**『 原 子 ス ぺ ク ト ル 』**

　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　平成14年12月19日 実施

**１．実験の目的**

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

**２，実験の原理**

　　　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。古典物理学では説明しにくいこの現象を説明するために**量子論**が誕生し、現代物理学の基礎となった。

　　　量子論によると、まず、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み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(原子内での構成粒子の運動エネルギーと電磁エネルギーの和)は任意の値をとるのではなく、格状態に対応したとびとびの値…をとる。この値を**エネルギー準位**という。次に番目の状態からそれよりもエネルギーの低い番目の状態へ**遷移**して光を放出するとき、その光の周波数は

　　　―――　①

　　で与えられる。は**プランク定数**() である。反対に番目の状態から番目の状態へ遷移するときは、周波数の光を吸収する。①式は周波数条件と呼ばれる。

　　　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、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

　　(…)　――― ②

　　となる。ここで、は電子の電荷、は真空の誘電率、は陽子(質量)と電子(質量)格1個からなる系の**換算質量**で



　　　　≪より　　③

　　　　　≒　　　――― ④

で与えられる。②式を図示すると図１の

ようになる。

　また、放出または吸収される光の周波

数は①式と②式から

　――― ⑤　　　　　　　　　　図１

　となる。真空中の光速度をとすると、真空中の波長は/で与えられる。または長の逆数＝を波数といい、で表す。は⑤式より

　――― ⑥

　となる。ここで

　　　　 　――― ⑦

　とおく。このを**水素原子のリドべリ定数**(**Rydberg定数**)という。これに対して

　　　　 　――― ⑧

　で定義されるを単に**リドベリ定数**という。すなわちは⑦式において、をに置き換えて得られるが、これは単に③式でとおくことに対応する。

　　特に≧3の準位から＝2の準位への遷移に基づく一連のスペクトル線は**バルマー系列**と呼ばれる。このうち図１に矢印で示した３つの遷移は紫・青・赤の光を放出する。

　　水素以外の原子は２個以上の電子を持つので、エネルギー準位の構造は一般に複雑になり、スペクトルも単純ではない。

　　今回の実験では、水素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が大きな課題である。

　　なお屈折率がの物質中の光の速度は/なので、物質中での波長は真空中の波長の1/になる。可視領域での標準空気の屈折率はおよそ1.003である。波長を細かく議論するときはこのことに注意しなければならない。

**３．実験装置**

**(a)　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分子と水酸基に解離し、水素原子が発光する。内径の小さい部分が明るい。

**注意**：高電圧に気をつけること

ランプは長時間発光し続けると高温になる

ガラスが割れやすいので物を当てないこと

1. **水銀ランプ**

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になり発光する。

電源スイッチをONにして、押しボタンスイッチを押し続け、ランプのフィラメントが赤くなったら放す。はじめは暗い部分が次第に明るくなっていく。電源スイッチをOFFにすれば消える。

1. **直視分光器**

スペクトルを簡便に見るために、プリズム分光器、採光窓を光源に向けて見る。

1. **分光器**

回折角から光の波長を測定する装置。光源からの光を平行光にするコリメーター、回折格子を置く試料台、回折光を見るための回転できる望遠鏡、度目盛板などからなる。

　　　　　　　　　　　　　　　図２

今回の実験で用いた回折格子は透明基材の表面に多数の刻線を等間隔に引いたものである。**格子定数**(表面に引かれた刻線の間隔)は図２のように細い隙間を等間隔に並べたものと同じ働きをし、入射した平行光は波長に応じて特定の方向に進む平行光に分かれる。格子定数をとすると、光が格子面に垂直に入射した場合、波長の成分が進む方向(回折角),…は次式で与えられる。

　　　――― ⑨

　　　　　　ここで、は整数であり回折の次数という。⑨式は隣り合う隙間を通過した光の光路差が波長の整数倍に等しい条件から導かれる。(整数倍のときは位相がそろっているので、干渉より波動として考えることのできる光はその点において強め合う)

　　　　　　　今回の実験で用いた回折格子の格子定数は１[mm]あたり600本の刻線が引いてある。

**＊回折格子＊**

器材の表面に多数の刻線が等間隔に引いてある。本来は格子の面

に関して、入射光側に回折した光を利用しているが、今回は透過し

た回折光を利用できるものを使った。

回折格子の役割は、次のようなものである。それぞれの隙間に到

達した光はその後、もし他の隙間がなければ、回折によってあらゆ

る方向にほぼ均等の強さで進む。しかし多くの隙間から出た光が互

いに干渉するために、特定の方向にだけ進んでいく。

**注意**：回折格子の面を決して触ってはいけない

**４．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**

(1)　実験室の蛍光灯を、直視分光器を利用してスペクトルを観察した。

　　　(2)　水銀ランプと水素ランプを、直視分光器を利用してスペクトルを観察した。

**２、分光器による各光源のスペクトルの観察**

(1)　図３のように装置を設置し、このとき望遠鏡とコリメーターが一直線上になることに気をつけた。

　　　(2)　水銀ランプをコリメーターの近くに置き、望遠鏡をのぞいて光ったスリットの像が最も輝いて見える位置を決定した。この状態をとした。

　　　(3)　－90°≦≦90°の範囲で動かしてスペクトルを探し、スペクトルの色と回転角の関係を調べて記録した。また各線の回折の次数の見当をつけた。(同じ色のスペクトルはいくつか見ることができたので、見えた順に次数を１、２と決めた)

(4)　光源を水銀ランプから水素ランプに置き換えて同様の実験を行った。

　　　　　　　　　　　　　　　　　　　図３

**３．格子定数とリドベリ定数の決定**

(1)　この結果と⑨式から格子定数を決定した。(同時に平均値と平均自乗誤差を求めた)

　　　(2)　上で求めた格子定数を利用して水素スペクトルの波長と波数を計算し、水素原子のリドベリ定数とリドベリ定数を求めた。

**５．実験結果**

**１．直視分光器による各光源のスペクトルの観察**

　　　　　各光源の観察結果を以下にまとめる。(図４)

　　　　　蛍光灯　　　　　　　　　水銀ランプ　　　　　　　　　水素ランプ

　　　　　　　　　　　　　図４　直視分光器による観察結果

**２．分光器よる各光源のスペクトルの観察**

　　　　　実験結果と⑨式から波長を求める。

　　　　　　表１　水銀ランプのスペクトルの色と回折角

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 色 | ＋θ | -θ | 平均 | sinθ | λ [nm] |
| **１次** | 紫 | 14.167 | 14.067 | 14.117 | 0.2439 | 406.51 |
|  | 濃紫 | 14.333 | 14.300 | 14.317 | 0.2473 | 412.13 |
|  | 青紫 | 15.317 | 15.250 | 15.284 | 0.2636 | 439.33 |
|  | 若竹色 | 17.100 | 17.283 | 17.192 | 0.2956 | 492.61 |
|  | 緑 | 19.150 | 19.167 | 19.159 | 0.3282 | 546.97 |
|  | 黄色 | 20.217 | 20.3 | 20.259 | 0.3463 | 577.09 |
|  | 黄色 | 20.317 | 20.45 | 20.384 | 0.3483 | 580.50 |
| **２次** | 紫 | 29.000 | 29.05 | 29.025 | 0.4852 | 404.33 |
|  | 濃紫 | 29.267 | 測定不能 | 29.267 | 0.4889 | 407.40 |
|  | 青紫 | 31.867 | 31.633 | 31.750 | 0.5262 | 438.51 |
|  | 若竹色 | 36.283 | 36.333 | 36.308 | 0.5921 | 493.44 |
|  | 緑 | 41.000 | 41.017 | 41.009 | 0.6562 | 546.81 |
|  | 黄色 | 43.450 | 43.350 | 43.400 | 0.6871 | 572.57 |
|  | 黄色 | 44.250 | 44.167 | 44.209 | 0.6973 | 581.06 |

* ＋は半時計回りの方向、－方向は時計回りの方向である

平均はこの２つの平均値である。(ただし角度である)

　　　　　　表２　水素ランプのスペクトルの色と回折角

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 色 | ＋θ | -θ | 平均 | sinθ | λ 〔nm〕 |
| **１次** | 青 | 15.083 | 15.033 | 15.058 | 0.2598 | 433.00 |
|  | 若竹色 | 16.983 | 16.833 | 16.908 | 0.2908 | 484.73 |
|  | 赤 | 25.417 | 23.400 | 24.409 | 0.4132 | 688.73 |
| **２次** | 青 | 32.633 | 測定不能 | 32.633 | 0.5392 | 449.38 |
|  | 若竹色 | 37.333 | 37.467 | 37.400 | 0.6074 | 506.15 |
|  | 赤 | 56.817 | 56.683 | 56.750 | 0.8363 | 696.91 |

　　　　　　　　この表における関係を別紙のグラフに示す。(図a)

**３．格子定数とリドベリ定数の決定**

表１と、それに対応する真値を用いて回折格子、及び回折格子の平均

値と平均値の平均自乗誤差を求める。

　表３　水銀ランプの波長と格子定数

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 色 | 回転角 | 実験値 | 正値 | 格子定数 |
| **１次** | 濃紫 | 14.117 | 406.51 | 404.66 | 1.659 |
|  | 紫 | 14.317 | 412.13 | 407.78 | 1.649 |
|  | 青紫 | 15.284 | 439.33 | 435.83 | 1.653 |
|  | 若竹色 | 17.192 | 492.61 | 491.61 | 1.663 |
|  | 緑 | 19.159 | 546.97 | 546.07 | 1.664 |
|  | 黄色 | 20.259 | 577.09 | 576.96 | 1.666 |
|  | 黄色 | 20.384 | 580.50 | 579.07 | 1.663 |
| **２次** | 濃紫 | 29.025 | 404.32 | 404.66 | 1.668 |
|  | 紫 | 29.267 | 407.40 | 407.78 | 1.668 |
|  | 青紫 | 31.750 | 438.51 | 435.83 | 1.656 |
|  | 若竹色 | 36.308 | 493.44 | 491.61 | 1.660 |
|  | 緑 | 41.009 | 546.81 | 546.07 | 1.664 |
|  | 黄色 | 43.400 | 572.57 | 576.96 | 1.679 |
|  | 黄色 | 44.209 | 581.06 | 579.07 | 1.660 |

　　　　ここで格子定数は⑨式を変形して

　　　――― ⑩

　　　　として求めてある。ただし格子定数の単位は

として記載してある。また⑩

式に代入した波長は正値を使用。

次に格子定数の平均値と平均値の平均自乗誤差を求める。

　　　　　平均値の平均自乗誤差は次式を用いて求める。

　――― ⑪

　　　　　　表４　格子定数の誤差の測定

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 色 |  |  |  |
| **１次** | 濃紫 | 1.659 | -0.00336 | 1.127041 |
|  | 紫 | 1.649 | -0.01336 | 17.84133 |
|  | 青紫 | 1.653 | -0.00936 | 8.755612 |
|  | 若竹色 | 1.663 | 0.000643 | 0.041327 |
|  | 緑 | 1.664 | 0.001643 | 0.269898 |
|  | 黄色 | 1.666 | 0.003643 | 1.327041 |
|  | 黄色 | 1.663 | 0.000643 | 0.041327 |
| **２次** | 濃紫 | 1.668 | 0.005643 | 3.184184 |
|  | 紫 | 1.668 | 0.005643 | 3.184184 |
|  | 青紫 | 1.656 | -0.00636 | 4.041327 |
|  | 若竹色 | 1.660 | -0.00236 | 0.555612 |
|  | 緑 | 1.664 | 0.001643 | 0.269898 |
|  | 黄色 | 1.679 | 0.016643 | 27.69847 |
|  | 黄色 | 1.661 | -0.00136 | 0.184184 |

　　　　　　格子定数の平均は　　 　　　[]

　　　　　　平均値の平均自乗誤差は　 　[]

　　　　　　以上より格子定数の測定結果は以下のようになる。

[]

　　　　　次にこの格子定数の値を用いて(ただし誤差は考えないものとする)、

水素スペクトルの波長・波数を求め、これより水素原子のリドベリ

定数を算出する。

　波長は⑩式を用いて求め、波数は波長の逆数であるので

　　　――― ⑫

を用いて求める。以上より波長・波数・リドベリ定数を以下の表に

まとめる。

　　表５　水素ランプの波長・波数・リドベリ定数

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 色 | 回転角 | [] | [] | [] |
| **１次** | 青 | 15.058 | 431.89 | 2.3154 | 11.0258 |
|  | 若竹色 | 16.908 | 483.49 | 2.0683 | 11.0310 |
|  | 赤 | 24.4085 | 686.97 | 1.4557 | 10.480 |
| **２次** | 青 | 32.633 | 448.23 | 2.2310 | 10.6238 |
|  | 若竹色 | 37.4 | 504.85 | 1.9808 | 10.5642 |
|  | 赤 | 56.75 | 695.12 | 1.4386 | 10.3578 |

ここでリドベリ定数は以下のように求めてある。

　――― ⑬

　　　しかし⑬式において,はエネルギー準位である。今回の実験では

バルマー系列を観測しているので=２、青のときは=５、若竹色

のときは=４、赤のときは=3を代入している。

次に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。

　　　　表６　リドベリ定数の誤差の測定

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 色 | [] | [] | [] |
| １次 | 青 | 11.0258 | 0.34525 | 0.119198 |
|  | 若竹色 | 11.0310 | 0.35045 | 0.122815 |
|  | 赤 | 10.4807 | -0.19985 | 0.03994 |
| ２次 | 青 | 10.6238 | -0.05675 | 0.003221 |
|  | 若竹色 | 10.5642 | -0.11635 | 0.013537 |
|  | 赤 | 10.3578 | -0.32275 | 0.104168 |

　　リドベリ定数の平均値は　　=10.68055　　[]

　　 平均値の平均自乗誤差は　　=0.115885　　[]

　　　　　　　以上よりリドベリ定数の測定結果は以下のようになる。

　　[]

　　　次にこの水素原子のリドベリ定数を用いてリドベリ定数を求める。

　　　まず換算質量の値を利用して

　　――― ⑭

　　　⑭式のように近似し、以下の関係を用いると

　　　　　　

　　　⑮式のように整理することができる。

　　　――― ⑮

　　　この⑮式と上で求め水素原子のリドベリ定数を用いて計算すると



　　[]

として求められる。

**６．考察**

**１．直視分光器による各光源のスペクトルの観察**

　　　　　今回の３つのスペクトルの測定において大きく２つに分けることができる。１つは蛍光灯である。これは直視分光器を用いて測定すると**連続スペクトル**をして観察することができる。もう１つは水銀ランプと水素ランプである。これらはいくつかの線スペクトルを観察することができる。このことについていくつか考察してみる。

　　　　　まずそれぞれの構造と発光の原因について調べてみる。水銀ランプには金属水銀とアルゴンガスを封入している。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になり発光する。水素ランプには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。これに対して蛍光灯は、低圧のなか、電極フィラメントに電流を流することによって加熱され、それによって発生する熱電子が管内の電界により移動し、水銀原子と衝突する。この衝突によって、水銀電子が励起状態になり、そこから一気に励起平衡状態（基底状態）に落ちるときに紫外線が発生する。

　　　　　水素ランプと水銀ランプのスペクトルの違いは、**水素と水銀の持っているエネルギー準位の違い**である。それに対して蛍光灯が連続スペクトルになるのは、**蛍光灯の管内に複数の原子が存在**しているので、１つ１つのもつエネルギー準位が重なりあうので、連続スペクトルとして観察される。蛍光灯に複数の原子が存在していることは、蛍光灯の発している色からも確認される。多くの色を重ねると、色は白くなる。蛍光灯の光が白いのはこの影響である。

　　　　　以上より、連続スペクトルと線スペクトルに分かれる要因は、発光する原子の存在している数が関係している。

**２．水素原子のリドベリ定数とリドベリ定数の誤差**

　　　　　実験の結果で求めた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て、実験値と理論値の誤差について検討してみる。

　　　　　　

　　　　の式に以下の定数を代入して求める。

　　　　　　　　電子の電荷　 　 

　　　　　　 　真空の誘電率　 　

　　　　　　 　プランク定数　 　

　　　　　　　　　光速　　　　 　

　　　　　　 　電子の質量　　　 

　　　　　　　　　　　　　　　　(ただし である)

　　　　　水素原子のリドベリ定数　　　　

　　　　　　　 リドベリ定数　　　　　　 

　　　　　　＊実験値と理論値の誤差について

　　　　　精度を求めてみると、2.624%と計算される。(水素原子のリドベリ

定数とリドベリ定数の誤差は等しい)この原因として考えられることは、

まず、回折格子と望遠鏡からの光軸とが垂直になっていなかった点など

も見逃せない点である。格子定数を求める際に、次数は整数であり、波長は実験書に掲載されている正値を用いたので、誤差を生み出すのは回転角から起こる誤差である。60進法を用いて測定したが、若干見落としてしまった部分も考えられる。また次数が大きくなると、スペクトルによる発光の色も薄くなるので、正確な位置で回転角を求めることが困難であったことも考えられる。有効数字を4桁として計算しているので2.624%という誤差は大きくなってしまったと思う。

**３．今回の実験における考察**

　　　　　今回の課題である原子のスペクトルの波長を測定することに関しては、次数が大きいものに関して、正値と大きく異なる値が出てしまったように思った。しかし次数の小さな値の波長は、納得のいく数値が出たのではないのだろうか。

　　　　　もう１つの目的である原子のエネルギー準位を確認するという目的は、水素ランプ・水銀ランプの直視分光器によるスペクトルの観察で線スペクトルとして観察できたので、目的は達成できたように思った。

**４．発光スペクトルについて**

　　　　　今回の実験では≧３のエネルギー準位から=2を考えるバルマー系列であったが、この系列以外にも以下のようなものも存在している。

　　　　　　　　　　表７　水素原子の発光スペクトル

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 系列 | 領域 | 発見年 |
| １ | ライマン　　(Lyman) | 遠紫外部 | 1906年 |
| ２ | バルマー　(Balmer) | 可視部 | 1885年 |
| ３ | パッシェン (Paschen) | 赤外部 | 1906年 |
| ４ | ブラケット (Brackett) | 遠赤外部 | 1922年 |
| ５ | プント (Phund) | 遠赤外部 | 1924年 |

　　　　　これらは全て次式に深く関係している。

　　　（≧１の整数）

　　　　　ここでRはリドベリ定数である。

**５．波数とジュール単位の違い**

　　　　　　今回の実験においてエネルギーの単位は波長の逆数である波数を利用してきたが、エネルギーは仕事と関係があるので２つの違いについて検討する。

　　　　　　　　表８　エネルギーの波数単位とSJ単位の比較

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **波数単位** | **SJ単位** |
| エネルギーの単位 | 波数 | ジュール |
| エネルギー差 |  |  |
| 水素原子のエネルギー準位 |  |  |
| 水素原子から発せられる光のエネルギー |  |  |

　　　　　波数単位でリドベリ定数を表すと、という大きな値で表されるので、リドベリ定数は大きな数として思えるが、実際のJ単位を用いてリドベリ定数を表すと、という小さな数として計算されることになる。

　　　　　水素などの原子１つ１つとしてのエネルギー準位を求めると、とても小さな値になってしまう。しかしこの小さなエネルギーであっても１[mol]として考えれば大きな値にはなる。

　　　　　しかしながら水素原子１つにおけるエネルギー差は小さな値となってしまっていることがわかる。

**６．量子論について**

**[19世紀までの物理学]**

　　　　　　19世紀までの物理学は古典力学・電磁気学を中心とする学問であった。これまでの物理学の基本原理は以下のようなものである。1つ目は「**物質は原子と呼ばれる粒子からできている**」ことである。すなわち粒子とは運動エネルギー（）や運動量（）を持っている。そして2つ目は電磁気学において「**光は電磁波、すなわち波動の一種である**」ことである。そして波動である光にはという関係を持っている。そして3つ目は「**エネルギーとは連続量である**」ことである。

　　　　　　これより粒子は質量を持った小さな点であり、ニュートンの運動方程式によって定められた軌道を動く。一方で波動は広がりを持った存在で、とく２つの波が存在すればお互いに干渉現象を引き起こす。すなわち粒子である物質は干渉などの現象は起こらないということである。

**[量子論の誕生]**

　　　　　　19世紀までにおける発見が物理学の全てであると考えられていたが、ここで1900年にドイツの物理学者マックス・プランクは奇妙な仮説を発表した。「振動数の電磁波を吸収・放出しながら平衡状態に達している物体があるとき、電磁場とやりとりするエネルギーがの整数倍になっていると仮定すると、レイリー＝ジーンズの公式とウィーンの公式をつないだ新たな放射理論の式（**プランクの放射公式**）が統計力学の手法に基づいて導き出される」ということである。すなわちエネルギーは連続量ではなく、離散量(とびとびの値)しかとれないということである。

　　　　　　また1905年にアインシュタインは「ウィーンの公式から熱力学的な関係式を導き出し、物質と相互作用している光（＝電磁波）がエネルギーの固まり（量子）として空間中に存在していると見なせること」を指摘した(**光量子仮説**)。すなわち１つの光(**光量子**)は次のようなエネルギー持つということである。

**１つの光子のもつエネルギー　　**

**１つの光子のもつ運動量　　　**

　　　つまり激しく運動する光ほどエネルギーが大きく、運動量も大きいのである。これ

　　　によって1888年に発見された**光電効果**や1923年に発見された**コンプトン効果**の謎

　　　を解いたのである。

　　　また古典力学では解明できない大きな謎も残っていた。それは原子同士が結合して安定な分子を形成する過程を理論的に説明するのは困難をきわめた。原子がクーロン力のような単純な引力に従って運動しながら、安定な分子結合を実現するとは考えにくく、なぜ原子が整然と配置されるのか説明できなかった。

　　　　　　20世紀の初め、イギリスの物理学者ラザフォードと日本の物理学者である長岡半太郎は最も単純な構造をとっている水素原子の原子模型について追求していた。彼らの模型では、原子の中心には**原子核**と呼ばれる重たい芯が存在し、その原子核の中には正の電荷をもった**陽子**が存在し、その周囲を軽く負の電荷をもった**電子**が円運動していると考えた。これは自然界の「惑星や月と太陽」の関係のように太陽の周りを惑星が円運動していると考えた。

　　　　　しかしこの仮説には重大な欠点が存在していた。惑星が太陽の周りを回るのは万有引力の影響である。ここで電磁気学での内容を思い出すと、電流が流れるとその周囲には磁界が存在する(向きは右ねじの法則)。回転している電子は変化する電流として扱うことができるので、原子の回りに磁界が存在する。すなわち電磁波を発生することになる。電子が発光を続けるとエネルギーを失うので、電子の起動半径は小さくなっていき、最後には原子核の中に入り込んでいくことになる。しかし実際に電子は原子の周りを回り続けているので、内容が矛盾してしまう。このために2人の提唱した

　　　　原子模型は納得できなくなってしまった。

　　　　　また上の条件で光を放出し続けると観測されるスペクトルは**連続スペクトル**になるはずである。しかし今回の実験で行ったように「水素ランプからは線スペクトルが観察された」ことになるのでこれも矛盾してしまう。

　　 この問題を見事に解決したのがボーアであった。ボーアは、最も基本的なシステムとして、陽子の周囲に１個の電子が束縛されている水素原子を取り上げた。彼は半古典的な手法によって、電子の持つ物理量を計算していき、原子核の周りを回転する電子の角運動量（回転運動の保存量）が、の**整数倍**になっていた事を明らかにした。こうして光のエネルギーに続いて電子の運動も量子化されていることが明らかになった。

その後1924年ド・ブロイは、光量子についてのアインシュタインの関係式（）を電子のような物質粒子にもあてはめ、粒子－波動の二重性は自然界の基本的な性質であると主張した（物質波の理論）。この理論によると、電子の波長は（ｍ：電子の質量、ｖ：速度）で与えられる。ド・ブロイは、この波長を持つ波が原子内部に定常波として存在すると仮定すれば、ボーアによる角運動量の量子化が自然に導かれることを示した。

　　 この理論によって、自然界の基本現象である波動を記述する方程式を求め、その解を観測される量と結びつける方法論を確立する、という量子論の方向性が明確になった。

**[古典力学と量子力学の違い]**

　　　大きな違いは1927年にハイゼンベルグの提唱した「**不確定性原理**」である。古典

　　　 力学においては位置と運動量を同時に正確に求めることは可能であったが、量子論に

　　　 　おいては不可能であるということである。そのために原子中に存在する電子は存在確立で表現するのである。1926年にシュレーディンガーは電子のもつ物質波としての状態を波動関数で表すことを提唱した。さらにボルンはこの波動関数を２乗すると電子の存在確立を示すことを見出した。

**７．感想**

　　　　今回の実験が1年生における「自然科学実験」の最後の課題であった。正月休み

　　　も含んでレポートを書いているので、多くのことを調べながら書き上げることがで

　　　きたように思う。実験の精度は少し広い値を定義してしまったので、完全に納得と

　　　いう結果では終わらせることができなかった。しかし今回の実験を含めた５回の実

　　　験を通して得た経験を通じて、来年以降の実験でも生かしていきたいです。

　　　　物理学における実験では自分で計算した理論値と、実際に測定した実験値が異なってしまう場面が何度もあった。ある程度は実験の測定に用いた器具における検定交差・有効数字の取り方…などであったが、それらからは考えもつかないほどの大きなズレを生じてしまっていたこともあった。このようなミスが実験値を計算する上でどのような結果を生み出してしまうのかなども直接知ることができたので、大変いい勉強になったと思いました。紙の上で行っていた計算と、実際に自分が測定した結果の相違を調べるのは、実験においてもっとも勉強になったと感じています。

　　　　今回のレポートでは、読み易さ・見易さを追及して図などを書き込んでいったつもりです。また誤差の測定も丁寧に説明したつもりです。

　　　　何度も読み返し、誤字脱字を確認しましたが、もし発見した場合はご了承ください。

**８．参考文献**

　　　・自然科学実験　物理学編　　　　　　　　　　　　慶応義塾大学 理工学部

　　　・　　　物理化学演習　　　　　伊藤 正時　他　著　　　　裳華堂

　　・　　　量子力学概論　　　　　 篠原 正三 著 東京電機大学出版局

* 量子物理学の展望－５０年の歴史に立って(上)(下)

江沢 恒藤　他　著 岩波書店