

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

氏 名 古郡 秀雄

論 文 題 目 軟粒子の存在を考慮した摂動的場の量子論における
散乱問題の定式化と赤外三角関係

論文審査担当者

主 査 名古屋大学大学院理学研究科 教授 理学博士 野尻 伸一
委 員 名古屋大学大学院理学研究科 教授 博士(理学) 棚橋 誠治
委 員 名古屋大学大学院理学研究科 教授 博士(理学) 清水 裕彦
委 員 名古屋大学大学院理学研究科 教授 Ph.D. 重森 正樹
委 員 名古屋大学素粒子宇宙起源研究所 准教授 博士(理学) 市來 淨與

論文審査の結果の要旨

素粒子の散乱などに予言を与える場の量子論は、素粒子標準模型に代表されるように大きな成功を収めている。ところが、光子や重力子などの質量を持たない素粒子を含んだ理論では軟粒子と呼ばれる低エネルギーの素粒子の量子揺らぎから来る補正を足し合わせると無限大の量が生じるといふ赤外発散の問題が生じる。そのために、量子力学が要求するユニタリ性を示すのに必要な散乱行列を定義することができないという問題が場の量子論にはあった。

通常の摂動論による散乱行列の計算では、その位相が赤外発散の効果で無限大に発散し、相互作用描像が破綻する。また、無限個の軟粒子を取り入れた散乱行列では、有限個の粒子の散乱を確率的に表す遷移確率がゼロになってしまう。この問題は測定器で測れないような軟粒子の放出過程をすべて足し合わせるにより有限の遷移確率が得られるという「軟粒子定理」により一応の解決が得られたことになっている。軟粒子定理は散乱前の始状態や散乱後の終状態が、無限個までの様々な数の軟粒子を含む状態の重ね合わせであるドレス状態になっていることを示唆する。近年になりこの軟粒子定理と「メモリー効果」と呼ばれる現象、及び光的無限遠に現れる「漸近対称性」が等価であるという「赤外三角関係」がストロミンジャーによって示された。一方、この軟光子定理は有限の遷移確率を与えるが、散乱行列のユニタリ性の問題を解決していない。この問題を解決するためにドレス状態を使うことが長年考えられてきたが、いまだ満足な定式化が得られていない。

そこで申請者はドレス状態形式を再考し、散乱行列の定式化を行った。従来の散乱理論では、自由粒子状態間の遷移として散乱を摂動的に扱う。一方ドレス状態形式では、質量を持たない粒子の相互作用を取り入れた漸近状態間の遷移として扱う。申請者は時刻 $t = T$ と時刻 $t = -T$ の時間一定面 Σ_{\pm} を用意し、 Σ_{-} 上の対応する状態から Σ_{+} 上の対応する状態への遷移として散乱問題を定式化した。これにより、面上の漸近状態は理論の相互作用から導出される。この散乱理論を量子電磁気学に適用し、ある仮定の下でユニタリ性を持つ、発散のない散乱行列の構成に成功した。この散乱行列から遷移確率を予言し、従来の結果を含むより広い予言を与えた。さらに漸近対称性・メモリー効果が散乱理論に内包されることを明示した。散乱過程においてメモリー効果を引き起こすベクトルポテンシャルの変化を場の量子論の枠組みで定量的に議論したのは本研究が初めてである。また申請者は、 Σ_{\pm} の導入によって一見破られるローレンツ対称性が漸近対称性によって回復する機構を明らかにした。

以上のように申請者はドレス状態形式に立脚した散乱問題の定式化を行い、量子電磁気学の理論において発散のない散乱行列の構築に成功した。軟重力子を含む線形アインシュタイン重力の量子論にこの定式化を適用することが可能であり、漸近対称性とメモリー効果の議論と合わせ、本研究は、重力の量子的側面を探る上での基礎となり得る価値のあるものであると高く評価できる。以上の理由により、申請者は博士（理学）の学位を授与されるに相応しい十分な資格があるものと認められる。