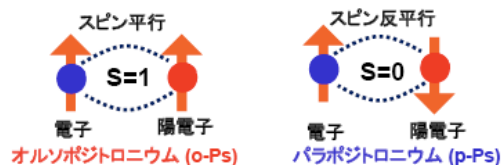


## 演習課題：反粒子を捕まえて遊ぼう ～ 最軽量原子ポジトロニウムを作ろう ～

「反粒子」ちょっとSF染みた響きがある言葉ですが、素粒子物理の分野では日常から当たり前に使われる単語です。この演習ではこの反粒子を捕まえて身近に「体感」してもらおうのを目的とします。



我々が今回作るポジトロニウム(Ps)は、電子とその反粒子である陽電子が電磁相互作用だけで束縛されてできる水素原子に似た準安定状態の原子です。重さはたった電子2個分、水素原子の約1/1000の重さでしかありません。反粒子である陽電子はディラックの相対論的量子力学で予言され、1932年に初めて発見されました。陽電子は電子とは電荷の符号が異なる他は全く同じ性質を持つ粒子で、今回は放射性同位元素の $\beta^+$ 崩壊（陽子 $\rightarrow$ 中性子+陽電子+ニュートリノ）で放出されたものを用います。この陽電子を物質に当てると、物質中の電子と束縛し合いPsを形成するのですが、通常周りの物質とぶつかり瞬時に対消滅してしまいます（2本の $\gamma$ 線になる）。今回用いるシリカエアロジェルの様な低密度で内部に空洞構造を持つ物質を真空中に置いたものだと、この様な対消滅を抑えることができ、Psの存在を確認することができます。では一体どうやって確認するのでしょうか？ Psは粒子・反粒子からなる原子なので、電磁相互作用で決まるある確率で消滅し複数の $\gamma$ 線に崩壊します。これは正にアインシュタインの有名な公式「 $E=MC^2$ 」通り、物質が消滅して質量がそのままエネルギーに変換されているのです。ここでこの崩壊後の $\gamma$ 線の数がポイントになります。

Psはスピン1/2を持つ電子、陽電子の束縛系なので、スピン合成則によりスピン平行 (S=1) で3重項のオルソポジトロニウム(o-Ps)と反平行 (S=0) で1重項のパラポジトロニウム(p-Ps)に分類することができます(図参照)。電磁相互作用では、荷電共役変換(粒子-反粒子変換、C変換)という対称性が保存することからo-Psは3本の $\gamma$ 線に、p-Psは2本の $\gamma$ 線に崩壊します。p-Psの2体崩壊では $\gamma$ 線が正反対方向に放射されまして、エネルギースペクトルは電子の質量一つ分(511 keV)の単色となります。一方、o-Psの方は3体ですから $\gamma$ 線の放射方向、エネルギー分布は共に連続なものとなります。

今回の演習では写真にあるような装置を用います。中心部に $\beta^+$ 線源及び真空を引いたエアロジェルを置きPsを生成します。その周り60度毎にGSOシンチレータという $\gamma$ 線検出器(+光電子増倍管)を配置し、Psの自然崩壊から来る複数の $\gamma$ 線を同時測定します。3本の $\gamma$ 線が3本別の検出器に入るのは稀ですから、実際にどんな分布が各検出器に見えるかは検出器シミュレー



シオンを用いて評価する必要があります。またp-Psが125psecの寿命で瞬時に崩壊してしまうのに対し、o-Psは142nsecと比較的長い寿命を持つので、時間情報による識別も可能となります。測定のバックグラウンド事象には（線源から、もしくはPs中の）陽電子が周りの物質中の電子と対消滅して2 $\gamma$ になる事象（prompt, pick-offとそれぞれ呼ばれる）があり、Psの自然崩壊と区別する工夫がいらいます。演習課題では検出器の組み立てから始まり、それぞれの検出器からのエネルギーと時間情報を測定し、シミュレーションとのエネルギー、角度、時間分布等の比較をしてPsの2 $\gamma$ 、3 $\gamma$ 生成比などを測ってみます。

果たして、Ps生成の直接証拠3 $\gamma$ 事象を捕えることができるでしょうか？