

様 式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19（共通）

科学研究費助成事業 研究成果報告書



令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：82626

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2021～2022

課題番号：21K20359

研究課題名（和文）イッテルビウムの431 nmの狭線幅遷移の探索

研究課題名（英文）Search for a narrow linewidth transition at 431 nm in ytterbium

研究代表者

川崎 瑛生（Kawasaki, Akio）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・計量標準総合センター・研究員

研究者番号：40896635

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000 円

研究成果の概要（和文）：微細構造定数の時間変化などに高い感度を持つとされるイッテルビウムの431 nmの狭線幅遷移を探索した。冷却原子を生成する系並びに431 nmの狭線幅レーザーを確立した。30 uKに冷却した原子に狭線幅のレーザーをその周波数をスキャンしながら照射することによって遷移を観測し、絶対周波数を10 kHz未満の精度で測定した。また、gファクターや超微細構造のような磁気的な性質も合わせて測定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで観測されていなかった狭線幅遷移を観測し、その絶対周波数を測定した。この測定は微細構造定数の時間変化や暗黒物質探索につながる成果であり、基礎物理の発展に寄与する。また、外場に対する感度の高い遷移であるため、この遷移と光格子時計を組み合わせることによって現在の世界最高精度の原子時計である光格子時計の精度をさらに向上させることが期待される。

研究成果の概要（英文）：We searched for a narrow-linewidth transition at 431 nm in ytterbium, which is predicted to be highly sensitive to the time variation of the fine structure constant. We established a system to laser-cool ytterbium atoms and a narrow-linewidth laser at 431 nm. The search was performed with shining the narrow-linewidth laser on to atoms cooled down to 30 uK, with the laser frequency scanned. We measured the absolute frequency of the transition with an accuracy less than 10 kHz and magnetic properties such as g factor and hyperfine structure.

研究分野：原子物理

キーワード：狭線幅遷移 微細構造定数の時間変化 同位体シフト 未知粒子の探索 暗黒物質探索

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

イッテルビウムは光格子時計に使われる原子の一つで、通常は 578 nm の狭線幅遷移が光格子時計の運用に用いられる。もう 1 つ 431 nm の狭線幅遷移の存在が理論的に予言されているが、これまでのところ実験的には観測されていない。本研究ではまず 431 nm の狭線幅レーザーを開発し、この光をレーザー冷却された原子に照射することによって狭線幅遷移の探索を行う。遷移を発見したら周辺で周波数をスキャンして中心周波数の絶対測定を行う。431 nm の遷移は微細構造定数の変化に対する感度が高い狭線幅遷移なので、基礎物理定数の時間変化の探索や同位体シフトを用いた未知のボソンの探索といった応用が期待される。

2. 研究の目的

本研究の目的は基礎物理への寄与を可能とする狭線幅遷移を探索することである。有望な遷移の探索はこの精密分光の第一歩となる極めて重要なステップとなる。Yb の 431 nm の遷移は理論的に複数の応用が可能であることが示唆されており、探索に値する遷移である。加えて、Yb の場合は 2 つ目となる時計遷移の探索となっており、これは既存の光格子時計の系と合わせることによって既存の光格子時計の運用に用いられる原子が置かれた環境を精密に測定することが可能となる。

3. 研究の方法

レーザー冷却した Yb 原子に 431 nm の狭線幅のレーザーを照射することによって探索される。431 nm の光は 862 nm のレーザーの周波数を第二高調波発生を使って倍にすることで得る。862 nm のレーザーはもともと線幅が狭く、周波数の tuning range が広いものとしてチタンサファイアレーザーを選んだ。狭線幅化はグループの保有する ULE キャビティにロックされて狭線幅化された周波数コムにロックすることによって行った。得られた 431 nm の光を 10 μ K 程度までレーザー冷却されてトラップされた Yb 原子に照射し、431 nm の遷移の探索を行った。遷移を発見したらその周波数周りでレーザーの周波数をスキャンしてシグナルの強さの周波数依存性を記録し、中心の周波数を決定した。合わせて磁場を印加し、磁気的な性質も測定した。

4. 研究成果

イッテルビウム 171 において、目的の狭線幅遷移を観測した。図 1 はそのスペクトルの例である。4 つの Zeeman sublevel がある遷移を中心に分光したため、十分に大きな磁場をかけると 4 つのピークが見える。この 4 つのピークの平均値が絶対周波数となる。絶対周波数を決定するにあたってはグループが保有する周波数コム並びに RF 周波数の基準 (UTC(NMIJ)) を用いるとともに、系統シフトの差し引き、系統誤差の見積もりを行った。

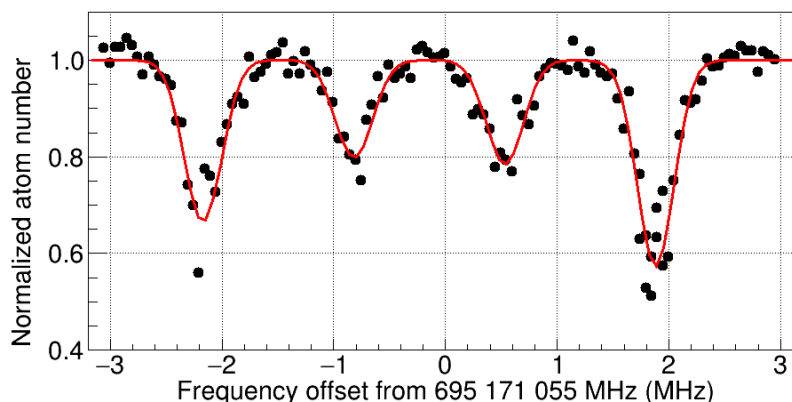


図 1 観測された 431 nm 遷移のスペクトルの例。

このような測定を複数回繰り返すことで絶対周波数が統計的に揺らいでいないことを確認した。その周波数は 695 171 054 858.1(8.2) kHz と決定された。加えて、磁気的な性質も測定した。g ファクターは $g_J=1.54(13)$ と決定された。ここまでは $F=3/2$ の超微細構造を用いて特徴づけが行われたが、 $F=5/2$ の超微細構造についても絶対周波数を決定した。これを用いて、超微細構造

を特徴づける A 係数を 1123.273(13) MHz と決定した。

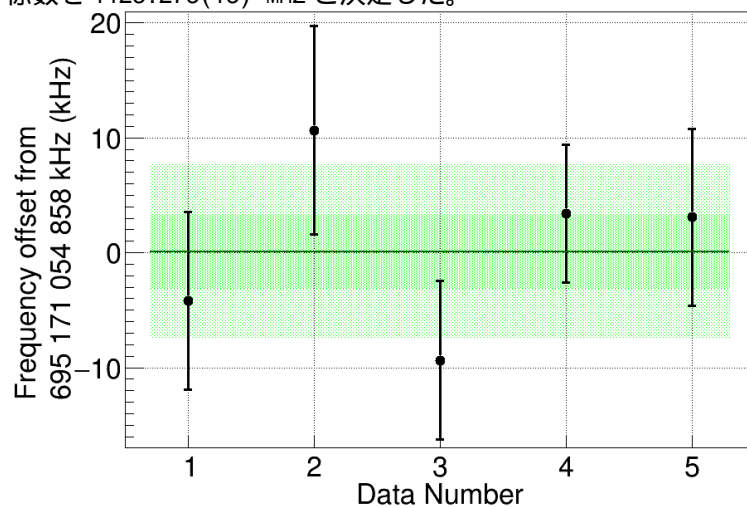


図 2 絶対周波数の測定結果緑の線が得られた平均値、濃い帯は統計不確かさ、薄い帯は系統不確かさを含めた総不確かさを表す。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1 . 著者名 Akio Kawasaki , * Takumi Kobayashi , Akiko Nishiyama , Takehiko Tanabe, and Masami Yasuda	4 . 巻 107
2 . 論文標題 Observation of the 4 f 146s2 1S0-4 f 135d6s2(J = 2) clock transition at 431 nm in 171 1 Yb	5 . 発行年 2023年
3 . 雑誌名 Physical Review A	6 . 最初と最後の頁 L060801
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevA.107.L060801	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1 . 発表者名 Akio Kawasaki
2 . 発表標題 Search for the 4f146s2 1S0-4f135d6s2(J=2) transition in Yb towards a search f or the time variation of fine structure constant
3 . 学会等名 53rd Annual Meeting of the APS Division of Atomic, Molecular and Optical Physics (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Akio Kawasaki
2 . 発表標題 Observation of the 4f146s2 1S0-4f135d6s2(J=2) transition at 431 nm in ytterbium
3 . 学会等名 54th Annual Meeting of the APS Division of Atomic, Molecular and Optical Physics (国際学会)
4 . 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

川崎瑛生のウェブページ
<https://staff.aist.go.jp/akio.kawasaki/JPN.html>

6．研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------