

氏 名	中 山 茂 なか やま しげる
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工 博 第 498 号
学位授与の日付	昭 和 52 年 3 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	Studies on the Atom-Photon Interactions in Radiofrequency Spectroscopy

(ラジオ波分光における原子・光子相互作用の研究)

論文調査委員	(主 査) 教 授 小 川 徹	教 授 木 村 磐 根	教 授 加 藤 進
--------	--------------------	-------------	-----------

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は原子分光の中で高分解能、高感度でしかも高次の非線形現象の観測が容易な点で近年注目されているラジオ波分光（周波数 10^4 ないし 10^9 ヘルツ）に関する研究をまとめたもので 6 章から成っている。

第 1 章は全般的な序論であって、まず原子分光の中でのラジオ波分光の特徴をのべ、特に光ポンピング法を併用した場合その特徴が一段と発揮出来る点を強調している。即ち原子と電磁波との相互作用は電磁界の光子数に大体比例し周波数に反比例する。そのためもしエネルギー準位間の原子数の差を光ポンピング法などで一定に保つことが出来れば、低周波電磁波の場合は同じ電磁界エネルギーを用いて多数の光子が得られるので、高次の相互作用まで観測可能なことをのべている。つぎに本研究開始に至るまでのこの分野の進展状況を周波数標準や磁力計の誤差の問題をも含めて概観し、問題点を指摘するとともに本論文の概要をのべている。

第 2 章は分光に関係する原子と光子および原子間の相互作用につき説明した後、以下の理論の展開に必要な原子・光子系の純量子論的摂動方法を準位の種々の状況に応じて準備している。

第 3 章は原子衝突の無視出来るような希薄な原子系に対して、静磁界に対する円回転磁界の傾斜の効果ののべている。即ち、静磁界によりゼーマン分離したセシウム原子の基底状態について多光子磁気共鳴の実験を行ない、その結果と静磁界に対し種々の偏光成分をもった光子と原子との相互作用を摂動法により求めた理論結果とを比較し、スペクトルの位置、半値幅などが一致することを示している。さらに強い回転磁界に対する高次摂動項の計算を行ない、スペクトルのシフトについて実験とよく一致することを示している。

第 4 章では直線偏波の電磁波と原子との相互作用に関する一般論につき述べている。従来直線偏波磁界の振動方向が静磁場となす角が任意の場合、原子との相互作用は解かれてなく、特筆すべき現象はないものと考えられていたが、本章では相互作用を摂動展開した結果、最低次の計算において、特定の傾斜角で

準位が交叉し続け遷移が消滅することを証明している。この結果準位間に種々の光子の組合わせの遷移が数組あった時、ある特定の傾斜角に対し、各組の遷移確率振幅は零でないが、それらが打消し合って全体の遷移確率振幅が零になり得ることを導き出している。さらに高次の摂動計算の結果、従来別個の共鳴現象と考えられていた種々の現象を包括する一般式を導くとともに、セシウム原子について詳細な実験を行ない、理論との一致を確認している。

第5章では原子間衝突がスペクトルに及ぼす効果を検討している。実験はヘリウム・ネオンレーザ内でのネオン原子について行ない、ヘリウム原子の密度変化によるネオン原子の励起状態の磁気共鳴スペクトルの変化を観測している。実験の結果ネオン原子のg因子、緩和定数、衝突断面積などを求めているが、スペクトルの半値幅や位置の変化は、従来の等方的衝突理論では説明できないことを指摘している。

第6章は以上の各章の主要な結果をまとめるとともに、今後の問題点を指摘している。

論文審査の結果の要旨

周波数 10^4 ないし 10^9 ヘルツのいわゆるラジオ波領域においては、1光子あたりのエネルギーが極端に小さいので、原子と多数の光子との高次の相互作用の観測が可能となり、最近種々の方法で研究が進められている。本論文はの中で最も高次の相互作用が観測出来る光ポンピング法による研究をまとめ、一般的な理論を組立てて従来の結果を統一的に解釈するとともに、詳細な実験を行なって、新しい理論との比較を試みたもので、主な成果は次の通りである。

1. 原子衝突の無視出来るような希薄な原子系が静磁界内におかれていて、さらに円偏波の高周波磁界が静磁界に対し傾斜している場合は π , σ_+ , σ_- の3種類の光子が含まれているため正確に解くことは出来ない。著者は π 光子を原子系にくりこみ、これを非摂動系とし他の光子を摂動としてエネルギー固有値を求めた。

2. さらに従来困難とされていた、強い回転磁界に対する高次の摂動計算をも行なった。これらの理論を確認するために、セシウム原子のゼーマン副準位を用いてスペクトルのシフトの実験を行ない、理論との一致を見ている。

3. 振動磁界が直線偏波の場合についても理論的検討を行なった。その結果種々の光子による多光子遷移が同時に幾組か存在する場合、各組の遷移確率振幅は零ではないが、異なる組の遷移確率振幅の位相が違うために、特定の傾斜角に対して全体の確率振幅は零となり得ることを初めて明らかにした。

4. さらに高次の摂動項を求めた結果、光子数の増加による共鳴周波数のシフトは原子の真の遷移と見掛けの遷移との効果が合成されて生じることを明らかにした。その結果、既知の各種の共鳴を特殊な場合として含む一般的な共鳴理論を導き出した。

5. 上記 3. および 4. の場合につき詳細な実験を行ない、広範囲にパラメータを変化させて理論との一致を確かめるとともに、これ等の共鳴現象を利用する場合の振動磁界による誤差につき定量的検討を可能とした。

6. 原子間衝突を無視出来ない原子系において、特に異種原子間の非共鳴衝突が磁気共鳴にどのように影響するかを、ヘリウム・ネオンレーザを用いてネオンの励起準位の磁気共鳴について観測した。信号平

均化と共鳴曲線の重ね合わせによる精細なデータ処理を行ない、ネオンの励起準位の g 因子、緩和定数、衝突断面積を精密に求めた結果、衝突幅や周波数シフトは従来の等方的な衝突理論では説明できないことを見出した。

以上要するに本論文は、ラジオ波光子と原子との高次の相互作用を多量の光子の場合について理論的、実験的に明らかにし、従来断片的にしか知られていなかった諸現象の統一的解釈に成功するとともに、新しい共鳴スペクトルを見出し、さらに共鳴現象の利用に際しての誤差につき定量的な指針を与えたもので、学術上、応用上貢献する所が少なくない。

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。