

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24550013

研究課題名(和文) 分子光解離で生成した”もつれ”励起原子対からの蛍光放出促進機構の解明

研究課題名(英文) The promotion of the fluorescence emission from the excited photofragments

研究代表者

穂坂 綱一 (Hosaka, Kouichi)

東京工業大学・理工学研究科・助教

研究者番号：00419855

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円

研究成果の概要(和文)：水素分子にエネルギー30eVの真空紫外光子を照射し光解離させると、磁気量子数のもつれた励起2p原子ペアが生成する。この2p原子ペアからの2光子放出過程において、その放出角度相関と検出時間相関に顕著な圧力効果が見られ注目を集めていた。それらの圧力効果が”もつれ”の喪失で説明できるであろうという仮説のもと、両者の関係解明を目的に研究を開始した。

しかし、検出器と計数系の更新を進めた結果、この圧力効果が”もつれ”の喪失とは関係のない、宇宙線ミュオンの影響で説明できることが明らかになった。宇宙線ミュオンの影響を無視できる条件で再測定したところ、従来の圧力範囲では圧力効果が見られなかった。

研究成果の概要(英文)：A pair of H(2p) atoms produced in the photodissociation of H<sub>2</sub> is potentially entangled. The promotion of the fluorescence emission from 2p to 1s state was pointed out from the time difference measurements of the pair of photons. The purpose in this work was to clarify the mechanism of the promotion of the fluorescence emission.

However, with improvement of the quality of measurements, we have noticed that our coincidence signals were contaminated by the unexpected false coincidences originated from cosmic muons. The promotion of the fluorescence emission was not reproduced under the more confidential conditions.

研究分野：物理化学

キーワード：光解離 もつれ 水素分子

1. 研究開始当初の背景

- (1) 1990年代以降、量子情報処理への期待と共に“もつれ”た物質の研究は急速に発展した。更に最近では、量子シミュレーターや高分解能分光といった新しい応用も生まれている。原子やイオンの“もつれ”の大半は、孤立粒子を空間的に近づけ操作し引き離すことで生成されていた。
- (2) 図1に示すようなH<sub>2</sub>分子の光解離により生成するH原子対では、相対距離が100μm離れても電子状態間の非局所的な相関、“もつれ”が保持されていること、また、同時に蛍光放出の時定数が原子単独の寿命の約半分に短くなることを示唆する実験結果が見出された。

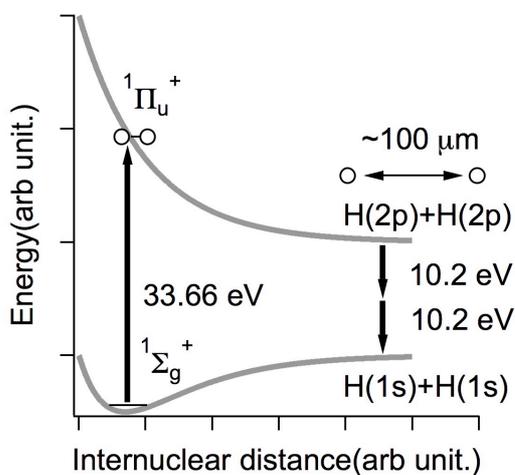


図1 水素分子の光解離

- (3) この蛍光放出促進を説明する理論はなく、“もつれ”の役割は不明であった。この新奇な電子励起状態変化過程の起源を解明することを通じて、そこで得た知見を基に“もつれ”を利用した新しい量子状態制御技術の開発に繋がることが期待された。
  - (4) (2)の実験においては、励起 2p 水素原子ペアから放出される 2p → 1s 蛍光 (Lyman-α 蛍光) ペアの放出角度相関、および、検出時間差の頻度分布測定により、(1)のような“もつれ”と蛍光放出時定数の相関を議論していた。しかし、放出角度相関で測定されていた、検出器の配置も限定的であり、検出時間差の測定における時間分解能も不十分なものであった。
2. 研究の目的

放出角度相関や検出時間差測定における計測条件を広げて測定を行うことにより、上記の“励起原子ペアのもつれ”の有無、お

よび、その“もつれ”と相関があるようにみえる蛍光放出促進過程の解明を研究の目的とした。

3. 研究の方法

- (1) 実験は高エネルギー加速器研究機構放射光施設の真空紫外光ビームラインBL-20A, および BL-28B で行った。水素ガスを満たしたガスセルに波長 33.66eV の直線偏光を導入し、ダイポール面に配置した2つの光子検出器(偏光ベクトルからのなす角  $\Theta_c$ ,  $\Theta_d$ )で同時計数した。
- (2) 従来の測定では、2つの検出器の相対角は  $\Theta_d = \Theta_c + 180^\circ$  に限定されていたが、二つの検出器を真空槽中で独立に回転させる機構を導入し、より多くの角度条件で放出角度相関を測定できるようにした。
- (3) 従来の測定では2つの検出器の検出時間差のみを Time to Amplitude Converter (TAC) で計測していたが、光励起から蛍光放出までの時間差も合わせて測定するために、マルチチャンネルの Time to Digital Converter (TDC) に計数系を更新した。
- (4) Lyman-α 蛍光を選択的に検出するため、光子検出器としては、Micro channel plate (MCP) 検出器に、短波長フィルターでもある MgF<sub>2</sub> 窓を組み合わせで使用している。従来は通常 MCP 検出器を使用していたが、10eV とエネルギーの低い Lyman-α 光子の検出効率は1%と低く、得られた放出角度相関の実験誤差は大きかった。MCP 検出器の表面に CsI を塗布することにより、検出感度を10倍増感させ、同時計数率を100倍あげることにより、信頼性の高いデータを得た。

4. 研究成果

- (1) 信頼性の高いデータが取れるようになった結果、従来測定されていた放出角度相関は宇宙線ミュオン由来のバックグラウンドの影響を受けていることが明らかになった。
- (2) 宇宙線ミュオン由来のバックグラウンドの影響を無視しうる実験条件で行った再測定では、蛍光放出促進過程は見られなかった。この結果を Physical Review A 誌に公表した[文献 1]。
- (3) 実測した光子対の放出角度相関を、原子ペアが“もつれている”場合、及び“もつれていない”場合の理論予測と比較したところ、図2, 3に示すように、“もつれている”場合の理論予測と定性的には

一致したが、定量的な食い違いがみられた。

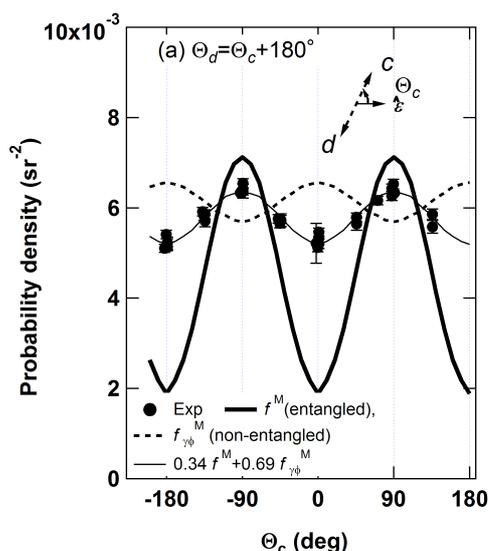


図2 光子ペアの放出角度相関(対向配置)

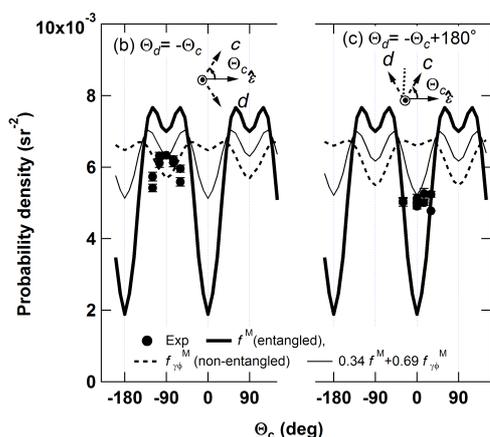


図3 光子ペアの放出角度相関(非対向配置)

- (4) 図2に示した対向配置の実験結果のみは、図中にも示した”もつれている”場合の理論予測と”もつれていない”場合の理論予測の線形和で再現できたが、図3を含む3配置の全てを再現しうる線形和の組み合わせは存在せず、”もつれ”が部分的に壊れているのではないことが明らかになった。
- (5) また、放出角度相関にガスセル内圧力依存性が無いことから、“もつれている”予測と実験の定量的な不一致の原因が衝突による“もつれ”の劣化によるものでないことも明らかにした。
- (6) 更に、上記の不一致の原因を究明するためにHDからの光子対放出角度相関測定を行った。ボルンオッペンハイマー近似の下ではHDの波動関数は、電子の交換

に関しては対称性を持つが、原子核の交換に対しては対称性を満たす必要が無い。波動関数の対称化の要請が原子ペアの波動関数に及ぼす影響を検討するため、原子核の交換に対する対称性の影響が要請されるH<sub>2</sub>と要請されないHDの放出角度相関を比較した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Yuko Nakanishi, Kouichi Hosaka, Ryoko Kougo, Takeshi Odagiri, Motoyoshi Nakano, Yoshiaki Kumagai, Kennichi Shiino, Masashi Kitajima, and Noriyuki Kouchi “Angular correlation of a pair of Lyman- $\alpha$  photons produced in the photodissociation of H<sub>2</sub>”, 査読有、*Physical Review A* 043405, 90 (2014). DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevA.90.043405>

[学会発表] (計 6 件)

- ① 穂坂綱一, 「H<sub>2</sub>とD<sub>2</sub>の光解離による2p原子ペア生成断面積の絶対値測定」日本物理学会 第70回年次大会、2015年3月21-24日、早稲田大学早稲田キャンパス(東京)
- ② Kouichi Hosaka, “Angular correlation of a pair of the Lyman- $\alpha$  photons produced in the photodissociation of H<sub>2</sub>” 原子衝突学会 第39回年次大会、2014年10月4-6日、東北大学片平キャンパス(仙台)
- ③ Kouichi Hosaka, “An extensive measurements of the angular correlation of a pair of the Lyman- $\alpha$  photons produced in the photodissociation of H<sub>2</sub> at high pressures” 第30回化学反応討論会、2014年6月4日-6日、イーグレ姫路(兵庫県姫路市)
- ④ 椎野健一 「H<sub>2</sub>とD<sub>2</sub>の光解離による2p原子ペア生成の断面積」日本物理学会 第69回年次大会、2014年3月27-30日、東海大学湘南キャンパス(神奈川県平塚市)
- ⑤ 仲西 祐子, 「水素分子の光解離により生成するLyman- $\alpha$ 光子ペアの角度相関関数」第7回分子科学討論会 2013 京都、2013年9月24-27日、京都府民総合交流プラザ(京都府京都市)

- ⑥ 向後陵子,  
「水素分子の光解離により生成する  
Lyman- $\alpha$  光子対の角度相関関数測定」  
日本物理学会 2013 年春季大会, 2013  
年 3 月 26-29 日, 広島大学 (広島県東  
広島市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

穂坂 綱一 (HOSAKA Kouichi)  
東京工業大学 大学院理工学研究科 助教  
研究者番号: 00419855