

原子泉型一次周波数標準器 NMIJ-F2 の開発 II

Development of the Atomic Fountain Primary Frequency Standard, NMIJ-F2, II

産総研計測標準, °高見澤 昭文, 柳町 真也, 田邊 健彦, 萩本 憲, 池上 健

NMIJ, °Akifumi Takamizawa, Shinya Yanagimachi, Takehiko Tanabe, Ken Hagimoto, Takeshi

Ikegami

E-mail: akifumi.takamizawa@aist.go.jp

一次周波数標準器の不確かさが低減されることにより、国際原子時の高精度化が進められてきた。また、近年急速な進歩を遂げている光格子時計などの光時計と現行の一次周波数標準器との高精度な比較が必要となっている[1]。こうした背景のもとに、我々は 1×10^{-15} 未満の不確かさを目指して原子泉二号器 NMIJ-F2 を開発している[2]。前回の講演会では、ラムゼーフリンジの観測、マイクロ波相互作用領域の磁場測定、および周波数安定度の評価などについて述べた[2]。現在は、局所発振器として冷却サファイア発振器を用いることによる周波数安定度の向上とともに、光シフトなどの除去可能な周波数シフトを無視できるレベルまで抑制する段階に進んでいる。本講演では、前回詳しく述べられなかった磁気副準位 $m_F = 0$ への光ポンピングによる検出原子数の増大[3]を含め、こうした NMIJ-F2 の開発の現状について報告する。

図 1 に NMIJ-F2 の装置の図を示す。真真空度 10^{-7} Pa 程度の真空装置内に互いに垂直な 6 方向から負離調のレーザを照射して光モラセスを形成し、冷却セシウム原子集団を生成する。そして、上下方向への冷却光の周波数に差を与えることによって冷却原子を打ち上げながら、偏光勾配冷却により温度 $1 \mu\text{K}$ まで低温度化する。その直後に、横方向から $F = 4 - F' = 4$ に共鳴する π 偏光のレーザパルス照射して、上基底状態 $F = 4$ の 9 つの磁気副準位にほぼ均等に分布する原子を $m_F = 0$ に光ポンピングする。その後、3 重の磁気シールド内に置かれた状態選択共振器での π パルス照射によって下基底状態 $F = 3$, $m_F = 0$ の原子を選択する。原子は約 1 m 打ちあがった後重力により下降するが、ラムゼー共振器において原子に対し上昇時と下降時にマイクロ波 $\pi/2$ パルス照射する。その後、検出領域において共鳴光を照射して蛍光観測し、2 度の $\pi/2$ パルスによる上基底状態への遷移確率を計測する。この遷移確率が最大となるように、ラムゼー共振器のマイクロ波にフィードバックする。

図 2 に、検出領域で観測される下基底状態の原子の数を、状態選択共振器のマイクロ波の周波数の関数として示す。ただし、この測定の際にはラムゼー共振器のマイクロ波をオフにした。また、 $0.4 \mu\text{T}$ の磁場により磁気副準位をゼーマン分裂させた。図 2 では各磁気副準位のポピュレーションが示される。通常約 11% の $m_F = 0$ のポピュレーションが、光ポンピングにより 67% に増加した。加えて、光ポンピングによる加熱で若干減少するものの、検出原子数は光ポンピングを行わない場合に比べて 4 倍になった。

[1] M. Yasuda et al., Appl. Phys. Express 5, 102401 (2012). [2] 高見澤昭文他、第 60 回応用物理学会春季学術講演会 28p-B7-3 (2013). [3] K. Szymaniec et al., Appl. Phys. B, to be published.

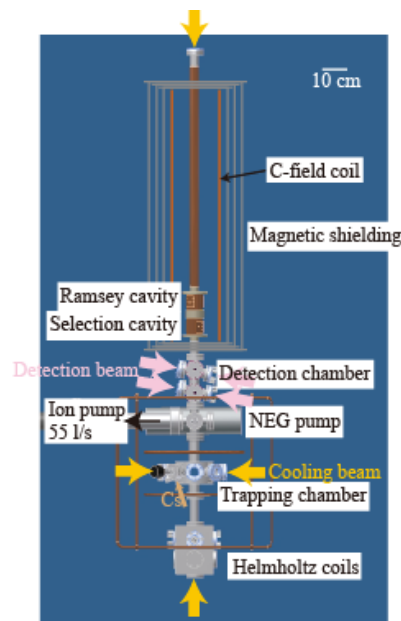


図 1 NMIJ-F2 装置図。

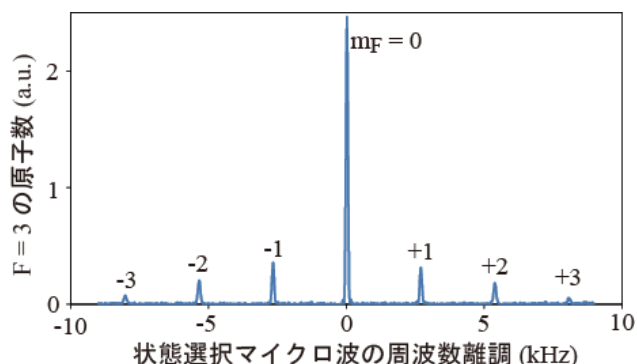


図 2 磁気副準位のポピュレーション