ポジトロニウムのレーザー冷却の実証実験

<u>田島陽平</u>,山田恭平^A,魚住亮介,石田明^A,難波俊雄^B, Randall W. Gladen^A, 浅井祥仁^A,五神真^A,大島永康^C,オロークブライアン^C,満汐孝治^C,伊藤賢志^C, 鈴木良一^C,兵頭俊夫^D,望月出海^D,和田健^D,蔡恩美^E,周健治,吉岡孝高



日本物理学会 2022年秋季大会

岡山理科大学: 7pA431-7

ポジトロニウム(Ps)とは



- 反粒子を含むレプトンのみで構成された水素様原子
- o-Psの寿命は142 ns
- ・ 質量は電子2個分 (mc² = 1022 keV)



Psの冷却への期待

1S-2S遷移周波数の精密測定



[1] S. Chu et al., Physics Review Letters, 52, 1689 (1984)
[2] M. S. Fee et al., Physics Review Letters, 70, 1397 (1993)







レーザー冷却の原理



脱励起時の速度変化の平均は $0 \rightarrow$ リコイル速度は $rac{\hbar\omega}{mc}$

(リコイル速度の例) Rb:5.9×10⁻³ m/s Ps:1.5×10³ m/s

Psのレーザー冷却における課題



300 Kから10 Kに到達するまでの 冷却cycleは50回程度













冷却光源の概観(2.0 m×1.1 m)





中心周波数: 1S-2P 遷移周波数 – 200 GHz
 パルス幅: > 300 ns
 ・パルスエネルギー: 1 mJ
 ・全体のスペクトル幅: 200 GHz
 ・チャープレート: ± 42 GHz/μs

加速器施設における冷却実験の準備



高エネルギー加速器研究機構 (KEK)

<u>Psの生成方法</u>

陽電子バンチ 10⁴ e⁺, 5 keV, 50 Hz e⁺ Ps

> Ps生成材料 (シリカエアロゲル)



陽電子バンチ

真空チャンバー

加速器施設における冷却実験の準備





ーザーブース



1S状態のポジトロニウムの検出方法



過去の1S状態のポジトロニウムの検出方法



励起信号量 = Ps原子数 × 励起確率 × ガンマ線検出効率

Psの存在しない時間領域に追加で紫外光を照射した場合ガンマ線検出効率が変化した →表面電位計の測定により紫外光でミラーが帯電することが判明

改良した1S状態のポジトロニウムの検出方法

真空チャンバー内部の実験系



レーザーとの相互作用領域の上下に タングステンメッシュを用意し メッシュとサンプルホルダーに電位を与え 電離陽電子を素早くガンマ線へ崩壊させる

■ ガンマ線検出器の平均波形の差分から励起信号を検出







本発表のまとめ

- Psは世界初の反物質を含んだ系におけるBECの最有力候補
- レーザー冷却は100 K以下までPsを高速冷却するための有望な方法

Psのレーザー冷却に必要な要素

- 1. 広いドップラー幅とに対応した広帯域かつ周波数チャープをもつレーザー
- 2. Psの寿命と同程度に長いパルス幅

結果

- Psの効果的な冷却に必要な機構を全て兼ね備えた
 <u>プロトタイプ機の冷却レーザーの開発に成功し、冷却実験に着手した</u>
 - 1. 短パルス列で構成された300 nsの長いパルスエンベロープ
 - 2. 全体で200 GHzに亘るスペクトル幅
 - 3. 高速なチャープレート (±42 GHz/µs)

今後の展望

- 冷却実験の結果を説明するための シミュレーションの構築
- 更なる冷却の効果をみるための
 レーザーのアップグレード



※本研究の一部は

創発的研究支援事業JP-MJFR202L、科研費JP16H04526、JP17H02820、JP17H06205、JP17J03691、JP18H03855、JP19H01923、JP20K05357、 公益財団法人松尾学術振興財団、公益財団法人三豊科学技術振興協会、公益財団法人、光科学技術研究振興財団、公益財団法人、三菱財団、 TIA 連携プログラム探索推進事業「かけはし」TK17-046、TK19-016、【文部科学省光・量子飛躍フラッグシッププログラム(Q-LEAP)】 JPMXS0118067246の助成を受けたものです。

本発表のまとめ

- Psは世界初の反物質を含んだ系におけるBECの最有力候補
- レーザー冷却は100 K以下までPsを高速冷却するための有望な方法

Psのレーザー冷却に必要な要素

- 1. 広いドップラー幅とに対応した広帯域かつ周波数チャープをもつレーザー
- 2. Psの寿命と同程度に長いパルス幅

結果

- Psの効果的な冷却に必要な機構を全て兼ね備えた
 <u>プロトタイプ機の冷却レーザーの開発に成功し、冷却実験に着手した</u>
 - 1. 短パルス列で構成された300 nsの長いパルスエンベロープ
 - 2. 全体で200 GHzに亘るスペクトル幅
 - 3. 高速なチャープレート (±42 GHz/µs)

今後の展望

- 冷却実験の結果を評価するための
 - シミュレーションの構築
- 更なる冷却の効果をみるための レーザーのアップグレード → (9/14 午後)領域1: 14pW933-1

※本研究の一部は

創発的研究支援事業JP-MJFR202L、科研費JP16H04526、JP17H02820、JP17H06205、JP17J03691、JP18H03855、JP19H01923、JP20K05357、 公益財団法人松尾学術振興財団、公益財団法人三豊科学技術振興協会、公益財団法人、光科学技術研究振興財団、公益財団法人、三菱財団、 TIA 連携プログラム探索推進事業「かけはし」TK17-046、TK19-016、【文部科学省光・量子飛躍フラッグシッププログラム(Q-LEAP)】 JPMXS0118067246 の助成を受けたものです。