### ボーズ・アインシュタイン凝縮を目指した ポジトロニウム冷却

### <u>周健治</u>,村吉諄之,樊星,石田明 山崎高幸<sup>A</sup>,難波俊雄<sup>A</sup>,浅井祥仁, 吉岡孝高,五神真



22<sup>nd</sup> ICEPP シンポジウム 2016.03.02 @長野県白馬村

# ポジトロニウム(Ps)-BEC

### <u>ポジトロニウム(Ps)</u>

- 電子 陽電子 束縛系
- 世の中で最も軽い原子

### <u>なぜPs-BEC?</u>

- 1995年BEC実現から初の
  反物質を含む系でのBEC
- <u>様々な応用</u>
- □物質波干渉による
  反物質重力の精密測定
  □消滅γ線を利用した
  511keVy線レーザーの実現

### <u>特徴</u>

 Psは軽いのでBEC臨界温度 が高い(14K@10<sup>18</sup>/cc)



# Ps-BECを実現するには

- *o*-Psは寿命142nsでγ線に崩壊する → 次の2点がキーポイント
  - 1. 高密度の陽電子を作り一気にPsへ変換,高密度Psを生成(10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>)
  - 2. O(100ns)で~10KまでPsを高速冷却



# 冷たい物質中でのPs冷却

- Ps初期温度: 6000K(=0.8eV)
- 昔は、すぐに周りの温度と
  同じ温度になる(=熱化する)
  と考えられていた
- しかし、室温でのPs熱化が 実測され、
   空孔中での熱化は遅い ことが分かった
- 様々な実験結果(@室温)より 100nm空孔,1K 中にPsでの Ps熱化を予想(右図)





100nm空孔, 1K SiO<sub>2</sub>中でのPs熱化 (シミュレーション結果)

レーザーによる高速冷却

そこで, Psを高密度にトラップしつつ, 熱化 & レーザー冷却を組み合わせる ことを考えた





レーザーによる高速冷却



Psレーザー冷却の原理





 1. 反対方向に進む光のみ が共鳴し光吸収 Psは光子の運動量分だけ 減速・励起される 励起されたPsは,時定数
 3.2ns で自然に光子を
 放出し脱励起する
 (光子の運動量方向は
 ランダム,平均すれば
 温度は変わらない)<sup>8</sup>

Ps冷却用レーサ

#### <u>Psの特徴</u>

1. 軽いため、ドップラー効果大



必要なレーザー

- ◆ 速度によって必要な レーザー波長が大きく 異なる
- ◆様々な速度のPsを効率 よく冷却するために、
  - 1. 様々な波長を一度に 照射(=<mark>広線幅</mark>)
  - 2. 冷えていくPsに追随し 波長を高速シフト

2. 寿命が100ns超

◆ 0(100ns)の持続時間を もつパルスレーザーに 光を集中させる

<u>広線幅, 波長高速シフト, 長持続時間が特殊</u>

## Ps冷却用レーザー

特殊なスペックを満たすため、Ps冷却用に新たにデザイン



### 実験の様子-レーザー制作



外部共振器型レーザーダイオード(ECDL) 729nm = 410THzで発振

同じECDLを2つ作り、その和を とってビートを測定 11

# 冷却の評価



レーザー冷却

## 冷却の評価



温度の時間発展

# BEC実現に向けたロードマップ

#### 1. シリカ中での熱化による冷却を確認

- □ 低温における熱化関数の測定(← 手法が確立していない)
  - ~100KのPs崩壊γ線(511keV)のドップラー幅を測定する実験 を進めている
  - ▶ <10Kの温度測定を可能とするために、レーザーを利用した 高精度温度測定実験を検討・準備中

#### 2. 冷却用レーザー光源の開発

- □ まずは世界で初めてのレーザー冷却実現を目指す
- □ これまでにはなかったいくつかの特徴が必要なため, 新たな光学系を開発中

#### 3. 陽電子源の開発

□ 10<sup>7</sup>という数のバンチ化と100nmフォーカスの組み合わせ
 ▶ 陽電子ビームのプロと協力して, ビームラインのデザイン

## 低温Psの熱化関数測定



- 冷やしたシリカエアロゲル中でのPs熱化関数を測定しようとしている
- これは崩壊γ線のドップラー幅を測る実験セットアップ

まとめ

- Ps-BEC実現のために、冷却シリカキャビティとの熱化+レーザー冷却を 組み合わせることを提案
- シミュレーションによって冷却効率を評価した。10Kまでの冷却が可能であり、冷却の面からはPs-BECが実現可能であることが分かった
- Psレーザー冷却は未だ達成されておらず、特殊なレーザーが必要。新しい光学系をデザインし、開発を進めている。
- 低温におけるPsの温度を測る方法が確立されていないため,γ線の ドップラー幅測定やレーザーを使った精密温度測定を進めている