

氏名	山田興一 やまだこういち
学位の種類	理学博士
学位記番号	理博第 651 号
学位授与の日付	昭和 56 年 1 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	気体における Laser Induced Population Grating と そのダイナミックスの研究

論文調査委員 (主査) 教授 端 恒夫 教授 富田和久 教授 中井祥夫

論文内容の要旨

申請者の主論文における研究は、交差する二つの共鳴レーザー光を用いて気体中に空間的周期性を持つ密度分布 (Laser Induced Population Grating : LIPG) を作り、そのダイナミックスを明らかにすると共に原子分光光学における応用を行ったものである。

実験は Na 原子について行われている。光源としては二台の窒素レーザー励起色素レーザーが用いられ、その出力は NaD 線 (6890, 6896Å) 近傍でパルス巾約 4 ns の場合 10 kw 程度、スペクトル巾は約 20GHz である。色素レーザー (I) の出力は二つに分けられ交差角 θ をつけヒートパイプ中の Na 原子に照射され LIPG が形成される。色素レーザー (II) の出力は時間 τ_D だけ遅らせて診断光として用いられ、その Bragg 回折光により LIPG が検出される。

実験としては(1)基底状態 $3^2S_{1/2}$ 及び励起状態 $3^2P_{1/2}$ における Zeeman beats, (2)自然放出及び原子衝突による LIPG の他準位のへの移乗, (3)原子の熱運動による LIPG の減衰と原子衝突効果, (4)新しい型の echo (LIPG echo) の観測が行われている。

(1)の場合はレーザーに略垂直に静磁場 ($\sim 10^2$ Oe) が加えられている。このため impact excitation によって生じた LIPG はパルスの後周期的な時間変化 (減衰を伴う) を示す。この模様は回折光強度の周期的変化 (Zeeman beats) として観測される。申請者は励起光及び診断光の偏光状態, Buffer gas の圧力, 診断光の波長を適当に選択し基底状態 $3^2S_{1/2}$, 励起状態 $3^2P_{1/2}$ について独立に Zeeman beats を観測している。Zeeman beats のパターンは夫々の準位の Zeeman 分離及び hyperfine 分離を反映し又偏光の選び方によって異なる。申請者は密度行列の運動方程式を基礎として、共鳴励起による LIPG の形成、診断光の回折、偏光特性、磁場中の運動等に関する一般的解析を基底状態及び励起状態が何れも二重縮重の系について行い、ついで hyperfine 相互作用を考慮して、観測された Zeeman beats パターンと理論的に予期されるものが良い一致を示すことを確かめている。

(2)の効果はすでに実験(1)の信号の Buffer gas の圧力及び診断光の遅延時間 τ_D に対する依存性として

現われているが、更に静磁場を加えない場合について回折光の偏光を調べ、又診断光を $3^2P_{3/2}-4D$ に同調して $3^2P_{1/2}$ からの移乗によって $3^2P_{3/2}$ に LIPG が作られていることを示す実験事実を得ている。

(3)LIPG は一般の原子の熱運動によって減衰するが Buffer gas が存在すると Velocity Changing Collision (V. C. C.) を介して原子の局在化がおこり減衰は抑制される。申請者は Buffer gas として Ar, He を用いて回折光強度の Buffer gas の圧力に対する依存性を測定し、圧力が或る程度 (Ar, $\tau_D=37\text{ns}$, $\theta=24\text{mrad}$ の場合 10 Torr 程度) 以上になると回折光強度が増加し局在化の効果が現われることを確かめている。更に θ 即ち LIPG の格子間隔の異なる場合について回折光強度の比を求めその圧力依存性を調べ、原子の運動として拡散過程を仮定した計算と比較して拡散係数の最適値を求めている。

(4)LIPG は原子の自由な並進運動によって減衰するが、申請者は時刻 τ で第二の励起 (交差角 $\alpha\theta$) を行うと時刻 $t=\frac{\alpha}{\alpha-1}\tau$ (第一の励起時刻 $t=0$ とする) で LIPG が再生され一種の echo を生ずることを見出している。診断光としては第一励起光の一部を遅延させて用いている。実験は $\alpha=3/2$, $\theta=13\text{mrad}$, $\tau=15\text{ns}$ で行っている。この場合は $t=45\text{ns}$ に echo が期待される。光遅延路の精度が充分でないため遅延時間 18, 32, 45 ns の各点について回折光強度の Buffer gas 圧力 P に対する依存性を測定するという方法を用いている。三点の回折光強度を $P=100\text{Torr}$ で規格化しておき圧力を下げると $P<0.1\text{Torr}$ で 45 ns の点の回折光強度が著しく増大することが見出され、echo の生成が示されている。echo の生成機構は理論的に詳しく解析され実験をよく説明している。echo 強度の Buffer gas 圧力依存性から V. C. C. についての興味ある知見が得られる筈であるが定量的議論に耐えるデータを得る迄には至っていない。

参考論文その 1 及び 2 はモードロックルビーレーザ光による励起を用いてルビー中に振動磁化を誘起したもので、その 3 は Laser Induced Population Grating に関するもので主論文の先駆をなすものである。

論文審査の結果の要旨

レーザ光の出現は光の干渉効果に関連した種々の新しい研究を可能にしている。交差するレーザ光の干渉により物質中に空間的周期性を持つ密度分布を作り、それが回折格子と同様の働きをすることを利用して物質の動的特性を調べることもその一つである。この種の研究は最近、液体、固体について行われ緩和、拡散等の現象が調べられている。

申請者の主論文における研究は、同様の手法を始めて気体原子に適用し、新しい現象を観測すると同時に原子光学における独自性に富む研究を行ったものである。気体における研究の特色は各エネルギー準位に個別に密度分布の周期的構造 (Laser Induced Population Grating : LIPG) を作る事が出来るため、巨視的な電気感受率の空間的変調という従来の立場から一歩進んでミクロ的な観点から LIPG の時間変化を追跡しうることである。申請者はこの点に着目して基底状態及び励起状態が夫々二重に縮退している系について LIPG の時間変化を解析し、原子内遷移、外場の効果、原子運動、原子衝突等について、従来と異なった方法で新しい知見が得られることを示している。

実験は Na 原子について行われ、(1)基底状態 $3^2S_{1/2}$ 及び励起状態 $3^2P_{1/2}$ における Zeeman beats, (2)自然放出及び原子衝突による LIPG の移乗, (3)Buffer gas との Velocity Changing Collision (V. C. C.)

による LIPG の局在化, (4)新しい型の echo (LIPG echo) の観測がなされている。これらは何れも従来観測された例のない現象であると共に, 原子分光光学の新しい手段として利用し得るものである。即ち(1)は Zeeman sublevel 間の coherence の検出と同等であり, 基底状態及び励起状態に関する Doppler free の高分解能分光法とみなしうる。又(2)の結果はこの方法が直接光遷移が可能でない準位にも適用し得ることを示している。(3)は緩和効果に関連したものであるが, ビームの交差角 θ を変えることにより LIPG の格子間隔を変えることが出来るため種々の空間的尺度で拡散現象等を調べうるという特性を持つ。(4)は原子の熱運動によって減衰した LIPG を第二の励起を加えて再生させるもので一種の echo 現象であるが, coherence が全く関与していないという点で従来の echo と異なる新しい型のものである。この echo は V. C. C. の効果を独立に取り出し得るという極めて特徴的な性質を持つ。

以上の様に申請者の主論文における研究は, 気体における LIPG のダイナミックスを始めて詳しく調べ, 新しい現象を見出し, 原子分光光学における有用性を幾つかの例を以て示したもので, 量子光学, 原子物理学の発展に貴重な寄与をなしたものと言える。参考論文は本論文の先駆をなすものを含み何れも価値あるものである。

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。