

|               |                                                                                                                              |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名           | 田 平 定<br>た ひら さだむ                                                                                                            |
| 学 位 の 種 類     | 理 学 博 士                                                                                                                      |
| 学 位 記 番 号     | 論 理 博 第 389 号                                                                                                                |
| 学 位 授 与 の 日 付 | 昭 和 47 年 5 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   | <b>Energy and Angular Distribution of Electrons Ejected from Atoms by Electron Impact</b><br>(電子衝撃によって原子から放出される電子エネルギー及び角分布) |

(主 査)  
論文調査委員 教授 武藤二郎 教授 中井祥夫 教授 町田 茂

### 論 文 内 容 の 要 旨

論文は二部からなり、第一部では原子の電子衝撃によって生じる二次電子のうち、線スペクトルをなす部分の研究、第二部では連続スペクトルをなす部分の研究がのべられている。

申請者の研究は原子のレゾナンス状態の代表的な一つの例であるヘリウムの *autoionization state* に関するものである。原子の *autoionization state* はこれまで光学的方法による吸収スペクトル、電子線通過の際のエネルギー損失スペクトル、重荷電粒子衝撃による放出電子スペクトル等によって研究されてきたが、光学的方法では遷移の禁止されている状態の研究が不可能であるので、荷電粒子による研究の精度を格段に上げることによって準位のエネルギー値、エネルギー巾、生成断面積、スペクトルの形などを決定することが広く学界から要望されていた。

申請者の用いた装置は、電子銃室、標的室、分析室の三部分からなり、全体が真空度  $3 \times 10^{-9}$  torr に到達可能な超高真空容器に収められており、標的室には  $1 \sim 10 \times 10^{-4}$  torr のヘリウムが導入され、他の部分の真空度を悪化させることなく差動排気されるようになっている。偏向角90度の静電セクター型電子エネルギー分析器は、特に空間電荷を極力とり除くこと、磁場を5ミリガウス以下に減らすこと、壁などからの二次電子をへらすことなどに慎重な考慮がはらわれ、半値巾で 80 meV の高い分解能を得ることに成功している。

申請者はこの装置によってヘリウムによる電子散乱の測定を行ない、次にのべるような結果を得た。

(1) 従来の測定ではヘリウムの  $(2p^2)^1D$  状態はエネルギー的に  $(2s2p)^1P$  状態に非常に接近しているため、常にスペクトルの肩の程度にしか認められなかったのを完全に分離して測定することに成功し、そのエネルギー値、エネルギー巾の正確な値を与えてこの準位の存在を確立した。

(2) 二三の角度で  $(2s^2)^1S$ ,  $(2s2p)^1P$ ,  $(2s2p)^3P$ ,  $(2p^2)^1D$  などの状態から放出される電子の強度を入射電子エネルギーの関数として測定し、いわゆる微分断面積の励起関数を得た。特に  $(2s2p)^3P$  状態は励起しきい値のエネルギーに近い電子によって強く励起され、入射エネルギーが増すと共に急速に減少するこ

とを見出した。

(3) ヘリウムの **autoionization state** からの電子のエネルギー・スペクトル線の形、および強度が、放出角度によって系統的に変化することを見出した。これは Auger 電子も含めて、原子のこのような中間状態から放出される電子について、角分布の存在することを示した最初の実験結果である。

申請者はこのスペクトル線の形を Fano の理論でパラメータ的に解析して **autoionization state** に関与するいくつかの **atomic parameter** を決定した。更に、線の形が角と共に変化することは、これまでスペクトルの山の位置を単純に共鳴エネルギーだとしてきた従来の非光学的方法による値をすべて再検討する必要のあることを示していると指摘している。

(1)に関する結果、すなわち  $(2p^2)^1D$  状態のエネルギー値は二三の理論的研究とかなりよい一致を示しているが、(2)、(3)に関する結果、すなわち、励起関数と角分布については約40年前の Massey らの簡単な Born 近似による理論計算しかなく、理論的考察が行なわれていないので、申請者は、論文第二部においてその結果の与えられている連続スペクトル部分の角分布と関連させて、その理論的解釈を展開している。

論文の第二部では直接過程で生成する二次電子の連続スペクトル部分の測定結果を解析し、これが60度~70度付近にゆるやかな極大をもつ角分布をもっていることを見出すと共に、この角分布が Binary Collision Model で理論的に再現できることを計算によって示している。

### 論文審査の結果の要旨

この論文は二部よりなり、第一部は原子の電子衝撃の際、放出される二次電子のうち線スペクトルをなす部分の測定によってヘリウム原子の **autoionization state** を明らかにした研究であり、第二部は連続スペクトルをなす部分の測定によって行なった直接電離過程の研究である。

電子・原子衝突の研究は古くから行なわれているが、最近10年間で理論的・実験的に新しい展開が見られている。その一つは原子分子系における共鳴状態の研究であって、これは真空技術の進歩によって超低速電子のエネルギー分析技術が格段に進歩したことに負う所が大きい。

申請者は原子のレゾナンス状態の代表的な例の一つであるヘリウムの **autoionization state** をとり上げて研究している。この状態の研究はこれまで光学的な光吸収スペクトル、電子のエネルギー損失スペクトル、陽子などの重い荷電粒子によって生じる放出電子のスペクトル等の測定によって行なわれてきていたが、これらの state の中には光学的な方法では測定できない、いわゆる **optically forbidden state** が多いので、特に非光学的実験方法による系統的研究が要望されてきていた。即ち、これらの状態のエネルギー値、エネルギー巾などの基本的数値を正確に定めること、電子のような基本的粒子の衝撃によって生じるその状態の生成断面積、放出電子のスペクトル線の形、角分布などの測定をすることが望まれていた。

申請者はこれらの実験的測定を行なうために、東京工業大学織田研究室において、極めて精度の高い電子衝突実験装置を製作し、数 10eV 以下の低速電子のエネルギーを半値巾 80meV という極めて高い分解能で測りうる、世界的最高水準の装置を完成し、電子衝撃によってヘリウムから発生する二次電子のスペクトルを測定して、特にヘリウムの **autoionization state** に関する研究を行なった。

この研究の結果、申請者は次のような新しい知見を見出した。即ち、

(1) 従来、測定しえなかったヘリウムの  $(2p^2)^1D$  準位を完全に分離して測定することに成功し、そのエネルギー値、エネルギー巾について精度の高い値を確定してその存在を確立した。

(2) ヘリウムの **autoionization state** のうち、 $(2s^2)^1S$ ,  $(2s2p)^1P$ ,  $(2s2p)^3P$ ,  $(2p^2)^1D$  準位の電子衝撃による生成断面積の励起関数をうることに成功した。

(3) これらの状態からの放出電子のスペクトル線の形および強度が放出角度によって異なることを初めて見出した。

申請者はこれらの測定結果について理論的考察を加え、スペクトル線の形については **Fano** の理論を適用して、**autoionization** に関与する遷移マトリックスエレメントなどの **atomic parameter** を含む量の決定を行なった。特に角分布の存在は、原子のこの種の間状態からの放出電子について申請者によって初めて見出されたものであって、従来から理論的考察が殆んど行なわれていなかったものである。申請者は論文第二部において連続スペクトル部分すなわち直接過程による二次電子について精度の高い測定と解析を行ない、これら連続スペクトル部分には、線スペクトルの場合とは逆傾向の角分布の存在することを見出しており、その角分布はいわゆる **Binally Collision Model** で理論的に再現できることを示すと共に、これとの関連の下で、線スペクトル部分の角分布が合理的に解釈しうることを明らかにして、この中間状態の理論的考察を展開している。

申請者の行なった角分布の発見は、その報告ののちに二三の外国の研究グループによって追試され、1971年の原子衝突国際会議においても広く関心を集めたものであった。

以上のべたように、申請者の行なった研究とその得られた結果はヘリウム原子に限られているが、その方法は今後、分子などの研究にも応用の道を開いたものであり、特に角分布の発見とそれを通じての原子の **autoionization state** の研究はこの分野の研究に新しい進展の一步を加えたものである。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。