

【 1 】

氏 名	山 野 大 やま の まさる
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	理 博 第 1 号
学位授与の日付	昭和 33 年 3 月 24 日
学位授与の要件	理学研究科物理学専攻・博士課程修了者 (学位規則第 5 条第 1 項該当)
学位論文題目	アンモニア反転スペクトラムの研究 (主 査)
論文調査委員	教授 高 橋 勲 教授 内 田 洋 一 教授 富 田 和 久

論 文 内 容 の 要 旨

この研究は、アンモニアの $J=K=3$ 反転スペクトラムの中心周波数に関するものである。従来、このようなスペクトラムの中心周波数は、圧力・温度などに対してほとんど不変であると考えられ、したがって、この周波数を基準とする時間および周波数の精密標準、すなわち、原子時計が研究されたのである。ところが、上記アンモニアのスペクトラムを利用する確度 1×10^{-9} 程度の吸収型原子時計の研究を遂行中、山野らは、スペクトラムの中心周波数が、従来考えられていた程度よりも大きく圧力に依存することを見出したので(参考論文その 3 参照^{-注1-})、山野は、この中心周波数を精密に測定し、それに関する詳細な研究を行なって、興味ある結果を得たのである。

研究は、シュタルク変調原子時計(参考論文その 1 参照^{-注2-})を利用して行なわれたのであるが、まず、主論文第 1 部においては、純アンモニア(純度 94%)およびこれに異種ガスを混合したものについて、中心周波数の圧力依存性を研究した。その際、上記、原子時計の一部分である総合確度 1×10^{-9} の周波数測定装置のほかに、標準電波 JJY の 5Mc/s を用いて校正した確度 2×10^{-8} の 100Kc/s 水晶発振器を使用し、測定に際しては、立体回路における反射・ガスの分散現象・周波数逡倍の各段における雑音などによる誤差を最小にするようにしたばかりでなく、さらに、吸収管内のアンモニア・ガスの分圧が管壁に存在する異種ガスとの置換によって低下する(参考論文その 3 参照^{-注1-})のを防ぐために、あらかじめ十分処理し、置換効果の起こらないことを確かめた吸収管を使用して測定を行なった。なお、この置換効果は壁による吸着と関係があるので、逆に、壁の吸着の性質を調べる手段となることを提案している。

この研究では、中心周波数のシフト(Shift)を直接測定したのではなく、シュタルク電場の存在する場合および存在しない場合の二つの吸収曲線の交点のシフトから中心周波数のシフトを決定し、圧力に対し中心周波数のシフトおよび半値幅を同時に測定したのであるが、測定の結果、アンモニアの純度 94 % 半値幅 $\Delta\nu=350\text{Kc/s}$ に対して、圧力半値幅 $\Delta\nu_p$ に対する中心周波数のシフトの比 a の値として $(2.8 \pm 0.1) \times 10^{-2}$ 、圧力 P の変化に対する中心周波数の割合の値として $(0.77 \pm 0.1) \text{ Mc/s/mmHg}$ 、また、衝突半値幅パラメーター $k = \frac{\Delta\nu_p}{P}$ の値として $(27.5 \pm 0.1) \text{ Mc/s/mmHg}$ という結果が得られた。さらに、

5種類の異種ガスをアンモニア・ガスに混合した場合における中心周波数のシフトを測定したが、その結果、純アンモニアの場合と異なり、 a の符号が負となるという注目すべき事実を認めた。異種ガスの種類によって、 a の値そのものはかなり不揃いであるけれども、その符号が負であることは確実であると思われる。この興味深い実験結果を、理論家が理論的に解明してくれることを期待するものである。

主論文第2部においては、第1部において得られたアンモニア $J=K=3$ 反転スペクトラムの中心周波数の圧力依存性の精密測定を基礎にし、シュタルク変調原子時計を用い、JJY標準電波を基準として、1957年2月から10月までの測定によって中心周波数を決定した。この測定は、天文時で較正されたJJY標準電波を利用しているので、天文時と原子時との比較とも考えられる。

この測定における誤差の原因としては、(1)電離層の変化によるJJY標準電波のドップラー・シフト、(2)直接測定されるものは中心周波数のシフトではなく、二つの吸収曲線の交点のシフトであること、および(3)中心周波数の圧力依存性の三つが考えられるのであるが、まず、(1)に対しては、JJYの5Mc/sおよび10Mc/sの二つの電波と、研究室の標準100Kc/s水晶発振器との長期比較の結果に基づき、ドップラー・シフトによる測定誤差を 1×10^{-8} 以内にとどめることができた。また、(2)に対しては、二つの吸収曲線の交点の周波数をシュタルク電場の2乗に対して測定し、零シュタルク電場に外挿して中心周波数を決定した。さらに、(3)に対しては、主論文第1部の結果を用い、中心周波数を零圧力に外挿することにより一義的な決定を行なったのである。

このようにして、1957年2月から10月までの測定の平均をとった結果、純度94%のアンモニアの $J=K=3$ 反転スペクトラムの中心周波数の零圧力に対する値として、

$$23,870.130 \pm 0.05^* \pm 0.1^{**} \pm (0.2^{***1} \text{ または } 1.2^{***2}) \text{ Kc/s}$$

が得られた。ただし、 $*$ は研究室のシュタルク変調原子時計の総合精度 4.2×10^{-9} に対応し、 $**$ は東京天文時 UT₂ の精度、 $***1$ 、 $***2$ はJJY電波5Mc/s、10Mc/sのそれぞれの京都におけるドップラー・シフトを考慮した精度である。

アンモニア反転スペクトラムを利用する原子時計の誤差は、主として、スペクトラムの検出に関連して起こると従来考えられていたのであるが、実際には、この誤差は 1×10^{-9} よりも小さくすることが可能であって、スペクトラムそのものが圧力変化によって変化することに基因する誤差のほうがむしろ大きいことが、山野の測定結果から明らかになった。アンモニア・ガスの分圧の変化による誤差を 1×10^{-9} より小さく抑えることは現在の技術では非常に困難であるから、 1×10^{-9} より良い精度の原子時計を吸収型で得ることは非常に困難である。したがって、精度 1×10^{-9} 程度は吸収型原子時計の実際的な限度であろうと考えられる。

論文査審の結果の要旨

主論文においては、従来、ほとんど不変であると考えられていたアンモニア $J=K=3$ 反転スペクトラムの中心周波数の圧力依存性を決定し、また、圧力半値幅に対する中心周波数のシフトの比は、異種ガスがアンモニア・ガスに混合されている場合には、純アンモニアの場合と異なり、負となることを確かめ、さらに、この結果を基として、アンモニア $J=K=3$ 反転スペクトラムの中心周波数の精密決定を行なった。その際、中心周波数は、その圧力依存性から零圧力に換算するのが適当であると、また、測定装

置および基準に関する考え得るすべての誤差を考慮した精密な値を得た。同時に、吸収型原子時計の確度に対する実際的な限度をも与えた。なお、圧力依存性に関連して、アンモニア・ガスの容器壁の異種ガスによる置換の効果は、壁の吸着現象の研究に一つの手段を与えることを提案した。

参考論文においては、共同研究者と協力して、シュタルク変調原子時計についての詳細な研究を遂行し(注2)、電離層の変化による標準電波のドップラー・シフトの存在を初めて観測によって確かめ、このような観測が、逆に、電離層の変化の研究に対して有効な手段になることを提案した(注3)。また、アンモニア $J=K=3$ 反転スペクトラムの中心周波数のシフトを初めて見出し、置換効果に言及している(注1)。

要するに、山野 大は、分子分光学の分野に価値ある新しい知見を加えたものであって、時間および周波数の精密標準の設定に対する彼の貢献は高く評価されるべきものである。

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。

〔主論文公表誌名〕

Memoirs of the College of Science, University of Kyoto, Series A, Vol. 29 (1958), No. 1.

〔参 考 論 文〕

注 1. Shift of Center Frequency of an Ammonia Inversion Spectrum (アンモニア反転スペクトルの中心周波数のシフト)

共著者 ~ 高橋 勲・小川 徹・平井 章

The Physical Review, Vol. 106 (1957), No. 3.

注 2. Stark Modulation Atomic Clock (シュタルク変調原子時計)

共著者 ~ 高橋 勲・小川 徹・平井 章・竹山幹夫

The Review of Scientific Instruments, Vol. 27 (1956), No. 9.

注 3. Doppler Shift of the Received Frequency from the Standard Station Reflected by the Ionosphere (標準電波の電離層反射によるドップラー・シフト)

共著者 ~ 高橋 勲・小川 徹・平井 章・滝内基弘

Proceeding of the IRE, Vol. 45 (1956), No. 10.