

氏 名	永 島 道 芳 なが しま みち よし
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 博 第 577 号
学位授与の日付	昭 和 53 年 9 月 25 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 機 械 工 学 第 二 専 攻
学 位 論 文 題 目	Coherence Properties of Matter-Photon Systems (物質-フォトン相互作用系におけるコヒーレンスの研究)

論文調査委員 (主 査) 教 授 福 田 國 彌 教 授 小 川 徹 教 授 向 坂 正 勝

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は、電場と原子系の相互作用系における協同現象及び電場のコヒーレント状態の時間的持続に関する理論的研究の結果を述べたもので、5章より成り立っている。

第1章では、従来の研究の簡単な説明とその中での本研究の位置付けを述べ、本論文全体の構成と各章の主題と目的を要約している。

第2章では、原子-フォトン相互作用系として基本的なディッケモデルにおいて対角的コヒーレント状態表示と変分法を用いて協同現象である超放射相転移を考察し、相転移の起る条件について従来の結果を確認し、さらに系内で成立している電場と原子分極の関係を導いている。また電場のコヒーレント状態が時間的に持続すると仮定して系内における光子数の時間変化の解析的厳密解を得、この解が原子系と光子系の非線形相互作用の基本的な振舞い、即ち定常解、周期解、及び孤立解をよく表わすことを示している。

第3章では、前章のモデルに電場の自己エネルギーと原子間相互作用を含めて拡張したモデルで超放射相転移を考察している。用いた方法は概ね前章と同じ対角的コヒーレント状態表示と変分法である。従来の研究で示された様に、電場の自己エネルギーが相転移の存在を否定するが、原子間の相互作用が強ければ相転移は存在し得ることを示している。

第4章では、原子系と相互作用する電場のコヒーレント状態がどの程度持続するかを、ディッケモデルにおいて規格化された電場のバリアンスの時間変化を見ることにより解析的に調べている。先ずディッケ状態とブロッホ状態からの超放射光のコヒーレンスは短時間内では容易に解析的に調べることができ、ブロッホ状態からの超放射は従来の研究通りコヒーレント状態にあるが、ディッケ状態よりは光子数はポアソン分布しているが決してコヒーレント状態にある光は出て来ないことが新しく見出されている。また最初にコヒーレント状態にある強い電場が任意の状態の原子系と相互作用する場合についても調べる為に、非常に多くの連立非線形運動方程式を少数個で閉じた形に近似して解いている。電場のコヒーレント状態をつぶすのはディッケ状態の方がブロッホ状態よりもずっと早く、原子分極が電場と適当な位相関係にあ

れば電場のコヒーレント状態はより持続することが示されている。ただし、この章の誘導放出光についての結果は強いコヒーレント光の数回のラビ振動の時間内においてのみ良い近似を与えるものである。

第5章では、時間的にも長く電場の強さもいろいろな場合を調べる為に、ディッケモデルでの波動関数の完全系での展開係数の多くの連立方程式を用いた計算機実験を行なっている。この章ではバリアンスの他に光子数の分布や原子状態をも調べており、原子の協同状態よりの超放射光については前章の結果が長く成立していることが解り、この結果を用いて自然放出の光子数の時間変化の解析解を求めている。即ちコヒーレント状態にある弱い電場が多く原子系に入射すれば系内に存在する光は最初の数回のラビ振動内ではコヒーレント状態にあることが示される。光子数が原子数と同程度のコヒーレント光の入射の場合は電場のコヒーレント状態は直ちにつぶれてしまうが、強い電場の場合は前章の結果が確認でき長時間にコヒーレント状態は徐々につぶれてゆくが系内の光子数は良い近似でポアソン分布していることが明らかにされている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、原子系と電場の相互作用系における協同現象である超放射相転移とコヒーレント状態の時間的持続について理論上並びに計算機実験により考察したもので、得られた結果は以下の通りである。

(1) 原子系と電場の相互作用系の超放射相転移を対角的コヒーレント状態表示と変分法を用いて考察している。用いたモデルは原子-フォトン相互作用系としては最も基本的なディッケモデルとこれに電場の自己エネルギー及び原子間相互作用を含めて拡張したモデルの2種類である。ディッケモデルでは相転移が起る条件に対する従来の研究結果を確認し加えて相転移中の系内の電場と原子分極が互いに過不足なく誘導し合っている事実を明かにした。また拡張モデルの考察では、相転移の存在が電場の自己エネルギーにより妨げられるのは従来の結果の通りであるが、原子間の直接の相互作用が強ければ相転移が起りうることを示した。超放射相転移は実験上未だ確認されていないがその起りうる基本条件を示したものとして注目される。

(2) コヒーレント状態とは量子的状態の中で最も古典的状态に近いものであり、電場のコヒーレント状態が時間的に持続するという仮定は一種の半古典論を与える。著者はこの仮定のもとでディッケモデルでの原子と電場の非線形相互作用の解析的厳密解即ち定常解、周期解（ラビ振動）及び孤立解を得ることに成功した。

(3) 電場のコヒーレント状態は電場のみの系では時間的に持続しうる可能性があるが原子系と相互作用すると一般にはつぶれて行い。著者は、コヒーレント状態がどの程度持続するかをディッケモデルに於る電場のバリアンスや光子数の分布の時間変化を解析的に及び計算機実験により計算し、以下の事柄を明かにした。

(a) ブロッホ状態からの超放射光は従来の研究と同じくコヒーレント状態にあるが、ディッケ状態にある原子系からの超放射光は、その光子数はポアソン分布をしているが決してコヒーレント状態にはない。これらの性質は短時間内では解析的に求められるが計算機実験によるとラビ振動の一周期程度では十分成立する。またこの結果により超放射光の光子数の解析解をもえることができる。

(b) 最初にコヒーレント状態にある電場が初期に基底状態にある原子系に入射すると、主として光子数と原子数の比によって電場のコヒーレント状態及び原子系のブロッホ状態のつぶれ方が決る。即ち両者の数が同程度の時に最も早くつぶれ、初めに吸収され再放出される光はもはやコヒーレント状態にはない。光子数が小さい時は系内に存在する光は最初の数回のラビ振動内ではコヒーレント状態にあり、この事は非線形理論への半古典論の適用に基礎を与える。光子数が非常に大い時は最初のうちは十分コヒーレント状態にあり徐々につぶれて行き、一方光子数の分布は良い近似でポアソン分布であり続ける。即ち原子系と光子系の結合した状態ではコヒーレント状態になくとも系内の光子数はポアソン分布をしている。原子系が初期状態として励起している時も光子数が大い場合は上述と同様の結果が得られる。この場合は解析的にも良い近似解が求まり、電場のコヒーレント状態をつぶすのはディッケ状態にある原子系の方がブロッホ状態にあるものよりずっと早いことが明かとなる。

以上要するに本論文は原子系と電場の相互作用系の協同現象を理論的に解析しパルス伝播やレーザーについてコヒーレント状態の持続に関する基本的な解明を与えたものであり、学術上、応用上貢献するところが大きい。

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。