# 実験目的

水銀ランプと水素ランプのスペクトルを観察し、その結果から波長や格子定数およびリドベリ定数を算出する。

また、実験を通して原子のエネルギー準位を理解する。

# 実験原理

原子が放出または吸収する光の波長は通常、とびとびの値をもつ。この現象を説明するために量子論が誕生した。

量子論によると、原子がとりうる状態として量子化条件といわれる条件を満たすものだけが許される。それによって、静止している原子がもつエネルギーも各状態に対応したとびとびの値…をとる。この値がエネルギー準位である。

ここで、ｉ番目の状態からそれよりエネルギーの低いｊ番目の状態に遷移するとき、周波数の光が放出されその周波数は　　－（１）で与えられる。

次に、水素原子に量子論を適用してエネルギー準位を計算すると、

　（ｎ=1,2,3,･･･）　－（２）となる。

ここで ｍ は　－（３）で与えられる。

放出または吸収される光の周波数は（１）（２）式より、

　－（５）となる。

また、真空中の光速度をｃとすると、真空中の波長λはｃ／νで与えられ、波長の逆数を波数といい、で表す。（５）式より



ここでを水素原子のリドベリ定数といい、

である。

これに対して（３）式で∞　としたときのをリドベリ定数といい

で定義される。

# 実験方法

## 直視分光器による各光源のスペクトルの観察

直視分光器の採光窓を光源に向け、ピント、スリット間隔を調節してからスペクトルの様子をスケッチした。この実験では光源として白熱電灯、水銀ランプ、水素ランプ、蛍光灯を用いた。

## 分光計による各光源のスペクトルの観察

【準備】

分光計のそれぞれのネジを実験書の通りに調整して、コリメーターと望遠鏡の光軸を一致させ、回折格子の面を光軸に垂直になるように調整した。次に、望遠鏡の角度を読み取りそれを基準として回折角θとした。

【測定】

望遠鏡と目盛板を連動させて、望遠鏡をのぞきながら回転させ、スペクトルを探し、その色と回折角θを観測した。光源には水銀ランプ・水素ランプを用いた。

【格子定数の決定】

ｄ=1／600mmとして、各θに対してλを計算した。求めたλと対応する正確な波長と各θから再びｄを計算した。

【リドベリ定数の算出】

上で求めた格子定数ｄを用いて水素スペクトルの波長を計算し、リドベリ定数を算出した。まず、水素スペクトルの波長を波数を計算した。波数から水素原子のリドベリ定数を算出し、次にリドベリ定数を算出した。

# 結果

## 直視分光器による各光源のスペクトルの観察

各光源についての結果は以下の通り。

紫

黄緑

オレンジ

赤　燈　黄　緑　青　藍　紫

　　　　　白熱電灯　　　　　　　　　　　　　　水銀ランプ

赤　燈　黄　緑　青　藍　紫

青

赤

紫

水素ランプ　　　　　　　　　　　　　　　蛍光灯

蛍光燈のスペクトルは白熱灯のようにすべての色を網羅していたがオレンジ､黄緑､紫が際立っていた。

## 分光計による各光源のスペクトルの観察

　であり、これと

を用いてλを計算できる。

水銀ランプ、水素ランプのスペクトルの測定値とλの値をそれぞれ表１、表２に示す。また　＋:正方向　－:時計回り　でありθの平均は＋と－の相加平均である｡

　　表１　水銀ランプのスペクトルの色と回折角

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ｍ（次数） | 色 | θ（－）(°) | θ（＋）(°) | θ（平均）(°) | *sinθ* | λ（*nm*） |
| 1 | 濃紫 | 測定不能 | 14.12 | 14.12 | 0.2439 | 406.05 |
|  | 紫 | 測定不能 | 測定不能 | 測定不能 | 測定不能 | 測定不能 |
|  | 青紫 | 15.02 | 15.25 | 15.14 | 0.2612 | 435.33 |
|  | 若竹色 | 測定不能 | 17.17 | 17.17 | 0.2952 | 492 |
|  | 緑 | 19 | 19.12 | 19.06 | 0.3266 | 544.33 |
|  | 黄色 | 20.17 | 20.33 | 20.25 | 0.3461 | 576.83 |
|  | 黄色 | 20.25 | 20.42 | 20.34 | 0.3476 | 579.33 |
| 2 | 濃紫 | 測定不能 | 29.08 | 29.08 | 0.486 | 405 |
|  | 紫 | 測定不能 | 29.33 | 29.33 | 0.4898 | 408.17 |
|  | 青紫 | 31.6 | 31.58 | 31.59 | 0.5238 | 436.5 |
|  | 若竹色 | 測定不能 | 36.2 | 36.2 | 0.5906 | 492.17 |
|  | 緑 | 40.92 | 41 | 40.96 | 0.6555 | 546.25 |
|  | 黄色 | 43.92 | 43.92 | 43.92 | 0.6937 | 578.08 |
| 2 | 黄色 | 44 | 44 | 44 | 0.6947 | 578.92 |
| 3 | 濃紫 | 測定不能 | 46.75 | 46.75 | 0.7284 | 404.67 |
|  | 紫 | 51.6 | 51.75 | 51.68 | 0.7846 | 435.89 |

　　表２　水素ランプとスペクトルの色と回折角

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ｍ（次数） | 色 | θ（－）(°) | θ（＋）(°) | θ（平均）(°) | *sinθ* | λ（*nm*） |
| 1 | 紫 | 15.08 | 14.47 | 14.78 | 0.2551 | 425.18 |
|  | 水色 | 17.02 | 16.92 | 16.97 | 0.2919 | 486.45 |
|  | 真紅 | 23.25 | 23.17 | 23.21 | 0.3941 | 656.84 |
| 2 | 紫 | 31.5 | 31.25 | 31.38 | 0.5207 | 433.93 |
|  | 水色 | 35.75 | 36.17 | 35.96 | 0.5872 | 489.35 |
|  | 真紅 | 52.28 | 52.7 | 52.49 | 0.7932 | 661.04 |

これらの表に対応するグラフを添付する。

次に、波長に対応する正値、その正値と回折角θから求めた格子定数を表３に示す。

　　　　　　　　表３　水銀ランプのスペクトル測定結果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 色（次数） | θ(°) | λ（*nm*） | 正値（*nm*） | 格子定数（*μm*） |
| 濃紫 (1) | 14.12 | 406.05 | 404.66 | 1.659 |
| (2) | 29.08 | 405 |  | 1.665 |
| (3) | 46.75 | 404.67 |  | 1.667 |
| 紫 (2) | 29.33 | 408.17 | 407.78 | 1.665 |
| (3) | 51.68 | 435.89 |  | 1.556 |
| 青紫 (1) | 15.14 | 435.33 | 435.83 | 1.669 |
| (2) | 31.59 | 436.5 |  | 1.664 |
| 若竹色(1) | 17.17 | 492 | 491.61 | 1.665 |
| (2) | 36.2 | 492.17 |  | 1.665 |
| 緑 (1) | 19.06 | 544.33 | 546.07 | 1.672 |
| (2) | 40.96 | 546.25 |  | 1.666 |
| 黄色 (1) | 20.25 | 576.83 | 576.96 | 1.667 |
| (2) | 43.92 | 578.08 |  | 1.664 |
| 黄色 (1) | 20.34 | 579.33 | 579.07 | 1.666 |
| (2) | 44 | 578.92 |  | 1.667 |

格子定数 で求められる｡

次に、格子定数ｄの平均値と平均値の平均自乗誤差を求める。

ｄの平均値を、それぞれの格子定数の値をとして、とを求めたものを表４に示す。

表４　格子定数の測定値

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 色（次数） |  |  |  |
| 濃紫 (1) | 1.659 | 0.00053 | 0.02809 |
| (2) | 1.665 | 0.00653 | 4.26409 |
| (3) | 1.667 | 0.00853 | 7.27609 |
| 紫 (2) | 1.665 | 0.00653 | 4.26409 |
| (3) | 1.556 | -0.10247 | 1050.01 |
| 青紫 (1) | 1.669 | 0.01053 | 11.0881 |
| (2) | 1.664 | 0.00553 | 3.05809 |
| 若竹色(1) | 1.665 | 0.00653 | 4.26409 |
| (2) | 1.665 | 0.00653 | 4.26409 |
| 緑 (1) | 1.672 | 0.01353 | 18.3061 |
| (2) | 1.666 | 0.00753 | 5.67009 |
| 黄色 (1) | 1.667 | 0.00853 | 7.27609 |
| (2) | 1.664 | 0.00553 | 3.05809 |
| 黄色 (1) | 1.666 | 0.00753 | 5.67009 |
| (2) | 1.667 | 0.00853 | 7.27609 |

これより格子定数ｄの平均は　＝1.6584666

平均値の平均自乗誤差は



よって格子定数の測定結果は

　となる。

次に格子定数の平均値＝1.6585を用いて水素スペクトルの波長と波数を求め、それより水素原子のリドベリ定数を算出する。

より　である。

ただし、i、 jはエネルギー準位でこの実験ではｎ≧３からｎ＝２への遷移にもとづくバルマー系列を観測しているのでj＝２、ｉは紫のとき５、水色のとき４、真紅のとき３を代入すればよい。

表5に水素ランプのスペクトルの色、回折角、波長、波数、リドベリ定数、をまとめて示す。

表5　　　水素ランプのスペクトルの測定結果

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 色(次数) | θ(°) | λ（*nm*） | 波数 |  |  |  |
| 紫 (1) | 14.78 | 425.18 | 2.3519 | 11.2 | 0.218 | 0.0475 |
| -2 | 31.38 | 433.93 | 2.3045 | 10.974 | -0.008 | 0.0001 |
| 水色(1) | 16.97 | 486.45 | 2.0557 | 10.964 | -0.018 | 0.0003 |
| -2 | 35.96 | 489.35 | 2.0435 | 10.899 | -0.083 | 0.0007 |
| 真紅(1) | 23.21 | 656.84 | 1.5224 | 10.961 | -0.021 | 0.0004 |
| -2 | 52.49 | 661.04 | 1.5128 | 10.892 | -0.09 | 0.0081 |

水素ランプの波長とｓｉｎθの関係を添付する。

リドベリ定数を、リドベリ定数の平均値をとして、

、を求めてそれにより誤差を導く｡

まず、＝

　となる。

よって水素原子のリドベリ定数の測定結果は



となる。

次に、リドベリ定数を求める。

　、　　、　　より

となる。

よって



# 考察

## 直視分光計による各光源のスペクトルの観察

今回実験で光源として白熱電球と蛍光灯を用いたが、この二つの違いについて少々考察してみる。

　　　　白熱電球はエジソンが京都の竹を原料に作った話が有名だが、原理としては、ガラス球の中のフィラメントに電流を流し、２０００℃以上に加熱し熱放射による発光を利用したランプである。

　　　　白熱電球の発光は、高温のフィラメントからの熱放射であって、高温になると物質内部での原子分子イオンなどの熱振動が活発になることによって、エネルギーが放射される現象で、連続スペクトルの白熱発光である。このようなことから、白熱電球のスペクトルは自然光（つまり太陽からの熱放射による光）のスペクトルと同じだということが分かる。

　これに対し、蛍光灯では低圧の水銀蒸気を管内に密封し、この蒸気中の放電によって放射される紫外線が管内の表面に塗ってある蛍光体を励起して、可視光に変換した光を主として利用するランプである。管内に水銀があるせいか蛍光灯のスペクトルを見ると水銀ランプのスペクトルとほとんど同じようなところに色が少し薄いところがあり、蛍光灯と水銀が何らかの関係があることがこのことからも分かる。

## 測定により求めたとの誤差について

水素原子のリドベリ定数とリドベリ定数の理論値を求める。

　　の式に

電子の電荷　真空の誘電率

プランク定数　光速

電子の質量

を代入することにより





実験によって得られた数値と理論値の誤差は

水素原子のリドベリ定数は0.1185％　リドベリ定数は0.1185％　である。

この誤差の原因として考えられることは、まず実験の準備として回折格子の面と望遠鏡の光軸を垂直になるように調節するが、それが正確ではなかったためだと考えられる。または、望遠鏡を回転させる時に回折格子を乗せている台もいっしょに回転してしまいズレが生じたものと考えられる。また測定を行うにあたってルーペに付いているライトを消さないままでいたために、その光のスペクトルもいっしょに測定したことと、測定せねばならないスペクトルを見落としてしまったのが大きな原因であろう｡結果として観測できたスペクトルの数が少なかったために計算値の精度が低くなってしまった。さらには回折角を測るときに副尺を用いるが、主尺と副尺の目盛りが一致するところを探す必要があり、これを読み取るのは少しあいまいなところがあるので、これによっても誤差が生じたと考えることができる。特に3次の紫は明らかに目盛りの読み間違いであったと考えられる。以上の原因から誤差を少なくするためには、スペクトルが多く観察できる光源、精度の高い実験機器とそれに見合った実力、綿密な計画が必要であったと考えられる。最後になるがあれほどの大きな誤差があったのに最終の誤差が0.1185%というなかなか好ましい結果であったということは、他の部分でさらに誤差を起こしていると考えられるのであまりヌカ喜びはできない結果と考える｡

## スペクトル成分について

光は、回折によるか屈折によるかいずれかの方法で、これをスペクトル成分に分けることができる｡回折現象も屈折現象もともに波長に関係しているが、その関係の仕方は、逆になっている｡すなわち、波長が大きくなるに従って光の回折は大きくなるが、屈折の方は小さくなる｡回折を利用するには回折格子を使い、屈折を利用するにはプリズムを使う。プリズムは光の強さが大きい点で有利であり格子は分解能が大きい点で有利である｡

# 結果

水素ランプや水銀ランプのスペクトルを測定することによって、波長や格子定数、リベドリ定数を求めることができた。

　　また、原子のエネルギー準位がとびとびであるということも改めて確認できた。

# 参考文献

自然化学実験物理学編　慶應義塾大学理工学部　　　学術図書出版

プロジェクト物理５（原子のモデル）渡邊　正雄著　コロナ社