### ボース・アインシュタイン凝縮実現のための ポジトロニウム冷却

<u>石田明(1)</u>,

本研究はJSPS科研費 JP16H04526, JP17H02820, JP17H06205, JP17J03691, JP18H03855, JP19H01923, 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の助成を受けたもの です。 <u>https://tabletop.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/</u>

令和元年12月5日

2019/12/05 京都大学複合原子力科学研究所専門研究会「陽電子科学とその理工学への応用」

目次

- ポジトロニウム (Ps) のボース・アインシュタイン凝縮 (BEC) の目的:
   世界初の反物質レーザーの有力候補
- Ps-BEC 実現スキーム
- 243 nm 紫外レーザー照射によるPs の 1S-2P 遷移実験

# 目標:ポジトロニウムのボース・ アインシュタイン凝縮 (Ps-BEC)

- Ps は<mark>高密度</mark>かつ<mark>冷たい</mark>必 要
- Psは軽いので転移温度が 高い (10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup>で 14 K)
- <mark>反物質系初のBEC</mark>の最有 力候補の一つ
- BECは「原子のレーザー」なので、我々は世界初の反物質レーザーを実現し、コヒーレンスを活かした新しい実験を行いたい。
   (例)反物質重力測定、511keV ガンマ線レーザー実現



# 2つの課題: Psの高密度化と高速冷却

#### 最大の問題

Ps は寿命が142 ns と短い

#### 2つの課題

- 1. 瞬間的な高密度 Ps の生成 < 50 ns で > 10<sup>17</sup> cm<sup>-3</sup>
- 2. Psの高速冷却

~300 ns で < 10 K に冷却

#### <u>我々の新しいアイデア:</u> <u>3要素技術を組み合わせてPs-BECを実現</u>

## Ps-BEC 実現の新しいアイデア

1. 陽電子集束システム





![](_page_6_Figure_0.jpeg)

2019/12/05

![](_page_7_Figure_0.jpeg)

![](_page_8_Picture_0.jpeg)

レーザーのサイズに合わせるため 陽電子を 3 mm まで集束した。

2019/12/05

パルス幅

ビームサイズ

16 ns

**Φ~10 mm** 

![](_page_9_Figure_0.jpeg)

## まずは真空中でのPsレーザー冷却を行う

● 紫外光を2.5°入射、25回反射してPsの飛行領域に光 を充満させ、Psと光の相互作用時間を確保する

![](_page_10_Figure_2.jpeg)

![](_page_11_Picture_0.jpeg)

シリカエアロゲル表面から飛び出したPs に波長 243 nm, パルス幅 3 ns の <u>紫外レーザーを照射して Ps を 2P に励起</u>。 同時に照射した波長 532 nm, パルス幅 3 ns の <u>緑レーザーで電離</u>させた。

![](_page_12_Figure_1.jpeg)

(1) 243 nm 紫外レーザーを照 射して Ps を 2P に励起
(2) 2P 状態の Ps のみ、532 nm 緑レーザーの照射に よって電離 (Ps→e<sup>+</sup> + e<sup>-</sup>)
> 陽電子が周囲の物質中の電 子と消滅し、ガンマ線が検 出される。

この遷移曲線の幅 (ドップラー拡がり)で Ps 温度を測定

#### KEK 低速陽電子実験施設 (KEK-SPF) での 実験セットアップ (2019年11月)

![](_page_13_Figure_1.jpeg)

# 真空チャンバー内(ガンマ線検出器側から)

![](_page_14_Picture_1.jpeg)

![](_page_14_Picture_2.jpeg)

![](_page_14_Picture_3.jpeg)

ミラー1 表面: UV域強化 アルミニウム 基板: 合成石英 陽電子

ミラー2

# 真空チャンバー内(ガンマ線検出器側から)

![](_page_15_Picture_1.jpeg)

# 真空チャンバー内(ガンマ線検出器側から)

![](_page_16_Picture_1.jpeg)

![](_page_17_Figure_0.jpeg)

### ドップラー温度測定に成功 エアロゲル表面から放出された Ps の温度は 1600 K

![](_page_18_Figure_1.jpeg)

#### https://tabletop.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/ まとめ

1. Ps-BEC 実現の新し いアイデアとして3 つの開発要素から なるスキームを提 案した。

2. 2P-Ps はシリカエア ロゲル空孔内で瞬 時に消滅した。

![](_page_19_Figure_3.jpeg)

![](_page_19_Figure_4.jpeg)

3. シリカエアロゲル表面から放出される Psの1S→2P→電離によるドップラー 温度測定に成功した。

![](_page_19_Figure_6.jpeg)