

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 町田 学

複雑な量子系のエネルギー準位が系の対称性を反映した統計的特徴を持つことは原子核のエネルギー準位などの研究で見つかりその後、ランダム行列のエネルギー準位の問題として詳しく研究されてきた。エネルギー準位の分布がいわゆる **Wigner** 分布をすることが、非可積分系の特徴とされ量子カオスの特徴づけにも用いられている。このような系が時間依存する外場、たとえば外場を掃引したとき、あるいは周期的な外場をかけたとき応答は、量子ドットや分子磁石といったナノスケールの量子系での量子ダイナミクスの問題や、散逸現象のミクロな起源の研究の意味からも、最近興味を集めている。

動的な外場への応答としては、久保公式としてよく知られているように微小な振幅の振動外場に対する応答が複素アドミッタンスとして一般的な表式が得られている。たとえば振動磁場に対する電子スピンの応答は電子スピン共鳴 (**ESR**) として、磁性体の解析に用いられている。ここでは、有限の振幅をもつ外場に対して系がそのエネルギー準位を反映してどのように応答するかについて研究されている。ただし、線形応答の範囲でも実際の計算においてスピン演算子の相関関数を求めるには数値的な困難があり、その点に関して新しい方法を開発し、最近興味を集めている **V15** の電子スピン共鳴の特徴を明かにしている (**Appendix**)。

動的な振舞の研究において対象とする系は、エネルギー以外の保存量がない非可積分系であり、その特徴は系が対称性のちがいによるエネルギー縮退がなく、いわゆる反発擬交差構造を持つことにある。複雑な量子系のエネルギー準位の特徴は、エネルギー準位間隔の分布のみならず、反発擬交差の構造を特徴づける交差におけるエネルギーギャップの大きさの分布や交差でのエネルギーレベルの傾きの分布、さらにはパラメータ空間での反発擬交差間の距離の分布などがあり、系の動的な外場への応答を調べる際にはこれらの分布が重要な役割を果たす。これらの研究背景を、第 2 章で詳しくレビューしている。

第 3.2 章では、ランダム行列のエネルギーが周期的な外場のもとで、基底状態からどのように増加していくかについて、ミクロな散乱機構をもとに考察し、初期においては前者の機構を反映してエネルギー上昇率が振動数の $3/2$ 乗に比例すること、また一定の時間後には後者の機構を反映して振動数の 2 乗に比例することを見出している。

第 3.3 章では、エネルギー準位を特徴づける分布の内、これまで研究のなかった反発擬交差間の距離の分布について研究し、分布の立ち上がりが系の対称性に依ることをランダム行列を用いて見出している。具体的には、時間反転対称性がある場合には 2 乗で、ない場合には 3 乗で立ち上がることを解析的に導出している。さらに、いくつかの具体例について隣接非交差間隔の分布を求め、それがランダム行列理論から予想される分布に一致することを示し、非交差間の距離において系の対称性が重要であることを明らかにしている。特に、準位間隔が広い初期では個別のランダウ・ゼナー遷移が主要な役割を果たし、それ以後は、複数レベルへの遷移が同時に起こる線形応答領域にあることを見出している。

第 3.4 章では、多数回の交差通過による波動関数の位相の干渉の効果として、外場を掃引し続けるとエネルギーの上昇は系の実効的な温度がある有限の値に相当するところで止まることを発見している。この現象はパラメータを周期的に振ったときの状態の量子力学的な干渉の効果で起こる現象であり、我々はエネルギー期待値の表式をフロッケ演算子の固有状態で展開することによって、動的局在がおこってエネルギー期待値が飽和する値の外場の振動数に対する依存性を調べている。その結果、飽和値の振動数依存性は初期状態に含まれるフロッケ状態の数の振動数依存性から理解できることを明らかにしている。

以上述べたように、本研究は、複雑なエネルギー構造をもつ量子系が振動外場に対して示す応答をマイクロな遷移の機構から解析し、その特徴を明らかにしており、今後物性物理学、理工学分野で重要になってくる動的量子現象の基礎となる研究であると考えられる。よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。