

学位申請論文公開講演会

日時：2023年1月26日(木) 15:00~

申請者：古郡 秀雄 (QG 研)

場所：B4 講義室 (B428) およびオンライン

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

主論文の要旨

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が、重力の説明には成功していない。そのため量子重力理論の構築が現代物理学の大きな課題となっている。この困難は、理論的には繰り込みや非物理的自由度の問題などから生じ、実験観測的には量子効果が顕となるスケールを実現し難いために生じる。このような未だ見ぬスケールの物理法則を探る手掛かりとして、散乱の過程を記述する散乱行列のユニタリ性などの性質が注目されている。ところが、光子や重力子などの無質量粒子を含んだ理論では赤外発散の問題によって散乱行列の存在すら明らかではなかった。本研究では赤外発散を取り除くためのドレス状態形式を再考し、散乱行列の定式化を行う。通常の散乱理論では散乱を摂動的に自由粒子状態間の遷移として扱うが、ドレス状態形式では、無質量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。本研究では時刻 $t=T$ 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を考える。このとき、面上の対応する漸近状態は理論の相互作用から導出するべきものである。この散乱理論を量子電磁気学に適用することで、「散乱行列には発散がなく、Hilbert空間に仮定を与えることでユニタリ性も示されること」、「遷移確率に対してこれまでに知られた結果を含む、さらに広い予言を与えること」が示される。また、赤外三角関係として赤外発散との関連が指摘されている漸近対称性・メモリー効果を散乱理論の枠組みの中で明示する。さらに Σ_{\pm} の導入によって一見破られるLorentz対称性が、漸近対称性によって回復する機構を明らかにする。また、この機構を使って有質量実スカラー場の散乱に軟重力子を加えた理論を構築する。この理論では高エネルギーの重力子は存在しないため、繰り込みや非物理的自由度の困難を取り除くことができる。これは量子線形Einstein重力理論の低エネルギー有効理論にあたる。この理論の解析から、遷移確率の予言に関して普通の設定では重力子は影響を与えないことがわかる。一方で非自明なメモリー効果を予言するため、原理的には軟重力子を検証することが可能である。また漸近対称性の議論から、軟重力子は異なる慣性観測者をそれぞれ異なるHilbert空間の超選択区間に分割することが明らかとなった。このことは重力の量子的側面を議論する上での基礎となり得る著しい性質である。本研究では平坦時空におけるユニタリ性を議論する足場を作ることができた。このことはブラックホールの情報損失問題を考える一步を踏み出すための一助となるだろう。