**【目的】**

原子の発光スペクトルの波長を分光計で測定し、原子のエネルギー準位について理解する。

**【実験装置】**

水素ランプ、水銀ランプ、直視分光器，分光計、回折格子

［実験装置の説明］

初めに実験装置について簡単に触れておく。

① 水素ランプ

水蒸気を封じたガラス放電管と、高電圧の交流電源からなる。放電によって水分子が水素原子と水酸基に解離し、水素原子が発光する。光は赤紫である。

② 水銀ランプ

真空管に似た形状をしており、金属水銀とアルゴンガスが封入されている。アルゴンガスによる放電で管の温度が上昇し、水銀の蒸気圧が上がって水銀原子も放電状態となり発光する。光は水色を示す。

③ 直視分光器

スペクトルを簡便に見るためのプリズム分光器。採光窓を光源に向けて見て用いる。

④ 分光計

回折角から光の波長を測定する装置。コリメーター、回折格子を置く試料台、回折光を見るための望遠鏡、度目盛板などからなる。

**【実験操作】**

今回は省略することにする。

**【実験結果】**

1. 直視分光計による測定

それぞれ図1～図２のような結果となった。（黒い部分は何も見えなかった部分）



② 分光計による測定

水銀ランプのスペクトルを測定したところ表1のような結果となった。

同様に水素ランプのスペクトルを測定したところ表2のような結果となった。

**表 １ 水銀ランプのスペクトル**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **回折次数 m** | **色** | **θ右** | **θ左** | **θ=1/2｜θ左-θ右｜ [°]** | **sinθ** |
| **1** | **濃紫** | **63°20′** | **91°28′** | **14.07** | **0.2431** |
| **1** | **紫青** | **62°15′** | **92°35′** | **15.17** | **0.2617** |
| **1** | **緑** | **58°17′** | **96°30′** | **19.11** | **0.3274** |
| **1** | **黄** | **57°08′** | **97°37′** | **20.24** | **0.3460** |
| **1** | **黄** | **57°02′** | **97°41′** | **20.33** | **0.3474** |
| **2** | **濃紫** | **106°25′** | **48°17′** | **29.07** | **0.4859** |
| **2** | **紫青** | **108°50′** | **45°47′** | **31.53** | **0.5229** |
| **2** | **緑** | **118°06′** | **36°18′** | **40.90** | **0.6547** |
| **2** | **黄** | **121°00′** | **33°23′** | **43.81** | **0.6922** |
| **2** | **黄** | **121°10′** | **33°10′** | **44.00** | **0.6947** |

**表 ２ 水素ランプのスペクトル**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **回折次数 m** | **色** | **θ右** | **θ左** | **θ=1/2｜θ左-θ右｜ [°]** | **sinθ** |
| **1** | **紫** | **92°30′** | **62°20′** | **15.08** | **0.2602** |
| **1** | **水色** | **94°22′** | **60°28′** | **16.95** | **0.2915** |
| **1** | **赤** | **100°33′** | **54°10′** | **23.19** | **0.3938** |

なお、別紙に表１より水銀原子スペクトルのsinθ（回折角）と波長（理論値）の関係を記した。（図5）またそのグラフと表2の水素原子スペクトルのsinθの値との交点にプロットを取り、水素原子の波長とした。その結果、水素の波長λ＝434、480、652 nmとなった。

このグラフはより、（ｋ＝ｍ/ｄ）であるから比例のグラフになる。

**【考察】**

直視分光器によって測定したスペクトルの違いについては後に述べることにして、まず格子定数とリドベリ定数を求めてみる。

**格子定数の決定**

実験において水銀ランプで測定した角度θを用いて  の関係式を満たすλと、λ’（真値）およびλ’より逆に求めたd（格子定数）の関係は以下の表のようになった。

**表 ３ 格子定数の決定**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **回折次数 m** | **sinθ** | **λ （d＝1/600） [nm]** | **λ'（真値） [nm]** | **λ'によるｄ[nm]** |
| **1** | **0.2431** | **405.17** | **404.66** | **1664.6** |
| **1** | **0.2617** | **436.17** | **435.83** | **1665.4** |
| **1** | **0.3274** | **545.67** | **546.07** | **1667.9** |
| **1** | **0.3460** | **576.67** | **576.96** | **1667.5** |
| **1** | **0.3474** | **579.00** | **579.07** | **1666.9** |
| **2** | **0.4859** | **404.92** | **404.66** | **1665.6** |
| **2** | **0.5229** | **435.75** | **435.83** | **1667.0** |
| **2** | **0.6547** | **545.58** | **546.07** | **1668.2** |
| **2** | **0.6922** | **576.83** | **576.96** | **1667.0** |
| **2** | **0.6947** | **578.92** | **579.07** | **1667.1** |
| **平均** |  |  |  | **1666.7** |

**表 ４**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **λ'によるｄ [nm]** | **d の平均値 [nm]** | **残差 [nm]** | **残差の２乗 [ｎ㎡]** |
| **1664.6** | **1666.7** | **2.1** | **4.41** |
| **1665.4** | **1666.7** | **1.3** | **1.69** |
| **1667.9** | **1666.7** | **-1.2** | **1.44** |
| **1667.5** | **1666.7** | **-0.8** | **0.64** |
| **1666.9** | **1666.7** | **-0.2** | **0.04** |
| **1665.6** | **1666.7** | **1.1** | **1.21** |
| **1667.0** | **1666.7** | **-0.3** | **0.09** |
| **1668.2** | **1666.7** | **-1.5** | **2.25** |
| **1667.0** | **1666.7** | **-0.3** | **0.09** |
| **1667.1** | **1666.7** | **-0.4** | **0.16** |
| **合計** |  |  | **12.02** |

上の表３よりｄの平均値  **＝1666.7 [nm]**

平均値の平均自乗誤差は残差の自乗の合計を用いると次式で定義されている。



よってｄの平均値の平均自乗誤差は表４より

したがって格子定数は **d = 1666.7±0.4 (nm)** となる。

**リドベリ定数の算出**

まず原理について触れておくことにする。

水素原子に量子論を適用してエネルギー準位を求めると、陽子と電子が完全に分離した状態を基準として次式のように表すことができる。



ここで、eは電子の電荷、は真空の誘電率、ｍは陽子（質量）と電子（質量）各1個からなる系の換算質量で



で与えられる。

また、放出または吸収される光の周波数は より

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で表され、その逆数 は波数

であるから

と表すことができる。ここでを**水素原子のリドベリ定数**という。またこれに対して



で定義されるを単に**リドベリ定数**という。[]

では実際に実験結果よりとを求めてみる。

まず

格子定数ｄの平均値（1666.7nm）を使って水素スペクトルの波長λ、波数および（２）式を用いてを求めると次の表のようになった。

**表 ５**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **回折次数 m** | **θ[°]** | **sinθ** | **λ[nm]** | **波数 [1/nm]** | **n** | **RH [1/m]** |
| **1** | **15.08** | **0.2602** | **433.8** | **2.305E-03** | **5** | **1.098E+07** |
| **1** | **16.95** | **0.2915** | **486.0** | **2.058E-03** | **4** | **1.097E+07** |
| **1** | **23.19** | **0.3938** | **656.5** | **1.523E-03** | **3** | **1.097E+07** |
| **平均** |  |  |  |  |  | **1.097E+07** |

（1.098E+07 というのは を示す。）

なお、表中のｎは３以上の準位であり、n＝2 への準位の遷移によってλ＝656nm (n =3)、 486nm (n =4)、434nm (n =5) の波長の光を出すことが知られている。 またλおよび は空気の屈折率を1.0003として、次式をより導き出したものである。

表５より水素原子のリドベリ定数は

と求められる。

では、ここで水素原子のリドベリ定数の平均における誤差を求めてみる。上式において格子定数 m、エネルギー準位 n、空気の屈折率 1.0003は正確な値とすることができ、θにおいては今回の実験では分光計での測定の誤差は求められない為、正確な値とすると の誤差は格子定数 d の平均値の誤差によるものだということができる。よって誤差の伝播法則より



であるから

したがって、水素原子のリドベリ定数は

 [1/m]

また、リドベリ定数は



 [1/m]

以上より今回実験より求めた格子定数、水素原子のリドベリ定数、リドベリ定数をまとめると

 [nm]

 [1/m]

　[1/m]

という値を得た。それぞれの値の精度(誤差／測定値)を求めると0.02％、0.024％となり、かなり誤差が少なかったことが分かる。

実際に理論値を挙げると、回折格子には１mmに600本の線が引かれているため、

格子定数は　　　　　　　d＝ [nm]

水素原子のリドベリ定数　 [1/m]

リドベリ定数　　　　　　　　　　　[1/m]

となる。ごく微妙に値が異なるが今回の実験では有効数字を４桁にしたからであり、理論値はほぼ誤差の範囲であり正確な値が求められたといえるだろう。

一般的に誤差というのは、測定に際して測定装置が測定対象に与える撹乱が０でないため不可避である。誤差を生じる要因は数多くあるが大きく分けると、次の４種類に分けられる。

1. 測定原理の不完全さによるもの
2. 計測器の構成や、動作の不完全さによるもの
3. 測定環境、測定条件の変動によるもの
4. 測定者のよるもの

今回の実験では回折格子および分光計の調節を自分で行なったため、計測器に誤差が生じていたことが考えられる。また測定時に分光計の望遠鏡に他の、スタンドなどの光が入ってしまっていたことも要因の１つと考えられる。特に望遠鏡内のＸ字線の交点にスペクトルの位置を合わせる時に、スペクトルの幅が太いと交点をどこに合わせるかによって誤差が生じたのではないだろうか。さらに水素原子のリドベリ定数の誤差を求める際に回折角θを正確な値として計算をした。仮に実験でθを10回ほど測定しその平均の平均自乗誤差を求めたとすると誤差の伝播法則は

となり、誤差はもっと大きいはずなのである。また格子定数も回折格子に歪みなどがなかった場合の値である。

『課題　Hgにおいて黄色の3次の回折光が観測されないのはなぜか？』

水銀原子のスペクトルで、黄色の光の波長は表3よりλ＝576.96 nm　579.07 nmの２つである。ここで格子定数を今回実験で求めた平均値　1666.7 nm を用いて次式よりsinθを求めてみると、



sinθ＝1.0382　1.0420と求まる。しかしこのようなことは理論的にありえないことであり、そのため観測されないのである。

ここで直視分光計を用いてスペクトルを観察し、その違いをみた蛍光灯、水銀ランプ、太陽光、また今回は観察できなかった水素ランプについて考えてみる。

**【蛍光灯について】**

蛍光とは光学的現象であるルミネセンスの一種で、短波長の光を吸収してそのエネルギーを長波長の光に変換して放出する現象である。蛍光灯とは低圧水銀蒸気放電ランプの一種であり、低圧水銀放電により得られる短波長のスペクトル線を蛍光体により可視光である長波長に変換し、発光するものである。基本的に蛍光体は、赤、緑、青を発するものであるが、実際には弱いがさまざまな色を含んでいる。したがって、スペクトルは連続スペクトルになる。

**【水銀ランプと水素ランプについて】**

水銀ランプは［実験装置の説明］のところで述べたように放電管内に金属水銀およびアルゴンガスが入っていて、その放電による温度の上昇によって気化した水銀が発光している。また水素ランプは放電管内に水蒸気が入っていて放電により水分子が解離して生じた水素原子が発光する。つまりそれぞれ水銀原子と水素原子の輝線スペクトルが観測できるのである。なお原子の保有する電子の数の違いによってスペクトルは異なる。

**［太陽光について］**

太陽のスペクトルは本来なら連続スペクトルを生じるはずであるが、そのスペクトルは所々欠けている部分がある。この黒線をフラウンホーファー線といい、吸収スペクトルである。この現象は連続スペクトルを生じるべき光がその光の進行の途中で、それと同じ物質でそれよりも温度の低い気体中を通過するとき、その気体に輝線に相当する部分が連続スペクトルから吸収されておこり、その部分は黒線となる。［キルヒホッフの法則］

太陽は固体または液体の高温状態のものであり、その表面は約6000度とされている。ここから発する光は連続スペクトルを生じるはずなのであるが、太陽の周囲には反彩層といわれる太陽より低温の部分がありこの部分が太陽からくる自分と同じ物質の発するスペクトルを吸収している。

なおフラウンホーファー線にはA,B,C,D,E,F……などの記号が付けられていて、例えばD線はナトリウム蒸気が発する線で、C線は水素、Ｈ、Ｋ線はカルシウム蒸気の発する線である。このようにして太陽の中には水素、ヘリウム、ナトリウム、亜鉛、銅、鉄などが存在することが分かり、同様にすれば天体物質の構成を知ることができるのである。

この太陽光が自然現象としてスペクトルに分かれた状態が虹である。

空中に水滴が浮かんでいて、これに太陽光があたると２回の屈折と１回の反射とによって再び空気中にでる。

このとき水滴に入射する光線と空気中に出てきた光線とのなす角は、赤色光で42°、紫色光線で40°であり、その他の色は40°と42°の間の角度である。

このような角度をなす方向にある水滴は、目と太陽を結ぶ線を軸とする円錐面をなすから、この部分　　　　　　　　　　　　**図６**

の水滴からくる光は色づいて見えるのである。

つまり地面に遮られなければ虹は円の形に見えるはずなのである。また、水滴から出てきた光線は屈折後広がってしまうので一部を除いて目で見ることは出来ない。出てきた光線が太陽光線の方向と40°のときは、この方向の水滴からは紫色だけが見え42°のときは赤色だけが見える。このようにして虹の色の内側が紫、外側が赤に分かれるのである。

また、時々この虹の外側に第二の虹が見えることがある。この虹は水滴内に入射した光線が２回の反射と２回の屈折をして、空気中に出てきたものである。

このとき水滴に入射する光線と空気中に出てきた光線とのなす角は、赤色光で51°、紫色光線で53°であり、そのため第二の虹は第一の虹の外側にあり第一の虹とは逆に、紫が外側で赤が内側になっているのである。

この虹があまり見られないのは2回の反射と2回の屈折　　　　　　　　　　**図７**

をしているため第一の虹よりも光が弱くなっているからである。

**【参考文献】**

　　近藤　一二著　　　『物理精義』　　　三省堂　　　ｐ81～84、88～89　　　1960

**【感想】**

いままでも高校で物理の実験はしたことがあったが、今回の実験ほど誤差が小さかったことはなかったので感動してしまいました。また今回の実験では実験装置が結構複雑であり、その調節を自分で行なわなければならず、戸惑ってしまいました。これからの実験では実験書をよく予習してから実験に望むように努力したいと思う。レポートについては物理に関してはあまり慣れてはいないのであまりよい出来とはいえませんが、書くのにはだいぶ苦労しました。

**【謝辞】**

実験の説明を丁寧にして下さった佐々田さん、ありがとうございました。