

氏名	中島日出雄 なかしまひでお
学位の種類	理学博士
学位記番号	理博第320号
学位授与の日付	昭和49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	理学研究科物理学第二専攻
学位論文題目	ベクトルグルーオン模型に於ける自発的対称性の破れ
論文調査委員	(主査) 教授 田中正 教授 町田茂 教授 荒木不二洋

論文内容の要旨

申請論文の課題は、相対論的場の理論の解の構造が、相互作用定数の大きさによって、急激に変化する可能性を、定量的に明らかにしようとするものである。そのため電子と光の系についての量子電磁気学を特殊な場合として含む様な興味ある場合、つまり裸の質量 m_0 のフェルミオン場が、質量 μ のベクトル型中間子-グルーオンと相互作用する場合を扱い、その結果現れるフェルミオンの物理的質量 m が、裸の質量 m_0 と相互作用定数 g にかに依存するか、とくに g の大きさに応じて解の構造がどの様に変化するかを考察する。相互作用定数が十分小さいときは、解を求めるにあたって摂動論的取扱いが許される。量子電磁気学の成功は、1つにはこの事情においている。その場合には理論のもつ種々の不変性がそのまま解の形にも反映される。しかし自然界には相互作用定数のはるかに大きい場合があり、そのときの解の構造を知ることはきわめて重要である。量子電磁気学の成功以後、このような研究は世界的に活発になされてきた。その中で特に注目すべきこととして、相互作用定数がある臨界値を超すと、摂動論的な解とは異なる非摂動論的な解が出現することが、南部氏らによって明らかにされた。この場合には、はじめに理論がもっていた不変性—例えばフェルミオンの裸の質量 m_0 が零のとき保障されるカイラル対称性などが自発的に破れ、その代償として質量零のボーズ粒子—ゴールドストーン粒子の現れることが知られている。

申請者は、この南部氏らの研究を発展させ、上述のフェルミオン-グルーオン模型において同様の問題をより厳密に扱うことを意図している。取扱いを容易にするため、グルーオンに対しては裸のままの近似を用いるが、この近似の下でもワード・高橋の等式が成立つことが示される。つづいてフェルミオンの伝播関数の構造をきめる2つの関数についての連立積分方程式を導く。これの解の分析が申請論文の中心課題であるが、その数学的解明にあたっては、不動点定理が適用される。そしてこの定理の成立条件に関連して、積分方程式に含まれている相互作用定数の大きさに臨界値が現れる。すなわち相互作用定数がある一定の臨界値以下の場合には、フェルミオンの裸の質量 m_0 が零のときのみ解が存在し、かつ任意の物理的質量に対応する連続無限個の解の存在することが明らかにされた。

以上の結論の物理的意味を明らかにするため、申請者は、相互作用に有限な切断因子を導入して紫外部発散をさけながら考察を進める。そしてこの有限な切断パラメーターの下で、かつ相互作用定数が上述の臨界値以下のときは、フェルミオンの裸の質量が零の場合には物理的質量もつねに零となり、解は一意的でかつ摂動論的解であることが示される。この結果から、はじめの切断因子を用いない厳密解は摂動論的解に属することが裏づけられ、かつそこで示された解の無限の存在自由度は、切断因子を無限大にして厳密解に接近する極限と、フェルミオンの裸の質量 m_0 を零にする極限の間の競争によってもたらされるものであることが指摘されている。

以上の結論の意味する所は、きわめて重要である。それによって従来の量子電磁気学の相互作用定数は、ここで得られた臨界値以下にあり、それが摂動論的解に属することがはじめて裏付けられたことになる。また相互作用定数がこの臨界値を超える理論では、非摂動論的解の出現することを示唆するものである。

論文審査の結果の要旨

電子と光の系に関する量子電磁気学は、くりこみ理論の展開によって見事に成功し、精密な実験的裏付けを得るに至った。そのためこの理論は今日、場の量子論の典型として位置づけられているが、しかしその成功の要因として、2つの特殊な事情が働いている。その第1は、電子と光の相互作用定数は十分小さいため、摂動論的取扱いが許されることである。第2は、そこでも場の理論に共通する発散の問題が内包されているが、たまたまくりこみの処方によってさけられている点である。従って相互作用定数が十分大となった場合の場の理論の構造について、過去十数年来、多くの研究者が強い関心を寄せて来た。その中で特に注目に値する成果として、相互作用定数が一定程度大きくなると、場の理論においても、あるモデルでは非摂動論的な解、いわゆる super-state 解の現れることが、南部氏らによって示された。この解においては、摂動論的な正常解ではそのまま保障される理論の対称性、例えばカイラル対称性等が自発的に破れる結果がもたらされ、それに伴って質量零のボーズ粒子-ゴールドストーン粒子が生ずることが明らかにされている。

申請者は、この南部氏らの研究を発展させて、量子電磁気学を特殊な場合として含む様な興味ある場合、つまり裸の質量 m_0 をもつフェルミオン場が、質量 μ のベクトル型中間子-グルーオンと相互作用する場合について考察している。この系の解の構造について、数学的に非常に詳細な分析を行った結果、相互作用定数がある特定の値以下においては、フェルミオンの裸の質量 m_0 が零のときのみ解が存在し、かつその解は連続無限個存在することを明らかにした。分析の処方は、フェルミオン場の伝播関数の構造をきめる2つの関数の間に成立つ連立積分方程式に対して、解の存在条件を明らかにするため不動点定理を適用する。その際、この定理の適用の限界として、上述の相互作用定数の上限が現れる。この結論の導き方は、きわめて厳密であり、その結果は注目に値する。申請者はこの様にして得られた結論の物理的意味を明らかにするため、紫外部発散をさけるために相互作用に切断因子を導入して、その中のパラメーターを無限大にする極限において、はじめの理論が実現するとして考察を進めている。その結果、有限な切断パラメーターの下で、かつ先に得られた相互作用定数の上限以下においては、つねに解の存在することとその一意性が証明され、フェルミオンの裸の質量が零のときには、物理的質量も零となり、解は正常解であるこ

と、かつ相互作用定数がこの臨界値を超えて十分大きくなると、**super-state** 解が現れることが明らかにされた。この様な分析結果に基づいて、申請者がはじめ切断因子なしの場合に得た解は正常解に属するものであること、かつその際の解の無限の自由度は、フェルミオンの裸の質量を零にするのと、切断パラメータを無限大にするのとの両極限操作の競争から生ずることが指摘されている。

ここに得られた結論によって、はじめに述べた量子電磁気学での相互作用定数は、正常解が許される領域にあることが厳密に裏づけられたことになる。さらにここで導かれた相互作用定数の臨界値を超える場合には、**super-state** 解の出現が予想されるわけであり、この結論の意味はきわめて重要である。

以上、申請論文は場の理論の基礎的な研究として、この分野の進展に対してきわめて重要な寄与を与えるものであり、また参考論文と共に、申請者が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。