

氏名	真鍋武嗣 まなべ たけし
学位の種類	工学博士
学位記番号	工博第655号
学位授与の日付	昭和55年3月24日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
研究科・専攻	工学研究科電子工学専攻
学位論文題目	Collisional Relaxation and Transfer of Laser-Induced Multipole Moments in the Excited State of Neon Atoms (ネオン原子の励起状態におけるレーザ誘起多重極モーメントの衝突緩和と移行)
論文調査委員	(主査) 教授 小川 徹 教授 木村 磐根 教授 池上 淳一

論文内容の要旨

本論文はレーザで励起された原子と基底状態の同種または他種の原子との衝突が普通の光源による励起と異なり非等方的な速度分布の下で行われることに着目し、衝突の際に生じる多重極モーメントの緩和とモーメント相互の移行に関する研究をまとめたもので6章より成っている。

第1章は序論で本研究の歴史的背景と本研究の意義および本論文の構成をのべている。

第2章は本研究の基礎理論に関する章である。著者はまず2体衝突による励起状態の密度行列の変化を時間に依存するシュレディンガー方程式を解いて求め、それを等方的なマックスウェル分布の基底状態原子の速度に関して平均し、次に励起状態原子の速度分布について平均するが、その際励起光源として単一モードレーザを考えると励起状態原子の速度分布はレーザ光軸方向の成分に対してはデルタ関数で与えられると仮定している。この平均化の結果、励起状態の密度行列に対する緩和を表わす行列を光軸方向速度成分の関数として一般的な形で得ている。また、従来の等方的速度分布をもつ原子衝突理論では見られなかった異なる多重極モーメント成分相互間の移行が存在することを指摘している。

第3章では基礎理論を実験と対応させるため数値計算が可能なように発展させている。まず理論を進める上での種々の仮定を議論し、理論結果の適用範囲を明確にしている。ついで全角運動量 $J=1$ の励起状態原子と $J=0$ の基底状態原子との非共鳴衝突について、両原子の質量比およびレーザ周波数とスペクトル中心周波数との差をパラメータとして緩和行列の要素を計算している。その結果、質量比が大きい程、また差周波数が大きい程、非等方衝突の効果が大きくなることを指摘している。特に質量比が大きい場合は差周波数が零でも非等方的衝突効果が相当大きく現われる事を見出している。

第4章は以上の理論を検証する実験についてのべている。対象原子としては、磁界内におかれた励起状態ネオン原子を選び、周波数安定化を施した単一モード色素レーザで励起を行なっている。また多重極モーメントとしては最も次数の低い、磁気双極子モーメントと電気四重極モーメントを選んでいる。

励起レーザ光を直線偏光とした場合、励起状態原子による自然放出光の左右円偏光成分に磁界依存の強

度差を観測している。これは直線偏光励起により生じた電気四重極モーメントが非等方的衝突により磁気双極子モーメントへ移行したことを示している。一方、円偏光のレーザー光による励起実験では、自然放光の直線偏光成分が円偏光の極性により変化することを見出している。これは磁気双極子モーメントから電気四重極モーメントへの移行を示すと解釈している。

第5章は光と電波との二重共鳴の実験により、電気四重極モーメントの緩和定数の測定につきのべている。種々の希ガスをレーザー内に封じ込めて $2p_4$ 状態のネオンの緩和定数の測定を行なっている。その結果を検討して、アルゴン、クリプトンのような質量の大きい希ガスでは理論と比較的よく合うが、ヘリウムではファン・デル・ワールス力以外の近接力の導入が必要であると結論づけている。

第6章は本研究で得られた主な結果をのべ、今後の研究に指針を与えている。

論文審査の結果の要旨

最近レーザー技術の進歩により単色性の極めて良い単一モードレーザーが実現し、その発振周波数幅は原子の吸収スペクトル幅よりも遙に狭くなっている。従ってこの様なレーザーで励起された原子は速度分布が等方的でなくなり、非等方的衝突過程として新しい取り扱いが必要である。またこの過程は偏光特性などレーザーの発振機構にも影響してくる。

本論文は磁界中の原子を単一モードレーザーで励起した場合に生じる多重極モーメントの非等方的衝突による緩和と移行を理論的、実験的に明らかにしたもので、その主な成果は次の通りである。

(1) 励起状態の密度行列を既約テンソルで展開し、非等方的衝突効果を含む一般的な運動方程式を導くとともに、レーザー励起の場合の緩和行列の対称性を明らかにした。

(2) 非等方的衝突の場合に初めて存在する種々の多重極モーメント相互間の移行の理論を導いた。

(3) 全角運動量 $J = 1$ の励起状態原子と $J = 0$ の基底状態原子間の非等方的衝突について数値計算を行ない、両原子の質量比とレーザー光の周波数の関数として多重極モーメントの緩和及び移行の理論値を求めた。その結果、質量比及びレーザー周波数のスペクトル中心よりの離調が大きい程、移行確率が大きくなることが明らかになった。またレーザー光が原子スペクトルの中心周波数に同調している場合でも移行が無視出来ないことが分った。

(4) 以上の理論を検証する為、単一モード色素レーザーで励起されたネオン原子と種々の基底状態希ガス原子との衝突に関する実験を行ない、電気四重極モーメントと磁気双極子モーメントそれぞれの緩和定数を求めた。また相互間の移行を確認した。特に電気四重極モーメントから磁気双極子モーメントへの移行は定量的にも理論とよく一致することを明らかにした。

(5) ヘリウム・ネオンレーザーを用いて基底状態の種々の希ガス原子と励起状態ネオン原子との非共鳴衝突断面積の測定を行ない、アルゴン、クリプトンとの断面積は原子間力がファン・デル・ワールス型の引力による理論により理解出来るが、ヘリウムの断面積は理論値より大となり、より近接的な相互作用の存在が必要であることを明らかにした。

以上、要するに本論文は単一モードレーザーで励起された原子と基底状態の種々の原子との非等方的衝突が励起状態原子の多重極モーメントの緩和と移行に及ぼす効果を理論・実験の両面で明らかにし、原子衝

突についての新しい知見を得るとともに、ゼーマンレーザの発振機構解明に手掛りを与えたものであって、
学術上、実際上貢献する所が大きい。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。