

ポジトロニウムの ボース・アインシュタイン凝縮 に向けたレーザー冷却

東大理,東大素セ^A,東大工^B,産総研^C

<u>石田明</u>, 周健治, 村吉諄之, 樊星, 難波俊雄^A, 浅井祥仁, 吉岡孝高^B, 五神真, 大島永康^C,

オロークブライアン^C, 鈴木良一^C



日本物理学会2016年秋季大会

平成28年9月15日

金沢大学角間キャンパス

目次

- ・ポジトロニウム (Ps) とそのボース・アインシュタイン凝縮 (BEC) 実現の目的
- ポジトロニウム冷却の新しい方法:シリカ (SiO2)との衝突による熱化とレーザー冷却の組み合わせ
- 冷却用レーザーシステムの開発状況
- ・ 熱化による冷却の実験的評価
- まとめ

ポジトロニウム(Ps)-BEC

ポジトロニウム(Ps) /cm³) $10^{19} \\ 10^{18}$ Ps 電子と、その反物質である 目標値 陽電子の束縛系 1998年 ^{1}H 世の中で最も軽い原子 1995年 度 ⁸⁷Rb **餐刊** 10¹⁵ Ps-BECのモチベーション 現状 初の反物質含む系でBEC 10¹² 特徴 軽くてBEC臨界温度が高い 10⁹ 線の上が (14 K @ 10¹⁸ /cm³) BEC領域 寿命が短い 10⁶ (142 nsでγ線に崩壊) 様々な応用 10³ □物質波干渉による 10⁻⁹ 10^{-5} 10^{-3} 10⁻⁷ 10^{-1} 1010^{2} 反物質重力の精密測定 臨界温度(K) □消滅γ線を利用した * : S. Mariazzi et al. Phys. Rev. Lett. 104, 243401 (2010) 511 keV r 線レーザー * : D. Cassidy et al. physica status solidi 4, 3419 (2007)







必要なレーザー特性

Ps-BEC 実現のためには高速かつ十分な冷却が必要
 →以下の特性を持つ243nm紫外光レーザー作成を目指す
 ①持続時間:300ns
 ③線幅:0.08nm (140GHz)
 →Ps寿命=142 ns
 →Psは軽いので広い速度分布
 ④波長シフト:0.035nm (60GHz)
 →冷却サイクルを飽和



必要なレーザー特性

Ps-BEC 実現のためには高速かつ十分な冷却が必要 →以下の特性を持つ243nm紫外光レーザー作成を目指す ③線幅:0.08nm (140GHz) ①持続時間:300ns



・紫外線領域での大幅な波長シフトはまだ ない技術

▶非常にチャレンジングなスペックであり、 新しい光源開発が必要

強度(Arb)

0.

0.

0.4











- ポンプ光として532nmパルスレーザーをTi:sapphire結晶に照 射して励起し、エネルギーをためる。
- ・シード光を共振器に注入すると、結晶部分で増幅されて発振
 → このとき波長スペクトルは維持
- パルスレーザーでポンプしているため出力もパルス化される
- ・出力はカップラー(部分透過ミラー)から取り出す

共振器プロトタイプの様子

- 532nmポンプ光:最大~0.5mJ/pulse で稼働
- ECDLの光(729nm,CW)をシード光として入れる
- ・ 共振器のサイズ:1周750mm、ビーム径:0.1mmオーダー





 ・自然放出光 (~780 nm) による発振パルス と シード光 (=729 nm) の増幅パルスをそれぞれフォトダイオードに入力

シード光注入時



- ・シード光の注入で自然放出光の発振強度が1,2割弱くなる
- ▶ 代わりにシード光が増幅されてパルス化している(持続時間 ~100nsec)
- > 今後、自然放出光の発振をなくし、シード光増幅効率を上げる。14

低温における Ps 熱化の実測方法

- ◆Ps温度(速度分布の拡がり、今回は速さの平均値) はどうやって測る?
- ➢ PsがPick-off 2光子崩壊することを用いる

<u>Ps → γ線崩壊模式図(2つのモード)</u>













まとめ

- ・電子とその反物質である陽電子の束縛系、ポジトロニウム (Ps)
 のボース・アインシュタイン凝縮 (BEC) 実現を目指している。
- Ps-BEC が実現すれば、反物質重力測定や、511 keV ガンマ 線レーザーに用いることができる。
- 冷たいシリカにトラップし、壁との衝突による冷却 (熱化)と、
 レーザー冷却を組み合わせることで Ps-BEC を実現する新しい
 手法を提案した。
- Ps 冷却用レーザーシステムを開発中。729 nm の CW シード 光は完成し、現在、パルス増幅部の開発を行っている。今後、増 幅率・パルス幅を上げるとともに、広線幅化、波長シフトを電気光 学変調で実現するシステムを開発する。
- 熱化については、過去の実験に不定性が大きかったが、Pickoff 崩壊率を用いた測定により、精度よく求めることができた。今 後、4 K での熱化を測定する。
- ・陽電子ビーム開発を進めるとともに、3~4年後をメドに世界初の反物質レーザー冷却を実現し、Ps-BECの早期実現を目指す。