

氏 名	池 田 研 介 いけ た けん すけ
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	理 博 第 560 号
学位授与の日付	昭 和 54 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	理 学 研 究 科 物 理 学 第 一 専 攻
学 位 論 文 題 目	二準位，三準位媒質中での電磁場の共鳴伝播に関する理論的研究

論文調査委員 (主 査) 教授 恒藤敏彦 教授 富田和久 教授 端 恒夫 教授 中井祥夫

論 文 内 容 の 要 旨

申請論文の内容は，二準位又は三準位原子系からなると見做せる媒質中を共鳴伝播する電磁場に関する理論的研究である。本論文はⅠ，Ⅱの2部からなっている。

原子系の電場に対する応答の非線形性のために，パルスの形で入射した光は媒質内を定常無損失に伝播することがある。この現象は自己誘導透過 (SIT) の名で呼ばれ，稀薄なガス状媒質を対象として盛んに研究されてきた。第1部ではこの様なパルスの定常な伝播が，励起子を素励起としてもつ固体媒質でも原理的に可能か否かを考察している。固体の様に双極子密度の大きい系では分極波 (励起子) と電場とが相互作用して混成モード (ポラリトン) をつくり，このため共鳴周波数近傍に電場が透過できない周波数帯 (ポラリトン ギャップ) ができる。固体中のパルス伝播にこの効果は重要な影響を与える。また原子間の直接相互作用の効果も重要と考えられる。

申請者はモデルとして Maxwell 方程式と，相互作用する二準位系に拡張された光学的 Bloch 方程式を採用し，まづ定常パルス解の存在する可能性を考察した。ポラリトン効果の大きい系では slowly-varying-envelope 近似を使う従来の方法が破綻するため，申請者はパルス幅に関係したパラメタで基礎方程式を展開してゆく方法を考案した。得られたパルス解はパルス幅とポラリトン ギャップ周波数との大小によってショート パルスとロング パルスと名づけられた2種の典型的な解に分類された。前者は SIT 解に他ならないのに対し，後者は新しいタイプの解であり，搬送波周波数がポラリトン ギャップに含まれるか否かで著しく性質を異にする。とくにギャップ内ロング パルス解が興味深い，この解は原子系を飽和させることにより事実上ギャップを縮め，それによって媒質中を伝播すると解釈される。

次に申請者は，このロング パルス解が実現するに至る動的過程を，入力場の弱い極限で調べた。十分長い入力波は非線形ポラリトンとして媒質中に侵入し，その自己不安定化によってロング パルス解に分解してゆくことが示された。この様にポラリトン効果の著しい固体結晶でもロング パルス或いはショート パルスとして SIT 様の定常なパルス伝播が可能であるという結論がえられている。

第Ⅱ部では、コヒーレントな光パルスによって二光子励起された三準位系でみられる強いカスケード放出の理論を提出している。この現象はしばしば観測されるにも拘らず、系の複雑さのためにその理論的な解明がなされていなかった。

強いカスケード放出過程には何らかの形で、伝播する電場自身の媒介によっておこる原子分極の協同的な運動が関与していると考えられる。このような運動を記述する最も自然なモデルは、第Ⅰ部で用いた Maxwell-Bloch モデルを三準位系に拡張したものである。光放出の引金となる量子雑音の効果はランダムな初期分極でシミュレートされた。このため扱うモデルは第Ⅰ部と異りストカティックな雑音源を含んでいる。同時にカスケード系に於て特異な役割を果す Doppler-broadening が Bloch 方程式にとりいれられている。

申請者はこのモデルが示す振舞いをまづ線形近似の下で調べ、その結果を用いて系の非線形性をとり入れた議論を行い、発生する輻射の極大値及び放出されるパルスの統計的な特性が原子数密度 N の変化と共にどの様に変化するかを調べた。放出光の発振特性は3つの密度領域—低い順に A, B, C と呼ぶ—で異った振舞いを示す。A 領域は dephasing のため分極の協同化が十分に起らない領域であり、発光は統計的に独立なパルスの準定常放出の様にみえる。B 領域では分極間の協同化が十分におこり輻射強度は超放射的 N^2 依存性をもつ。この領域に入るとカスケード下段遷移による放出強度は上段遷移による放出光強度に匹敵する。奇妙なことに領域 C にはいると、励起が弱い場合には N^2 依存性が失われ N に比例するふるまいが見られる。この振舞いは、最高エネルギー準位と最低エネルギー準位間の二光子励起コヒーレンスに由来するカスケード系固有の負のフィードバック機構に起因している。

申請者はこの理論の結果を実験と比較し、A 及び B 領域での振舞いが定性的定量的に実験をよく説明することを示した。しかし C 領域の存在を証明する実験結果は未だ提出されていない。

参考論文 (1) は第Ⅰ部で用いた方法の骨子を示した論文である。参考論文 (2) は第Ⅰ部の国際会議での報告である。参考論文 (3), (4) は共に第Ⅱ部に関係している。(3) はこの三準位系の特異な性質を指摘した速報であり、(4) は簡単な理論によって実験の一部を説明した論文である。

論文審査の結果の要旨

申請論文は2部からなり、共にコヒーレントな電磁場の共鳴伝播に関係した現象を理論的に考察している。第Ⅰ部では励起子を素励起とする固体媒質中での非線形な光パルスの伝播過程が、第Ⅱ部では三準位原子系で観測される強いカスケード光の放出過程が理論的に解明されている。

固体媒質中の光の伝播問題で興味深い問題の1つは、ポラリトンギャップの存在が非線形な伝播過程に及ぼす影響である。第Ⅰ部ではつじつまのあった方法によって、このギャップをもつ媒質内で伝播可能な定常パルス解を系統的に導出して分類し、その物理的意味づけを与えることに成功している。この方法によって、申請者はショートパルス解即ち SIT パルス解と共にその相補的極限で現れるロングパルス解を初めて見出した。特にギャップ内ロングパルス解の存在は SIT と異ったタイプの非線形透明化現象が固体媒質で可能であることを示唆している。同時にロングパルス解のダイナミクスがある極限に於てではあるが、てい減摂動法の手法によって調べられ、この解が非線形ポラリトンの不安定化によって

生じることが明らかにされた。

二光子コヒーレント励起された三準位原子系が強いカスケード光を放出する現象はよく知られているがその理論的説明は従来十分でなかった。第Ⅱ部ではストカスティクな三準位 Maxwell-Bloch 方程式を解析することによって、申請者はカスケード光の発光強度並びにその比を原子数密度の関数として与えることに成功している。結果は実験的に観測された発振特性と比較され、定性的定量的に満足のゆく一致がえられている。なお理論的に注目すべきは(1)低密度側での発振の時間特性が、量子効果の導入によってはじめて説明されたこと、(2)カスケード系は通常の二準位系とは逆に高密度側で却って発振が抑制されるという性質をもつこと、を明らかにしたことである。

以上のように申請者の論文は固体媒質中の電磁場の共鳴伝播について始めて本格的な理論的研究を展開し、さらに協同カスケード放出現象を説明する理論を与えたもので、いづれも重要な貢献といえる。なお参考論文はすべて関連した内容のものであり、申請者のこの分野における学識と研究能力を十分に示している。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。