

氏 名	田 島 俊 彦 た じ ま と し ひ こ
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	理 博 第 306 号
学位授与の日付	昭 和 49 年 1 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	理 学 研 究 科 物 理 学 第 二 専 攻
学 位 論 文 題 目	Determination of the Electromagnetic Transition Form Factors from the Scaling Behavior in the e-p Scattering (電子陽子散乱のスケーリング現象による電磁遷移因子の決定)
論文調査委員	(主 査) 教 授 田 中 正 教 授 町 田 茂 教 授 位 田 正 邦

論 文 内 容 の 要 旨

素粒子の構造、とくに陽子・中性子の構造を検べるために、BeV 領域の高エネルギー電子を格子に衝突させ、その非弾性散乱の微分断面積を検べることがきわめて重要視されている。すでにこれまで得られた実験結果からも、核子の構造について興味ある結果を示唆する特徴的な事実が明らかにされている。その一つは申請論文の主題となっているスケーリングの現象である。理論の一般的考察から、この過程の微分断面積は2つの相対論的に不変な構造関数によって表わされ、またこれらの関数は、さらに2つの相対論的に不変な変数に依存する。後者の変数のうちの1つは、衝突電子から、虚状態の光子 (Virtual photon) の交換によって核子に渡される4元運動量の大きさに関係する量であり、他は核子の静止系でみたときの電子から核子に渡される遷移エネルギーに関係する量である。しかし実験が示すところによると、衝突電子エネルギーが2 GeV 近辺を起えと、もはや構造関数はこれら2つの変数の比のみに依存する、いわゆるスケーリングの現象が生じている。

この現象を理論的に解明するのに、大まかに言って、2つのアプローチがとられている。いずれにしても、この現象は高エネルギーの入射電子から放出される虚状態の光子をターゲットの核子が吸収して、多数のハドロン—核子や π 中間子などの強い相互作用をもつ素粒子—に転化する過程である。1つのアプローチは、この過程を直接扱うかわりに、光学定理を用いることによって、この非弾性散乱の微分断面積を、(虚状態の)光子と核子のコンプトン散乱の前方散乱振巾の虚数部分に関係づける。この立場から上述のスケーリングの現象を説明する有力な試みとして、パートン模型と呼ばれるものがある。それは Feynman によるもので、まずハドロンは無数の構成要素 (パートン) からなる複合系であると考え、このときスケーリングの現象は、パートンがスピン $\frac{1}{2}$ をもつ Dirac 粒子で、個々のパートンは恰も自由粒子であるかの様に光子と散乱するものとして、それらの寄与を適当な重みで加算することによって見事に説明される。

上のアプローチからは、スケーリングを手がかりに核子に対する1つのドラスチックな模型が導かれた

が、それに対して相補的なもう1つのアプローチが申請論文の立場である。ここでは問題の非弾性散乱の過程を直接考察し、核子が多数のハドロンに転化する過程は、主として一旦格子の共鳴状態の生成を経て行われるものとする。すなわちこの場合は、核子と核子の共鳴状態の間の電磁的遷移の過程を問題にすることになる。従って上述のスケーリングの現象が成立するためには、この過程を記述する共鳴状態の電磁的遷移形状因子が強い条件を満たすことが必要であり、それを通じて共鳴状態の内部構造について重要な知見を得る可能性がある。

申請論文においては、これまで行われてきたこの分野の研究の中で不確かであった諸点を明確に基礎づけ、かつ実験を見事に再現する合理的な遷移形状因子を決定することに成功した。そこでは各共鳴状態を統一的に記述するという立場にたって、第1にすでに確立されている核子自身の電磁的形状因子を再現すること、第2に共鳴状態の γ -崩壊の振巾を正しく与えること、第3にスケーリングの現象を近似的に保証することの要請に合致する形状因子を見出している。その結果によると、共鳴状態の空間的拡がり、質量単位とともに小さくなり、それが 5 GeV 程度、拡がりにして 10^{-15} cm 程度に達すると、再びスケーリングを破る様に寄与することが分る。これはきわめて重要な結論であり、申請者がすでに参考論文で試みている陽子-中性子の質量差の説明に対しても、新しい可能性を与えるものとして注目される。

論文審査の結果の要旨

申請論文の課題は、最近高エネルギー物理学の一つの焦点となっている核子-電子の高エネルギー非弾性散乱実験に関する理論的研究である。この実験は、 GeV 領域の電子を核子に衝突させ、核子を多数のハドロンに転化させることによって得られる情報から、核子の構造を解明しようとするものである。

申請論文が問題にするのは、この実験が示すいわゆるスケーリングの現象である。論文内容の要旨に述べられている様に、この実験から得られる非弾性散乱の微分断面積は、2つの構造関数によって表わされ、かつこの構造関数は一般には電子が核子に渡す4元運動量の大きさ、および核子の静止系で見た、電子から核子に与えられるエネルギーの値の双方に依存する。しかし実験の示す所では、衝突電子のエネルギーが、 2 GeV 、交換される4元運動量の大きさが 1 GeV を超えると、これらの構造関数は、上述の2つの量の比のみに依存する傾向が顕著になる。これがスケーリングと称される現象で、ハドロン内部構造を知る上で重要な示唆を与えるものとして注目されている。

申請論文では、この非弾性散乱による多数のハドロン生成過程は、電子の放出する（虚状態の）光子を吸収して、核子は一旦その共鳴状態に励起され、それが崩壊して多数のハドロンが生成されるという立場をとる。核子の共鳴準位は、種々の実験的、理論的考察から、その質量の2乗値が、ある基本単位の整数倍という形で分布し、かつその崩壊巾はその質量値に比例するという考えが有力視されており、申請者もこの考えを採用する。その結果、非弾性散乱の断面積は、（虚状態の）光子を吸収して、核子とその共鳴状態に転移するときの電磁的遷移形状因子によって表わされることになるが、上述のスケーリングの現象を再現するためには、この形状因子に強い条件が課せられることになる。従って形状因子の決定が本申請論文の中心課題であるが、申請者はこの形状因子をできる限り僅かのパラメーターを用いて、すべての共鳴状態を包括的に記述することを試みる。そこで上述の共鳴準位の質量値、崩壊巾に関する仮定のほか

に、核子の弾性散乱の電磁形状因子からの示唆に従って、まず形状因子は電子から渡される 4 元運動量が大きくなるにつれて、いわゆる双極子型に減衰すると仮定する。つぎにこの形状因子は、4 元運動量が零の所で共鳴状態の γ -崩壊の振巾を与えることに注意して、実験事実と矛盾のないように、4 元運動量の大きい所での上述の双極子型に接続する。

申請論文が明らかにした重要な結果は、この形状因子の決定に際して、スケーリングを再現することの要請をおくと、双極子型を特徴づけるパラメーターがすべての共鳴準位に共通して、ほとんど一意的に決定される点である。こうして決められた形状因子からは、まず共鳴状態の空間的な拡がり、質量値とともに減少すること、さらに双極子型の撰択が実験からきめられる構造関数の振舞を見事に再現していることが分る。

申請論文の処方、従来この分野で不明確に扱われてきた諸点を厳密に基礎づけ、特に 4 元運動量の全域にわたる合理的な形状因子の決定に成功し、共鳴状態のアイソ・スピンの大きさによる寄与の違いを明確にしたこと、さらに最終的結論として、質量値が約 5 GeV 以上、その空間的拡がり、 10^{-15} cm 程度以下の共鳴状態は、再びスケーリングを破るよう働くことの可能性を指摘したことは、ハドロン構造に対して極めて重要な知見を与えるものである。

この様に申請論文は高エネルギー物理学の分野において重要な寄与をなすものであり、また参考論文とともに申請者がこの分野で深い学識とすぐれた研究能力をもつことを示している。

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。