

ボゾン対とフェルミオン対の系としての N_2 分子 $^3\Sigma$ 状態の研究

(東工大・理) ○宮下恭子・金森英人

Research of the $^3\Sigma$ state of N_2 molecule considering as boson pair and fermion pair system
using NIR sub-Doppler spectroscopy

(Department of physics, Tokyo Institute of Technology)

Kyoko Miyashita, Hideto Kanamori

The $^3\Sigma$ state of $^{14}N_2$ molecule is the simplest quantum system in which an equivalent boson pair and fermion pair interact electromagnetically. It would be an interesting and unique research subject because the quantization axis is not a priori determined in the rotating quantum number is zero. Focusing on this point, the purpose of this research is to clarify the interaction of the fine and hyperfine structure of this system. So we tried sub-Doppler spectroscopy for the $D^3\Sigma_u^+(v=0)-E^3\Sigma_g^+(v=0)$ transition of N_2 molecule to observe hyperfine resolved spectrum which has never been reported.

【序】 $^{14}N_2$ 分子の $^3\Sigma$ 状態は、核スピン角運動量 $I=1$ の等価なボーズ粒子の対と、フェルミ粒子である電子の対が全電子スピン角運動量 $S=1$ として電磁気相互作用する最もシンプルな量子系とみなすことができる。このモデルにおいて特に量子化軸が先験されない回転量子数が $N=0$ の状態での等価なボゾン対とフェルミオン対の相互作用は興味深い研究対象である。本研究では、高分解能分子分光法を用いて、核スピンと電子スピンに起因する微細及び超微細構造分裂を測定し、その相互作用を新たな視点から見直すことを目的としている。今回観測対象とする N_2 分子の $D^3\Sigma_u^+(v=0)-E^3\Sigma_g^+(v=0)$ 遷移では、微細相互作用は既に観測されているが、超微細相互作用については D, E 状態のいずれについても報告されていない。今回はこの遷移の超微細構造を観測するために、近赤外半導体レーザーを用いた飽和吸収分光による Lamb-dip スペクトルの測定を行い、得られたスペクトル線について考察した。

【方法】 N_2 分子の $D^3\Sigma_u^+(v=0)-E^3\Sigma_g^+(v=0)$ 遷移の Lamb-dip 測定のための光源としては $1.3\mu\text{m}$ 帯で出力 5mW の ExceLight 社のファイバー付 DFB 半導体レーザー SLT4260-K515B を用いた。Lamb-dip による信号のみを取り出すために、pump 光を 2.45kHz で chopper 変調し、probe 信号を Lock-in amp を用いて位相敏感検出した。

N_2 分子の $E^3\Sigma_g^+(v=0)$ 状態は、純度 99.999% の N_2 試料気体を放電プラズマとすることで生成した。プラズマは内径 10mm 、全長 44cm の放電電極付ガスセルに N_2 試料気体を全圧 100mTorr 、流量 2.0ccm とするフロー条件のもと、放電電圧 3kV 、電流 150mA の直流放電で生成した。

【結果・考察】今回は下準位が最低回転状態となる、 $D^3\Sigma_u^+(v=0)-E^3\Sigma_g^+(v=0)$ の $R(0)$ 遷移の Lamb-dip スペクトルを観測することに成功した。このスペクトルを解釈するための微細及び超微細構造分裂を示すエネルギー準位図を Fig.1 と 2 に示す。全電子スピン角運動量 $S=1$ によって D 状態の $N'=1$ 準位は 3 準位 ($J'=0,1,2$) に分裂し、E 状態の $N''=0$ 準位は単一準位 ($J''=1$) となる。 $R(0)$ 遷移では Case b が成立していないので、Fig.1 の矢印が示すように $\Delta J=+1,0,-1$ の 3 本の遷移が可能となる。さらに $R(0)$ では、D, E 状態はいずれも全核スピン角運動量 I が 0 または 2 を取ることから、Fig.2 の矢印が示すように $\Delta I=+1$ には 10 本、 $\Delta I=0$ には 8 本、 $\Delta I=-1$ には 4 本の $\Delta F=+1,0,-1$ の超微細構造遷移を考慮する必要がある。

Fig.3 に示す実際に測定したスペクトルは、 2.5Hz で周波数掃引してデジタルオシロスコープ

で128回積算したデータを16回取得し、その平均を取ったものである。微細構造の帰属は過去の報告[1]をもとに特定した。その結果、 $\Delta J=+1$ は1本のまとまった強いピークが複数のピークに分離しかけている構造として、また $\Delta J=0$ は同程度の強度の複数のピークが連なった構造として観測されたことから、超微細相互作用分裂パターンは $\Delta J=+1$ と0では大きく異なっていることが推察される。一方、 $\Delta J=-1$ は信号の強度が小さく、細かい構造の分離までは至っていない。

超微細構造が完全に分離できなかった理由としては、データ積算中のレーザー一周波数の揺らぎ等の実験上の問題の他に、D状態の自然幅が考えられる。D状態では、隣接する $C^3\Pi_u$ 状態との電子-回転相互作用に伴う前期解離が起こることが知られていて、実際に $D^3\Sigma_u^+ - E^3\Sigma_g^+$ 遷移において $v=1$ の状態ではスペクトル線幅がD状態の回転量子数 N に依存して広がることが観測されている[1]。 $v=0$ 状態の前期解離による自然幅を確認するために、単一超微細構造を持つ R(1) の $J'=1 \leftarrow J''=0, F'=2 \leftarrow F''=1$ の遷移を測定した結果(Fig.4)、FWHM が 83.7 ± 0.6 MHzであった。前期解離によるスペクトル線幅が N に比例すると仮定すると R(0) での1本の超微細構造の線幅は半分の 42 MHz 程度と推定される。観測されたスペクトルでも、それに対応するピークが分離しかけているようにも見えるが、重なる本数が多いので1本1本完全に分離するのは困難な状況となっている。

以上を踏まえた今後の展望として、まずはD状態の前期解離の影響が最も小さい P(1) のスペクトルの構造を確かめることが必要である。また、前期解離の影響によるスペクトル線幅の影響を受けない観測を行うために、R(0) と P(2) を使った Λ 型の二重共鳴分光法を導入することを計画している。

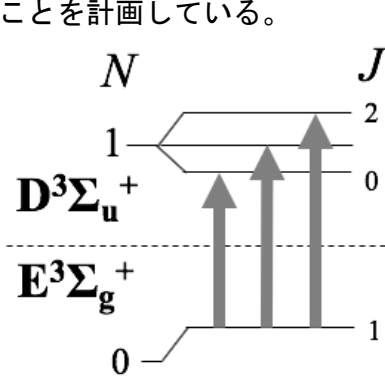


Fig.1 R(0)の微細相互作用分裂

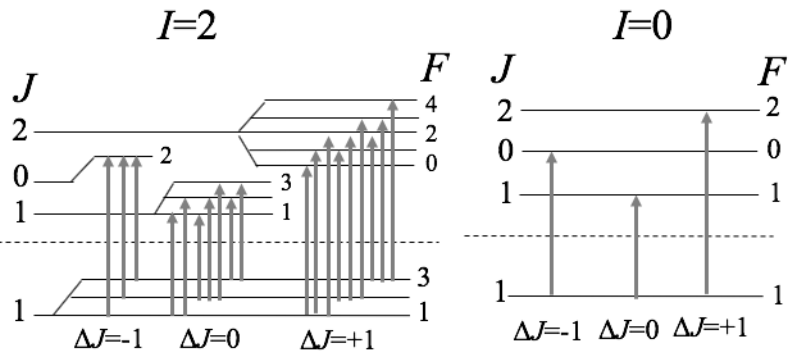


Fig.2 R(0)の超微細相互作用分裂

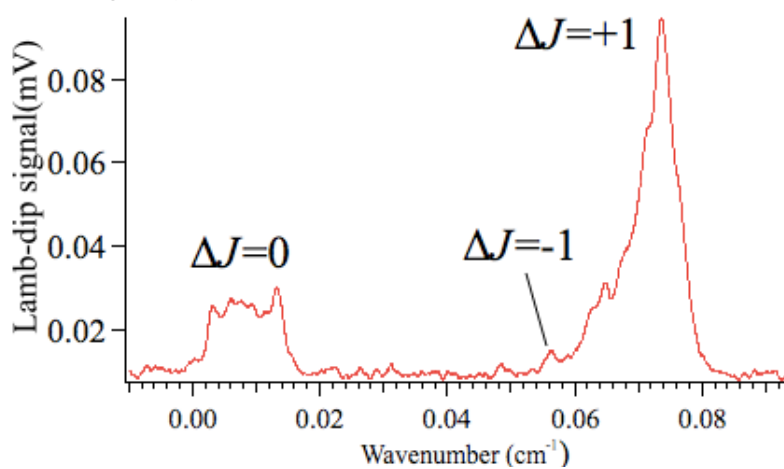


Fig.3 R(0)のLamb-dip測定結果

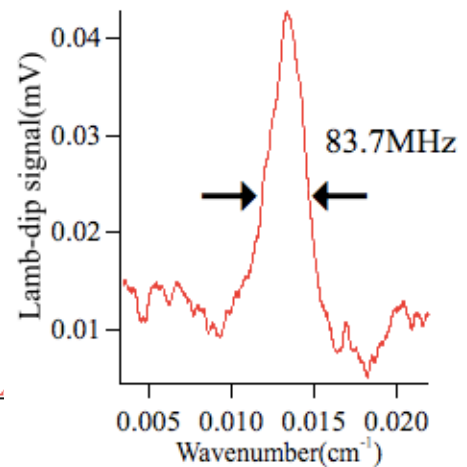


Fig.4 単一超微細構造を持つ R(1)の遷移 ($J'=1 \leftarrow J''=0, F'=2 \leftarrow F''=1$)

参考文献

[1] H.Kanamori, S.Takashima, and K.Sakurai, J. Chem. Phys. **95** (1) (1991)