

氏名 山本 拓生

主論文審査の要旨

本論文では、真空中の電磁場を一次結合して複素化した場から量子力学(第1量子化)における光子の波動関数を仮定し、それが満たすディラック型の偏微分方程式やローレンツ共変なラグランジアンを定式化している。それらから得られる光子のエネルギー固有値やアインシュタインの関係式などを導いている。更に、光子の第2量子化について再検討して、光子場のエネルギーを正定値にして微視的因果律を満たす光子場やその交換関係を与えている。

本論文は次の6章から構成されている。

第1章では、マックスウェル方程式から得られる電磁場を複素化した場の満たす偏微分方程式が電子を相対論的に扱うために使われるディラック方程式に類似していることに着目して、電磁波が光子の多体系であり、その複素場が光子の波動関数に比例することを仮定して波動関数の満たす基礎方程式を定式化している。

第2章では、時空のローレンツ変換に対して、光子の波動関数がローレンツ群のスピン表現であること、更にその波動関数の2乗がローレンツ不変になることを示している。

第3章では、最初にベクトルポテンシャルを力学変数として電氣的ガウスの法則とアンペールの法則の表式を与えるラグランジアンを光子の波動関数で表した場合の欠点を確認し、それらの表式を複素化した方程式が導かれるディラック型の方程式を与えるラグランジアンを提案している。更に、磁氣的ガウスの法則とファラデーの法則の表式はベクトルポテンシャルを用いると恒等式になることをから、それらの表式を複素化した方程式は光子の波動関数の拘束条件と考え、2つの複素化した方程式はローレンツ共変な連立方程式であることを示している。

第4章では、光の波動関数をフーリエ展開して正と負の振動数部分に分け、それらのエネルギー固有値が光子1個のエネルギーを与えることを示している。また、ディラック方程式の場合と同様にしてアインシュタインの関係式を導くと質量項が現れるが、拘束条件を用いて質量項が除去できることから、その拘束条件が光子の質量を0にする条件を意味することを示している。更に、ディラック方程式から導かれる光速のジグザグ運動については、光子では現れないことも示している。

第5章では、本論文の形式に基づき、光子をスピン1のボース粒子として第2量子化を行っている。光子の波動関数がヘリシティ(進行方向のスピン成分)の固有状態であることから、その複素共役な関数が逆のヘリシティの固有状態であり、光子の波動関数とその複素共役の正振動数部分のみを組み合わせることで、通常的光子と矛盾しない枠組みを構築している。光子のスピンとその正準運動量による同時刻交換関係は、拘束条件のため通常的光の量子化と同様の修正をしなければならないが、それでもパリティ変換の下で矛盾を生じる。それを回避するために、交換関係にレビ・チビタ記号やデルタ関数を修正した関数を導入し、光の波動関数にその変更に伴う仮定の修正を提案している。その結果、

場の量子論で採用されている微視的因果律が矛盾なく満たされることを示している。

第6章では、光の強度およびラグランジュ乗数によるラグランジアン密度について議論し、古典的な光子場の扱い方や荷電物質との相互作用について考察している。

以上のことから、本論文は光の量子論について新しい知見を与えるものであり、博士(理学)の学位を授与するのに十分値すると判断された。

審査委員	理学専攻	物理科学講座	准教授	矢嶋 哲
審査委員	理学専攻	物理科学講座	教授	小出 眞路
審査委員	理学専攻	物理科学講座	教授	安仁屋 勝
審査委員	理学専攻	数理科学講座	教授	木村 弘信