

研究主論文抄録

論文題目 ラダー型及び $\Lambda$ 型3準位系における量子干渉効果  
( Quantum interference effects in ladder-type and  $\Lambda$ -type three-level systems )

熊本大学大学院自然科学研究科 理学 専攻 物理科学 講座  
(主任指導 光永 正治 教授)

論文提出者 林暢仁  
(by Nobuhito Hayashi)

主論文要旨

光と原子の相互作用については長年研究されており、その中でも特に量子干渉効果を用いた非線形光学過程に注目が集まっている。量子干渉効果とは多準位系を持つ原子に複数のモードの光を入射することで、光電場によって結合した状態が互いに干渉する現象である。特に、3準位系に対して2本のレーザー光(probe光、coupling光と呼ぶこと)を入射することにより、特定の条件下で共鳴領域においても媒質が透明になる電磁誘導透過(Electromagnetically Induced Transparency: EIT)と呼ばれる現象に関する研究が盛んに行われた。本研究ではラダー型、 $\Lambda$ 型3準位系を用いた量子干渉効果について実験、理論両面からアプローチしている。

まず、ラダー型EITに関してはルビジウム原子、セシウム原子における研究は数多く報告されている。ただ、ナトリウム原子を用いたラダー型EITに関する報告は今までなされていない。そこで、世界初となるナトリウム蒸気を用いたラダー型EITの観測を目指して研究を行った。また、ラダー型3準位系を用いた場合には、2光子吸収の中でもincoherentな過程である2段励起(Two-step excitation:TSE)が重要になる。本研究ではEITとTSEが干渉することを実験、理論の両面から実証している。

はじめに、ナトリウムの $3S_{1/2}\cdot 3P_{1/2}\cdot 4D_{3/2S}$ (D1-4D)systemを用いてラダー型EITの実験を行い、EITとTSEの干渉を観測することができた。また、摂動理論を用いてLiouville方程式の解を求めた結果、線形吸収の中に幅の広いTSEのディップと幅の狭いEITのピークが現れ、実験結果と非常に似たスペクトルが得られた。

$3S_{1/2}\cdot 3P_{3/2}\cdot 4D_{3/2,5/2}$ (D2-4D)systemを用いた場合にもEITとTSEの干渉は見られた。ところが、 $3S_{1/2}\cdot 3P_{1/2}\cdot 5S_{1/2}$ (D1-5S)systemにおいてはTSEのみ、 $3S_{1/2}\cdot 3P_{3/2}\cdot 5S_{1/2}$ (D2-5S)systemにおいてはEITのみが現れるという結果になり、励起状態として5Sを用いた場合には干渉は見られなかった。この原因についてはまだ分かっていないが、3P状態の超微細構造、磁気副準位、偏光による遷移選択則、遷移強度(Clebsch-Gordan係数)を組み込

んだ理論を用いて説明できる可能性もある。さらに偏光依存性については入射偏光の組み合わせによってわずかではあるが、スペクトルに違いが現れるという結果が得られた。これにより、偏光成分によって屈折率が異なることによって、偏光の回転が起こると考えられる。

Λ型3準位系においても様々な応用が考えられている。EITが起こっている媒質では屈折率が急激に変化しており、光パルスの群速度が遅くなっている。これをを利用して光パルスが超低速度で伝播することが報告されている。さらに、光パルスの伝播中にcoupling光を切ると、光を原子集団の中に一定時間とどめておくことができる。これは光情報記録と呼ばれ、光子の状態を原子のコヒーレンスに変換して保存し、任意の時間に読み出すことが可能となる。

光情報記録の実験では媒質としてナトリウム蒸気を用いて1bitの古典情報を原子集団に保存し、その読み出しを行った。その結果、保存した光情報が再び読み出されることを実験的に確かめることができた。また、保存時間を変化させて信号を測定し、その信号の減衰時間からサブレベルコヒーレンスの寿命は24μsであるという結果が得られた。さらに複数ビットの保存に向けて、non-collinearの系において光情報記録を行うことを考えた。ただし、transit timeの計算結果から、non-collinearの場合には記録時間が極端に短くなってしまうということが懸念される。そこで、原子の速度が非常に小さい、冷却原子を媒質として用いることにした。冷却原子に関しては吸収イメージングの結果から、原子数が $1.2 \times 10^8$ 個、サイズが0.45mmという値が得られた。過去のデータと比較すると、原子数、サイズ共に小さいため、今後も改善していく必要がある。

もう一つのΛ型EITの応用としてコンパクトな原子発振器の開発を目指す。そのためにセルを小型化することにより原子数が減るため、信号強度が低下してしまう問題を解消する方法を模索する。通常のEITでは不均一拡がりした原子のうち、ごく一部しか寄与しない。そこで、複数の周波数成分を同時に入射することによって少ない原子数でも効率よくEITを起こせる『EIT-comb』の手法用いる。まずはそのための準備として、EOMを用いてキャリア成分(coupling光)とサイドバンド成分(probe光)によって起こるEITを観測し、線幅、信号強度を評価することにした。EOMを用いたEITの実験を行った結果、キャリアとサイドバンドの間隔が1772MHzのところでEITの信号が観測できた。ただ、地磁気によるゼーマン分裂によって信号の形が歪んでいると、正確な線幅の評価ができない。そこで、ソレノイドコイルを用いて磁場をかけ、EIT信号の磁場依存性を検証した。さらに、2台目のEOMを用いて櫛状にサイドバンドを立て、EIT信号の強度及び線幅に対するEIT-combの有用性を調査していくことが今後の課題である。