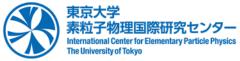
ボース・アインシュタイン凝縮実現を目指した ポジトロニウム冷却 II

周健治^{1,4},山田 恭平¹,橋立 佳央理^{1,4},石田 明¹,難波 俊雄², 浅井 祥仁¹,五神 真¹,田島 陽平³,蔡 恩美³,吉岡 孝高³,大島 永康⁴, オローク ブライアン⁴,満汐 孝治⁴,伊藤 賢志⁴,熊谷 和博⁴, 鈴木 良一⁴,藤野 茂⁵,兵頭 俊夫⁶,望月 出海⁶,和田 健⁷,甲斐健師⁸ 東大理¹,東大素セ²,東大工³,産総研⁴,九大GIC⁵,KEK⁶,量研⁷,原子力機構⁸











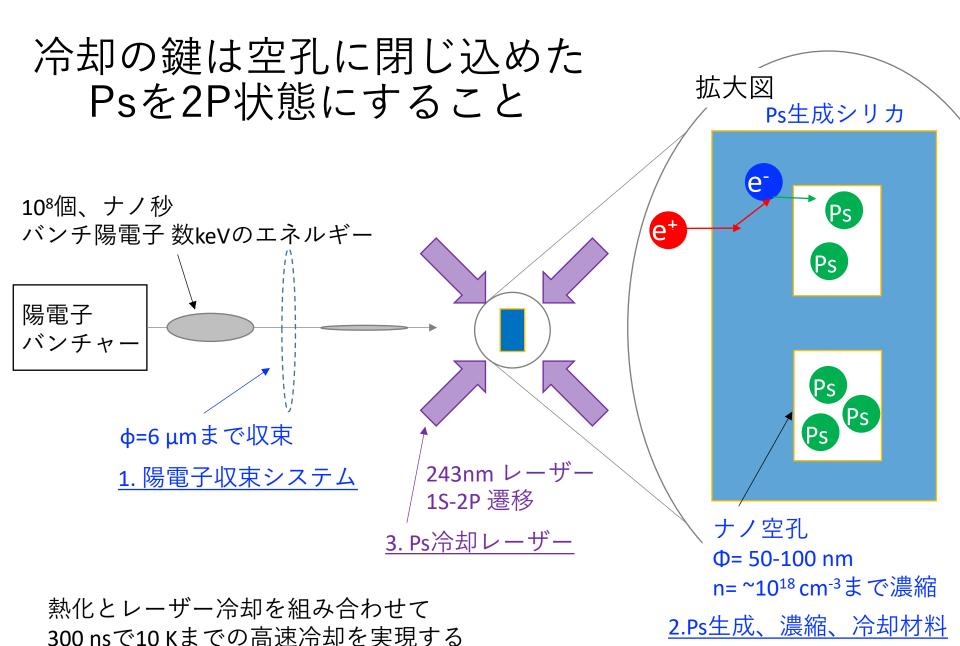




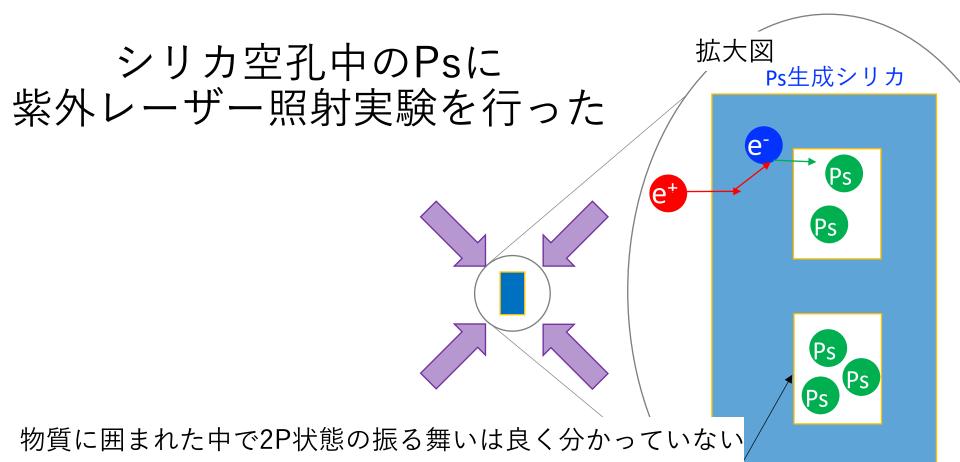




第56回アイソトープ・放射線研究発表会東京大学弥生講堂



2019/07/04



<u>ナノポーラスシリカを用いた過去の報告</u>

遷移周波数がシフトし、幅が狭い D. B. Cassidy et al. PRL 106, 023401 (2011). 2P状態の消滅率が高く、遷移幅が広い B. S. Cooper et al. PRB 97, 205302 (2018).

➤ これらの現象が生じるとレーザー冷却が難しい。 われわれも性質の良さそうなシリカサンプルを使って検証した。

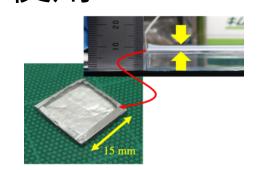
シリカエアロゲルの表面に緻密なシリカ層を プラズマCVDで成膜したサンプルを シリカキャビティとして使用

Counts (/1.6ns)

エアロゲル

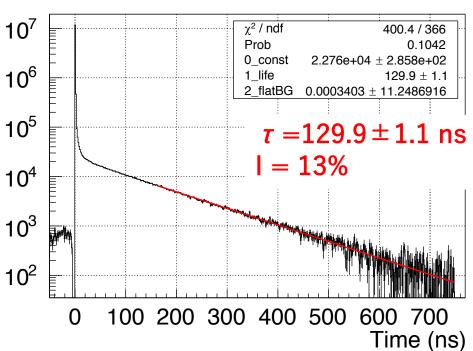
密度 0.1 g cm⁻³ 空孔径 50 nm





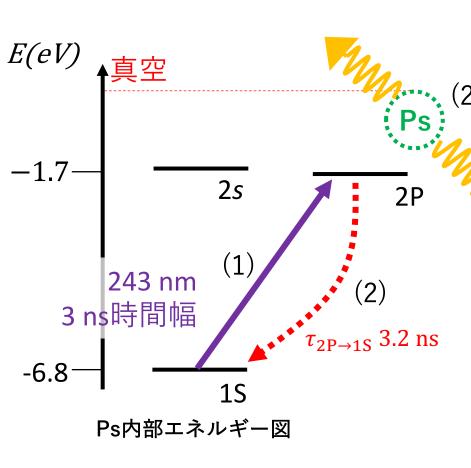
CVD膜厚 75 nm

- 50 nmの空孔径で期待される寿命
- 高いPs生成率 (止まった陽電子のうち50%)
- ▶ 期待通り、空孔中に飛び出した o-Psが得られている



²²Na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

243nm, 3ns幅の紫外レーザーで 2P状態に遷移させてみた



(1) 243 nmの紫外レーザーを当て2P 状態に遷移する

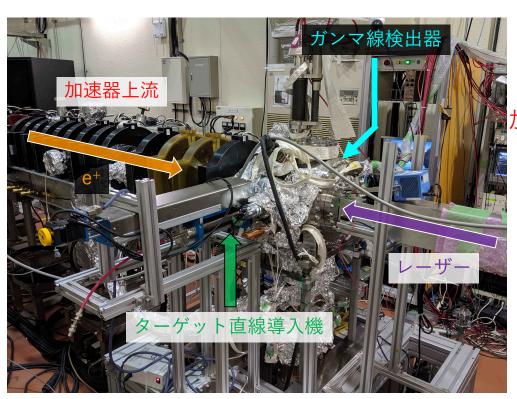
<u>(2)何も悪い効果起きず期待通りなら</u>

▶ 3.2 nsの時定数で1S状態に戻り、 何も起きなかったように見える

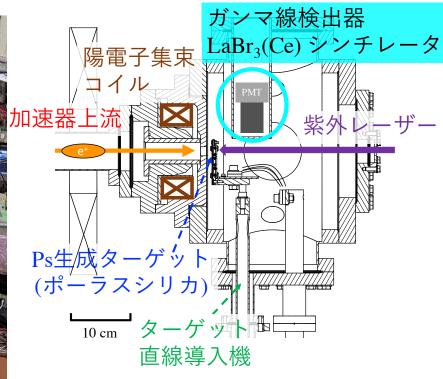
<u>(2') 先行研究のように2Pの寿命が</u> 物質中で短いなら

がカンマ線崩壊量が増える

KEKでパルス紫外レーザーと 短パルス陽電子を同期し2Pへ遷移



B1ビームラインの様子



チャンバー断面図

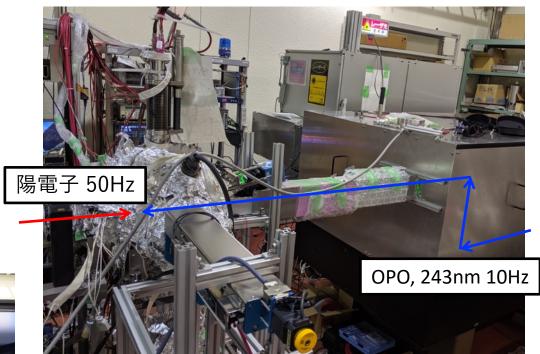
陽電子はレーザー径に合わせ 4 mm径程度に集束

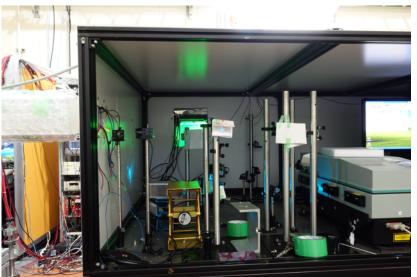
2019/07/04

紫外レーザーは Nd:YAGでポンプした 光パラメトリック共振器(OPO)を使用

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

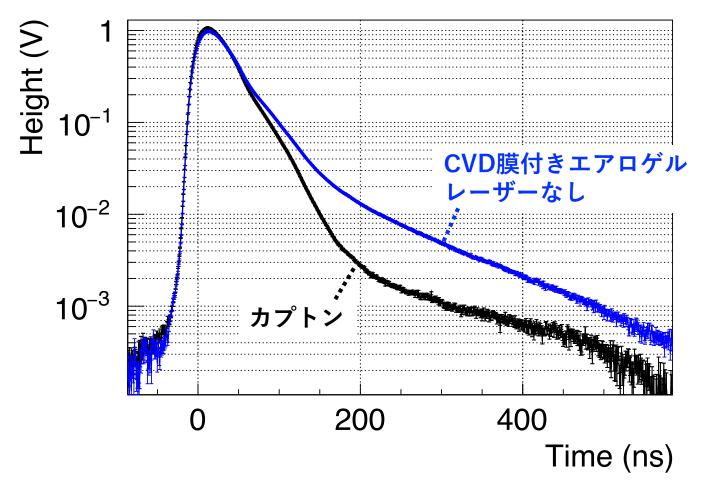




↑← レーザー周りの様子

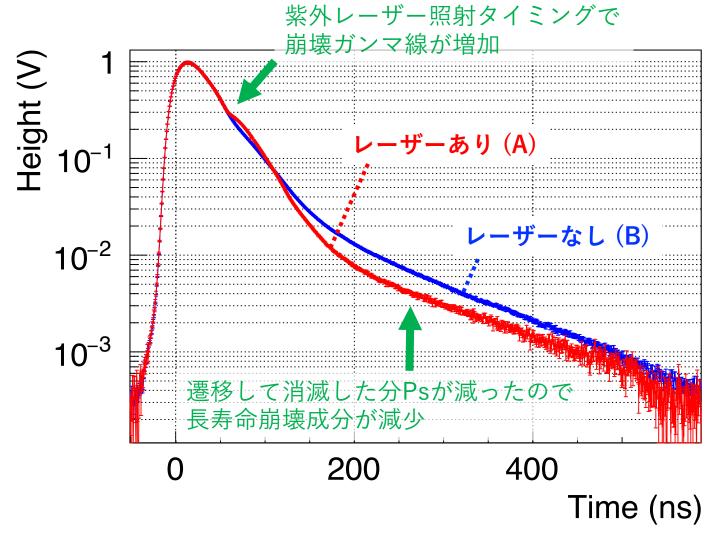
OPOは岡山大学吉村研究室よりお借りしました。 ご厚意に感謝します。

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



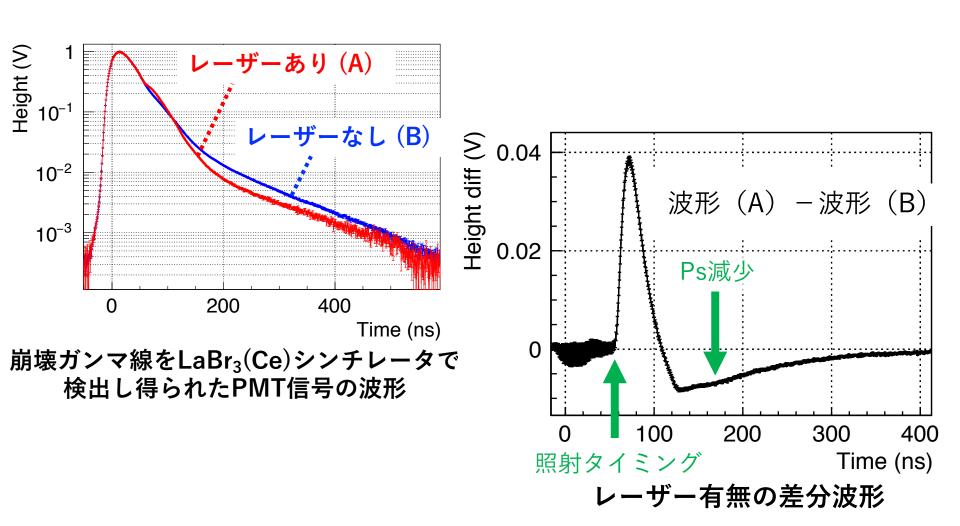
崩壊ガンマ線をLaBr₃(Ce)シンチレータで 検出し得られたPMT信号の波形

2P状態はすぐガンマ線に崩壊する



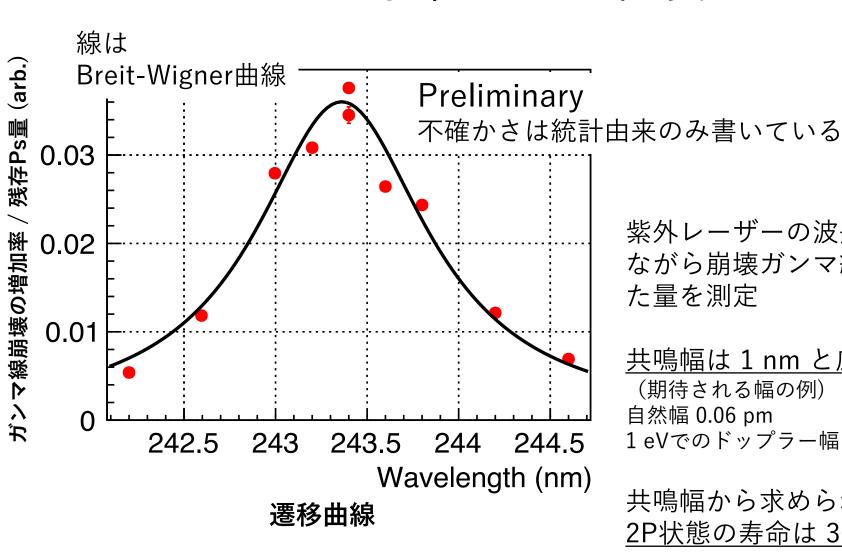
崩壊ガンマ線をLaBr₃(Ce)シンチレータで 検出し得られたPMT信号の波形

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 2Pの寿命は30 fs程度



紫外レーザーの波長を変え ながら崩壊ガンマ線が増え た量を測定

共鳴幅は 1 nm と広い (期待される幅の例) 自然幅 0.06 pm 1 eVでのドップラー幅 0.5 nm

共鳴幅から求められる 2P状態の寿命は 30 fs

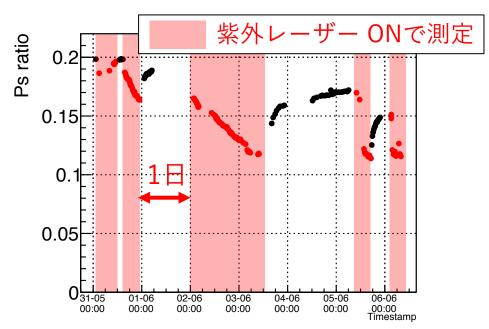
10

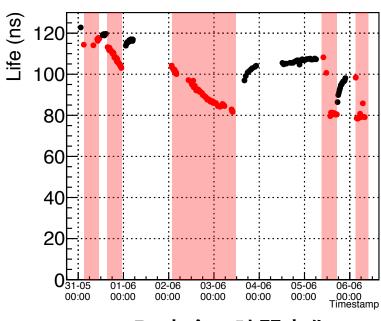
2Pの寿命が短い理由の仮説

- 1. 紫外線照射によりできる常磁性ラジカルが、2P状態のPsと高い確率で 反応する
- ▶ 実験で検証した
- 2. シリカエアロゲル表面において、化学的に活性な構造が存在する
- 3. 2P状態ではPsの内部束縛エネルギーが小さいため、シリカに対するPs の仕事関数が正となり、陽電子がバルクシリカに束縛される

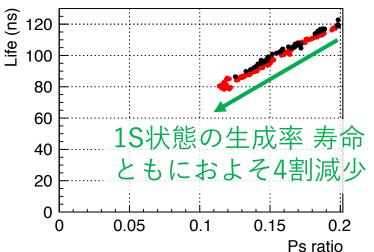
11

紫外光照射でできる常磁性ラジカルのせい?





Ps生成率の時間変化 o-Ps寿命の時間変化

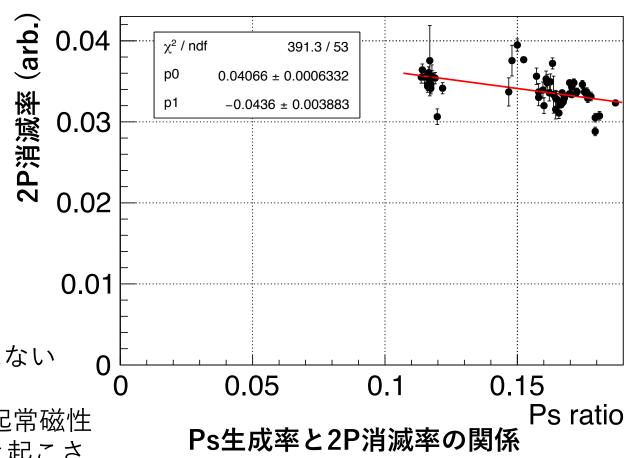


紫外光照射によってPs生成率、 寿命が減少

表面疎水メチル基に常磁性 ラジカルができたと考えられる

Ps寿命と生成率の相関

2P消滅率は常磁性ラジカル量に依存しない



2P消滅率に大きな変化はない

▶ 2P消滅現象は紫外誘起常磁性 ラジカルによって引き起こさ れるものではない

また、大気中で焼成しメチル基を飛ばした サンプルでも2P消滅現象がみえた

13

2Pの寿命が短い理由・2Pが死なないサンプルを探索中 真空中でのレーザー冷却実験にも取り組む

- 他の仮説の検証を考えている
 - シリカエアロゲル表面に化学的に活性な構造が存在する
 - 2P状態ではPsの内部束縛エネルギーが小さくなったため、シリカに対するPsの仕事関数が正になる
- ▶ シリカエアロゲルを用いないシリカキャビティを試してみる予定
- また、早期のレーザー冷却実現を目指し、真空中に飛び出たPsのレーザー冷却実験を行う準備も進めている
- 他にもアイデアお聞かせくださるとありがたいです
 - 2Pが消滅する機構
 - 2Pが消滅しなさそうなPs生成サンプル など

2019/07/04 14

まとめ

- Ps-BEC実現を目指した冷却のためには、シリカ空孔中にいるPsを2P 状態に遷移させる事が必要
- 空孔中での2P状態のふるまいは良く分かっていないため、シリカエアロゲル中のPsを紫外レーザーで励起する実験を行った
- シリカエアロゲル中で2P状態の寿命が短い現象が観測され、崩壊寿命は 30 fs 程度と非常に短いことが分かった
- 紫外レーザーによって、Psの生成率を小さく、1S状態の寿命を短くするラジカルができることが観測された。ラジカル量と2P状態の消滅率に相関はない
- 2P状態が消滅する機構の解明、使用可能なサンプルの探索を進めると ともに、真空中に飛び出したPsのレーザー冷却実現にも取り組む

2019/07/04 15