hz, (b) 350 °C, 45 Hz, (c) 370 °C, 60 Hz.