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について理解する。

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。その結果、静止している原子がもつエネルギーは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、

　－（4）となる。

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。（4）式より



ここでを水素原子のリドベリ定数といい、

で表される。

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

（1）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。光源には水銀ランプ、水素ランプ、蛍光灯を用いた。

（2）分光計による各光源のスペクトルの観察

分光計のそれぞれのネジを実験書の通りに調整して、望遠鏡とコリメーターが一直線になるようにし、回折格子の表面をコリメーター側に向けた。次に、光源をコリメーターの近くに置いて望遠鏡を覗き、スリットの像がはっきり見えるようにラックピニオンを調節した。このとき望遠鏡の角度を0゜にあわせて回折角θの基準とした。そして、望遠鏡と目盛板を連動させ、望遠鏡を覗いて－90゜≦θ≦90゜の範囲でゆっくりと回しながら、各スペクトル線についての色・回折角を観察・測定した。光源には水銀ランプ・水素ランプを用いた。

実験結果

4.1直視分光器による各光源のスペクトルの観察

1. 水銀ランプのスペクトル
2. 水素ランプのスペクトル
3. 蛍光灯のスペクトル

水銀ランプと水素ランプでは、鮮明なスペクトル線が観測された。一方で、蛍光灯はぼんやりと色が区分できるぐらいで、色と色との境界は曖昧であった。また、蛍光灯のスペクトルは全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。

このスケッチから分光計で見たスペクトルも上図と同様に見えると予測される。

4.2 分光計による各光源のスペクトルの観察

d= 1/600ｍｍとしたときの波長、その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1に示す。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 表1 | 水銀ランプのスペクトル測定結果 ｍ＝1のとき | | | |  |
| 色 | 度 | 回折角θ | sinθ | 波長(nm) 測定値 | 波長(nm) 正値 | 格子定数(μｍ） |
| 濃紫 | 14°06" | 14.100 | 0.24362 | 406.03 | 404.66 | 1.6610 |
| 紫青 | 15°09" | 15.150 | 0.26135 | 435.58 | 435.83 | 1.6676 |
| 緑 | 19°08" | 19.133 | 0.32776 | 546.27 | 546.07 | 1.6661 |
| 黄 | 20°14" | 20.233 | 0.34584 | 576.40 | 576.96 | 1.6683 |
| 黄 | 20°24" | 20.400 | 0.34857 | 580.95 | 579.07 | 1.6613 |
|  |  |  |  |  | ｍ＝2のとき |  |
| 色 | 度 | 回折角θ | sinθ | 波長(nm) 測定値 | 波長(nm) 正値 | 格子定数(μｍ） |
| 濃紫 | 29°05" | 29.083 | 0.48608 | 405.07 | 404.66 | 1.6650 |
| 紫青 | 31°35" | 31.583 | 0.52373 | 436.44 | 435.83 | 1.6643 |
| 緑 | 41°03" | 41.050 | 0.65672 | 547.27 | 546.07 | 1.6630 |
| 黄 | 43°57" | 43.950 | 0.69403 | 578.36 | 576.96 | 1.6626 |
| 黄 | 44°12" | 44.200 | 0.69717 | 580.98 | 579.07 | 1.6612 |

格子定数は  で求められる。

水銀ランプの波長とsinθの関係をグラフ化してみた。

グラフからλはsinθに比例することがわかる。またより、

m＝1のときのグラフの傾きは格子定数dであることがわかる。

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2に示す。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 表2 | 格子定数の計算値 | |
| i | di(μm） | δi(μm） | δi²(） |
| 1 | 1.6610 | +0.0030 | 0.9000 |
| 2 | 1.6676 | -0.0036 | 1.2960 |
| 3 | 1.6661 | -0.0021 | 0.4410 |
| 4 | 1.6683 | -0.0043 | 1.8490 |
| 5 | 1.6613 | +0.0027 | 0.7290 |
| 6 | 1.6650 | -0.0010 | 0.1000 |
| 7 | 1.6643 | -0.0003 | 0.0090 |
| 8 | 1.6630 | +0.0010 | 0.1000 |
| 9 | 1.6626 | +0.0014 | 0.1960 |
| 10 | 1.6612 | +0.0028 | 0.7840 |
| 合計 | 16.6404 | 0.00 | 6.4040 |

これより格子定数ｄの平均は　＝1.6640μm

平均値の平均自乗誤差は



よって格子定数の測定結果は

μm　となる。

次に格子定数の平均値＝1.6640μm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。

波数は、波長λの逆数であるから、により求められる。

波数を求めたら、より水素原子のリドベリ定数を求める。

水素原子のエネルギー準位でn＝3,4,5の準位からn＝2の準位への遷移の波長はそれぞれ656nm、486nm、434nmとなっている。この実験ではｎ≧3の準位からn＝2の準位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については赤のときi= 3、青緑のときi= 4、紫のときi= 5を代入する。

格子定数の平均値= 1.6640μmを用いて求めた波長、波数、及び水素原子のリドベリ定数を表3に示す。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 表3 | 水素ランプのスペクトル測定結果 ｍ＝1 | | | |  |
| 色 | 度 | 回折角θ | sinθ | 波長(nm) | 波数() | リドベリ定数() |
| 紫 | 15°08" | 15.133 | 0.26106 | 434.40 | 2.3020 | 1.0962 |
| 青緑 | 16°59" | 16.983 | 0.29209 | 486.04 | 2.0575 | 1.0973 |
| 赤 | 23°15" | 23.250 | 0.39474 | 656.85 | 1.5224 | 1.0961 |

水銀ランプの波長とsinθの関係をグラフ化すると下図のようになり、各プロットを線で結ぶとその線の傾きは格子定数の平均値になる。

次に格子定数を求めた要領で水素原子のリドベリ定数の平均値と平均値の平均自乗誤差を求める。

の平均値を、それぞれのリドベリ定数をとして、とを求めたものを表4に示す。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 表4 | 水素原子のリドベリ定数の計算値 | | |
| i | () | δi() | δi²() |
| 1 | 1.0962 | -0.0033 | 1.0890 |
| 2 | 1.0973 | +0.0077 | 5.9290 |
| 3 | 1.0961 | -0.0043 | 1.8490 |
| 合計 | 3.2896 | 0.00 | 8.8670 |

これより水素原子のリドベリ定数の平均は＝

平均値の平均自乗誤差は

　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

リドベリ定数と水素のリドベリ定数の関係は、

で表される。

ゆえにリドベリ定数は



考察

1. 直視分光器により観測された各光源のスペクトルについて

・水銀ランプ・水素ランプでは鮮明なスペクトル線が観測されたのに対し、蛍光灯は虹のように連続スペクトルが観測された。これは、水銀ランプ・水素ランプは、水銀原子や、水素原子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ためと考えられる。

・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、水銀原子と水素原子の持っているエネルギー準位の違いによるものと考えられる。

・蛍光灯と水銀ランプのスペクトルを比較すると、ほとんど同じ色（オレンジ、黄緑、紫）が際立っていることがわかった。これは蛍光灯の管内にある水銀が関与していると考えられる。

（2）リドベリ定数の誤差について

水素原子のリドベリ定数とリドベリ定数の理論値を算出する。

　　に

電子の電荷　真空の誘電率

プランク定数　真空中の光速度

電子の質量

を代入するして求めると

 

ここで実験により求めた測定値

 

と理論値を比較すると水素原子のリドベリ定数では0.0003647%、リドベリ定数では0.0003645%の誤差が生じていた。誤差そのものは非常に小さく、かなり正確な測定結果が得られたと思われる。誤差が生じた理由としては以下のような理由が考えられる。

* 回折格子を設置した際、その面と望遠鏡の光軸が垂直をなしていなかった。
* 回折格子を設置する台が、望遠鏡を動かす際に連動しずれが生じた。
* 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た。
* 回折角を測定するとき副尺を用いるが、主尺と副尺の目盛りが一致するところを読み取るのは曖昧なところがあった。
* スペクトルを確認するとき、ライトを消してようやく見えるほど色の薄いものがあり、またライトを消すことでスペクトルを正確にあわせることができなかった。
* スペクトルの中に色の似たものが多くあり観察が手間取った。

以上から誤差を少なくするには、精度の高い測定機器を用いたり、より多くのデータを得られる、つまりスペクトルが多く観察できる光源を用いればよいと考えられる。

（3）回折格子による回折の原理について

図3のように平面波が回折格子に対して垂直に入射したとする。光はホイヘンスの原理に従って、溝A,B,C,…などでそれぞれ2次球面波を発生する。このとき隣の溝の球面波と位相が1波長異なる方向にできる平面波が1次回折波であり、2波長異なる方向にできる平面波が2次回折波である。これら回折平面波の進行方向と回折格子の法線方向とのなす角をθとすると、幾何学的関係よりが得られる。即ちこの関係を満たすの方向に、1次、2次、…などの回折波が生じる。

図3 回折格子による回折の原理

（4）格子定数について

計算によって求めた格子定数dの平均値が実験で使用した回折格子の格子定数（理論値）に最も近いと思われる。実験書によるとこの実験で用いる回折格子には1mmあたり約600本の刻線が引いてあるという。

そこで計算により求めた値と、図1のグラフから求めた値を比較してみた。

|  |  |
| --- | --- |
| 計算より求めた格子定数dの平均値 | 1.6640μｍ |
| グラフより求めたm＝1のときの格子定数  m=２ | 1.6629μｍ  1.6650μｍ |

表より計算値を基準としたときの誤差はm＝1のとき0.0006611%、m＝2のとき0.0006010%と比較的小さいことから格子定数の測定結果、さらにこれから導かれたリドベリ定数の測定結果は信頼性の高い数値であると思われる。

格子定数dを求めるときに、という回折角の式を用いた。

これを変形すると、という式が得られる。

ここで、m＝1のとき上式は、となる。

次数が1のとき、0≦sinθ≦1であることを考えれば、必ずλ≦ dでなければならないことがわかる。もしλ≧ dであれば、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考えられる。

（5）分光について

光は、回折か屈折によるいずれかの方法で、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が関係しているが、その関係の仕方は逆になっている｡つまり、波長が大きくなるにつれて光の回折は大きくなるが、屈折は小さくなる｡回折を利用するときは回折格子を使い、屈折を利用するときはプリズムを用いる。プリズムは光の強さが大きい点で有利であり、回折格子は分解能が大きい点で有利である｡

感想

実験装置の使用方法に手間取り、スムーズに実験が行えなかった。本音を言わせてもらうと、最初から分光計のネジを調整しておいてもらいたかった。スペクトルを観察している時、色が薄く見にくいものがあったり、似たような色のスペクトルが多々あり、測定にかなり時間がかかった。波長、格子定数、リドベリ定数ともに誤差が少なく信頼度の高い値を求めることができ、実験としては満足のいく結果に終わったと思う。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が改めて確認できた。

参考文献

・光と電波：好村 滋洋著、培風館

・実験書

TA（近藤）からのコメント：きれいにまとまっています。