

ボース・AINシュタイン凝縮を 目指したポジトロニウム冷却 III

周 健治, 山田 恭平, 橋立 佳央理, 石田 明, 難波 俊雄^A,
浅井 祥仁, 五神 真, 田島 陽平^B, 蔡 恩美^B, 吉岡 孝高^B, 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, 熊谷 和博^C, 鈴木 良一^C,
藤野 茂^D, 兵頭 俊夫^E, 望月 出海^E, 和田 健^F
東大理, 東大素セ^A, 東大工^B, 産総研^C, 九大GIC^D, KEK^E, 量研機構^F



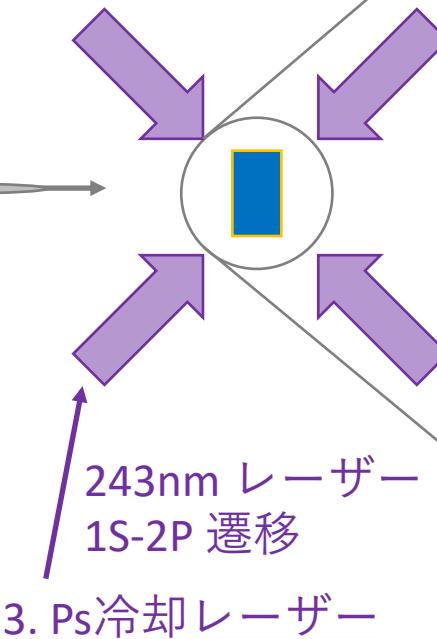
高速冷却の鍵はレーザー冷却

10⁸個、ナノ秒
バンチ陽電子数keVのエネルギー

陽電子
バンチャー

$\phi=6 \mu\text{m}$ まで収束

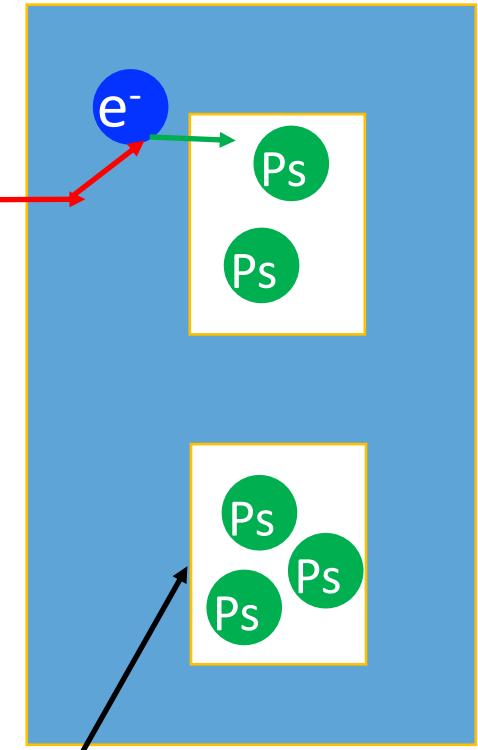
1. 陽電子収束システム



- 熱化だけでは 100 K 程度までが限界
- 低温のPsにも有効なレーザー冷却で 10 K まで

拡大図

Ps生成シリカ



ナノ空孔

$\Phi= 50-100 \text{ nm}$

$n= \sim 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ まで濃縮

2.Ps生成、濃縮、冷却材料

Psのレーザー冷却はチャレンジング

- Psが短寿命 (142ns)・質量が小さいため、光源に特殊な要求 (16aG20-10参照)
- 未だPsではレーザー冷却が実現していない

これまで進めてきた方法

空孔中でレーザー冷却することで、

1. 熱化と組み合わせた冷却
2. Psを狭い領域に閉じ込めて
レーザーとオーバーラップよくする

一筋縄ではいかないことが
分かった

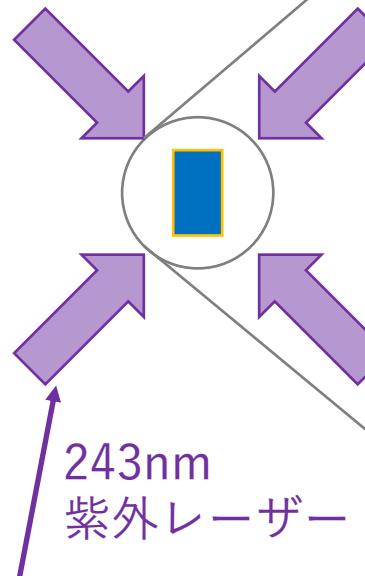
- 2P-Psが空孔中では即座にガンマ線に崩壊する
- Lyman- α の共鳴がドップラー幅以上に太くなり
ドップラー冷却できない

B. S. Cooper et al.

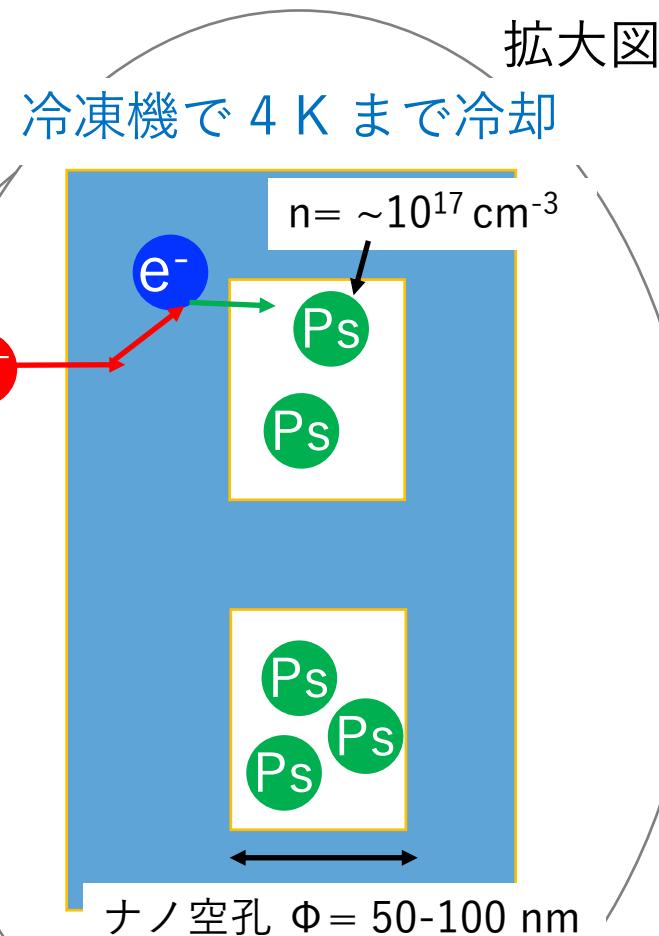
Phys. Rev. B 97, 205302 (2018)

周健治 博士論文 東京大学2019 参照

2. Ps レーザー冷却
(1S-2P Lyman- α 遷移を使用)



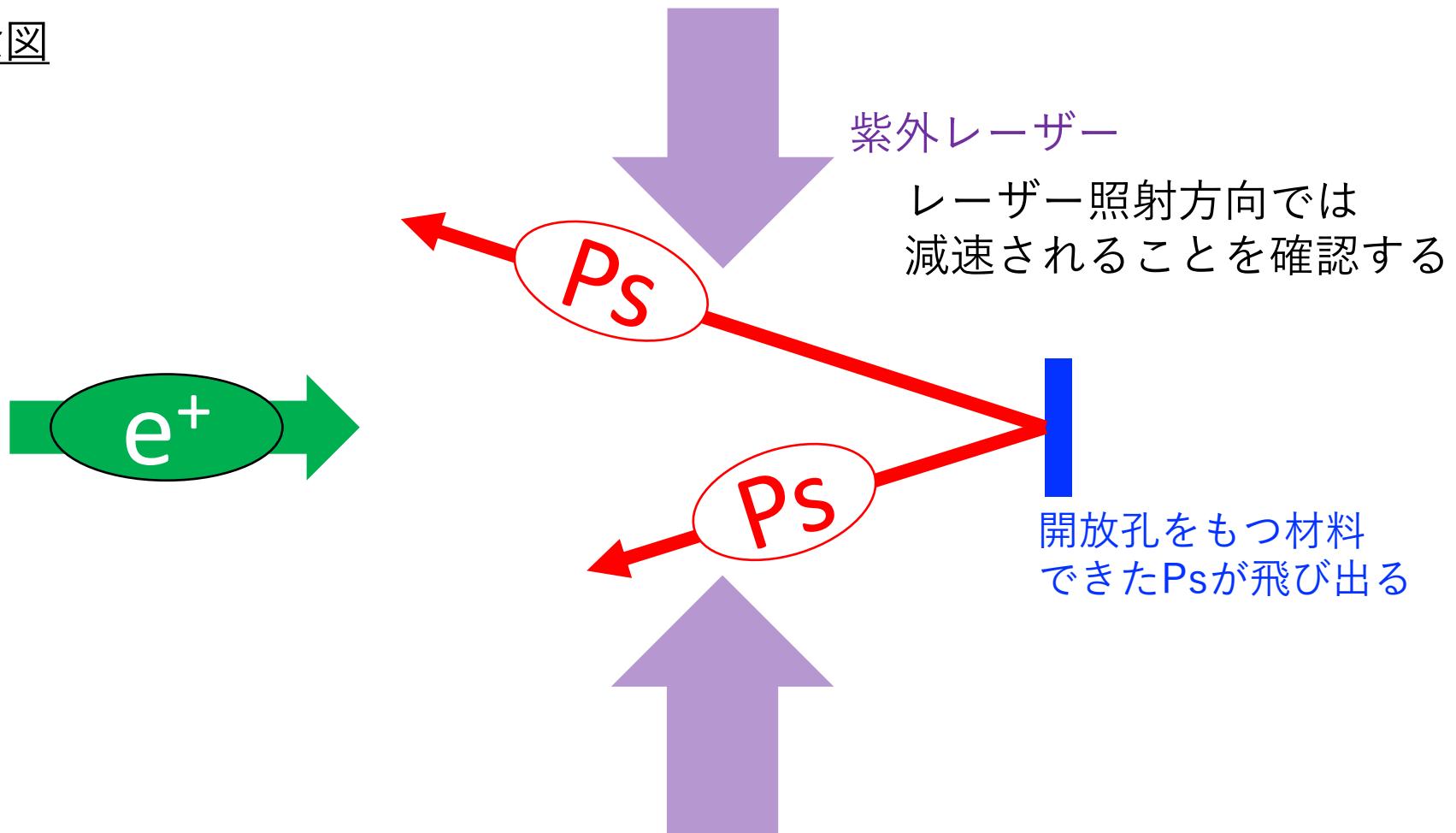
1. Psとシリカとの間の熱交換 (熱化)



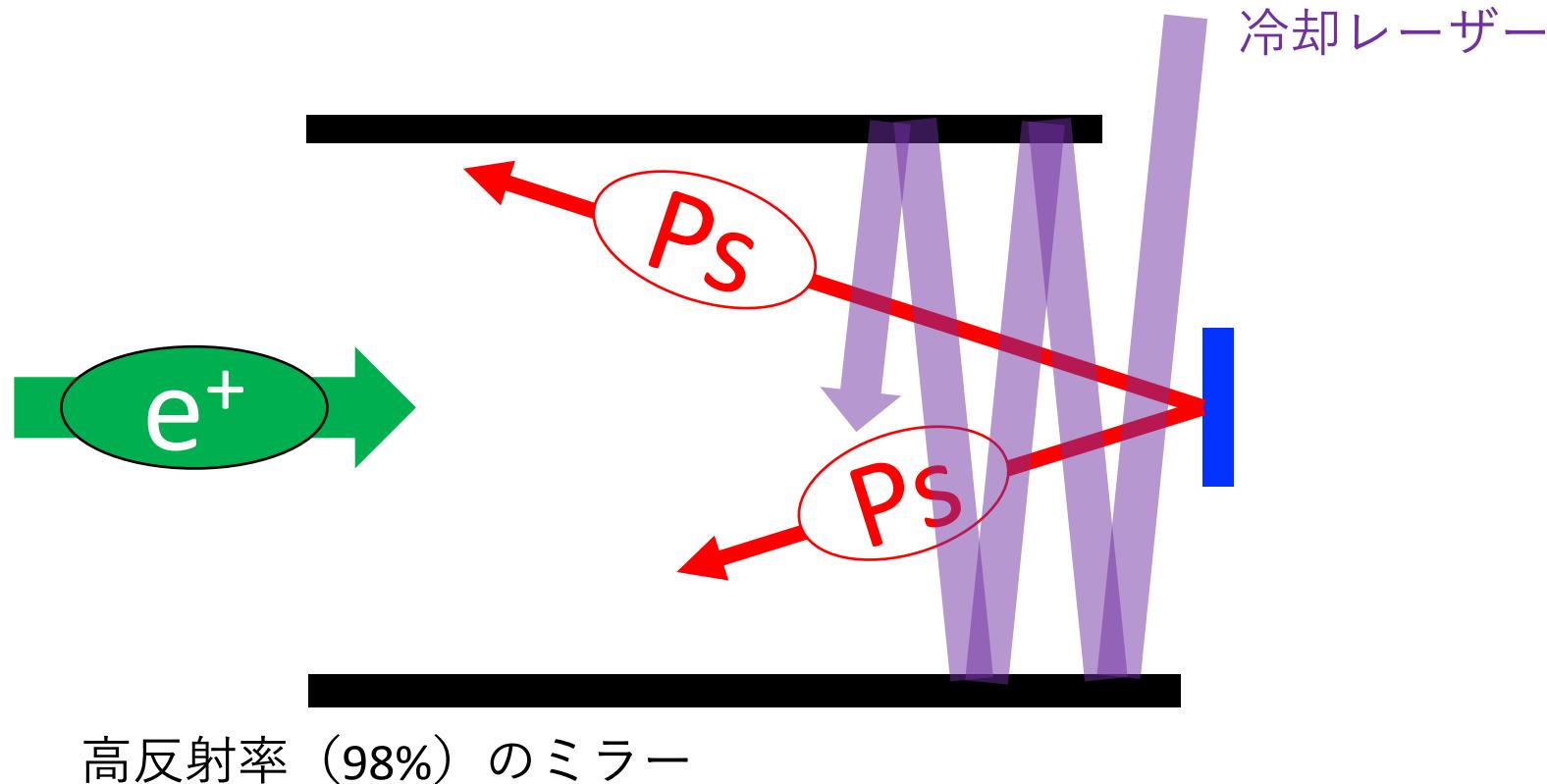
まずは真空中で レーザー冷却を実証する

- 2P-Psと物質との相互作用を詳しく調べつつ、Ps冷却に最適化したレーザーでのドップラー冷却を実証し、冷却効率を測定する

概念図

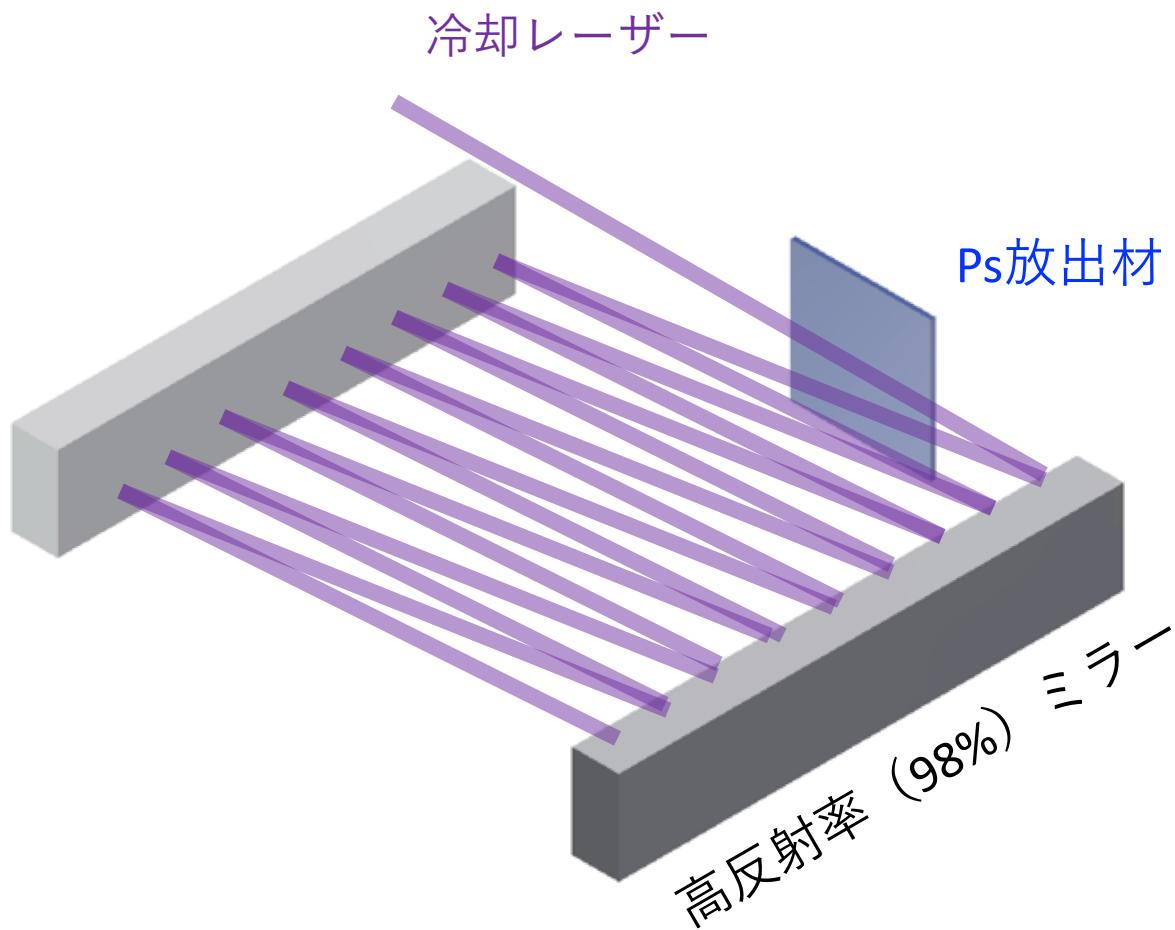


Psにレーザーを照射し 続けるよう工夫する

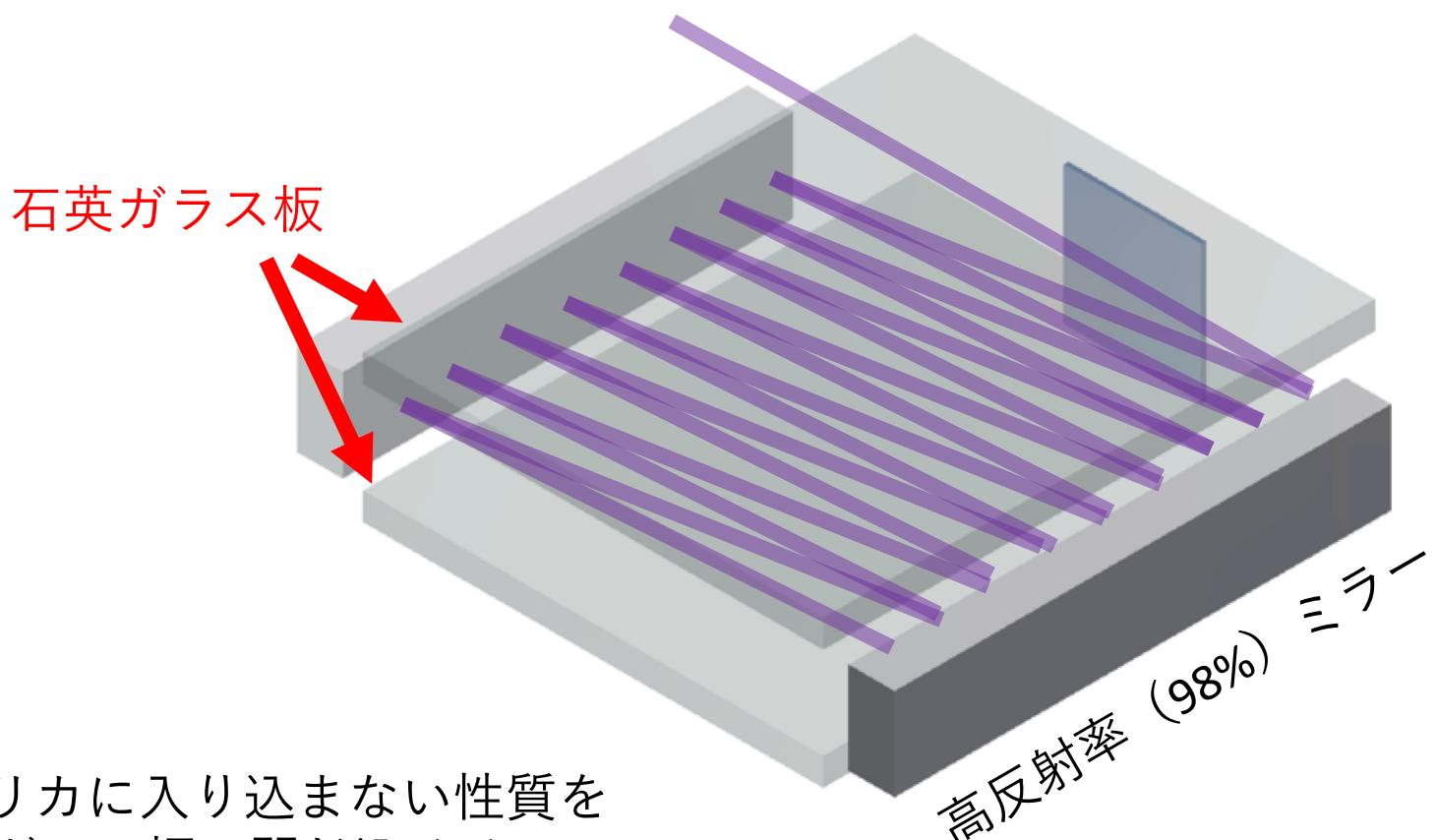


- Psは速度が大きいため、冷却に必要な 300 ns で ~50 mm の飛程
- 数mm 径の冷却レーザーを 20 回 程度反射し、Psの飛行領域に光を満たす

縦方向はPsを閉じ込める



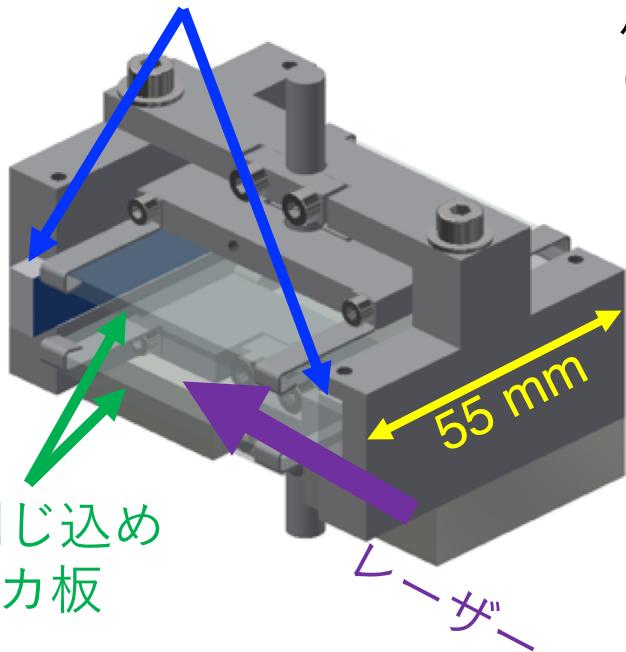
縦方向はPsを閉じ込める



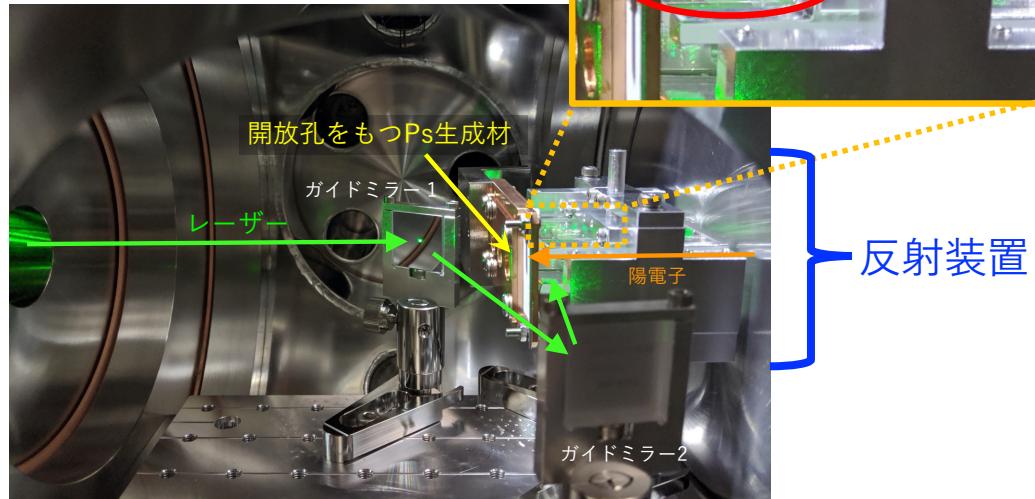
- Psがシリカに入り込まない性質を利用しガラス板で閉じ込める
- ガラス板の間隔は10 mm

まずはレーザー・Psの反射装置が うまくはたらくか確かめる

レーザー多重反射ミラー



反射装置を実験チャンバー
に組み込む (at KEK-SPF)

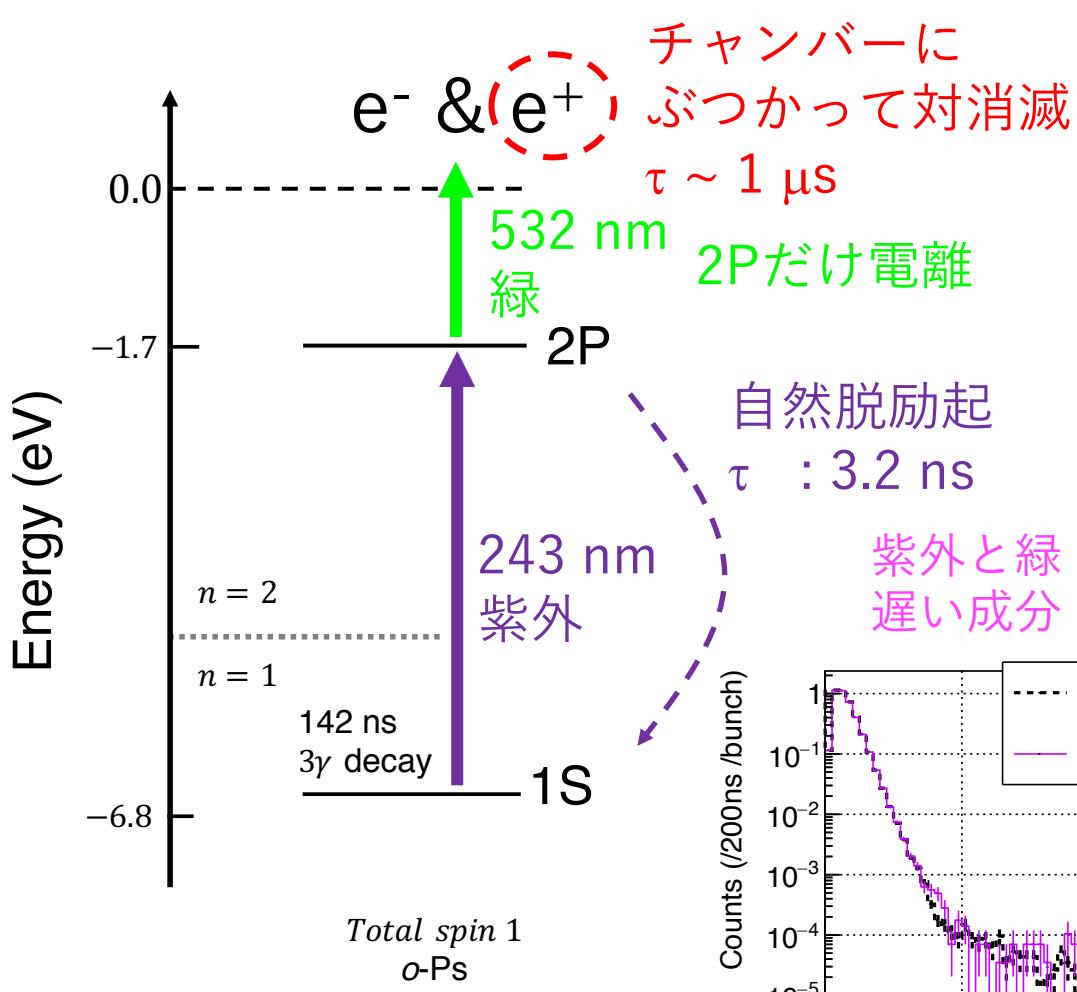


レーザー・Ps反射装置

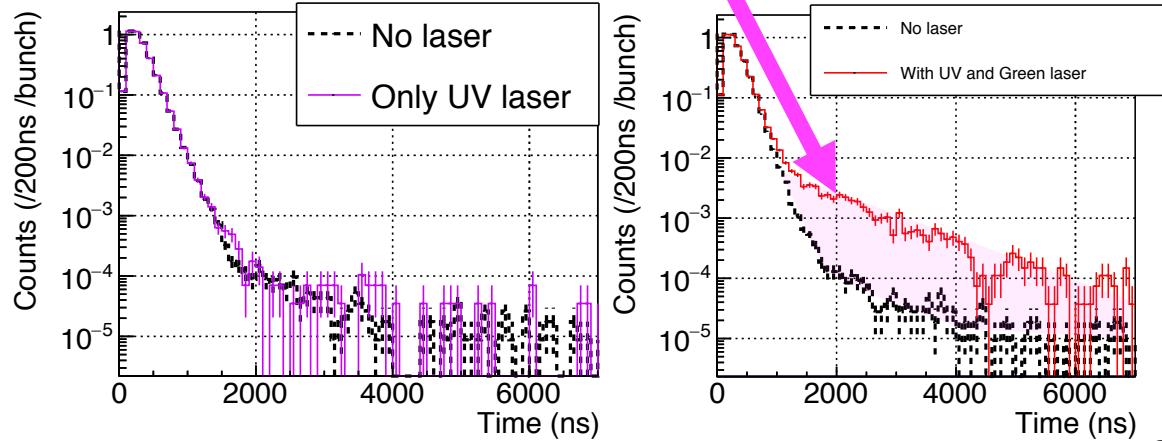
1. 反射装置にレーザーを通して、55 mmの領域に広げる
2. 反射装置に通さず、Ps生成材のすぐそば10mm程度の領域だけに
レーザーを照射

2つの場合で励起されたPs量を比較する

2Pに励起したPs量は緑レーザーで 電離・陽電子消滅ガンマ線で測る

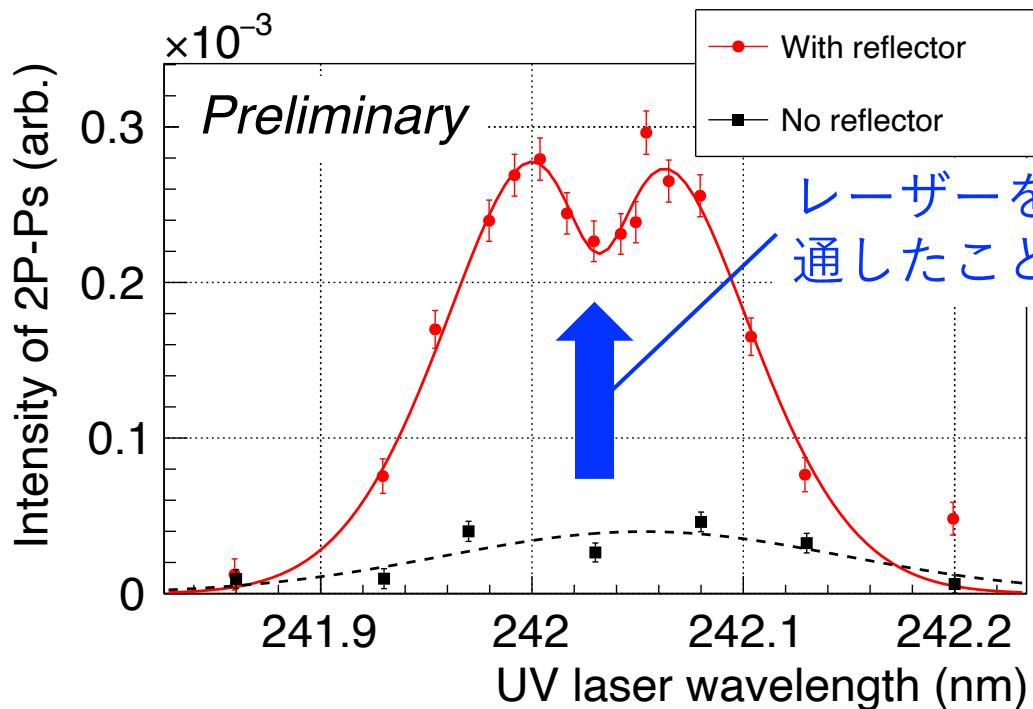


- 紫外レーザーで2PになったPsに、同時に緑レーザーを照射することで自由な電子と陽電子に電離
- 陽電子は運動し、チャンバーにぶつかると対消滅
- 典型的な陽電子の運動量と周りの物質との距離から数 μs の時定数でぶつかる



陽電子照射と消滅ガンマ線の時間差スペクトル

反射装置による 励起量増大が見えた



レーザーを反射装置に
通したことにより励起量が増大

- 共鳴波長の中心はレーザー波長の較正精度で Ps Lyman- α 波長と一致
- 頂点でくぼんでいるのは反射装置ミラー間で対向する光が重なっていることによるラム・ディップ
- 反射装置によりレーザーと Ps の相互作用時間を延ばすことに成功
- 現在、詳細な解析とレーザー冷却実験の準備を進めている

Ps生成後 200 ns (約 30 mm Psが走る) 後に
レーザーを照射して取得した共鳴スペクトル

まとめ

- Ps冷却に最適化したレーザー光源を用いたレーザー（ドップラー）冷却の実証実験を進めている
- 100 ns 以上の時間に渡って Ps にレーザーを照射し続けるための反射装置を構築し、動作確認実験を行った
- Ps Lyman- α 共鳴曲線の観測に成功し、反射装置による励起量の増大が実証された
- 詳細な解析を行い反射装置内でのPs、レーザーの挙動を理解するとともに、レーザー冷却実施に向けた準備を進めている
- 2020年度内のレーザー冷却実証を目指している