1. **目的**

　「量子」　という概念を実感する。

1. **原理**

　原子が放出、または吸収する光の波長は不連続な値をとる。そのため、静止している原子がもつエネルギー（原子内の構成粒子の運動エネルギーと電磁エネルギーとの和）は任意の値をとるのではなく、各状態に応じたとびとびの値をとることになる。このときにとる値を*エネルギー準位*という。

光を放出したり、吸収したりする原子のエネルギーEが、プランク定数h、周波数（光の振動数）νを用いて、

E＝hν

で表されたことを用いれば、仮に、原子のエネルギーEが状態iから状態j（但し、i＞j）へ遷移して光を放出するとき、その光の周波数νは、

**hν＝Ei－Ej**(1)

で与えられる。

水素原子に量子論を適用して、電離状態（陽子と電子が完全に分離した状態）を基準としてエネルギー準位を計算してみる。

水素原子の原子核の電荷を＋e、電子の電荷を－eとし、陽子と電子の間の距離をrとすれば、クーロンの法則から

****

で表せる。ここで、eは電子の電荷、ε0は真空の誘電率である。

ここで、水素原子のボーア軌道について考える。ボーア軌道は、原子核に近い順に量子数によって番号ずけられる。これより、ボーア軌道の量子数をnとすると、軌道半径rは定数kを用いて、

**r＝k×n2**

また、この定数kは

****

で与えられる。この3式から

**** (2)

となる。ここで、ｍは陽子（質量ｍＰ）と電子（質量ｍｅ）各１個からなる系の換算質量であることを考えれば、





で与えられる。また、放出または吸収される光の周波数νは(1)式と(2)式から、

**** (3)

光の周波数νは真空中の光速度ｃ、真空中の波長λを用いれば、ν＝ｃ/λであるから、波長λを測定することにより、νを求めることができる。

**** (4)

このとき、

**** (5)

によって定められる水素の*リドベリ定数*RHを求めることができる。また、RHのmをmeで置換することにより、リドベリ定数R∞を求めることができる。すなわち、

**** (6)

　今回の実験では水銀原子のスペクトルを基準として水素原子のスペクトルの波長を測定し、これからとを求めることを課題とする。

1. **実験方法**

**（１）　直視分光器**

直視分光器を使って、電灯、水素ランプ、水銀ランプ、蛍光灯の光を観察した。

1. **分光計**
2. 水銀ランプのスペクトル観察と測定

〈準備〉

　水銀ランプをコリメーターのスリットの近くにおいた。望遠鏡を覗き、スリットの像の上下位置を視野の中央、プリズムの表裏像をX線の左右にバランス良く来るようにねじを調整することによってコリメーターと望遠鏡の光軸を一致させ、回折格子の面と光軸を垂直にした。

〈観察と測定〉

　この時の望遠鏡の角度を回折角の基準°とし、°～°の範囲でスペクトル線を探し、各線について回折角と色を記録した。

1. 水素ランプのスペクトル観察と測定

①で水銀ランプを水素ランプと置き換え、同様に観察、測定した。

1. **実験結果**

**（１）直視分光器によるスペクトル観察**

* 電灯

紫

青

緑

黄緑

黄

橙色

赤

図１　電灯の光

色はわかるものの、境界線は不鮮明だった。

* 水素ランプ

図２　水素ランプの光

赤

青

紫

紫→青

青緑→橙色

紫、青、赤は一筋の明るい線だったのに対し、そのあいだの色は境界もはっきりせず、ぼんやりしていた。

* 水銀ランプ

青

青緑

紫

緑

黄

図３　水銀の光

紫、青、青緑、緑、黄はそれぞれ一筋の明るい線だった。それぞれの間は境界の不鮮明な色の変化をしていた。

* 蛍光灯

黄緑

青

黄

赤

青～緑

図４　蛍光灯の光

青、黄緑は強い明るさの線だったが、線の間の色は境界線が不鮮明であった。

**（２）分光計によるスペクトル観察**

①水銀ランプの次数決定

表１　分光器を用いた水銀ランプのスペクトル観測結果

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 色 | 特徴 | ｍ（次数） | 回折角θ［rad］ | sinθ | λ［nm］ |
| 紫 | 細長い | -2 | -0.90 | -0.78 | 653.68 |
| 水色 | 幅が広い | -0.89 | -0.77 | 645.33 |
| 黄色 | はっきりした２本の線 | -0.77 | -0.69 | 577.14 |
| 黄緑 | 強く、はっきりした線 | -0.71 | -0.65 | 541.76 |
| 紫 | 強く、はっきりした線 | -0.54 | -0.52 | 429.20 |
| 紫 | 薄く、弱い線 | -0.51 | -0.48 | 404.01 |
| 緑 | 短く太い | -0.45 | -0.44 | 365.31 |
| 紫 | ぼやけている | -0.41 | -0.40 | 329.84 |
| 黄 | はっきりした２本の線 | -1 | -0.35 | -0.35 | 579.14 |
| 緑 | 強く、はっきりした線 | -0.33 | -0.33 | 547.20 |
| 青緑 | 薄く、弱い線 | -0.30 | -0.29 | 490.53 |
| 赤 | 丸が２個 | -0.27 | -0.27 | 445.40 |
| 青 | 強く、はっきりした線 | -0.26 | -0.26 | 435.58 |
| 緑 | 明るい線 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 紫 | 薄く、弱い線が２本 | 1  1  1 | 0.25 | 0.25 | 412.60 |
| 青 | 強く、はっきりした線 | 0.26 | 0.26 | 436.05 |
| 緑 | １本は強く、１本は弱い | 0.31 | 0.30 | 508.11 |
| 黄緑 | 強く、はっきりした線 | 0.33 | 0.33 | 543.99 |
| 黄 | はっきりした２本の線 | 0.35 | 0.35 | 579.14 |
| 紫 | 薄く、弱い線 | 2 | 0.51 | 0.49 | 406.13 |
| 紫 | 強く、はっきりした線 | 0.54 | 0.52 | 430.86 |
| 緑 | 強く、はっきりした線 | 0.72 | 0.66 | 550.73 |
| 黄 | 弱い２本の線 | 0.76 | 0.69 | 573.28 |
| 紫 | 薄く、弱い線 | 0.90 | 0.78 | 653.68 |
| 緑 | 弱く、幅が広い線 | 1.39 | 0.98 | 819.86 |

表１におけるsin.θと波長λの関係をグラフ１に示した

ここで、波長λは、

****

より求めた。但し、d＝１/600(mm)とした。

②水銀ランプの格子定数決定

表２　格子定数の決定

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 色 | ｍ | sinθ | λ［nm］  （測定値） | λ［nm］  （理論値） | ｄ | 平均値 | δ | δ２ |
| 黄色 | -2 | -0.69 | 577.14 | 576.96 | 1672.35 | 1670.53 | 1.813 | 3.287 |
| 黄 | -1 | -0.35 | 579.14 | 579.07 | 1654.49 | -16.049 | 257.578 |
| 緑 | -0.33 | 547.2 | 546.07 | 1654.76 | -15.777 | 248.925 |
| 青緑 | -0.29 | 490.53 | 491.61 | 1695.21 | 24.672 | 608.705 |
| 青 | -0.26 | 435.58 | 435.83 | 1676.27 | 5.734 | 32.882 |
| 青 | 1 | 0.26 | 436.05 | 435.83 | 1676.27 | 5.734 | 32.882 |
| 紫 | 2 | 0.49 | 406.13 | 407.78 | 1664.41 | -6.127 | 37.537 |

計算の結果、求めるｄは

［nm］

となった。

③水素ランプのリドベリ定数算出

　得られた格子定数dの平均値と実験によって得られたsinθの値から水素スペクトルの波長λをdsinθ＝ｍλから求めた。また、波数は、波長λの逆数に等しいことを利用して、



により求めた。　波数がわかれば、実験原理の（4）式から

****

を用いる。このとき、，については、赤のとき，青緑のとき，そして紫のときにとしてリドベリ定数を算出した。

表３　水素のリドベリ定数の算出

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 色 | m | sinθ | λ［nm］ | ［nｍ-1］ | ［ｍ-1］ | 平均値［ｍ-1］ | δ | δ２乗 |
| 赤 | -2 | -0.789 | 659.13 | 1.517E-03 | 1.092E+07 | 1.075E+07 | 1.750E+05 | 3.064E+10 |
| 赤 | -0.769 | 642.37 | 1.556E-03 | 1.121E+07 | 4.568E+05 | 2.087E+11 |
| 青緑 | -0.583 | 487.35 | 2.051E-03 | 1.094E+07 | 1.918E+05 | 3.680E+10 |
| 紫 | -0.521 | 435.10 | 2.298E-03 | 1.094E+07 | 1.928E+05 | 3.718E+10 |
| 赤 | -1 | -0.393 | 657.38 | 1.521E-03 | 1.095E+07 | 2.008E+05 | 4.034E+10 |
| 赤 | -0.373 | 623.26 | 1.604E-03 | 1.155E+07 | 8.003E+05 | 6.404E+11 |
| 青緑 | -0.290 | 484.83 | 2.062E-03 | 1.100E+07 | 2.487E+05 | 6.184E+10 |
| 紫 | -0.259 | 433.43 | 2.307E-03 | 1.098E+07 | 2.350E+05 | 5.522E+10 |
| 紫 | 1 | 0.262 | 438.59 | 2.279E-03 | 1.085E+07 | 1.057E+05 | 1.118E+10 |
| 青緑 | 0.293 | 489.02 | 2.044E-03 | 1.090E+07 | 1.546E+05 | 2.389E+10 |
| 赤 | 0.396 | 660.96 | 1.513E-03 | 1.089E+07 | 1.417E+05 | 2.007E+10 |
| 紫 | 2 | 0.522 | 436.34 | 2.291E-03 | 1.091E+07 | 1.616E+05 | 2.612E+10 |
| 青緑 | 0.585 | 489.13 | 2.044E-03 | 1.090E+07 | 1.521E+05 | 2.315E+10 |
| 赤 | 0.787 | 657.33 | 1.521E-03 | 1.095E+07 | 2.017E+05 | 4.067E+10 |
| 青緑 | 0.876 | 731.92 | 1.366E-03 | 7.285E+06 | -3.464E+06 | 1.200E+13 |

計算した結果、の平均値の平均自乗誤差は

＝［ｍ-1］

となった。

④を求める

　リドベリ定数と水素のリドベリ定数の関係は、



のmをmeに置き換えたものであるから、



ここで、 me /mについても原理のところで述べたように、



という関係式があるので、それを用いて

［m-1］

と求めた。

1. **考察**

＊リドベリ定数について

　　水素ランプの分光器を用いた実験によって水素原子のリドベリ定数RHとリドベリ定数R∞を求めた。これらを数値を用いた計算によって、理論値を算出し、それと実験結果によって得られた値とを比較してみる。



であった。ここで、

ε0≒8.85×10-12

me≒9.11×10-31

c≒3.0×108

h≒6.63×10-34

e≒1.60×10-14

≒9.105×10-31

を用いた。

　格子定数dを求めるときに、dsin.θ＝mλという回折角の式を用いた。

　これを変形してみると、



　という式が得られる。ここで、m＝1のときについて考えると、

　上式は、



　となる。次数が１のとき、０≦sin.θ≦１であることを考えれば、絶対に(波長)≦(格子定数)でなければならないことがわかる。つまり、格子定数の大きさは波長よりも大きくなくてはならない。

仮に、格子定数が波長よりも小さければ、光同士の光路差が波長の整数倍にならなくなってしまう。そのため、互いに強め合うことができずはっきりとしたスペクトルは得られないと思われる。





ここで、実験より求めたRHとR∞は、

［m-1］

［m-1］

　この値と理論値との誤差を求めた。



　これから理解できるように誤差は比較的小さかった。但し、より多くのデータがあれば、より精度の高いものになっていたかもしれない。

* 実験内で気付いた量子の存在

　水銀ランプ・水素ランプの方では、線スペクトルが観測されたのに対し、蛍光灯の方は線スペクトルではなく、虹のような境界のはっきりとしない連続スペクトルが観測された。これについては、以下の理由が挙げられる。

　水銀ランプ・水素ランプは、各々Hg，Hがいくつかに分離した単色光であるのに対して、蛍光灯から発せられた光には様々な原子が混ざっているからだと考えられる。（量子）

　また、水銀ランプと水素ランプでは線スペクトルが観測されたが、観測された色には違いが見られた。この色の違いは、Hg原子とH原子の持っているエネルギー準位の違いからくると考えられる（量子化条件）。