物理学実験レポート：原子スペクトル

理工学部 １年ル組 （69919262）

実験日：１９９９年１２月９日（木）ＡＭ

提出日：１９９９年１２月１６日（木）ＡＭ

1. 実験目的
   * + - 原子の発光スペクトルの波長を測定する
       - 原子のエネルギー準位について理解する
       - 分光計の使用方法を学び、慣れる
2. 実験原理
   * + - 1. エネルギー準位

原子がとりうる状態は量子論によると量子化条件を満たすものだけである。したがって、静止している原子が持っているエネルギー（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）に制約が生じ、とびとびの値をとることになる。この値をエネルギー準位という。

ここで、水素原子に量子論を適用してエネルギー準位を計算してみることにする。

電荷＋ｅの原子核のまわりを１個の電子（電荷－ｅ、質量m）が半径ｒの円軌道上を等速度で運動していると仮定して、電子のエネルギーＥを考える。（ただし、実際は等速円運動はしていない。）

まず、電子にかかる向心力（静電引力）が等速円運動（角速度ω）における遠心力とつりあうため、真空の誘電率をε０とすると、



　…（１）

となる。

次に、エネルギーＥは運動エネルギーと静電的なポテンシャルエネルギーの和であるから、

　…（２）

と表すことができる。（１）式を（２）式に代入すると、

　…（３）

を得ることができる。しかし、（３）式のままでは水素の発光スペクトルが不連続になることが説明できない。そこで、Bohrは次のような量子条件を仮定した。

円運動している電子の角運動量に制約がつく、つまり

　（ｎ≧１の整数）　…（４）

また、ｈはプランク定数である。

したがって、（３）式、（４）式より、

　…（５）

を導くことができる。この値がエネルギー準位である。式から分かるように、ｎ＝１の状態は一番エネルギーが低く、基底状態という。

この式にこれらの分かっている定数を代入してみると、

ｍ＝９．１０９３８９７×１０－３１ｋｇ

ｅ＝１．６０２１７７３３×１０－１９Ｃ

ε０＝８．８５４１８７８１６×１０－１２Ｊ－１Ｃ２ｍ－１

ｈ＝６．６２６０７５５×１０－３４Ｊｓ

より、



　…（６）

となる。

* + - * 1. リドベリ定数

まず、換算質量ｍの水素原子は陽子（質量ｍｐ）と電子（質量ｍｅ）各１個からなっているので、

　…（７）

と表される。また、電子がｉ番目の状態からそれよりエネルギーの低いｊ番目の状態へ遷移して光を放出するとき、その光の周波数νは、

　…（８）

で与えられる。（５）式と（８）式より、さらに、



とまとめることができる。真空中の光の速度を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う。（５）式より、

　…（９）

となる。このＲＨを水素原子のリドベリ定数という。さらに、（７）式で、ｍｐ→∞とおくと、



を得る。この式で定義されるＲ∞を単にリドベリ定数という。

屈折率がｎの物質中では、光の速度はｃ／ｎであるので、物質中での波長は真空中と比べて１／ｎとなる。よって、波長について細かく議論をするときには、可視領域での標準空気の屈折率、１．０００３などを考慮する必要がある。

* + - * 1. 回折格子

回折格子は、図１のように、基材の表面に多数の刻線（溝）を等間隔に引いて作られたものである。働きについては刻線を隙間と置き換えて説明する。

それぞれの隙間に達した光は、回折によってあらゆる方向に均等の強さで進む。しかし、お互いの回折光が互いに干渉するため、特定の方向に進む光だけがきわだって強くなる。このとき、含まれている光が波長ごとに分れるので、別々に観測することが可能になる。以下がそれを示す式である。

ｄｓｉｎθ

ｄ

θ

図１．回折格子

　（ｍ：整数）

この式において、ｄｓｉｎθが、光路差である。

1. 実験方法
   * + - 1. 直視分光器

まず、蛍光灯、水素ランプ、水銀ランプのスペクトルを直視分光器で観察した。

* + - * 1. 分光計の調整

焦点を無限遠に合わせ、回折格子面を回転軸と平行になるように調整した。そしてさらに、回折格子の面と望遠鏡の光軸が垂直になるように調整した。

* + - * 1. 水銀ランプの設置

水銀ランプをコリメーターのスリットの近くに置き、光ったスリットの像が最もはっきり見えるようにラックピニオンを調節した。このときの角度を回折角の基準である、θ＝０°とした。

* + - * 1. 水銀ランプの観察

望遠鏡をのぞきながら、θ＝－９０°～９０°の範囲でスペクトル線を探した。各線の色と回折角などを次数の見当をつけながら観察した。回折角は副尺を用いて分単位まで計測した。

* + - * 1. 水素ランプの観察

水素ランプついても水銀ランプと同様の操作・観察を行った。

1. 実験結果
   * + - 1. 直視分光器

蛍光灯

赤

橙

黄

黄緑

緑

青

紫

図２．蛍光灯

図２のようにスペクトルは連続で隙間なく現れていた。青と黄緑が若干鮮明に見えていた。

水銀ランプ

黄

黄緑

紫

図３．水銀ランプ

図３のようにみえた。スペクトルは鮮明であった。

水素ランプ

赤

薄い緑

紫

図４．水素ランプ

図４のように見えた。水銀と同様、スペクトルは鮮明であった。

* + - * 1. 水銀ランプのスペクトル：表１



* + - * 1. 水素ランプのスペクトル：表２



* + - * 1. 水銀・水素のスペクトル表について



この式を用いて各θにおける波長λを計算し、理論値と比較した。また、水素の波長は水銀のスペクトルから求めた格子定数を使用した。計算した波長と理論値の間の差は少ないことが分かる。これは、あいまいな薄い色に見えたデータがほとんど入っていないことが原因と思われる。３次回折光はほとんど見ることができなかった。また、表１のθがプラスの値をとっている部分については波長の理論値とsinθの関係をグラフにした。このグラフは、上記の式を変形したものにｍ＝１と２を代入したものとなっている。



このグラフは、レポートの最後に添付しておく。

* + - * 1. 格子定数の計算

先ほど用いた式より、



を用いて、測定した水銀のθの値から格子定数ｄを求めることにする。θは理論値と対応したもののみ使用することになるが、今回の実験ではすべてが対応している。

求めた格子定数の平均値は、



であった。また、平均値との差δをそれぞれのｄについて求め、そして自乗和Σδ２は１．７２×１０４（nm２）であるゆえ、平均値の平均自乗誤差σは



である。したがって、求める格子定数の値は

ｄ＝１６６１．５２±５．３５（nm）

となる。

* + - * 1. リドベリ定数の計算

上で求めた格子定数を用いて水素原子のスペクトルの波長を表２で求めてある。そして、実験原理の（９）式



より、水素原子のリドベリ定数を求める。バルマー系列より、ｊ＝２である。ｉの値は赤のとき３、青緑のとき４、紫のときを５として算出した。

したがって、水素のリドベリ定数の平均は１．１０１×１０７。

平均値の平均自乗誤差を考えると、

１．１０１×１０７±６．３×１０４（ｍ－１）

しかし、ここで誤差の伝播を考えなくてはならない。

この格子定数の誤差の値はリドベリ定数を求める際に１次変数の値として使われるからこれによって生じる誤差の値分である±１．２×１０４を加えたものとなる。したがって、求めるリドベリ定数は

１．１０１×１０７±７．５×１０４（ｍ－１）

となる。

また、Ｒ∞は、実験原理より、

Ｒ∞＝１．０００５×１．１０１×１０７＝１．１０１×１０７（ｍ－１）

となる。

1. 考察および検討
   * + - 1. ３次回折光が見えない理由



この式から分かるように、ｍが大きくなるほどｓｉｎθも大きくなる。つまり、θが大きくなるのである。ｍ＝３くらいになってくるとθは大きくなりすぎ、回折しすぎて計算上実験装置に回折光がぶつかってしまうことになる。したがって、３次回折光は見えにくいのである。

* + - * 1. 理論値の波長と一致しない値がなかったことについて

普通に実験をしていると理論値の波長と一致しない値のスペクトルを読んでしまうことが良くあるはずだが、私のデータではそれはなかった。これはおそらく、私が多くのスペクトルを見逃してしまったためと思われる。レポートの最後に添付したグラフに点が少ないのもそのためである。

* + - * 1. 蛍光灯とランプの違い

　水銀・水素ランプは一種類の原子を励起しその光を見たものであるため、それぞれ別の独立なスペクトル線が生じている。しかも、そのスペクトル線は不連続で飛び飛びの波長を取る。

　一般に、ある原子から生じるスペクトル線はただ１種類である。そのため、ある光のスペクトルを分析することによって、その構成分子がなんであるかは予測できる。ただ、その予測を行う時には、波長の変化にかかっている要素を考えておく必要がある。

　蛍光灯のスペクトルはすべての色の連続として表されている。これはあらゆる光が蛍光灯から放出されていて、それがすべて混ざっているということである。つまり、蛍光灯ではいろいろな物質が励起され、おのおのに光を放った結果として移ると考えられる。

* + - * 1. ＲＨ・Ｒ∞の理論値

測定値は実験結果で求めたものを示しておく。

ＲＨ＝１．１０１×１０７±７．５×１０４（ｍ－１）（ｍ－１）

Ｒ∞＝１．１０１×１０７（ｍ－１）

理論値を算出すると、

ＲＨは次式で導かれる事は実験原理で述べたので。



従って、次の値を用いて、計算すると、

ｍ＝９．１０９３８９７×１０－３１ｋｇ

ｅ＝１．６０２１７７３３×１０－１９Ｃ

ε０＝８．８５４１８７８１６×１０－１２Ｊ－１Ｃ２ｍ－１

ｈ＝６．６２６０７５５×１０－３４Ｊｓ

ｃ＝２．９９７９２４５８×１０８ｍ・ｓ－１

ｍ＝ｍｅ／１．０００５＝９．１０４８２×１０－３１ｋｇ

ＲＨ＝１．０９４１７８×１０７（ｍ－１）

となる。

　　　Ｒ∞をもとめると、

Ｒ∞がここの式で求められる事は原理で述べてある。



従って、上と同様にして、

　Ｒ∞＝１．０９４７７９×１０７（ｍ―１）

となる。

1. 参考文献

伊藤正時・大場茂・茅幸二・仙名保・中嶋敦・藪下聡　共著

『化学新シリーズ　物理化学演習』　裳華房　１９９９．１