

氏 名	九 後 太 一 く ぎ た いち
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 博 第 389 号
学位授与の日付	昭 和 51 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	有 効 作 用 と 対 称 性 の 自 発 的 破 れ

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

場の量子論は、かつて朝永・Schwinger のくり込み理論の展開によって量子電磁気学の分野において、顕著な成果をおさめたことは周知のことである。しかし最近の Non-Abelian Yang-Mills 場の理論は、強い相互作用を含む素粒子の全相互作用とその構造を統一的に記述できるという気運がひろまりつつある。その背後には過去数年間にわたるこの分野での理論上の斬新なアイデア、例えば自発的対称性の破れと Higgs のメカニズムによるゲージ場の質量の獲得の可能性の発見、弱い相互作用と電磁相互作用についての Weinberg-Salam の統一理論の出現、そこで本質的に重要となるくり込み理論の一般的適用方法の確立、path-integral の方法の進歩等々が重要な要因として指摘される。

この様な研究の結果、最初に述べた素粒子の統一理論と目される Yang-Mills 場が二つの重要な性質をもつ可能性が明らかになった。一つは漸近的自由の性質である。つまりこの理論においては、Yang-Mills 場とハドロンの有効相互作用は高エネルギー極限において漸近的に零となり、実験的によく知られている Bjorken スケーリング則を説明する可能性のあることである。他はその反対の極限の性質として知られる赤外発散の振舞いであり、それによってハドロンの構成子をハドロン内部に閉じこめるという興味ある課題を解く可能性が生ずる。

場の量子論は、この様に魅力的な可能性を内包しながらも、なお未解決な多くの問題をかかえている。申請論文はこれまで必ずしも正当にその有用性が位置づけられてこなかった“有効作用”の概念を基本的なものとしてとりあげ、これを通じて上述のいくつかの未解決の課題を解くことに成功した。

まず始めにこの“有効作用”の物理的意味をくわしく論じ、統計物理学における自由エネルギーとの類似を明らかにする。すなわち場の理論では一般化されたグリーン関数の総体が最も基本的な量であるが“有効作用”はそれらを導く母関数の性質をもつ。かつこの“有効作用”に立脚すれば自発的対称性の破れの有無にかかわらず包括的にくり込みを遂行することが可能になる。

申請論文はこのことをより見通しよく行なうために、新たに質量によらないくり込みの方法を考察し、

従来の“非斉次項をもつくり込み群方程式”と改善されたくり込み群方程式の間の相互の関係を明らかにした。実際この質量によらないくり込みの方法によって、自発的対称性の破れの生じた場合にも、対称性のある時のくり込み操作をそのまま維持することが可能になる。

つぎに“有効作用”のゲージ不変性の問題が論ぜられる。従来この問題には不明な点が多く、いかなる量が物理的に意味のあるものであるかに多くの混乱があった。申請論文は Ward-高橋の恒等式から出発して、一般に“有効作用”そのものはゲージに依存するものであるが、物理的に意味のある量とつながるその停留点の位置および停留値はゲージ不変であることを厳密に証明した。また自発的対称性の破れに伴う凝縮した場の真空期待値が、時間-空間に依存しない定数であることを保証するためのゲージ条件の考えを導入した。

最後に以上の方法を、 N 次元直交群の対称性をもつ系に適用し、プランク定数 \hbar についての展開に対するいわゆる $1/N$ 展開の近似の下で、古典場の理論との対応、自発的対称性の破れの有無、その際の場の伝播関数の構造などを明らかにしている。

論文審査の結果の要旨

場の量子論はかつて量子電磁気学への適用においてめざましい成功をおさめたが、近年素粒子の強い相互作用を含む全ての相互作用系に対しても本質的な理論として成立するという気運が高まっている。このような可能性が開けてきた背後には第一に過去数年間における場のくり込み理論の基礎的研究の積みあげ、特に Yang-Mills 場への適用が可能になったこと、第二に強い相互作用系の取扱いにおいて本質的となる非摂動論的理論の発展、とくに物性論等によく知られる“自発的対称性の破れ”の考えが素粒子の世界にもちこまれるようになったことなどが指摘される。例えば Nielsen と Olesen は、ハドロンの構成要素を結合するグルーオン場が、自発的対称性の破れに伴って有限な質量を獲得し、その結果ハドロンの構成要素とグルーオン場を、限られた線状の空間内に閉じ込める可能性のあることを示した。またこのグルーオン場が Yang-Mills 場のようないわゆる Non-Abelian ゲージ場であるとする、高エネルギー極限においては、ハドロンの構成子との有効相互作用定数が漸近的に零となり、最近実験的に注目されている Bjorken スケーリング則の理論的裏付けを与える可能性が指摘されている。

しかし以上のような興味深いいくつかのメカニズムを統一的に説明するには、場の理論の取扱いには、いまだ多くの克服されねばならない課題が残されている。申請論文はこのプログラムを進めるのに非常に有効で見通しのよい方法として、“有効作用”の概念に注目し、これを主軸にした理論を一貫して押し進めることによって多くの未解決の問題の解明に成功した。

“有効作用”は、統計物理学における自由エネルギーに対応するもので、これから場の理論における力学的諸性質をすべて与えるグリーン関数を導くことが可能である。その際の最も優れた特質は、くり込みの手続きを自発的対称性のある場合、ない場合の双方に対して、統一的に適用することが可能になることである。

申請論文の第一の寄与は、上述のくり込みをさらに見通しよく遂行するために、新たに質量によらないくり込みの方法を深く考察し、従来の“非斉次項をもつくり込み群方程式”と“改善されたくり込み群方

程式”の間の相互の関係を明らかにしたことである。実際これによって自発的対称性の破れが生じた場合にも、対称性をもつ場合のくり込み操作をそのまま維持することが可能になる。

第二には、従来この“有効作用”のゲージ不変性の問題があいまいであったために、多くの混乱した議論がなされてきたが、これに対して明快な答を与えた点が指摘される。すなわちこの“有効作用”そのものは一般にゲージに依存するが、それから導かれる物理的観測量はゲージ不変であることを厳密に証明した。

第三に、以上の方法を具体的にN次元直交群の対称性をもつ非線型スカラー場に適用して、相互作用定数の値に応じて、高エネルギー極限での漸近的自由の振舞いがどのように変わるか、自発的対称性の破れの有無、その際の場の伝播関数の構造の変化などについてくわしい分析を行なった。これらの研究結果は、場の理論の発展に対して重要な寄与を与えるものといえる。

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。