

氏名(本籍)	しら はま たけ し (熊本県) 白濱丈詞(熊本県)		
学位の種類	博 士 (工 学)		
学位記番号	博 甲 第 5289 号		
学位授与年月日	平成 22 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	数理物質科学研究科		
学位論文題目	原子光吸収過程の周期磁場による制御：時間依存積分法の開発		
主 査	筑波大学教授	理学博士	戸 嶋 信 幸
副 査	筑波大学教授	工学博士	日 野 健 一
副 査	筑波大学准教授	Ph.D	全 暁 民
副 査	筑波大学准教授	Ph.D	小 泉 裕 康

論 文 の 内 容 の 要 旨

本研究では、周期磁場中の水素原子による光吸収過程の理論的研究を行なった。この物理系は原子と周期場の強結合系である Floquet 状態を形成しており、原子の電子状態が周期場により制御される可能性がある。本研究においては、静磁場と交差した周期磁場による原子の電子状態の制御を光吸収過程の理論計算を通じて明らかにすることを目的とした。

定常状態における原子の光吸収過程を評価するのに光吸収断面積が用いられる。一方、周期場中の原子は周期場の時間周期に関して定常となる、擬定常状態を形成していることから、同様に光吸収断面積が定義されると考えられる。そこで本研究では、Floquet 状態における光吸収断面積を定式化し、その基となる波動関数を求めるにあたって、Floquet 状態に依らない時間依存シュレーディンガー方程式の直接解法を開発し、周期磁場下における水素原子の光吸収過程に適用した。はじめに交差周期磁場中における、水素原子 2p の 3 状態間に限定した Floquet 状態を用いてその光吸収過程を調べ、開発した時間依存積分法を従来の Floquet ハミルトニアンによる対角化と比較した。光吸収断面積を 2 つの方法により計算し、結果は 10 桁以上で一致することがわかり、時間依存法が有効であることが確かめられた。また、この物理系においては 3 つの Floquet 状態がレプリカを形成しており、擬エネルギー構造は 1 次 Zeeman 効果のみ考慮した場合、周期磁場強度不変の 1 つの準位を軸にして周期磁場強度に応じて対称に振動する瓢箪型の形状を示したのに対し、2 次 Zeeman 効果も考慮した場合は、その瓢箪型のバンドが周期磁場強度の上昇に伴い高エネルギー側にシフトし非対称となった。光吸収断面積では主要な Floquet 状態が得られ、特にプローブ光が z 軸直線偏光の場合、周期磁場強度が 2 倍の周波数を単位として 10 あたりを超えると光吸収のピークが親バンドに収束していく傾向が見られた。次に、2p 以上の水素原子の固有状態を取り込んで開発した時間依存積分法を用いて、交差周期磁場中の水素原子における主量子数 $n = 2, 3, 4$ のエネルギー領域での光吸収断面積を計算した。主量子数 $n = 2, 3$ 周りのエネルギー領域において、周期磁場強度を変化させた際のスペクトルの形状は低強度ほどより近い形状になったのに対し、周期磁場強度が高くなるにつれて、2 つのスペクトルの形状の違いが大きくなった。 $n = 3$ の領域では $n = 2$ の領域よりも小さい周期磁場強度から 2 次の Zeeman 効果が現れている。主量子数 $n = 4$ 周りのエネルギー領域では、周期磁場強度 B_0 が 5 を超えた辺りから $n = 2, 3$ でのスペクトルの形状と大きく異なった。一方、周期磁場強度 B_0 が 5 より低い範囲では、スペクトルの形状は主量子数

nによる相違は小さくなった。また、光吸収の主要な擬エネルギーバンドの傾向は、おおむね3つのnのエネルギー領域とも親バンドとその付近に収束した。さらなる発展として、光吸収断面積を導出した際に課した、プローブ光の遷移をその前後で光子数は変化しない場合に限定するとした条件を外し、異なる Floquet サブレベルの間での遷移についての光吸収を調べる事が提案されている。

審 査 の 結 果 の 要 旨

振動磁場と静磁場の組み合わせによって、磁場中の原子は特異なエネルギー構造を示すことは以前から指摘され、実験的にも調べられているが、最も単純な水素原子に対してさえ、精密な理論計算は困難を伴っていた。最大の理由は、時間に関して周期的な外場を記述する Floquet 理論を用いると励起状態が多く関与することから対角化に必要な基底の数が大きくなり、計算時間と必要な計算機の容量が膨大となるためである。これに対して、申請者は Floquet 状態を対角化によらず直接時間依存シュレーディンガー方程式を解くことによって求める新手法を開発した。また、電子状態を実験によって探索するための手段として、プローブ光の吸収スペクトルを計算し、振動磁場が強くなると逆に親バンドへの遷移が支配的となる新しい知見を得ている。この現象は、振動磁場が強くなると高次のフーリエ成分がきいてくるであろうという一般的な予想を相反するもので、今後の研究に大きな布石となるものである。

よって、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。