

氏 名 長 友 恒 人
学位の種類 工 学 博 士

学位記番号 論 工 博 第 1043 号

学位授与の日付 昭 和 53 年 3 月 23 日

学位授与の要件 学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当

学位論文題目 **TWO-QUANTUM ANNIHILATION OF POSITRONS
IN FLIGHT WITH K-SHELL ELECTRONS**
(飛行中電子のK殻電子による二光子消滅)

論文調査委員 (主査) 教 授 清 水 栄 教 授 兵 藤 知 典 教 授 向 坂 正 勝

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、300 keV の運動エネルギーをもって飛行中の陽電子が原子核に最も強く束縛されているK殻電子に衝突して消滅する時に2個の γ 線光子が発生する陽電子消滅について行った実験的研究をまとめたものであり、5章より成っている。

第1章は序論で、陽電子消滅の研究の歴史的発展の概要と本論文の構成について述べている。

第2章には、飛行中の陽電子の消滅について自由電子との衝突の場合と原子核に強く束縛されている殻電子との場合に分けて論述して、特に後者の場合には一光子消滅、無光子消滅、核励起が可能であることを論じ、更にこの場合に未だ実験的にも理論的にも研究がなされていないが、二光子放出型の消滅過程もあり得ることを指摘して、本研究の目的がこの過程の実験的検証にあることを述べている。

第3章は、本研究に使用した単一エネルギー (300 keV) の陽電子束を得る手段を始め、 γ 線及びX線検出器等全体の測定システムの詳細な記述である。著者は扇型二重収束式 β 線スペクトロメーターに陽電子源として約5 mCi の ^{22}Na を装填して 300 ± 3 keV の陽電子束を得ている。ターゲットとしてはこの消滅過程の原子番号依存性を確める目的で、発生するK—X線のエネルギーとその検出器の性能とを考慮して、銀 (原子番号=47) 及び銅 (原子番号=29) の2種の金属元素の薄はくを使用している。放出される2個の γ 線光子のエネルギーは連続分布するが、その和は一定となる。ターゲット元素のK殻電子束縛エネルギーと入射陽電子の運動エネルギーを考慮して、 γ 線測定用として $50\text{mm}\phi \times 50\text{mm}$ のNaI (Tl) 結晶を用いる2個のシンチレーション検出器を用い、K—X線測定用として径50mmで厚さ1.0mm (銀の場合) 及び0.5mm (銅の場合) のNaI (Tl) シンチレーション検出器を採用している。この過程では2個の消滅 γ 線光子と1個のK—X線光子が同時に放出されるので、この間の三重同時放電を行うことが必要である。ターゲット系を設置してある真空槽の構造及び入射陽電子束の拡り等種々の条件を考慮して、著者は2個の γ 線検出器を陽電子入射の方向に対し各々 30° と 100° 方向に設置し、またK—X線検出器はターゲットの直下に置く幾何学的配置を採用している。更に本章には2個の γ 線のエネルギーの

和が一定のときのみには作動する三重同時放電回路の構成とその特性が述べられている。

第4章には、実際に本消滅過程が生起していることの確認、またその生起確率を求めるために行った実験上の諸要素の決定と最終結果に含まれる実験誤差について詳細に述べている。ターゲットに入射する陽電子数とその分布を詳細に知るために、これと同じ大きさ(50mm×50mm)で厚さ7mmのプラスチック・シンチレーターを使用して、更にこれを10mm×10mmのます目に分けて、特定のます目にのみ陽電子が入射するように穴をうがった25種の1mm厚のアルミニウム板でシンチレーターの検出面をおおう巧妙な方法を行っている。ターゲット上に入射する陽電子数は可成り複雑な分布をするので、上記の10mm×10mmのます目毎に γ 線検出器及び $K-X$ 線検出器の幾何学的効率を含めての検出効率を決定した。このために実際のます目と同じ大きさのろ紙に様に浸ませた ^{137}Cs 線源より662 keVの γ 線を用いてこれを行った。 $K-X$ 線検出器の検出効率の決定も同様な方法で、但し ^{137}Cs 線源より放出される32 keVの $\text{Ba}-K-X$ 線(銀の場合)また同じ形状のろ紙に浸ませた ^{65}Zn よりの8 keVの $\text{Cu}-K-X$ 線(銅の場合)を用いてこれを行った。ターゲットよりの $K-X$ 線と同時放電をする2個の γ 線光子はこの場合そのエネルギーの和が一定であることが必要であるが、これは加算回路を別に設けて速一遅三重同時放電を行うことによって実現した。この消滅過程の確認のためにはバックグラウンドを除かなければならないので、著者はこのためターゲットの表側にルーサイトの薄い板を置くことによって、本番測定と同じく数百時間の測定でこれを決定した。更に著者は最終的に得られた実験的生起確率の実験誤差について詳細に検討を加えている。

第5章は、最終結果とそれに関する検討である。測定値の分析の後に、この特殊な陽電子消滅過程の存在を検証し、進んで本実験の幾何学的条件下での生起確率を求め、銀原子に関しては $d^2\sigma/d\Omega^2 = (9.4 \pm 4.7) \times 10^{-27} \text{cm}^2/\text{sr}^2$ 、銅原子に関しては実験誤差が決定出来なかったが、 $4.2 \times 10^{-27} \text{cm}^2/\text{sr}^2$ であることを見出している。この結果については対比すべき理論値はないので、詳しい議論は行っていないが、飛行中の陽電子の自由電子による二光子消滅の既存の研究を参照して、得られた実験値が妥当なものであることを結論している。なおこの過程の原子番号依存性について全立体角に放出される γ 線光子の数とその角度分布を測定することが必要であることに言及している。更にこの過程について今後望まれる研究の方向についてもふれている。

論文審査の結果の要旨

陽電子の自由電子による二光子消滅過程はよく知られており、物性研究に広く応用されている。原子核に最も強く束縛されている K 殻電子による陽電子消滅については研究が比較的少なく、この場合一光子消滅、無光子消滅、消滅による核励起の諸過程が知られている。著者はこの場合にも二光子消滅過程が可能であるとの見解の許に、この新しい過程を実験的に検証することを目的とし、300 keVの入射陽電子束と銀及び銅のターゲットを用いてこれを試みて、この新しい消滅過程の存在を初めて確認し、測定器系の特殊な幾何学的配置の許ではあるが、その生起確率の測定にも成功したものである。本論はこの実験的研究をまとめたもので、主な成果を要約すると次のとおりである。

1) ^{22}Na 陽電子源を扇型二重収束式 β 線スペクトロメーターに装填して $300 \pm 3 \text{ keV}$ の単一エネルギー

陽電子束を得ることを試みて、相当の強度の線束を得ている。

2) 放出される2個の γ 線のエネルギーは連続分布をなすが、このエネルギーの和は陽電子の入射エネルギーとターゲット原子の K 殻電子束縛エネルギーを用いて簡単に表わされることに注目し、またこの過程ではターゲット原子より同時に K — X 線が放出され得るので、3個の NaI(Tl) シンチレーション検出器を用い、両 γ 線エネルギーの加算回路を有する γ — γ — X の速—遅三重同時放電回路を考案している。

3) 本過程について未だ理論的研究が行なわれていないので、自由電子及び K 殻電子との飛行中陽電子の衝突による他の消滅過程の従来の研究並びに諸実験条件を考慮に入れ、ターゲット及び2個の γ 線検出器と1個の K — X 線検出器との特殊な幾何学的配置を採用して、本過程の存在の確認を容易にしている。

4) ターゲット金属はく上で入射陽電子数が複雑な分布をするが、はく上の各部分への入射線を25個の区画毎に測定し、またこの位置より放出される γ 線及び K — X 線に対する検出器の検出効率を幾何学的効率を含めて決定する巧妙な方法を開発した。

5) 三重同時放電計数率に対するバックグラウンドの寄与を除くために、ターゲットの陽電子入射面側にルーサイト板を置くことによりこれを推定する方法を工夫した。

6) 最終的に観測された三重同時放電計数率の値とこれの実験誤差の詳細な検討と分析により、300keVの入射陽電子に対し銀及び銅原子の K 殻電子との衝突により二光子消滅過程の存在することを初めて確認することに成功した。

7) 更に特殊なターゲット—検出器系の幾何学的配置のもとで、この過程の生起確率の大略の実験値を得ることに成功している。

以上要するに本論文は、飛行中の陽電子が原子核に強く束縛されている K 殻電子と衝突して起り得る陽電子消滅のうちに二光子消滅過程も存在することを初めて実験的に検証し、その生起確率についても若干の知見を得たもので、陽電子消滅現象に関する今後の研究の一つの焦点ともなり、極めて重要な研究で学術上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。