

氏名	塚田紀昭
	つかだのりあき
学位の種類	工学博士
学位記番号	工博第378号
学位授与の日付	昭和49年7月23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	STUDY OF THE TRANSVERSE OPTICAL PUMPING (横光ポンピングの研究)

論文調査委員 (主査) 教授 小川 徹 教授 木村 馨根 教授 加藤 進

論文内容の要旨

本論文は磁場内におかれた原子に磁場と垂直な方向から光を照射した場合の光ポンピングに関する基礎的研究と、磁場測定装置の誤差検討への応用的研究をまとめたものである。原子にさらに高周波磁場を加えた場合に生じる種々の共鳴現象をも一般的に取扱っており6章から成っている。

第1章は全般的な序論であって、まず光ポンピングの原理をのべた後、縦ポンピングおよび横ポンピングの両者について種々の共鳴現象について現在までに得られた知見を概観し、問題点を指摘している。次に本論文をまとめるに至った経緯を述べ、本論文の概要を説明している。

第2章では光ポンピングされた原子系を記述する基本方程式を検討し、ポンピング効果を含めたブロッホ方程式が有用であることを示している。またこのようにして導かれたブロッホ方程式の解が、スピン1/2系における密度行列による解と同等であることを検討している。次にポンピング光による観測の立場から観測過程を検討し、光源のスペクトル幅、入射光の偏光の種類などの効果につき解析している。以上の準備の下に著者は光ポンピングにより生じた原子系の磁気モーメントの態様を二つの場合につき記述している。第一には原子のエネルギー準位が交叉している場合、第二は準位が互に反発して反交叉の状態になっている場合である。前者では共鳴の相互作用により原子系の透過光が増加することを見出し、後者では透過光が減少することを見出している。

第3章では高周波回転磁場が印加されている場合の横ポンピングの理論を展開し、実験との比較を行なっている。まず透過光の直流分および高周波の基本波と第2高調波において新しい共鳴を見出し、理論との一致を確かめている。次に異なる周波数をもつ2種の回転磁場を同時に印加した場合、2つの周波数の和および差のみならず、その整数倍やさらに各々の周波数の整数倍の和および差に共鳴が生じていることを見出している。またこれ等の共鳴の幅についても理論との一致を確かめている。高周波磁場の方向が静磁場の方向からずれている場合についても解析している。

第4章は静磁場内におかれた原子に、ゼーマン共鳴周波数よりも高い周波数の高周波磁場がかけられた

場合を扱っている。高周波磁場が充分強くなれば原子の見掛けの g 因子が変化したり、パラメトリック共鳴が生じて来たりするが、著者は高周波磁場の方向によりこれらの現象がどのような組合せで起るかを詳細に研究している。理論の結果は回転系による実験の結果と比較され、よく一致している。また原子の緩和時間と高周波磁場の周波数との関係にも着目し緩和時間の逆数よりも充分高い角周波数の場合のみ g 因子の変化が顕著になることを見出している。原子の g 因子の変化はそのままポンピング磁場測定装置の誤差になるので、著者はアルカリ金属を用いた測定装置を組立てて実験を行ない、理論とほぼ一致することを確かめている。さらに著者は縦ポンピング光が混在する場合につき解析している。

第5章では連分数法近似を用いて種々の共鳴の飽和効果を論じている。まず従来別種の共鳴と見られていたアロウセ共鳴と静磁場の零付近のハンレ共鳴は充分強い高周波磁場の下では同じ共鳴になることを見出している。次に著者はより一般的な取扱いを行ない静磁場がポンピング光と任意の角を成す場合に理論を拡張している。高周波を強くして行けばまず縦ポンピング効果による普通の磁気共鳴が見られ、ついで多重量子共鳴が現れ、中程度の強さではこれらに加えて横ポンピング効果であるパラメトリック共鳴、アロウセ共鳴や著者の新たに見出した共鳴などが混在して来る。高周波がさらに強くなれば縦ポンピング効果の諸共鳴は飽和により消滅し、横ポンピング効果による共鳴のみが残ることを示して、実験との一致を確かめている。

第6章は以上の各章の主要な結果をまとめて、今後の問題点を指摘している。

論文審査の結果の要旨

原子或は分子に共鳴光を照射するいわゆる光ポンピングは、特定のエネルギー準位の粒子数を熱平衡状態から大きく変化させ得るもので、レーザーなどへの応用も含め活潑に研究されている。本論文は静磁場内におかれた原子に静磁場と垂直な方向から共鳴光を照射し、原子と高周波磁場との相互作用を詳細に研究したもので、光で観測することにより高い感度で高次の共鳴現象が検出され得ることと、垂直方向の光照射により偶数次の光子過程が見出されることが特徴である。得られた主な結果は次の通りである。

1. 強い回転高周波磁場をかけることにより透過光強度に共鳴現象が現われるのみならず、透過光が高周波で振幅変調され、その高調波成分にも共鳴があることを見出した。しかも高周波の強度を増加させた場合、共鳴の中心周波数が低下するのみでなく、半値幅が増加することを理論的にも実験的にも見出した。この現象は従来見逃されており、強い高周波と原子との相互作用に新しい知見を加えたものである。

2. 原子のゼーマン共鳴周波数よりも高い周波数の強い高周波を加えることにより、原子の g 因子が見掛け上変化する現象を詳細に解析した。解析の結果、原子の緩和時間の逆数よりも充分高い周波数の電波のみにこの現象が起ることを見出した。原子の g 因子の変化はそのまま光ポンピング磁場測定装置の誤差になるので、著者はアルカリ金属蒸気を用いて実験を行ない、理論とほぼ一致することを確かめた。

3. 強い高周波磁場の多光子共鳴への影響を解析した結果、上記の g 因子の変化は、2光子共鳴のスペクトル幅が高周波磁場の増加と共に拡がり、見掛け上 g 因子が変化することを見出した。

4. 横ポンピング光に縦ポンピング光が混在していて、しかも静磁場と高周波磁場の大きさや互いにな

す角を任意に選んだ一般の場合につき、数値解を求めた。その結果著者が新らしく見出した共鳴をも含めて6種類の共鳴およびそれらの混合共鳴が、高周波磁場の強度とともに消長する過程が明らかになった。即ち弱い高周波磁場内では縦ポンピング光にともなう共鳴群がまず現われ、次に横ポンピング光による共鳴群が加わり、高周波磁場がさらに充分強くなれば、前者は飽和により消滅し後者のみが残ることを見出した。著者は広範な実験によりこの解析を確かめており、光ポンピングされた原子と高周波磁場との相互作用についての統一的記述に見通しを与えたものと云える。

以上要するに本論文は主として横方向の光ポンピングにつき種々の高周波磁場の条件のもとに理論的・実験的に基礎研究を行なうとともに、その結果を磁場測定装置の誤差解析に応用したものであり、量子エレクトロニクス、電子物理学、電波工学などの分野にわたり、新しい知見を加えたものであって、学術上・實際上寄与するところが少なくない。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。