原子スペクトル

[1]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]原理

原子が放出または吸収する光の波長は通常、とびとびの値を持つ。この現象を説明するために量子論が誕生し、現代物理学の基礎になった。

量子論によると、原子がとりうる状態として量子条件を満たすものだけが許される。その結果原子のエネルギーは各状態に対応したとびとびの値をとり、この値をエネルギー準位という。

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、

 （＝1,2,3,…）　　　　　　　　　　　　　　　　　　　⑴

となる。(:電子の電荷, :真空誘電率) また、は陽子（質量）と電子（質量）各1個からなる系の換算質量で

≒　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　 ⑵

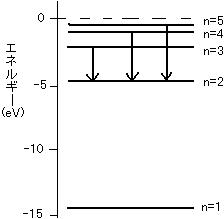
で与えられる。⑴式を図示すると図１のようになる。

　　　　　　　図１　水素原子のエネルギー準位

また、放出または吸収される光の周波数は

　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　⑶

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で与えられる。また、波長の逆数を波数といい、で表す。は⑵式より

　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　 ⑷

となる。ここで、

　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　⑸

である。を水素原子のリドベリ定数という。これに対して、

　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　⑹

で定義されるを単にリドベリ定数という。

　次に、回折格子による光の干渉では、一般に次の式が成り立つことが知られている。

　　　　　　　　　　　　　　　　　　⑺

ここで、ｄは格子定数、θは回折角である。

[3]方法

3－1．分光計の準備

　　⑴ 実験書を参考にしながら、分光計と光源を実験しやすい位置に置く。

　　⑵ 実験書を参考にして、望遠鏡とコリメーターの光軸を一致させ、回折格子面を完全に垂直にして、正しく測定できるようにする。同時に分光計のネジの働きをしっかり確認しておく。

3－2．蛍光灯を直視分光器で観察する。

3－3．水銀原子のスペクトルの観察

　　⑴ 水銀ランプを点灯し、直視分光器で観察する。

　　⑵ 水銀ランプを点灯し、スペクトルを分光計で観察する。

　　　⒜ 水銀ランプをコリメーターのスリットの近くに置き、実験書を参考にして望遠鏡の角度が回折角の基準θ=0°になるように調節する。このとき、目盛板の読みも0°にあわせる。

　　　⒝ 望遠鏡をのぞきながらゆっくり回し、θ=－90°～90の範囲でスペクトル線を探し、見つけた色とそのときの目盛板の読みを記録する。1度目に現れたスペクトル線は1次の回折のもので２度目ならば２次の回折のものである。

3－4．水素原子のスペクトルの観察

　　　光源を水素ランプに置き換えて、3－3と同様の観察と測定を行う。

[4]結果

4－1．蛍光灯を直視分光器で観察すると、図２のようなスペクトルが見えた。(3－2)

4－2．水銀ランプを直視分光器で観察すると、図３のようなスペクトルが見えた。(3－3)

4－3．水素ランプを直視分光器で観察すると、図４のようなスペクトルが見えた。(3－4)

紫

　　　青

緑

黄緑

黄

橙

赤

赤

紫

黄

赤

緑

紫

図２ 図３ 図４

4‐4．水銀ランプを分光計で観察した結果を表にまとめる。また、の式より、

波長λを求める。このとき、dには理論値を用いる。さらに、の式より、格子定数dを求める。このとき、λには理論値を用いる。この結果も表に加える。(表１)

4‐5．4‐4で求めたdの値の平均値と平均自乗誤差を求めるための表を作成し（表２）、それを求める。

4‐6．水素ランプを分光計で観察した結果を表にまとめる。また、の式より、

波長λを求める。このとき、格子定数dには4‐5で求めた平均値を用いる。この結果も表に加える。（表３）

4‐7．4‐6で求めた波長λから真空中での波長を求める。そして、の式から水素原子のリドベリ定数を求める。ここで、水素原子のスペクトルはｎ≧３からｎ＝２へ遷移を示す可視光のバルマー系列であるから、＝２，紫･緑･赤のスペクトルについてそれぞれ＝５，４，３とおきリドベリ定数を求める。そして、リドベリ定数とそれを求めるために必要なデータを表にまとめる。（表４）

表１　分光計による水銀ランプの観察結果と求めた格子定数ｄと各色の光の波長λ

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 回折方向 | 色 | 次数(m) | θ(度.分) | sinθ | λ理論値[nm] | ｄ[10⁻³mm] | λ[nm] |
| 望遠鏡を右に回転 | 濃紫(強) | １ | 14.11 | 0.245 | 404.656 | 1.65 | 408 |
| 濃紫 | １ | 14.15 | 0.246 | 407.783 | 1.66 | 410 |
| 紫青(強) | １ | 15.17 | 0.264 | 435.833 | 1.65 | 440 |
| 若竹色 | １ | 16.17 | 0.280 | 491.607 | 1.76 | 467 |
| 緑(強) | １ | 19.15 | 0.330 | 546.073 | 1.65 | 550 |
| 黄(強) | １ | 20.25 | 0.349 | 576.960 | 1.65 | 582 |
| 黄(強) | １ | 20.29 | 0.350 | 579.066 | 1.65 | 583 |
| 濃紫(強) | ２ | 29.15 | 0.489 | 404.656 | 1.66 | 408 |
| 濃紫 | ２ | 29.33 | 0.493 | 407.783 | 1.65 | 411 |
| 紫青(強) | ２ | 31.43 | 0.536 | 435.833 | 1.63 | 447 |
| 若竹色 | ２ | 36.22 | 0.593 | 491.607 | 1.66 | 494 |
| 緑(強) | ２ | 41.14 | 0.659 | 546.073 | 1.66 | 549 |
| 黄(強) | ２ | 44.09 | 0.697 | 576.960 | 1.66 | 581 |
| 黄(強) | ２ | 44.20 | 0.699 | 579.066 | 1.66 | 583 |
| 望遠鏡を左に回転 | 濃紫(強) | １ | 13.58 | 0.241 | 404.656 | 1.68 | 402 |
| 濃紫 | １ | 14.07 | 0.243 | 407.783 | 1.68 | 405 |
| 紫青(強) | １ | 15.06 | 0.261 | 435.833 | 1.67 | 435 |
| 若竹色 | １ | 17.05 | 0.294 | 491.607 | 1.67 | 490 |
| 緑(強) | １ | 19.03 | 0.326 | 546.073 | 1.68 | 543 |
| 黄(強) | １ | 20.10 | 0.345 | 576.960 | 1.67 | 575 |
| 黄(強) | １ | 20.16 | 0.346 | 579.066 | 1.67 | 577 |
| 濃紫(強) | ２ | 28.59 | 0.485 | 404.656 | 1.67 | 404 |
| 濃紫 | ２ | 29.14 | 0.488 | 407.783 | 1.67 | 407 |
| 紫青(強) | ２ | 31.56 | 0.530 | 435.833 | 1.64 | 442 |
| 若竹色 | ２ | 36.05 | 0.589 | 491.607 | 1.67 | 491 |
| 緑(強) | ２ | 40.47 | 0.653 | 546.073 | 1.67 | 544 |
|  | 黄(強) | ２ | 43.38 | 0.690 | 576.960 | 1.67 | 575 |
| 黄(強) | ２ | 43.49 | 0.692 | 579.066 | 1.67 | 577 |

　　　　　　　　表２　4‐4で求めたdの値と残差および残差の２乗

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ｄ  [10⁻³mm] | 残差  [10⁻³mm] | [10⁻⁶mm] |
| 1.65 | -0.015 | 2.25×10⁻⁴ |
| 1.66 | -0.005 | 0.25×10⁻⁴ |
| 1.65 | -0.015 | 2.25×10⁻⁴ |
| 1.76 | 0.095 | 90.25×10⁻⁴ |
| 1.65 | -0.015 | 2.25×10⁻⁴ |
| 1.65 | -0.015 | 2.25×10⁻⁴ |
| 1.65 | -0.015 | 2.25×10⁻⁴ |
| 1.66 | -0.005 | 0.25×10⁻⁴ |
| 1.65 | -0.015 | 2.25×10⁻⁴ |
| 1.63 | -0.035 | 12.25×10⁻⁴ |
| 1.66 | -0.005 | 0.25×10⁻⁴ |
| 1.66 | -0.005 | 0.25×10⁻⁴ |
| 1.66 | -0.005 | 0.25×10⁻⁴ |
| 1.66 | -0.005 | 0.25×10⁻⁴ |
| 1.68 | 0.015 | 2.25×10⁻⁴ |
| 1.68 | 0.015 | 2.25×10⁻⁴ |
| 1.67 | 0.005 | 0.25×10⁻⁴ |
| 1.67 | 0.005 | 0.25×10⁻⁴ |
| 1.68 | 0.015 | 2.25×10⁻⁴ |
| 1.67 | 0.005 | 0.25×10⁻⁴ |
| 1.67 | 0.005 | 0.25×10⁻⁴ |
| 1.67 | 0.005 | 0.25×10⁻⁴ |
| 1.67 | 0.005 | 0.25×10⁻⁴ |
| 1.64 | -0.025 | 6.25×10⁻⁴ |
| 1.67 | 0.005 | 0.25×10⁻⁴ |
| 1.67 | 0.005 | 0.25×10⁻⁴ |
| 1.67 | 0.005 | 0.25×10⁻⁴ |
| 1.67 | 0.005 | 0.25×10⁻⁴ |
| 平均値＝1.665[10⁻³mm] | | Σδ²＝133×10⁻⁴ |

　平均自乗誤差は、で求めるここができる。

＝0.004×10⁻³mm　よって、±=(1.665±0.004)×10⁻³[mm]

表３　分光計による水素ランプの観察結果と求めた各色の光の波長λ

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 回折方向 | 色 | 次数 | θ(度.分) | sinθ | λ[nm] |
| 望遠鏡を右に回転 | 紫 | １ | 15.13 | 0.2625 | 437.1 |
| 緑 | １ | 17.06 | 0.2940 | 489.5 |
| 赤 | １ | 23.22 | 0.3966 | 660.3 |
| 紫 | ２ | 31.38 | 0.5245 | 436.6 |
| 緑 | ２ | 35.56 | 0.5868 | 488.5 |
| 赤 | ２ | 51.56 | 0.7873 | 655.4 |
| 望遠鏡を左に回転 | 紫 | １ | 15.03 | 0.2597 | 432.4 |
| 緑 | １ | 16.52 | 0.2901 | 483.0 |
| 赤 | １ | 23.05 | 0.3921 | 652.8 |
| 紫 | ２ | 31.18 | 0.5195 | 432.5 |
| 緑 | ２ | 35.32 | 0.5812 | 483.8 |
| 赤 | ２ | 52.42 | 0.7955 | 662.3 |

表４　水素原子のリドベリ定数の算出

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 色 | λ[nm] | [nm] |  |  | [10⁷m⁻¹] |
| 紫 | 437.1 | 438.4 | 2 | 5 | 1.086 |
| 436.6 | 437.9 | 2 | 5 | 1.087 |
| 432.4 | 433.7 | 2 | 5 | 1.098 |
| 432.5 | 433.8 | 2 | 5 | 1.098 |
| 緑 | 489.5 | 491.0 | 2 | 4 | 1.086 |
| 488.5 | 490.0 | 2 | 4 | 1.088 |
| 483.0 | 484.4 | 2 | 4 | 1.101 |
| 483.8 | 485.3 | 2 | 4 | 1.099 |
| 赤 | 660.3 | 662.3 | 2 | 3 | 1.087 |
| 655.4 | 657.4 | 2 | 3 | 1.095 |
| 652.8 | 654.8 | 2 | 3 | 1.100 |
| 662.3 | 664.3 | 2 | 3 | 1.084 |

　屈折率がｎの物質中での波長λは、真空中の波長の1/nになるから、は、

＝λ

で求めることができた。

　また、



よりを求めた。

4‐8．4－7で求めた水素原子のリドベリ定数の平均値を求めると、

＝1.092×10⁷[1/m]

　　　原理[2]の⑵,⑸,⑹式より、リドベリ定数は、 で求められる。ここではにを用いて

＝1.093×10⁷[1/m]

4‐9．表３を利用して、１次２次それぞれについて水素ランプから出る光の回折角の正弦sinθと波長λの関係をグラフにまとめる。（図５、図６）

[5]考察

5‐1．誤差について

　　　今回の実験では

ｄ=(1.665±0.004)×10⁻³[mm]

＝1.093×10⁷[1/m]

　　という結果を得たが、理論値は

　　　 d＝1.667×10⁻³[mm]

＝1.097×10⁷[1/m]

　　である。実験値は、格子定数dについては0.002×10⁻³[mm]、リドベリ定数につ

いては0.004×10⁷[1/m]、それぞれ理論値より小さくなってしまった。精度としては、ほとんど問題はないと思うが、このような誤差が出てしまった理由を考えると、

⒜ 測定器がやや正確性を欠いていた

⒝ 準備段階での光軸等の設定が不完全または正確性を欠いていた

⒞ 測定器の読み違えなどの人為的な要因

⒟ 部屋の明かりなどの実験とは無関係な光が入ってきたといったような測定環境

　 の影響

などがあげられると思う。⒝については、自動で設定を行う測定器があれば、より誤差も小さくなると思われる。⒟についても、もう少し他からの光の影響を受けにくい環境で実験することができれば、解決できるであろう。

5‐2．直視分光器での観察結果の比較

　　　蛍光灯は連続スペクトルであるが、水銀ランプと水素ランプは線スペクトルであった。原理でも述べたとおり、通常光は線スペクトルになるはずである。蛍光灯が連続スペクトルを示す理由を調べてみた。

　　　蛍光灯は、低圧水銀放電による短波長の光を蛍光体によって可視光線である長波長の光に変換して発光するという仕組みをしている。このようにして、蛍光体は基本的には赤、緑、青の光を発するが、実際は変換時の誤差により、弱いが様々な色の光を出している。したがって、蛍光灯は連続スペクトルを示し、肉眼でも蛍光灯は白く見えるのである。

5‐3．光の色と波長の関係について

　　　作成した表を比較すると、大きく分けて、紫、青、緑、黄、赤の順番で波長が短いことがわかった。紫、青、緑、黄、橙、赤の順番で波長が短いということは、すでに知識として知っていたが、今回の実験でそのことが改めて確認できた。

5‐4．グラフからわかること

　　　　⒜ グラフは２本とも直線になった

　　　　⒝ １次の回折のグラフのほうが２次の回折のグラフより傾きが大きかった。

　　　⒜については、グラフの式は  でありsinθの１次関数になることは明らかである。

　　　⒝については、２本のグラフの傾きはd/mであり、ｄは一定だから、ｍの小さい１次の回折のグラフのほうが傾きが大きくなる、と説明できる。

[6]感想

　　今回の実験は非常に多くの測定結果があり、まとめるのが大変だったが、しっかりと

データ処理ができたので、やりがいがあった。写真でしか見ることのなかった原子スぺ

クトルだが、自分で観察してみて、身近に感じることができた。