

真空紫外周波数コムによる精密分光実験

High precision spectroscopy with vacuum ultraviolet frequency comb

東大物性研¹, JST CREST² ○小澤 陽^{1,2}, 小林 洋平^{1,2}ISSP The Univ. of Tokyo¹, JST CREST², °Akira Ozawa^{1,2}, Yohei Kobayashi^{1,2}

E-mail: ozawa@issp.u-tokyo.ac.jp

2005 年にノーベル物理学賞の対象となった光周波数コムにより、高精度に光周波数を RF 標準と比較することができるようになり、原子や分子の精密分光実験に応用されてきた。モード同期レーザーを用いて発生される光周波数コムは、通常は、その波長領域が可視光や赤外波長域に限られていた。近年、さらなる短波長領域における光周波数コム応用を見据えて、コムを真空紫外領域にまで拡張する試みがなされてきた[1]。水素やヘリウムといった単純な原子は多くの紫外域の遷移を持ち、これらを精密に測定し理論計算と比較することで基本的な量子力学の検証実験となる。また、光周波数の高い紫外域の遷移は、将来的にはより高精度な時間標準（光周波数標準）として応用できると考えられる。さらには真空紫外域の冷却遷移を用いて今までにない原子種のレーザー冷却が可能になる可能性もある。2005 年に初めて紫外周波数コムの発生がなされて以来、真空紫外域の周波数コム分光は重要な目標であったが、ようやく最近最初の実証実験がなされた[2]。今回、我々は外部共振器内高次高調波発生過程を用いて紫外光周波数コムを発生し、Xe 原子の精密分光実験に応用した。ターゲットとなる遷移 ($5p^6 - 5p^56s$) は基底状態から第一励起状態への 1 光子吸収であり、ちょうど 7 次高調波の波長(147nm)に対応する。イッテルビウム(Yb)ドープファイバをゲイン媒質としたモード同期レーザーの出力をファイバー増幅器により 10W まで増幅し外部共振器を駆動した。Kr ガスをターゲットとして共振器内で高次高調波発生を行い紫外周波数コムを発生した (図 1)。紫外周波数コムは MgO を材質とした Brewster 板により共振器外部に取りだされ、精密分光実験用チャンバー内でターゲットとなる同位体分離された ^{132}Xe 原子ビームを励起する。ドップラー広がりを抑えるために、Xe 原子ビームは 2 段のスキマーにより十分にコリメートした。Xe 原子からの蛍光を光電子増倍管で光子数検出した。繰返し周波数を掃引し、紫外周波数コムの縦モードをターゲットとなる遷移の周辺でスキャンした結果、縦モード 1 本が遷移周波数に同調した際により強い信号が得られることが観測できた。この結果を図 2 に示す。この結果は、共振器内高調波発生によって得られた紫外周波数コムが精密分光を行うのに十分なコヒーレンス、安定度を保っていることを実証している。図 2 に示した 1 回の測定では、どのコム 1 本を用いて原子を励起したか不明であり、絶対周波数を決定することができない。これを解決するため、繰返し周波数を大きく変えた計 8 回の測定を行い、 ^{132}Xe ($5p^6 - 5p^56s$) の遷移周波数を 2039942.91(14) GHz と決定することができた。これはこの遷移に関して従来の測定精度を数十倍改善するものである。

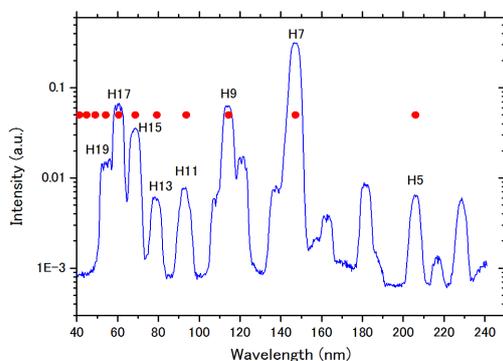


図 1. 真空紫外コムのスペクトル

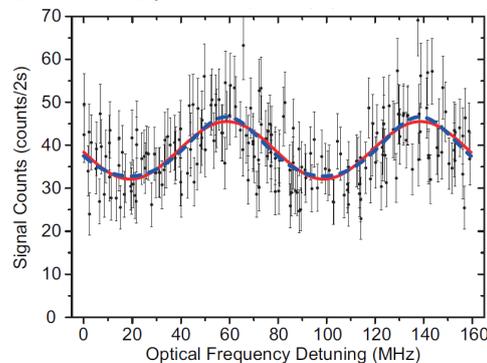


図 2. 縦モード一本による Xe 原子の励起

[1] A. Ozawa *et al.*, Phys. Rev. Lett. **100**, 253901 (2008).[2] A. Cingöz *et al.*, Nature. **482**, 68-71 (2012).