

2011 年度 修士論文要旨

デジタイザを用いた陽電子消滅時間運動量相関測定装置による ガス中におけるポジトロニウム原子の研究

広域科学専攻 広域システム科学系
学籍番号 31106809
川村 純弘

はじめに

陽電子は電子の反粒子である。また、陽電子は電子と結合し水素様のエキゾチック原子であるポジトロニウム (Ps) を形成する。Ps のスピンの状態には 2 種類あり、合成スピン $S=1$ のオルソポジトロニウム (σ -Ps)、 $S=0$ のパラポジトロニウム (p -Ps) が存在する。 σ -Ps は平均寿命 142 ns で 3 光子消滅し、 p -Ps は平均寿命 125 ps で 2 光子消滅する。

本研究では、ガス中における Ps のスピン転換 (spin conversion)、および熱化 (thermarization) について研究を行うため、陽電子消滅時間運動量相関測定装置の開発を行なった。スピン転換とは、周りの原子分子とのスピン軌道相互作用により Ps のスピンが変わる事で、2003 年に Mitroy らによって提唱された。また、Ps は生成した直後に高いエネルギーを持つが、周りの原子分子との衝突を繰り返す事により、そのエネルギーを失っていく。そして、Ps のエネルギーは最終的に周辺原子分子の平均エネルギー (熱エネルギー) と等しくなる。これを熱化という。

Ps と原子の衝突は、実験も理論計算もとても難しい。本研究では、実験と理論計算を比較出来る系を扱っているため、互いの検証を可能にするものである。

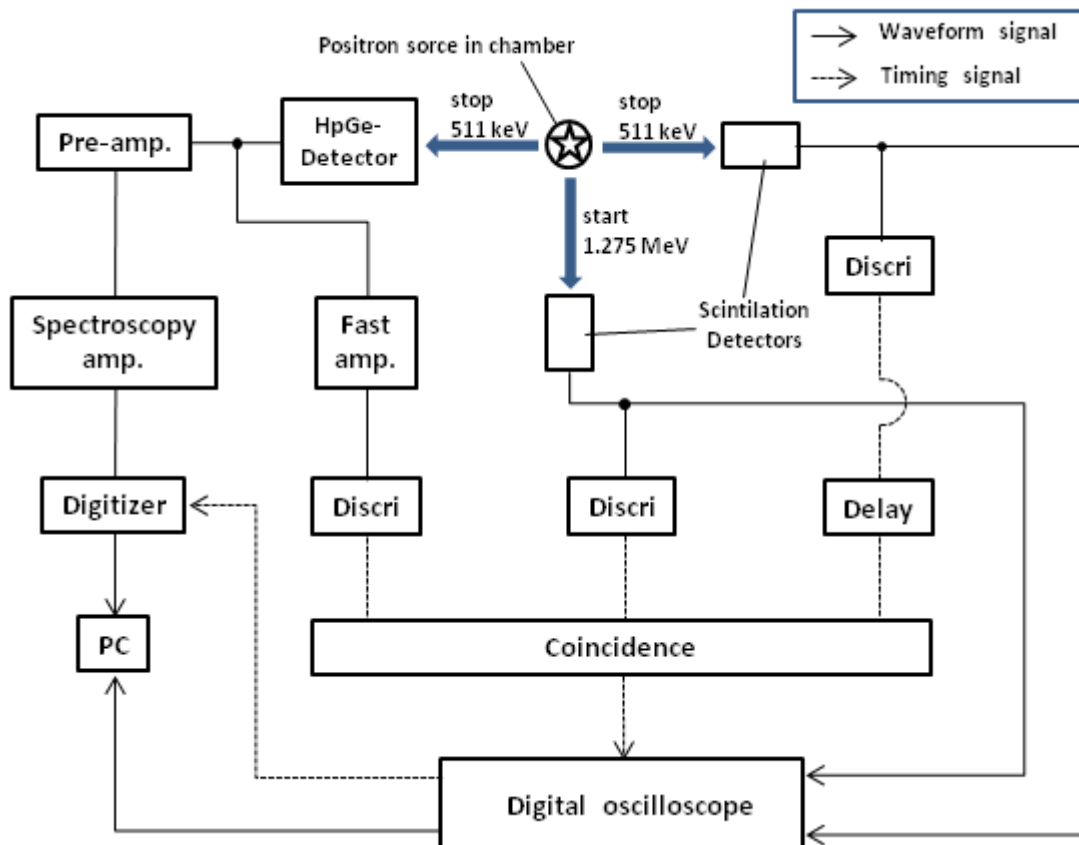
本研究の目的

本研究の目的は以下の 3 つである。

1. デジタイザを用いた陽電子消滅時間運動量相関測定装置の開発
2. 時間運動量相関測定によるスピン転換断面積の測定
3. 時間運動量相関測定によるポジトロニウムの熱化の検討

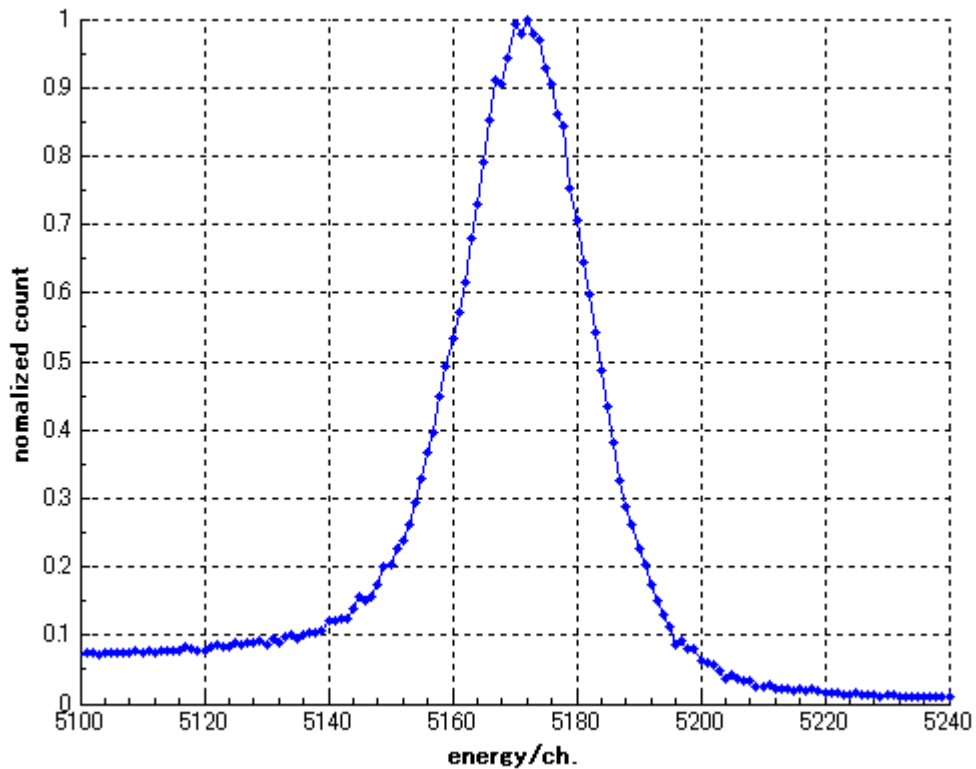
1 デジタイザを用いた陽電子消滅時間運動量相関測定装置の開発

陽電子消滅時間運動量相関測定とは、通常独立に行われる陽電子寿命測定と陽電子電子対の運動量測定を同時に行い、より豊富な情報を得る測定方法である。開発した装置では、Ge 半導体検出器で検出した γ 線をデジタイザでデジタル処理し運動量を測定する。シンチレーション検出器で検出した γ 線をデジタルオシロスコープでデジタル処理しPsの消滅時間を測定する。各々の測定を同期制御することにより陽電子消滅時間運動量相関測定を行う。デジタイザとデジタルオシロスコープを使用したことが、本研究の特長である。以下に、開発した装置の模式図を示す。



2 時間運動量相関測定によるスピン転換断面積の測定

開発した陽電子消滅時間運動量相関測定装置を用いて、Xe 1 atm における Ps のスピン転換断面積の測定を計画した。スピン転換断面積は原子番号に大きく依存することから、今後は原子番号のより大きな Hg での測定も計画している。Hg は常温では液体であり、沸点である 629.88 K まで、ヒーターで実験系の温度を上昇させる必要がある。従来は磁場を印加し測定を行なっていたが、磁場を印加する測定では、ヒーターを用いるような大きな実験系での測定が困難である。そこで、本研究は陽電子消滅時間運動量相関測定装置を用いてドップラー拡がりスペクトルからスピン転換断面積を求める。下図は Xe 1 atm で陽電子消滅時間運動量測定により得られた時間・運動量の相関データを元に解析した、Ps の消滅時間 51 ns~300 ns のドップラー拡がりスペクトル (511 keV 付近の拡大図) である。



Xe 雰囲気下における Ps の消滅過程は、 σ Ps の自己消滅、Xe との pickoff 消滅、シリカエアロゲルとの pickoff 消滅、スピン転換反応による消滅、の 4 種類である。この図には、上記の 4 つの消滅過程の成分が含まれており、これらを分離する事により、スピン転換断面積を求める。分離するためには、Xe の測定に加えて、O₂ と真空での測定が必要である。現在、Xe 1 atm の測定と O₂ 0.041 atm の測定が終了し、真空中の測定が進行中である。

3 時間運動量相関測定によるポジトロニウムの熱化の検討

時間運動量相関測定で得られたデータを元に、Ps の熱化を観測出来るのか検討した。従来、Ps の熱化の研究は、磁場を印加することにより *o*-Ps の一部を 2 光子消滅させ測定を行なっている。本研究ではこれと異なり、磁場なしで Xe との衝突による *o*-Ps から *p*-Ps へのスピン転換反応を利用し、2 光子消滅をさせ測定を行う。

以下の図は、時間運動量相関測定により測定した、2 光子消滅成分の寿命スペクトル $I_2(t)$ と 3 光子消滅の寿命スペクトル $I_3(t)$ の比を表す。この図の 50 ns ~ 150 ns の比の変化が、熱化の情報を含んでいる。詳しくは、現在解析中である。

