

【 27 】

氏名	位 田 正 邦 い だ まさ くに
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	論 理 博 第 1 9 号
学位授与の日付	昭 和 37 年 6 月 19 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	Space-Time Description of Collision and Decay Processes (衝突および崩壊過程の時空的記述)

論文調査委員 (主査) 教授 湯川 秀樹 教授 小林 稔 教授 林 忠四郎

論 文 内 容 の 要 旨

最近場の量子論の公理的定式化に関する研究は注目すべき成果をあげている。すなわち量子電磁力学において著しい成果をおさめた繰り込み理論は、繰り込み常数が発散するという内部矛盾をふくむのみならず、その基礎を摂動論にしているため、中間子族・核子族の関与する強い相互作用の解明には不適當であった。そこで相対論的な場の量子論の基礎をなしている少数の公理から、観測可能量の間の発散を含まない方程式系を、近似法によらずに導こうとする研究がなされてきた。従来主として Lehmann 等によってなされたこの種の研究の基礎をなす公理は次の四つであった。

- (1) 局所場およびヒルベルト空間に関する一般的仮定。
- (2) 相対論的不変性と真空状態の存在。
- (3) 漸近条件。
- (4) 微視的因果律。

これらの公理から導かれた関係式は、素粒子の従う具体的な力学法則を演繹的な形ではふくんでいない。しかし、強い相互作用に関する実験から帰納されるいくつかの知識——スペクトル条件と相互作用の対称性等——を附加すれば、これらの関係式は散乱振幅の解析性について有力な手がかりを与え、分散式を通じて、強い相互作用の解明に重要な役割を演じてきた。

しかし、上述の公理の中(1)および(2)を認めるとしても、第三の漸近条件に関しては多くの問題が残されていた。この条件は具体的には、素粒子が散乱過程の途中において複雑な相互作用を行なうが、“無限の未来”と“無限の過去”においては、観測される質量をもった、互いに独立な自由粒子として振舞うことを意味している。この“無限の未来と過去”という概念は明らかに理想化されたものであり、その結果これらの公理から導かれた結論は、本質的には S 行列の理論と等価なものになる。一方自然界に存在するほとんどの素粒子は有限な寿命をもち、崩壊現象が現実に観測されているのであるが、S 行列の理論は無限の未来と過去における散乱振幅の漸近形のみを対象にするため、崩壊現象の時空的記述は不可能である。

さらにまた素粒子に対する漸近条件のみでは、束縛状態を記述することは不可能である。

著者はこの漸近条件を、より一般的な“粒子性の条件”でおきかえることにより、公理論的理論の枠内で、素粒子の散乱ならびに崩壊過程の特空的記述を可能ならしめ、さらに束縛状態をもふくませることに成功したのである。この粒子性の条件を数学的に定式化する際に使われた基礎的な考え方は、四次元的に広がった波束という概念である。従来場の量子論において、状態ベクトルの定義は常にある一定の時刻において行なってきたが、このような方法で観測の理論を定式化しようとするれば、観測時刻を一点に収束させるために生ずる場の揺動による発散を避けえない。さらにまた一定の時刻において状態ベクトルを定義するには、Heisenberg 表示における場の演算子を用いても、その無限積をふくむ無限和が必要になる。一方現実の物理過程においても、始めの状態の設定ならびに終りの状態の観測には有限の時間間隔が必要であり、これを一定の時刻でおきかえるのは、これもまた理想化の一種に過ぎない。著者は散乱および崩壊過程の始めの状態と終りの状態を定義するのに、四次元的に広がった波束を使い、この波束をきめるC数関数を、系のもつスペクトルに応じて適当な関数を選ぶことにより、記述の仕方をより現実的・直観的なものにした。同時に状態ベクトルの数学的表現は、有限の時間間隔をとることにより単一の項ですみ、かえって簡単明瞭になった。そして、このような理論形式では、散乱振幅はWightmann 函数(Heisenberg 表示における場の量の積の真空期待値)を用いて表現することができるのである。

さらにここで第4の公理、すなわち微視的因果律を仮定し、始めの状態と終りの状態の間の時間間隔を無限大に近づけると、散乱振幅はグリーン函数を用いて表現でき、従来結果に帰着する。

次に著者は同じ方法を束縛状態の記述に適用して、束縛状態に対する相対論的方程式を導き、従来の方法で必要とされた時間的平均操作が自動的に入ってくることを示した。

最後にこの方法を素粒子の崩壊過程に適用すると、その時空的記述が可能になり、運動する素粒子に対しては、相対論的効果により寿命が延びることも精確に導出される。

参考論文その1は、素粒子の分類と相互作用の対称性に関するものであり、荷電独立以上の対称性を仮定することにより、Nishijima-Gell-Mann 法則を再現し、同時に荷電が2以上の素粒子が存在しないことを導いた。

参考論文その2とその3は、散乱の位相のずれと束縛状態の個数との関係を論じたものである。ポテンシャルにより記述される非相対論的量子力学においては、Levinson の定理により、上述の二つの物理量の間に関係がある。この関係を場の理論の場合に拡張し、Dyson モデルを分析することにより、ポテンシャルの場合の項ほかに、附加項がであることを示した。また共鳴現象には正共鳴と負共鳴とよばれる2種類が存在し、前者は相互作用が遅れを伴うのに反して、後者は進みを伴ない、散乱振幅の解析的性質も両者で質的に異なることを示した。

参考論文その4とその5は、相対論的な束縛状態に関するものである。前者は最近の公理論的方法による散乱振幅の解析的性質の研究の成果を束縛状態の研究に活用し、束縛状態の波動函数に対する一般的な積分表示を求めたものである。後者はその後の研究で、前者の積分表示が必ずしも一般的でないことが判明したので、この点を吟味し、二つのスカラー粒子が中間子を媒介にして束縛している系を梯子近似で取り扱い、少くともS波の解については、前者で求めた積分表示がすべての解をふくんでいることを示した。

また実対称核をもつ積分方程式の性質を使って、固有値の上限および下限を与える興味ある結果を得ている。

論文審査の結果の要旨

変分原理と正準交換関係に基づく場の量子論は、その誕生以来、発散の困難という内部矛盾をふくんでいたが、さらに最近になって多くの素粒子が発見され、その相互作用の対称性が明らかにされた結果、どうしても大きく飛躍する必要に迫られているのである。この時機において、場の量子論の基礎をなす少数の公理から、直接観測可能な量の間関係式を導き、理論を再構成しようと試みることは十分意義があるだけでなく、そういう方向の研究の成果を分散式の導出に活用することによって、相互作用の性格の解明に大きな役割を果たしてきた。しかしながら、従来の公理的理論においては「論文内容の要旨」で述べたように、漸近条件を公理の一つとして採用していたため、その結論は無限の未来と無限の過去における散乱振幅の漸近形を取り扱う S 行列の理論と本質的には等価なものであった。S 行列の理論は最初 Heisenberg により、将来の素粒子論にひきつづき残るべき物理量を現在の場の量子論の枠の中からとり出すとする試みの中で導入されたものであるが、それが無限の過去と無限の未来における系の状態のみを対象とするという意味で、物理過程の時空的記述という性格ははなはだ稀薄なものになってしまったのである。

そこで著者は公理的定式化の立場にたつて、この漸進条件に鋭い批判の目をむけ、この条件をより一般的な粒子性の条件でおきかえることにより、散乱および崩壊過程の時空的記述を可能ならしめたのである。そのために著者は四次元的に拡がった波束を考え、始めの状態および終りの状態の設定に際し、従来のように一定の時刻で定義するかわりに、有限の時間間隔を考えた。そして、この波束を定義する C 数関数を、系のもつスペクトルに応じて適当に選ぶことにより、記述の方法をより直観的・現実的なものにすると同時に、著しく単純化することに成功した。この方法を散乱過程に適用すると、始めの状態と終りの状態の間の時間間隔を無限大にする極限では、従来の結論に帰着することを示した。さらにこの方法を崩壊過程に適用すると、相対論の要請をみたしつつ、時空的に記述することが可能になる。また束縛状態にも適用可能であることが示されるのである。

以上著者の主論文は、場の理論の公理的定式化の立場に立って、相対論の要請をみたしつつ、物理過程の時空的記述を可能にし、物質の波動と粒子の二重性を簡潔な形で表現したものといえる。その採用している仮定の単純さに比して、得られた内容の豊富さは著者の非凡な力量を示すものである。

参考論文五編はいずれも現在の素粒子論の主要な問題を取り扱い、それぞれ興味ある結論を得ている。

要するに著者位田正邦は、公理的立場にたつて、物理過程を時空的に記述できることを示し、将来の素粒子論の建設に対しても重要な示唆を与えたものであり、理論物理学についての豊富な知識とすぐれた研究能力を持っていることが認められる。

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。