【153】

氏　名	五十棲　泰人（いそずみ　やすひと）
学位の種類	工　学　博　士
学位記番号	工　博　第 247 号
学位授与の日付	昭和46年3月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
研究科・専攻	工学研究科原子核工学専攻
学位論文題目	**K SHELL INTERNAL IONIZATION ACCOMPANYING β DECAY** （β崩壊に伴うK殻内部電離）
論文調査委員	（主査）教授 清水　栄　教授 向坂正勝　教授 片山泰久

論文内容の要旨

本論文は，原子核のβ崩壊に伴って稀れに起るK殻電子の内部電離とよばれる現象の機構を明らかにするために行なった実験とその結果に対する理論的研究をまとめたもので，緒論および本文6章からなっている。

緒論では，この現象に対して従来二つの過程，即ち核の電荷の突然の変化によるいわゆる"電子ゆり落し（electron shake-off)"と，放出されるβ粒子とK殻電子の"直接衝突（direct collision)"が考えられて来たが，実験的にはどちらの過程が有力であるかをはっきりさせる決定的な研究が不足していることを簡単に述べ，本研究の意図と本論文全体の構成の概要を説明している。

第1章では，核崩壊の三つの型，即ち軌道電子捕獲，α崩壊，β崩壊に伴うK殻内部電離についての従来の実験および理論的研究について説明し，特にβ崩壊の場合には研究が多いにも拘らず未解決な問題も多く，実験装置の根本的欠陥のために決定的データが得られていない点を指摘している。

第2章では，β崩壊に伴うK殻内部電離に関する従来の理論的研究とそれに関連する実験について詳細に検討している。特にこの現象のβ崩壊1回当りの生起確率の放出β粒子エネルギーに対する依存性に関して，従来の測定法では電子検出器が入射するβ粒子とK殻電子を区別できないため，β線スペクトルの低エネルギー領域では問題が多い。この点に関して機構の解明に役立つ決定的実験がなく，且つ理論的取扱いも多少混乱している現状について述べている。

第3章では，前章の考察に基き，低エネルギー領域におけるこの現象の機構を深く考察し，新しい型の実験を提案した。上記確率のβ線エネルギーへの依存性は，この現象が起きなかった時に放出β粒子が持つべきエネルギー（E°_{β}）の関数として取り扱うのがより合理的であることを指摘し，この測定が可能である巧妙な実験方法を考案した。実験に使用するβ崩壊核として ^{147}Pm と ^{63}Ni を選んだ。これらの核は単純なβ崩壊を行ない，他の単純β崩壊核に比して B_K/E_0 が比較的大きく，現象の解明に有利であることから選ばれた。ここで E_0 は放出β線の運動エネルギーの最大値で，Bk は娘原子のK殻結合エネルギー

である。

第4章では，^{147}Pm を用いた実験について述べている。測定装置の最も特色のある点はβ線源を電子検出器に埋込んで使用したことである。この結果，今まで測定困難だと考えられていた低エネルギーβ粒子に対する電離確率をも測定することが出来た。^{147}Pm に対しては分割したアントラセン結晶中に弱い^{147}Pm 線源を狭み，同時に放出される2個の電子（β粒子とK殻電子）を一つの信号として検出し，これらの電子と同時に放出される Sm K—X線を薄い NaI（Tl）結晶で捕えることによりβ粒子とX線との間の同時測定を行った。線源の調整法，両検出器の構造，同時放電回路の詳細についても述べている。アントラセン結晶のシンチレーション特性が温度によって左右されるため，全測定器系を特殊な冷蔵庫内に設置し，測定期間中4°Cに保った。β線スペクトルの全領域を7区分し，その各々のエネルギー領域を選ぶように電子検出器チャンネルを設定して，同時放出光子スペクトルを測定する方法を述べ，最後に，使用した NaI（Tl）結晶の全検出効率を求める方法について記している。

第5章では，^{63}Ni を用いた実験について述べている。この場合の同時測定では，放出されるβ粒子，X線も共にエネルギーが低いことを考慮して，ガス比例計数管を採用している。線源は電子用計数管の内に装塡した。線源の調整法，両計数管の構造の詳細および特殊な工夫を施した同時放電測定回路の構成と性能とについて詳細に説明されている。放出される2個の電子と同時に発生する Cu K—X線のスペクトルの測定は上記^{147}Pm の場合と同じように選ばれた電子エネルギーに対して行っている。更に複雑な手段によるX線用比例計数管の検出効率の決定法を説明している。

最後の第6章では，上記手段によって測定された同時測定X線スペクトルより〝初期β粒子エネルギー（E°_{β}）〟の関数としてβ崩壊に伴うK殻内部電離の確率を導く方法を述べ，その結果を示している。^{147}Pm および^{63}Ni のいずれの場合にも，この確率は E°_{β} の閾値 B_K の約2倍以上の領域ではほぼ一定となっているがそれ以下では急激に減少していることが明らかにされた。一方いわゆる〝瞬間近似（sudden approximation）〟を用いて電離確率を計算することを試みている。実験では E°_{β} の関数としてこの確率が得られ，理論計算の方でも複雑な補正を必要とせず，比較的容易に実験値と比較し得る確率が求められている。計算計果は実験結果とよく一致し，このことから次の重要な結論を導いている。即ち，〝電子ゆり落し〟機構が放出されるβ粒子のすべてのエネルギー領域に亘り成立し，〝直接衝突〟はほぼ完全に無視し得ることが明らかとなった。またβ崩壊に伴うK殻内部電離は，多くの研究者によって仮定されて来た2段階過程ではなく，1段階過程によって起ることが示されている。これに関連し，理論的取扱いについて重要な議論を展開している。尚，この章には^{147}Pm のβ崩壊に混入している極めて微弱なβ崩壊分岐ついての測定およびこのために行なわなければならない電離確率決定法に対する補正についても述べている。

論文審査の結果の要旨

原子核のβ崩壊に伴ってその原子の軌道電子が放出される現象は，1941年にソ連の学者により理論的に予言されたが，1953年になって米国の研究者により実験的にその存在が立証された。この極めて稀な現象は，主としてβ崩壊のとき核の電荷が突然変化することにより起こる軌道電子のいわゆる〝電子ゆり落し

(electron shake-off)″ 過程によると考えられているが，核より出てくるβ粒子と軌道電子との相互作用により，その電子が放出されるいわゆる″直接衝突（direct collision)″ 過程もこれに寄与していると予想される。1950年代に行なわれたフランスでの一連の実験が契機となり，最近再びこの現象の研究が米国，カナダ等で活発に行なわれるに至った。

本論文の著者はこれらの研究を綿密に検討した結果，従来のすべての実験方法には根本的に欠陥があり，実験結果の理論的取扱いにも混乱があることに気付いた。そこで新たに自ら考案した巧妙な測定法を用いて注意深い実験を行ない，β崩壊に伴いK殻電子が放出されるK殻内部電離に関し研究手段を確立し，この現象の解明に新たな光を投じた。

この現象を観測するには放出される2個の電子（β粒子とK殻電子）と同時に発生する娘原子のK—X線を同時測定することになるが，従来の実験ではβ線源を電子検出器とX線検出器の中間に置いたため，「β粒子とX線」，「K殻電子とX線」の同時測定を区別することが出来なかった。そのため現象の生起確率のβ線エネルギーに対する依存性について明確なデータが得られなかった。著者はβ線源を電子検出器の内部に装塡して4π検出を行なう新しい方法を考案した。この結果，β崩壊1回当りの生起確率を放出される両電子のエネルギーの和の関数として測定することに成功した。更に実験結果より，核からβ粒子が出てくる時の初期エネルギー E°_{β} の関数としてこの確率を導く方法を考え，現象の解明に有力なデータを得た。

著者はβ崩壊核種として ^{147}Pm と ^{63}Ni を選んでいる。これは特にβ線スペクトルのエネルギーの低い領域で未解決な問題が多いことに着目して，娘原子のK殻結合エネルギー Bk とβ線スペクトルの最大エネルギー Eo との比即ち Bk/Eo が比較的大きい核種を選定したためである。^{147}Pm 線源を分割したアントラセン結晶の間に挟み，これを電子用のシンチレーション検出器として使用し，放出される両電子を全部捕捉した。放出される Sm K—X線に対しては薄い NaI（Tl）結晶検出器を用い，放出電子のエネルギー領域を選び，放出光子のスペクトルを同時測定した。^{63}Ni の場合にはβ粒子，CuK—X 線のエネルギーが共に小さいため，2個のガス比例計数管を製作し，これを電子検出器およびX線検出器として使用した。^{63}Ni 線源を電子用の計数管内に装塡し，放出光子のスペクトルの同時測定を行った。この場合，ガス比例計数管固有の欠点を補うため，同時測定回路に特殊なパルス波形選別器と称する回路を考案して挿入するなど，高度のエレクトロニクス技術を駆使している。

このような新しい測定法により，^{147}Pm と ^{63}Ni のβ崩壊に伴うK殻内部電離の生起確率を初期β粒子エネルギー E°_{β} の関数として，β線スペクトルの全領域に亘り決定することに成功した。いずれの場合にもこの確率は E°_{β} の閾値 Bk の約2倍以上の領域ではほぼ一定であり，これ以下では急激に減少していることが立証された。また″瞬間近似（Sudden approximation)″ を用いてこの確率の計算を試み，実験結果とよく一致する理論値を得ている。

以上の研究より著者は次の重要な結論を得ている。即ち，″電子ゆり落し″ 機構がβ線スペクトルの全領域に亘り支配的で，″直接衝突″ による効果はほぼ完全に無視し得る。またこの現象は従来多くの研究者によって仮定されてきた2段階過程ではなく，1段階過程によって起るものである。更に著者は理論上厳密には″直接衝突″ と″電子ゆり落し″ とは区別して取扱うべきではないことなども指摘し，将来の研

究の指針を示している。

以上要するに，本論文はβ崩壊に伴うK殻内部電離の観測に全く独創的な方法を開発し，この現象の本性に関し重要な知見を提供すると共に，将来の研究の基礎となる実験および理論的方法を明確にしたもので，学術上貢献するところ多大である。

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。