

氏 名	安 東 滋 あん どう しげる
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	論 理 博 第 128 号
学位授与の日付	昭 和 41 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	Study on the Zeeman Sublevels in Ground State of Optically Aligned Rubidium and Cesium Vapor, and its Application to the Magnetometer. (光学整列ルビジウム, セシウム蒸気基底状態のゼーマン準位の研究とその磁力計への応用)
論文調査委員	(主 査) 教 授 高 橋 勲 教 授 内 田 洋 一 教 授 富 田 和 久 教 授 長 谷 田 泰 一 郎

論 文 内 容 の 要 旨

主論文第1部においては, Rb^{87} , Rb^{85} の蒸気の基底状態のゼーマン遷移の超微細構造を Optical Pumping による磁気共鳴の方法で調べ, 各ゼーマン準位の原子分布を論じている。すなわち, 磁場 0.5G 付近から, ゼーマン周波数の計算に nuclear spin I , total angular momentum J と磁場 H との intermediate coupling を考える Breit-Rabi の式が与えられている 10G 付近までの領域を調べ, 結果としては, 測定値と Breit-Rabi の式による計算値とがよく一致することを示した。

次に基底状態の全ゼーマン遷移が分離している状態で, 共鳴吸収ゼーマン要素の強度分布の温度に対する変化を調べ, Rb^{87} , Rb^{85} について共通に一つの傾向を初めて見出した。この傾向を説明するため, 各ゼーマン準位に対して, 次の仮定の上に rate equation を設定し, 原子数の分布の推定を行なった。すなわち, (1)セル内の蒸気の光学的厚さを無視する, (2)第一励起状態では, collision mixing により原子は各ゼーマン準位に均等に配分される。(3) spin exchange の効果は小さく, 緩和は縦緩和時間 T_1 一つだけで表わされる。

設定された rate equations から, hyperfine quantum number $F(=I+J)$, $m_F = m$ のゼーマン準位の相対的分布数 $n_{F,m}$ の形を次の如く定めた。

$$n_{F,m} \propto \frac{1}{A P_{F,m} T_1 + 1}$$

ここに, A は入射光強度, $P_{F,m}$ は遷移確率で, $N_{F,m} P$ ($N_{F,m}$ は 0 又は正整数) である。 $A P T_1$ をパラメーターとして各ゼーマン要素の相対的強度を算出すると, 上述の温度に対する変化を定性的に説明出来る。更に選択規則を $\Delta m_F = +1$ から $\Delta m_F = -1$ に変えると, ゼーマン要素の強度分布が反転する筈であるが, これも確認した。

又 $F=1$ のゼーマン要素が, ある温度以上では正の吸収, 以下では負の吸収という critical temperature の存在することを見出した。

Anderson と Ramsey は Na について, T_1 の他に横緩和時間 T_2 で表わされる spin exchange (F

=1, 2の原子間)により負吸収の現われ得ることを示し, pumping と spin exchange とが competition を起こしていると説明している。

申請者は, 上記の critical temperature の上下における T_1, T_2 の値を測定して, Optical Pumping と spin exchange との competition を確認した。

主論文第二部においては, Optical Pumping による磁気共鳴を利用する磁力計について, 出力周波数が, 非常に僅かであるが, 温度, 光の強度, 磁力計の方向により, シフトすることに注目し, これを追求した。すなわち, C_s を利用する Automatic Frequency Control 型磁力計について, C_s の基底状態の全ゼーマン要素が分離している状態で観測を行なった。日本の地球磁場の 0.46 G 付近における C_s の $F=3, 4$ のゼーマン要素の理論的強度分布から, 出力周波数 f_0 は, 近似的に

$$(\nu_{F-1} - f_0) + (\nu_F - f_0) R = 0$$

で与えられるとした。ただし, ν_F は F グループの平均周波数, R は $(F-1)$ グループと F グループとの強度比である。各の場合の強度分布の測定から R が計算され, 従って f_0 が算定され, 各の原因に対する f_0 のシフトが推定される。

次にゼーマン要素の強度分布の変化を, 第一部の rate equations による方法で説明した。しかし, 第一部では, 蒸気の光学的厚さ d を無視したのに対し, 吸収係数 α を導入した。

この場合も, 相対的分布数 $n_{F,m}$ は APT_1 をパラメーターとして求められる。ただし, $A = A_0 \frac{1 - e^{-\alpha d}}{\alpha d}$ で, A_0 は入射光強度である。

これによる相対的強度分布の計算値と温度変化, 入射光強度変化に対する実験値とは, その傾向がよく一致することを示した。

参考論文その一からその三は, アルカリ金属蒸気の Optical Pumping に関する基礎的な測定, ゼーマン要素全部の分離に関する報告である。

その四は, アルカリ金属蒸気磁力計に関係した基礎的研究の報告, その五は, オーロラ分光器の自動露出制御装置の試作研究, その六は, 赤外線ガス検出器の研究, その七は, 分光器の各波長に対する補正の自動装置の研究の報告である。

論文審査の結果の要旨

数G以下の弱磁場で基底状態のゼーマン遷移の超微細構造をアルカリ金属について系統的に調べることは, ほとんど行なわれていなかった。Anderson と Ramsey が Na について比較的高い磁場 (≈ 10 G) で全部の遷移を分離したのと, Bell と Bloom が Na と K について 0.5 G で $F=1$ と 2 とを分離した以外は, 単に基底状態全体に対する一つの吸収を観測されているにすぎなかった。Optical Pumping による共鳴吸収は, 弱磁場のゼーマン遷移を直接観測するに適当な方法である。申請者は, $F = I + J$ が good quantum number である 0.5 G 付近から, F が good quantum number でなくなり, I, J と H との intermediate coupling を考え, ゼーマン周波数を Breit-Rabi の式で計算出来る 10 G 付近までの領域を調べた。結果としては, Breit-Rabi の式による計算値と実験値とがよく一致することを確認した。これは, Breit-Rabi の式の妥当性を支持するデーターであると考えないにしても, 少なくとも

Rb⁸⁷, Rb⁸⁵ について、原子線法等で測定された μ_I のような量の数値がこのような弱磁場でも有効であることを示すものと考えられる。

次に、ゼーマン準位に対して、三つの仮定の上に、rate equation を設定し、原子の相対的分布数 $n_{F,m}$ を APT_1 をパラメーターとする形で定めた。ここに、 A は入射光強度、 P は遷移確率の normalization factor、 T_1 は Optical Pumping の縦緩和時間である。

これにより、各ゼーマン要素の相対的強度を算出すると、申請者の観測した強度分布の温度変化に対する変化の傾向を定性的に説明出来ることを示した。又 $F=1$ のゼーマン要素について critical temperature が存在し、その上下で吸収が正負になることを見出した。申請者は、この critical temperature の上下における T_1, T_2 (spin exchange の横緩和時間) の値を測定して、Optical Pumping と spin exchange の competition を確認した。

次に、Optical Pumping による磁気共鳴を利用する磁力計について、出力周波数が、温度、光の強度、磁力計の方向により僅かながらシフトすることに注目し、Cs を利用する AFC 型磁力計について、0.46 G において、これを追求した。出力周波数 f_0 は、 $F=3$ と 4 とのグループのゼーマン要素の平均周波数、両グループの強度比 R から定まるものとして、強度分布の測定から R を求め、それから f_0 の各の原因に対するシフトを推定した。

さて、 f_0 のシフトは強度分布の変化によることが確かめられたが、ゼーマン準位に対する rate equations から、強度分布の変化を説明した。すなわち、蒸気の光学的厚さ d 、吸収係数 α を導入し、この場合も相対的分布数は ART_1 (ただし $A=A_0 \frac{1-e^{-\alpha d}}{\alpha d}$, A_0 は入射光強度) をパラメーターとする。これによる相対的強度分布の計算値と、温度、 A_0 の変化に対する実験値とは、その傾向がよく一致することを示した。

参考論文その一からその四は、アルカリ金属蒸気の Optical Pumping の研究で主論文の前駆をなし、その五からその七は、分光装置の研究で、何れも価値のあるものである。

これを要するに、申請者の論文は、Rb, Cs 蒸気の Optical Pumping により、基底状態のゼーマン遷移の超微細構造を明らかにし、又これを磁力計に利用する場合の重要な問題を解明したもので、電波分光学の分野に新しい重要な知見を加えたものである。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値があるものと認める。