#### ボース・アインシュタイン凝縮を目指した 高密度・低温ポジトロニウム生成

東大理,東大素セ<sup>A</sup>,東大工<sup>B</sup>,産総研<sup>C</sup>,九大GIC<sup>D</sup>,高工研<sup>E</sup>,量研<sup>F</sup>,原子力機構<sup>G</sup>



本研究はJSPS科研費 JP16H04526, JP17H02820, JP17H06205, 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、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。

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

令和元年9月12日

2019/09/12



日本物理学会2019年秋季大会@岐阜大学柳戸キャンパス

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







2019/09/12



▶ これらの現象があると Ps レーザー冷却が困難になる。 我々独自のシリカエアロゲルサンプル(空孔径 50 nm)でテストした。



- <u>(2') 過去の報告のように空孔中での</u> <u>2P-Ps の寿命が短ければ…</u>
- ▶ ガンマ線への消滅率が上昇する。

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



エネルギー	5 keV
ビーム強度	10 <sup>5</sup> e⁺/ pulse
繰り返し	50 Hz
パルス幅	16 ns
ビームサイズ	Φ <b>~</b> 10 mm



真空チャンバー

レーザーのサイズに合わせるため 陽電子を 4 mm まで集束した。

10



- エアロゲル
- 密度 0.1 g cm<sup>-3</sup> 空孔径 50 nm 厚さ 0.5 mm



10'



400.4 / 366

129.9 + 1.1

Time (ns)

2.276e+04 ± 2.858e+02

0.1042

 $\chi^2$  / ndf

0 const

Prob

CVD膜厚 75 nm

Counts (/1.6ns) 10<sup>6</sup> 1 life 0.0003403 ± 11.2486916 2\_flatBG 10<sup>5</sup>  $\tau = 129.9 \pm 1.1$  ns | = 13% 10<sup>4</sup> 50 nmの空孔径で期待される寿命 10<sup>3</sup> 高いPs生成率 (止まった陽電子のうち50%) 10<sup>2</sup> 100 200 300 400 500 600 700 0 ▶ 期待通り、空孔中に飛び出したの Psが得られている

<sup>22</sup>Naを用いた t 1 mm シリカエアロゲルの バルクPALS測定タイミングスペクトル 11



仕様

パルスエネルギー	300 µJ
243nmでの線幅	0.06 nm
ビーム径	5 mm
時間幅	3 ns
繰り返し	10 Hz





↑ ← レーザー周りの様子

OPOは岡山大学吉村研究室より お借りしました。 ご厚意に感謝します。

#### エアロゲルではPsからの崩壊ガンマ線が 遅い成分として見える



# 2P状態はすぐガンマ線に崩壊する



2P状態はすぐガンマ線に崩壊する



300 µJの紫外レーザーだけで2P状態がガンマ線に崩壊している 2P状態のガンマ線崩壊寿命が短い

# 遷移の共鳴幅が広い (1 nm) 寿命または他の理由?



### 次のステップ: 真空中での Ps レーザー冷却

Ps-BEC を実現するために我々が考えている Ps 冷却手法が十分効率的であることを示すための 原理実証実験を行う。

<u>シリカエアロゲル空孔内で 2P-Ps の寿命が短い問題につい</u> <u>ても並行して調査する。</u>

- ■シリカエアロゲル空孔壁表面に化学的に不安定な構造 が存在する?
- 2P-Ps の束縛エネルギーは小さいので、Ps 中の陽電 子がシリカ微粒子に吸収されてしまう?
- ▶ シリカエアロゲル以外のナノポーラス材料を使ってテストを行い、上記仮説を検証する。





冷凍機で4Kまで

ナノ空孔 Ø= 50-100 nm

n= ~1017 cm-3

冷却



18

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