

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	福島 理
論文題目	Higher-Form Symmetry and Eigenstate Thermalization Hypothesis (高次対称性と固有状態熱化仮説)		
(論文内容の要旨)			
<p>本博士論文は、素粒子論で最近注目されている2つの研究分野「固有状態熱化仮説」と「高次対称性」が密接に関係していることを示したものである。</p> <p>「固有状態熱化仮説 (ETH)」とは、孤立量子系における熱化の十分条件を与える枠組みである。これは観測量の集合ごとに導入される概念であり、元である観測量の熱化、つまり、その観測量の期待値が熱平衡における平均に緩和することを保証する。数値的および理論的な解析により、ETHは多くの系における熱化の基本的なメカニズムであると考えられているが、与えられた系が実際にETHを満たすかどうかを解析的に特定することは依然として困難である。さらに最近では、量子多体系や場の量子論において(熱化を起こすものの)ETHを破るさまざまな現象が発見されており、こうした例は、非自明な熱化過程を示すものとして注目を集めている。本博士論文では、第2章でETHに関する基本事項を解説している。</p> <p>一方で、「高次対称性」とは通常の大域的対称性を一般化した概念である。一般に$(d+1)$次元の場の量子論において、p次形式対称性は群構造を持つ$(d-p)$次元の位相的演算子の存在によって特徴づけられ、特に$p \geq 1$のときの対称性を高次対称性と呼ぶ。選択則や自発的破れ、アノマリーなど、高次対称性も通常対称性と同様の性質を持つことが知られており、系の相構造の同定などに役立ってきた。しかしながら、系の実時間発展に対して高次対称性が果たす役割はまだ十分に理解されていない。</p> <p>本博士論文では、第3章において、高次対称性が孤立量子系における熱化のダイナミクスにどのような影響を与えるかを明らかにしている。とくに、自然な仮定の下で、$(d+1)$次元場の量子論におけるp次形式対称性が、多くの非自明な$(d-p)$次元観測量に対するETHの破れを引き起こすことを解析的に示している。このことは、離散的な高次対称性(すなわち、$p \geq 1$)の場合、系が局所的な保存量を持たないにもかかわらず、系全体のサイズよりはるかに小さい観測量に対して熱化が起こらないことを主張している。このような非局所保存量による熱化の妨げは通常の統計力学の枠組みを超えた新たな現象である。博士論文では、上の主張を$(2+1)$次元\mathbb{Z}_2格子ゲージ理論を用いて数値的にも検証している。具体的には、局所的な観測量であるプラケット作用素が対称性セクターを分けずとも熱化する一方で、非局所的な観測量である磁気双極子演算子が\mathbb{Z}_2 1次形式対称性を考慮した一般化ギブスアンサンブルに緩和することを示している。</p> <p>さて、上記のETHの破れの仮定には、対象としているエネルギー殻内での対称性セクターの混合が含まれていた。この条件は、スペクトルの中間にある固有状態の情報を必要とするため、検証は一般に難しい。第4章では、この仮定を't Hooftアノマリーの観点から再考することで、問題を軽減して条件の妥当性を議論している。具体的には、\mathbb{Z}_N対称性の場合に混合't Hooftアノマリーを持つ$\mathbb{Z}_N \times \mathbb{Z}_N$対称な理論を考え、目的の$\mathbb{Z}_N$対称性の一つを保存したままハミルトニアンに摂動を与えることで、ETHの破れの十分条件を満たすようにする。そしてこの設定の下で、$(1+1)$次元スピン鎖と$(2+1)$次元\mathbb{Z}_2格子ゲージ理論に対して数値解析を行い、上述の条件が確かに成立することを示している。</p> <p>第5章は結論と今後の展望について述べている。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本博士論文は、素粒子論で最近注目されている2つの研究分野「固有状態熱化仮説」と「高次対称性」が密接に関係していることを示したものである。「固有状態熱化仮説 (ETH)」とは孤立量子系における熱化の十分条件を与える枠組みであるが、本博士論文では、「高次対称性」が孤立量子系における熱化のダイナミクスにどのような影響を与えるかを明らかにしている。とくに、 $(d+1)$ 次元場の量子論における p 次形式対称性が、非自明な $(d-p)$ 次元観測量に対するETHの破れを引き起こすことを、世界で初めて解析的および数値的に示しており、本博士論文の学術的価値は高いと言える。

博士論文のもととなった研究は、福島氏が当該分野に対して独力で獲得した理解に基づいたものである。博士論文自身も、レビューを含め極めて明確に書かれた質の高いものであり、福島氏が将来的に当該分野でさらなる貢献をすることが期待できるものとなっている。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成6年1月17日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降