

氏名	富 増 多 喜 夫 とみ ます た き お
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	論 理 博 第 257 号
学位授与の日付	昭 和 43 年 11 月 25 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	Absolute Measurements of X-Ray Beam Energy and Photon Neutron Cross Sections for Natural Cu and Pb (X線ビームエネルギーと自然銅および鉛に対する光中性子断面 積の絶対測定)
論文調査委員	(主 査) 教 授 安 見 真 次 郎 教 授 柳 父 琢 治 教 授 長 谷 川 博 一

論 文 内 容 の 要 旨

申請者の主論文は、阻止X線ビームの強度の精密測定の方法について重要な改良を行ない、これを用いて光核反応断面積の絶対値を求めたものである。

従来、光核反応断面積の測定は、種々の原子核、種々のエネルギーにおいて多数の研究があるが、反応断面積の絶対値に関していえば、核反応などからの単色 γ 線によるものと、阻止X線ビームによるものとの間に、明らかな不一致が存在している。申請者は、この不一致の原因を、阻止X線の場合の、光子数の測定方法に求めて、研究を行なった。

阻止X線ビームの強度測定には多くの方法があるが、ビーム強度を常時測定するには、通常3種の測定装置が用いられている：即ち 1) 電離函、2) 多層電離函、3) quantameter である。これらはいずれも強度を、イオン電流にかえて、はかるものであるが、3) の quantameter とは、多層電離函の一種であるが、その構造に工夫を加えて、quantameter 内で発生するエネルギーを、transition 曲線に沿って自動的に積分できるようにしたものであって、阻止X線の強度測定に対しては、現在最も信頼しうるものと考えられる。

申請者は、次の諸段階の研究をつみかさねて研究を進めていった。まず、上記の quantameter の感度係数(単位エネルギーあたりの電気量)の計算に必要な阻止X線に対する平均質量阻止能比の精細な理論計算を 0.1MeV \sim 1,000MeV のエネルギー範囲において、アルミニウム-空気、銅-空気および銅-アルゴンについて行なった(参考論文その4)。この結果、銅-空気の組合わせに対しては、この阻止能比の γ 線の最大エネルギー依存性は、三つの組合わせの中で最も少なく、6MeV \sim 1,000MeV にわたって、2%以内で変化するにすぎないことを見出した。このため、quantameterの改良型としては、その電極板には銅を、充填ガスには乾燥空気 20°C、760mmHg を用いることにしている。また申請者は、従来よく用いられている Wilson 型 quantameter (銅アルゴンの組合わせを採用)は 100MeV 以上の高いエネルギー領域では、非常に信頼度の高いものであるが、50MeV 以下の領域では、前面の第1電極板が 10mm

の厚さのため、全電離電流が少なく測定される欠点があることを指摘した。この過少評価の欠点を除くため、補正係数を導入し、また一方、quantameter 自身を低いエネルギー領域に、もっと適した形にかえる改良を行なった。以上の考察にもとづいて製作した電気試験所 quantameter Q-II の改良をまとめると次のようである。1) 低エネルギー領域における性能を改善するため最初の方の電極板の厚さ等を変化して transition 曲線の積分を一層精密に行ないうるようにした；2) quantameter から側面方向へのエネルギーの逃げを防ぐために、quantameter 周辺部の構造を改良した；3) 充填ガスとしては、20°C、760 mmHg の乾燥空気を用いた。この quantameter についての理論的計算は参考論文その2に、実験的研究は、参考論文その3に述べられている。

実際の X 線の強度を測定するには、quantameter で吸収するエネルギーを電離電流にかえて測定し、感度係数の逆数をかけて、エネルギー量、さらに光子数にするわけであるが、これだけでは完全でなく、quantameter に入射した後、これから洩れて逃げてゆくエネルギーをも測定して加えておかねばならない。この洩れのエネルギーについては申請者はプラスチック・シンチレーション計数管によって実際に測定した（参考論文その12）。これらの操作を経て、最終的には、この quantameter の感度係数を 6MeV ~ 1,000 MeV に亘って求めているが、この算出の誤差については、各過程の精細な分析の後、総合して1.9%以内であると結論している。またこの quantameter Q-II と、他の研究所例えばアメリカ合衆国NBSの多層電離函の一種である P-2 chamber との相互校正も行なっている。

申請者は更に進んで、銅に対する (γ, n) 反応の断面積の測定を行なった。即ち、申請者が自ら製作した電気試験所 25MeV ベータトロン（参考論文その9, 10, 11）からの阻止 X 線を適当なモニター、コリメータ、およびシールドを通して銅または鉛の資料に導いて照射し、 4π 方向に発生する中性子を資料周囲をとりかこんだパラフィンで減速しパラフィン中にうめこまれた3弗化硼素の比例計数管で検出する方法をとった。中性子検出装置の計数効率、電気試験所バンデグラフ加速器による中性子を用いて測定しているが、その絶対値については、強度の知れた RaD+Be 中性子源を利用して決めた。又光中性子のエネルギー分布に対する知識を得るため、パラフィンにうめこまれた比例計数管と銅または鉛資料との距離を 10cm および 15cm にした二つの場合の計数比を RaD+Be 中性子と比較することを行なっている。阻止 X 線のような連続スペクトルの γ 線を用いて得られたいわゆる生成曲線（阻止 X 線の最大エネルギーをかえて、反応の生成量を目盛った曲線）から単色 γ 線エネルギーに対する光反応断面積即ち、励起曲線にやき直すには、逆マトリックスの方法とよばれるものを用いている。かくして得られた光中性子生成励起曲線を更に、 (γ, n) 反応断面積の励起曲線（断面積—エネルギー曲線）に直すには、 $(\gamma, 2n)$ 反応の影響を考慮する必要がある。このようにして申請者は最終的に銅および鉛の原子核に対する (γ, n) 反応断面積の励起曲線を夫々 10MeV ~ 24MeV および 7MeV ~ 23MeV に亘って測定した。銅の場合の励起曲線のピークエネルギー(17.2MeV)における断面積は $78 \pm 8 \text{mb}$ であり、鉛の場合のそれは 14.1MeV において $660 \pm 60 \text{mb}$ である。これらの値は他の阻止 X 線による実験データの平均値に比べると夫々約20%低い値である。

上に得られた値を使って光核反応の Sum rule で用いられる量の一つである $\sigma_{-2} = \int \frac{\sigma}{K^2} dK$ (K は光子エネルギー) の実験値として

$$\sigma_{-2} \left| \begin{array}{l} = 1.81 \text{mb/MeV (閾値から 24MeV まで)} \\ \text{銅} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{-2} \left| \begin{array}{l} = 18.6 \text{mb/MeV (閾値から 23MeV まで)} \\ \text{鉛} \end{array} \right.$$

を得ている。これらの値と、 σ_{-2} の理論値との比を出すと、銅および鉛の場合、それぞれ 0.95 ± 0.14 および 1.13 ± 0.17 となる。但し、銅の場合は (γ, p) 反応チャネルは無視できないので、この比の算出には、その補正を考慮に入れた。

参考論文は殆んどが主論文の研究の一部となっているもので、これらの積み重ねの上に主論文ができたといつてよい。

結論的にいえば、申請者は 25MeV ベータトロンによる阻止 X 線を用いて、銅および鉛の光中性子生成断面積を測定し、励起曲線の形は従来とあまり変わらないが、その絶対値が従来の阻止 X 線の値に比べて約 20% 低いものを得た。この絶対値は、単色 γ 線による測定値とよく一致している。

論文審査の結果の要旨

光と原子核との相互作用を知る上での、一つの重要な量としては光核反応全断面積（光と原子核との相互作用の全断面積）がある。これは従来より種々の核について多数の測定が行なわれているが、通常これらの標準としてよく用いられるのは、銅原子核に対する (γ, n) 反応断面積である。換言すれば、他の核については、銅を基準として相対的にその断面積が測られることが多い。しかしながら 1960 年頃京都大学グループによって指摘されたように、この標準となる銅原子核についての断面積の測定値は一致していない。それらは大別して 2 群に分けられる。即ち、第 1 群は、核 γ 線等の単色 γ 線による測定値であり、他方は加速電子の阻止 X 線による測定値であって、後者は前者に比べて約数十%以上も大きい。この指摘にひきつづいて行なわれた京都大学グループによる、Li-p γ 線を用いた $\text{Cu}^{63}(\gamma, n)\text{Cu}^{62}$ 反応断面積の注意深い測定値は、 γ 線エネルギー 17.6MeV に換算して、 $76 \pm 5 \text{mb}$ であり、当時の阻止 X 線によって得られている断面積の平均値に比して、約 30% 程度小さい値であった。このことは 1961 年の光核反応国際会議において取り上げて議論され、席上上記の事実（不一致の存在）は確認されたが、どちらが正しいか或はこの不一致の原因についての見解は、出席の実験研究者の間でも一致しなかった由である。又、その後速に陽電子の飛行中崩壊からの γ 線が、ほぼ単色に近いことを利用し、これによる光核反応断面積の測定がアメリカ合衆国 Livermore とフランス Saclay において行なわれていたが、これらの速報がこの会議に出された結果、それらはいずれも、第 1 群に近い測定値を与え、上記の不一致の存在は益々明らかな事実となってきた。

このような、測定値間の不一致の存在は、一般に光と原子核との相互作用を考える上で、現在一つの障害となっており、特に種々の総和則 $\sigma_0 = \int \sigma dK$, $\sigma_1 = \int \sigma K dK$, $\sigma_{-2} = \int \frac{\sigma}{K^2} dK$ の形での実験と理論との比較において、上述の 30% 程度の大きな不一致の存在は、結果の解釈に重大な困難を与えているわけである。

こういう状況においては実験研究者の側から、この不一致の原因をつきとめ、最も確かと考えられる断面積の値を早急に、実験的に決定して呈示する必要がある。

本論文の主要な研究目的はこの点にあるのであって、申請者は不一致の原因の一つと考えられる、光子数の測定をとりあげ、精力的にそれを追求し、得られた種々の結果に基づいて改良した quantameter (電気試験所 Q-II 型) を製作した。この感度係数を算出するために必要な、阻止 X 線に対する平均質量阻止能比 $m\bar{S}_b(K_0)$ の値は種々の過程を注意深く考慮に入れてできる限り精細に計算している。こうして得られた銅-空気の組合わせに対する平均質量阻止能比の値は、6MeV~1,000MeV のエネルギー範囲において、大体一定となり、僅か2%しか変化しないという注目すべき結果を得ている。このことは、阻止 X 線強度の測定法に関する重要な結論である。この事実にもとづくと共に論文内容に述べた種々の改良を加えて製作した quantameter Q-II 型の感度係数の精度は在来のものに比して計算精度の上からも数段優れていると考えられる。

この quantameter によって光子数を求める一方、生成される光中性子数の測定を中性子検出器で行なった結果、得られた断面積値は 17.2MeV において銅について $78 \pm 8\text{mb}$ 、鉛について 14.1MeV において $660 \pm 60\text{mb}$ であった。今、銅63と銅65に対して (γ, n) 断面積が等しいと仮定すれば、この値は単色核 γ 線による京都大学グループの測定値をはじめとする、第1群に属する他の測定値とも、誤差の範囲内でよく一致している。

この一致を、そのまま問題の解決と見なすのは少々早計である。なぜならば、光核反応断面積を導き出す操作は、次の三つ即ち a) 光子数の測定 b) 生成核反応の頻度の測定 (今の場合は光中性子数の測定) c) 生成曲線 (光子の最大エネルギーを変化させて、光核反応の生ずる割合を目盛った曲線) から励起曲線を求める操作が必要である。阻止 X 線による断面積測定の際、この三つの中のどの操作に誤りがあったため、上述の不一致を招いたかということは、a)~c) の一つ一つの操作を吟味してみなければならない。更に申請者の論文に指摘しているように、申請者の今回の改良によって a) の部分の従来からの変化は、数%程度と見られるため、a) ~c) の総合結果としての不一致がこれのみによることと考えることは困難である。

しかしながら、従来とかく大きな断面積の出がちであった阻止 X 線による測定によって、申請者が単色 γ 線の値と誤差の範囲内でよく一致する値を得たことは、断面積を求める操作において前者に比して遥かに簡単であって、誤差の入る可能性が少ない第1群の測定値の高い信頼性を強く示唆するものといえる。これを要するに、阻止 X 線の強度の測定、換言すれば、エネルギー別の光子数の絶対数の測定は、従来より、実験技術上での困難な仕事の一つとされてきたが、この点を申請者は、真正面からとりくんで、重要な貢献をしたものであって、その寄与は高く評価しうる。この論文により、両者の不一致がなくなり、単色 γ 線による断面積値が正しいものとして結論されたわけであり、このことは上述の総和則の議論にも重要な寄与をしたものと考えられるが、一般的に光と原子核との相互作用を論ずる上で、原子核物理学特に光核反応研究分野において重要な貢献をなしたものといえる。参考論文は、論文内容の要旨に述べたように、殆んどすべて最終的に主論文の研究を遂行する目的での準備段階とみられる各研究の成果に関するものである。

よって本論文は理学博士の学位論文として価値があるものと認める。