原子スペクトル

目的：光の波動性による回析を利用して、原子の持つ電子のエネルギー順位の遷移による発光スペクトルを測定し、その光の波長とエネルギー順位の間にある法則（リドベリ定数）について理解する。

原理：物質は温度を上げるなどによってエネルギーを与えると発光する。量子論はプランクがこの、物質のエネルギーの状態の変化に伴う光の吸収や放出について、光の振動数をν、（ｉ番目のエネルギーの状態からｊ番目のそれより低い状態へ遷移する時）2つの状態間のエネルギー差を⊿Eとすると、

Eｉ－Eｊ＝⊿E=ｈν …（１）

が成り立つことを発見してから始まった。

光は波動性と粒子性を持つ。波動性はそれぞれの種類の光が特定の波長を持ち、干渉や回析が起こることから理解できる。エネルギーの高い状態の物質が低い状態に遷移するのに伴い発行が起きるが、その光は物質によって特定の決まったものである。特に同じ原子のみによる発光の光をプリズムなどで回析させると、そのスペクトルを取ることが出来る。それは原子によって決まっており、原子の発光による光は決まった固有の波長の光の合成波であることがうかがえる。

今回の実験はその可視部のスペクトルを実際に観測し、回析光と入射光のなす角度を測定することにより、それらと原子のエネルギー順位についての関係を探る。

１．リドベリ定数について

「原子内の電子は、中心の原子核から静電気の引力を受けて、その力を向心力として電磁波を出さずに等速円運動するが、その円軌道の半径は特別の許されたものだけである。」という、定常状態における電子のエネルギーをエネルギー順位と言う。そして、定常状態の電子の円軌道は、電子の質量をｍ、速さをｖ、軌道の半径をｒとすると、次の条件を満足する。

ｍｒｖ=ｎｈ／２π　　　（ｎ＝1,2,3、…） …（２）

これが量子条件である。

また、この実験では水素原子のときを考えるので、その原子核（陽子1個、電荷＋ｅ、質量ｍｐ）の周りを1個の電子（電荷－ｅ、質量ｍｅ）が回っているとすれば、その等速円運動による運動エネルギーと静電気的なポテンシャルエネルギー、また量子論などを考えてエネルギー順位を計算すると、陽子と電子が完全に分離した状態｛電離状態｝を基準として

Ｅｎ＝－ｍｅ4／8ε02ｈ2×1／ｎ2 …（３）

となる。ε0は真空の誘電率である。mはｍｐとｍｅ各1個からなる系の換算質量で、

m＝（1／ｍｐ+1／ｍｅ）－1

　＝ｍｅ／1.0005 …（４）

である。（１）式と（３）式から

ν＝ｍｅ4／8ε02ｈ3×（1／ｊ2－1／ｉ2） …（５）

がえられる。真空中の波長λはＣ／νで与えられる。**ここで、屈折率がｎの物質中では波長λが1／ｎになる。可視領域での標準空気の屈折率はおよそ1.0003であるので、この実験では求められたλを1.0003で割っておく。**また、波長の逆数λ－1＝ν／Ｃを波数といい、ν~で表す。ν~は（５）式より、

ν~＝ＲH×（1／ｊ2－1／ｉ2） …（６）

となる。ここで、（６）式と（５）式より

ＲH＝ｍｅ4／8ε02ｈ3ｃ …（７）

となる。このＲHを水素原子のリドベリ定数と言う。この値は、ここでは波数を基準としており、波数単位のリドベリ定数であってSI単位のものではない。

**真値は文献よりＲH＝1.097×107(m－1)である。**一方、単なるリドベリ定数Ｒ∞は（４）式においてｍｐ→∞とした値で、（7）式でｍをｍｅで置き換えたのもので得られる。

Ｒ∞＝ｍeｅ4／8ε02ｈ3ｃ

よって、

Ｒ∞：ＲH＝ｍe：ｍ

　 　Ｒ∞＝1.0005ＲH　　　　　　　…（a）

　　 Ｒ∞＝1.098×107(m－1)

である。

2．回析格子について

波の干渉の一種である。隣り合うスリットを点源とする波と考えることが出来る。その波源Ｓ１，Ｓ２から同じ位相かつ同波長の波が出ているようなものである。よって、点Ｐの位置において、

｜Ｓ１Ｐ－Ｓ２Ｐ｜＝ｍλ　　（ｍ＝0,１,２,３,…）　…（８）

のときに強め合うため、この点Ｐでスペクトルが取れることとなる。分光計では、観測者の目（または望遠鏡）が点Ｐであり、スリットの間隔ｄと比べてその距離は十分に大きい。よって隣り合うスリットから点Ｐまでの光の入射光と回析光のなす角をθとすれば、隣り合うスリットから出る光の位相差はｄsinθとなる。よって、

ｄsinθ＝mλ　　　（m＝0,1,2,3、…）　　　　　…（９）

のとき、波長λの光が角θ回析してスペクトルとして映る。

方法：１．水銀ランプ、蛍光灯、太陽の光（直視しない）を直視分光器でスペクトルを観察する。それらを比較する。

２．水銀光を分光計で測定する。コリメーターに水銀ランプを近づけ、望遠鏡とコリメーターがほぼ一直線になるようにする。式（９）においてｍ＝0のスペクトル（光源より一直線の位置にある）を探し、それに望遠鏡の角度をあわせた後そこを基準θ＝0°になるようメモリ版をあわせる。**少し外れるので、0点補正の容量でその点の詳しい値を副尺から読み取っておく。**

３．θ＝－90°～90°の範囲でスペクトルを探す。**紫～赤までを一セットとし、次数mの見当をつける。**スペクトル線の弱いものが見えるよう、探すときは基本的に豆ランプを消す。

４．光源を水素に変えて、直視分光計と分光計で同じようにスペクトルを探す。

５．水銀スペクトルの波長は文献の値を用い、対応する測定値のθを用いて式（９）より、格子定数dをもとめる。ｄの平均値の平均二乗誤差も出す。

６．求めた格子定数を使い、水素の測定値のθから式（９）よりλ、さらに式ν~＝λ-1よりν~、式（６）よりRH、式（a）よりR∞を次々と求める。λは空気の屈折率を考慮に入れ、RHとR∞はｄなどの誤差を考慮する。

結果：１．水銀ランプ、水素ランプと蛍光灯、太陽の光のスペクトルの直視分光器による比較。

水銀ランプのスペクトルは橙、緑、紫の3色しかないのに対し、蛍光灯、太陽の光のスペクトルはすべてのスペクトルが確認された。これは光の色の合成に似ている。水銀ランプの淡い赤みを帯びた薄紫色は、見えた3色のスペクトルの合成色であろうし、蛍光灯及び太陽の光は光の合成においてすべての色を混ぜれば白色（無色）になるのを証明しているかのようである。また、水素ランプは紫(青)と緑と赤しか見えない。また、これは分光計で調べるときに観測できると予想されるスペクトルの色なのでその参考となる。

２．分光計による水銀ランプのスペクトルと、求める格子定数d

（１）水銀ランプのスペクトルと角度θ

分光計によって得られた水銀ランプのスペクトルとθの値は以下のようになった。また、0点の角度＝－0.03°であり、それで0点補正も行う。

表：１　水銀ランプのスペクトルと角度θ(°)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 色 | 回析の次数 | 紫 | 紫(弱） | 青 | 緑(弱） | 緑(弱） | 緑 | 黄 | 黄 |
| 角度(°） | ｍ=1 | 14.03 | 14.15 | 15.13 | 17.13 | 17.3 | 19.12 | 20.22 | 20.23 |
|  | ｍ=2 | 29.02 | 29.28 | 31.52 | 36.13 |  | 40.93 | 43.8 | 43.98 |
|  | ｍ=3 |  |  | 51.67 |  |  | 79.4 |  |  |
| （逆側） | ｍ=-1 | -14.07 | -14.17 | -15.18 | -17.18 | -17.3 | -19.15 | -20.28 | -20.35 |
|  | ｍ=-2 | -29.12 | -29.35 | -31.6 | -36.25 |  | -41.05 | -43.95 | -44.17 |
|  | ｍ=-3 |  |  | -51.9 |  |  | -81.12 |  |  |
| 0点補正後 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 角度(°） | ｍ=1 | 14.06 | 14.18 | 15.16 | 17.16 | 17.33 | 19.15 | 20.25 | 20.26 |
|  | ｍ=2 | 29.05 | 29.31 | 31.55 | 36.16 |  | 40.96 | 43.83 | 44.01 |
|  | ｍ=3 |  |  | 51.7 |  |  | 79.43 |  |  |
| （逆側） | ｍ=-1 | -14.04 | -14.14 | -15.15 | -17.15 | -17.27 | -19.12 | -20.25 | -20.32 |
|  | ｍ=-2 | -29.09 | -29.32 | -31.57 | -36.22 |  | -41.02 | -43.92 | -44.14 |
|  | ｍ=-3 |  |  | -51.87 |  |  | -81.09 |  |  |

（２）水銀のスペクトルの波長λ

次に、式（９）より各λを求める。このとき、ｄの値は真値の1/600(mm)を用いる。空気の屈折率を1.0003として、λを1.0003で割る。また、各λと文献による真値のλを照らし合わせる。

表：2　水銀スペクトルの波長λ(nm)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 色 | 回析の次数 | 紫 | 紫(弱） | 青 | 緑(弱） | 緑(弱） | 緑 | 黄 | 黄 |
| λ(nm） | ｍ=1 | 404.77 | 408.16 | 435.73 | 491.59 | 496.31 | 546.57 | 576.69 | 576.96 |
|  | ｍ=2 | 404.52 | 407.82 | 435.90 | 491.55 |  | 546.11 | 576.93 | 578.81 |
|  | ｍ=3 |  |  | 435.86 |  |  | 545.96 |  |  |
| （逆側） | ｍ=-1 | 404.21 | 407.03 | 435.45 | 491.31 | 494.64 | 545.75 | 576.69 | 578.60 |
|  | ｍ=-2 | 405.03 | 407.95 | 436.15 | 492.26 |  | 546.77 | 577.87 | 580.17 |
|  | ｍ=-3 |  |  | 436.88 |  |  | 548.69 |  |  |
| 平均 |  | 404.63 | 407.74 | 435.99 | 491.68 | 495.48 | 546.64 | 577.04 | 578.64 |
| 理論値 |  | 404.54 | 407.66 | 435.70 | 491.46 |  | 545.91 | 576.79 | 578.90 |

（３）格子定数d

次に、**次にｄをもとめるが実験より求めたλを使用すると、ただの逆算になり、必ずｄ=1/600(mm)となる。よって、ここでは、理論値のλと実験値のsinθを用いてdsinθ=mλよりdを求める。**

表：３　格子定数ｄ(10-3mm)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 色 | 回析の次数 | 紫 | 紫(弱） | 青 | 緑(弱） | 緑(弱） | 緑 | 黄 | 黄 |
| ｄ(10-3mm） | ｍ=1 | 1.665 | 1.664 | 1.666 | 1.666 |  | 1.664 | 1.666 | 1.672 |
|  | ｍ=2 | 1.666 | 1.665 | 1.665 | 1.666 |  | 1.666 | 1.666 | 1.666 |
|  | ｍ=3 |  |  | 1.666 |  |  | 1.666 |  |  |
| （逆側） | ｍ=-1 | 1.668 | 1.669 | 1.667 | 1.667 |  | 1.667 | 1.666 | 1.667 |
|  | ｍ=-2 | 1.664 | 1.665 | 1.664 | 1.663 |  | 1.664 | 1.663 | 1.663 |
|  | ｍ=-3 |  |  | 1.662 |  |  | 1.658 |  |  |

（４）dの平均値と平均値の平均二乗誤差

表：３の値を以下の表に左上から順に右にとり、平均値、残差δ、残差の二乗δ2を取る。

表：４　ｄの平均値と平均値の平均二乗誤差σ

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ｄ(10-3mm） | 1.6652 | 1.6641 | 1.6661 | 1.6657 | 1.6641 | 1.6665 | 1.6718 | 1.6662 |
| δ(10-7mm) | -1.612 | -12.35 | 7.0083 | 3.878 | -12.22 | 10.955 | 63.99 | 8.78 |
| δ2(10-14mm) | 2.5974 | 152.61 | 49.116 | 15.039 | 149.31 | 120.01 | 4094.7 | 77.089 |
| ｄ(10-3mm） | 1.6655 | 1.6654 | 1.6659 | 1.6655 | 1.6658 | 1.6664 | 1.6656 | 1.666 |
| δ(10-7mm) | 1.3561 | 0.27 | 5.0066 | 1.8143 | 4.0514 | 10.518 | 2.1222 | 6.3286 |
| δ2(10-14mm) | 1.8391 | 0.0729 | 25.066 | 3.2917 | 16.414 | 110.62 | 4.5039 | 40.051 |
| ｄ(10-3mm） | 1.6675 | 1.6687 | 1.6671 | 1.6667 | 1.6666 | 1.6665 | 1.667 | 1.6641 |
| δ(10-7mm) | 21.631 | 33.758 | 17.748 | 13.299 | 12.913 | 10.955 | 16.705 | -12.13 |
| δ2(10-14mm) | 467.92 | 1139.6 | 314.98 | 176.86 | 166.74 | 120.01 | 279.06 | 147.19 |
| ｄ(10-3mm） | 1.665 | 1.6644 | 1.6635 | 1.6635 | 1.663 | 1.6625 | 1.6617 | 1.6577 |
| δ(10-7mm) | -3.82 | -9.191 | -18.82 | -18.24 | -23.14 | -28.49 | -36.74 | -76.32 |
| δ2(10-14mm) | 14.591 | 84.482 | 354.21 | 332.87 | 535.47 | 811.52 | 1350 | 5825.4 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 合計 | 平均 | 理論値 |
| ｄ(10-3mm） | 53.291 | 1.6654 | 1.6667 |
| δ(10-7mm) | -1E-09 |  |  |
| δ2(10-14mm) | 16983 |  |  |

平均値の平均二乗誤差σをσ={Σδ2/n(n-1)}1/2より求める。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| σ= | 4.138 | ×10-7(mm) |

結果としてｄは

|  |  |
| --- | --- |
| ｄ= | (16659±4.1)×10-7(mm) |

となる。

真値は、1/600mm、1.6667mmである。**多くのスペクトルの測定は結果として精度を高めてくれる。それは、測定回数が増えていくと、平均値の広がりが徐々に小さくなっていくからだ。つまり、誤差が小さくなっていくことを意味する。それは平均値の平均二乗誤差の式を見てもあきらかである。**誤差範囲を超えて誤差が生じているものの、理論値を真値におくと実験値の平均値との相対誤差は[相対誤差(％)＝|(実験値－真値)/真値×100|]より

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 相対誤差＝ | （0.0016659－1/600）×600×100 | | | |
| ≒ | 0.05 | （％） |  |  |

と、真値と十分に近い満足の行く値となっている。

３．分光計による水素ランプのスペクトルと、求めるリドベリ定数R∞、水素のリドベリ定数RH

（１）水素ランプのスペクトルと角度θ

分光計によって得られた水素ランプのスペクトルとθの値は以下のようになった。また、水銀ランプのときと同様0点補正も行う。

表：5　水素ランプのスペクトルと角度θ(°)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 色 | 回析の次数 | 紫(強） | 紫(弱） | 緑(強） | 緑(弱） | 緑(弱） | 緑 | 緑 | 赤 | 赤(強） |
| 角度(°） | ｍ=1 | 15.07 | 15.67 | 16.92 | 18.07 | 18.61 | 19 | 19.67 | 22.67 | 23.15 |
|  | ｍ=2 | 31.33 |  | 35.67 |  |  |  |  |  | 52.07 |
|  | ｍ=3 |  |  | 60.58 |  |  |  |  |  |  |
| （逆側） | ｍ=-1 | -15.12 | -15.72 | -17 | -18.17 | -18.68 | -19.08 | -19.7 | -22.72 | -23.22 |
|  | ｍ=-2 | -31.5 | -35.83 | -52.35 |  |  |  |  |  |  |
|  | ｍ=-3 |  |  | -61.68 |  |  |  |  |  |  |
| 0点補正後 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 角度(°） | ｍ=1 | 15.1 | 15.7 | 16.95 | 18.1 | 18.64 | 19.03 | 19.7 | 22.7 | 23.18 |
|  | ｍ=2 | 31.36 |  | 35.7 |  |  |  |  |  | 52.1 |
|  | ｍ=3 |  |  | 60.61 |  |  |  |  |  |  |
| （逆側） | ｍ=-1 | -15.09 | -15.69 | -16.97 | -18.14 | -18.65 | -19.05 | -19.67 | -22.69 | -23.19 |
|  | ｍ=-2 | -31.47 |  | -35.8 |  |  |  |  |  | -52.32 |
|  | ｍ=-3 |  |  | -61.65 |  |  |  |  |  |  |

（２）水素ランプのスペクトルの波長λと波数ν~

先に求めたｄより、式（９）と式ν~=λ-1を用いて水素のスペクトルの波長λと波数ν~を求める。また、水銀ランプのときと同様、空気の屈折率1.0003よりλは1/1.0003倍とする。**また、水素原子のエネルギー準位のｉ≧3以上からｊ＝2の準位への遷移に基づく一連のスペクトル線をバルマー系列と呼び、可視領域の波長である。よって以下の表に、バルマー系列の波長のものがわかるよう、エネルギー準位ｉの値も記す。**

表：６　水素ランプのスペクトルのは長λ(nm)と波数ν~(106m-1)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 色 | 回析の次数 | 紫(強） | 紫(弱） | 緑(強） | 緑(弱） | 緑(弱） | 緑 | 緑 | 赤 | 赤(強） |
| λ(nm) | ｍ=1 | 433.84 | 450.66 | 485.53 | 517.40 | 532.30 | 543.03 | 561.40 | 642.69 | 655.54 |
|  | ｍ=2 | 433.35 |  | 485.91 |  |  |  |  |  | 657.07 |
|  | ｍ=3 |  |  | 483.69 |  |  |  |  |  |  |
| （逆側） | ｍ=-1 | 433.56 | 450.38 | 486.08 | 518.51 | 532.57 | 543.58 | 560.58 | 642.42 | 655.80 |
|  | ｍ=-2 | 434.71 |  | 487.09 |  |  |  |  |  | 659.03 |
|  | ｍ=-3 |  |  | 488.55 |  |  |  |  |  |  |
| 理論値λ |  | 433.87 |  | 485.95 |  |  |  |  |  | 656.1 |
| ｉ(エネルギー順位) | | 5 |  | 4 |  |  |  |  |  | 3 |
| ν~(106m-1) | ｍ=1 | 2.3050 | 2.2190 | 2.0596 | 1.9327 | 1.8787 | 1.8415 | 1.7813 | 1.5560 | 1.5255 |
|  | ｍ=2 | 2.3076 |  | 2.0580 |  |  |  |  |  | 1.5219 |
|  | ｍ=3 |  |  | 2.0675 |  |  |  |  |  |  |
| （逆側） | ｍ=-1 | 2.3065 | 2.2204 | 2.0573 | 1.9286 | 1.8777 | 1.8397 | 1.7839 | 1.5566 | 1.5248 |
|  | ｍ=-2 | 2.3004 |  | 2.0530 |  |  |  |  |  | 1.5174 |
|  | ｍ=-3 |  |  | 2.0469 |  |  |  |  |  |  |

（３）水素原子のリドベリ定数RH

求めた波数ν~より、式ν~=ＲＨ×（1/4－1/ｉ2）を用いて水素原子のリドベリ定数RHをもとめる。水素は電子を1つしか持たないためそのエネルギー順位の遷移に基づく一連のスペクトル線は単純である。**可視領域のスペクトル線は特にバルマー系列と呼ばれ、エネルギー順位の遷移による光の波数の式（６）　ν~＝ＲＨ×（1/ｊ2－1/ｉ2）において、ｊ=2、つまりエネルギー順位がｉ≧3から、ｊ=2へ遷移する際に見える波長である。**上の表の理論値λの下の行にエネルギー順位の遷移によるスペクトルがどれかを示す。その三種類の波数それぞれについてＲＨを求める。

表：７　水素原子のリドベリ定数RH(107m-1)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ｉ(エネルギー順位) | 回析の次数 | 5 | 4 | 3 |
| RH（107m-1） | ｍ=1 | 1.0976 | 1.0985 | 1.0983 |
|  | ｍ=2 | 1.0989 | 1.0976 | 1.4817 |
|  | ｍ=3 |  | 1.1026 |  |
| （逆側） | ｍ=-1 | 1.0983 | 1.0972 | 1.0979 |
|  | ｍ=-2 | 1.0954 | 1.0949 | 1.0925 |
|  | ｍ=-3 |  | 1.0917 |  |

（４）リドベリ定数RHの平均値と誤差

この値について、平均値と誤差を考える。

①平均値と平均値の平均二乗誤差。

表：８　RHの平均値と平均値の平均二乗誤差

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| RH（107m-1） | 1.0976 | 1.0985 | 1.0983 | 1.0989 | 1.0976 | 1.0958 | 1.1026 |
| δ（103m-1） | 6.6376 | 15.221 | 13.937 | 19.195 | 6.4286 | -11.7 | 56.972 |
| δ2(106m-1) | 44.058 | 231.68 | 194.24 | 368.46 | 41.327 | 136.94 | 3245.9 |
| RH（107m-1） | 1.0983 | 1.0972 | 1.0979 | 1.0954 | 1.0949 | 1.0925 | 1.0917 |
| δ（103m-1） | 13.742 | 2.6553 | 9.4621 | -15.29 | -20.15 | -44.28 | -52.83 |
| δ2(106m-1) | 188.85 | 7.0508 | 89.531 | 233.85 | 405.99 | 1960.6 | 2791 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 合計 | 平均 | 理論値 |
| RH（107m-1） | 15.357 | 1.0969 | 1.097 |
| δ（10-8m-1） | 8.1253 |  |  |
| δ2(106m-1) | 9939.4 |  |  |

平均値の平均二乗誤差σをσ={Σδ2/n(n-1)}1/2より求める。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| σ= | 7.390 | ×103(m-1) |

結果としてRHは

|  |  |
| --- | --- |
| RH= | (10969±7.4)×103(m-1) |

となる。

②誤差の伝播

ここで、この値にはｄの誤差が含まれていないので、それをかんがえる。間接測定における誤差の伝播を考えたい。

　　　ν~=ＲＨ×（1/4‐1/ｉ2）、ｄsinθ=mλ、ν~=λ-1

の三つの式より

**RH=1/d･(m/sinθ)/(1/4‐1/ｉ2)　　　　　　…（10）**

をえる。**この式には、dの値のほかにθも測定値であるため誤差を持つ。θの値はスペクトルによって一定でない。よって、その値が一定の真値を持つと思われる値(m／sinθ)／(1/4‐1/ｉ2)の値から平均値の平均二乗誤差を求める。この式のほかの要素には誤差が含まれていないので、問題ないように見えるが、実際は分光計の誤差が一定の値の絶対誤差であると予想される以上、θの値の大きいスペクトルの方が本来誤差が少なくなり、値が小さいと誤差が大きくなると予想されるのであまり適切ではない。**

(m／sinθ)／(1/4‐1/ｉ2)をAとおく

表：９　θによる誤差を持つＡ＝(m／sinθ)／(1/4‐1/ｉ2)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ｉ(エネルギー順位) | | 5 | 4 | 3 |
| A | ｍ=1 | 18.28 | 18.294 | 18.292 |
|  | ｍ=2 | 18.3 | 18.279 | 18.249 |
|  | ｍ=3 |  | 18.363 |  |
| （逆側） | ｍ=-1 | 18.291 | 18.273 | 18.284 |
|  | ｍ=-2 | 18.243 | 18.235 | 18.195 |
|  | ｍ=-3 |  | 18.181 |  |

次にこのAの平均値の平均二乗誤差を求める。

表：１０　Aの平均値の平均二乗誤差

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| A | 18.28 | 18.294 | 18.292 | 18.3 | 18.279 | 18.249 | 18.363 |
| δ(10-2） | 1.1054 | 2.5349 | 2.3211 | 3.1968 | 1.0706 | -1.949 | 9.4882 |
| δ2(10-4） | 1.222 | 6.4259 | 5.3874 | 10.219 | 1.1462 | 3.798 | 90.026 |
| RH | 18.291 | 18.273 | 18.284 | 18.243 | 18.235 | 18.195 | 18.181 |
| δ(10-2） | 2.2886 | 0.4422 | 1.5758 | -2.547 | -3.356 | -7.374 | -8.798 |
| δ2(10-4） | 5.2378 | 0.1956 | 2.4832 | 6.4859 | 11.26 | 54.377 | 77.411 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 合計 | 平均 | 理論値 |
| A | 255.76 | 18.268 | 1.097 |
| δ(10-12） | -2.5 |  |  |
| δ2(10-4） | 275.68 |  |  |

平均値の平均二乗誤差σをσ={Σδ2/n(n-1)}1/2より求める。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| σ= | 1.231 | ×10-2 |

結果としてAは

|  |  |
| --- | --- |
| A= | (1826.8±1.2)×10-2 |

となる。

Aの定義より、RH=1/d･A である。ここで、dもAも次数が1なので、RH、ｄ、Aそれぞれの誤差をRH’、d’、A’とすると、誤差の伝播の法則より、

　　|RH’/RH|=|d’/d|+|A’/A|

となる。よって

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| |RH’/RH|＝ | 9.0 | ×10-4(m-1) |
| RH’＝ | 9.9 | ×103(m-1) |

ここで、誤差の範囲を考えれば先に求めた平均値の平均二乗誤差とこの誤差を足し合わせたものがRHの誤差である。よって

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| RH’＝ | （9.9+7.4)×103(m-1) | |
| ＝ | 1.73×104(m-1) |  |

結果、ｄ及びθによる誤差の伝播と平均値の平均事情誤差を考慮した全体の誤差の値は、

|  |  |
| --- | --- |
| RH= | (1096.9±1.73)×104(m-1) |

となる。

真値は文献よりＲH＝1.097×107(m－1)である。この値は真値と有効数字を合わせると、真値と一致する。また誤差も小さいと言って良いだろう。かなりすばらしい計測が行えていたことが解りうれしい。

（５）単なるリドベリ定数Ｒ∞

　　　　　 R∞=1.0005×RH

であるから、

|  |  |
| --- | --- |
| R∞= | (1097.4±1.73)×104(m-1) |

となる。誤差のほうもRHの誤差の1.0005倍されているが、四捨五入しているので一見変化していないように見える。真値はＲ∞＝1.098×107(m－1)である。もちろんRHの時と同様、非常に満足の行く値である。

　結果として今回の実験は大成功であったと言えるだろう。

「誤差の減少のさせ方について」

○　まず、先にも述べたが、平均値の平均二乗誤差の考えから言って、多くのデータをえることが言える。測定回数が増えていくと、平均値の広がりが徐々に小さくなっていくからだ。つまり、誤差が小さくなっていくことを意味するのだ。平均値の平均二乗誤差の求める式からも言えることである。

* この前に言った事に関連するが、平均値の平均二乗誤差を求めるにあたって、残差を二乗しなければならないことを考えると、平均値を大きく外れると予測される値は測定しないべきである。つまり、光が弱く見にくいm＝3などの次数の高い波長である。それ以上高い次数は見えたとしても入れないべきである。
* また、目盛り盤を基準θ＝0°に完全にあわせることはまず不可能であるから0点補正をすべきである。
* ここからは、実験手順についてであるが、部屋はスペクトルが見やすいように出来るだけ暗くした方が良いだろう。さらに、目が疲れるので何か望遠鏡の映像をスクリーン、ディスプレイなどに投影できる装置があればなお良いと感じた。
* 角度の微調節のねじを使うときに、いちいち目盛り盤と望遠鏡の連動のねじを閉めたり緩めたりしなければならないのは実験の失敗を誘いかねないものであるから、装置として改良してほしい。

感想：　量子論についてはごくごく簡単に原理に書かせていただきました。そのため方法はかなり省略してしまっています。

今回の実験においては、見事成功と言って良いような結果を得ることが出来ましたが、これはやはり即レポと勘違いして予習したことと、どんな弱いスペクトルでも見逃さず、かつなるべく正確に十字線の中心にスペクトルがくるように観測したことがこうをそうしたのだと思っています。

種々の表を作っていて、dの値や、RHの値などにいきついたとき、まったく別のスペクトルから得たまったく異なる数値の群れが一定の同じ数値に見事に集約したときは壮快でした。それとともに、光が波動性を持つことと、原子（その電子）がある決まったエネルギー状態と言うものをとって安定していることを理解することが出来ました。

誤差について、平均値の平均二乗誤差は数値のばらつきが少なければ少ないほど、測定値の総数が多ければ多いほど減少するものと理解できました。今回は平均値と真値が近く、かつ平均値の平均二乗誤差も小さかったことから、確実にスペクトルを捉えていたと確信できます。次回の実験も、この調子で実験を成功させたいです。

参考文献：物理化学演習　伊藤 正時 他共著　1999年1月25日　昇華房