物理学実験レポート

実験題目：光電効果

提出者：１学年ウ組２５番　政木 智成

学籍番号：６０１２０１６７

実験日：平成１３年７月３日

## 《背景･目的》

光量子仮説によると、hをプランク定数、νを周波数、Wを仕事関数とすると、光電子の運動エネルギーEは次のように示される。

*E*＝*h*ν－*W*

このときのプランク定数，仕事関数を光電管を用いて求め、光電効果について理解する。

## 《理論･原理》

固体が光を吸収して電子を放出する現象を光電効果といい、放出された電子を光電子という。光電子は光の周波数がνある値ν0より小さい時には光を強くしても発生しない。またνがν0より大きい時には、各光電子の持つエネルギーはνが大きいほど大きくなり、光が強いほど光電子の数が増加する。この現象を証明するためにアインシュタインが光量子仮説を提案した。

光量子仮説によると、周波数νの光は*h*νを持つ粒子からなり、この粒子を光子（Photon）と呼ぶ。固体が吸収した光子のエネルギー*h*νは一個の電子に与えられるが、電子が固体表面から外に出るためにはある大きさ*W*のエネルギーを費やさなければならない。*W*は物質固有の値で仕事関数と呼ばれる。したがって*h*ν＜*W*ならば光電子は発生せず、*h*ν≧*W*ならば発生した光電子の運動エネルギーEは、背景で述べたように

*E*＝*h*ν－*W*

で与えられる。もし二つ以上のνの値に対してそれぞれが*E*を測定できれば、上式から*h*と*W*を決めることができる。

分光器の仕組み

１．分光理論

（１）反射形回折格子において、入射角iの光が特定a方向で強め合う条件は図3のように回折角θが法線Nに対して同じ向きにある場合には光線①と②の光路差（AO＋OB）が波長の整数倍の時であり、入射光の波長をλとして

d(sin i＋sinθ)＝mλ（m＝0，±１，±２…） 式①

で表される。

また図4のように回折角が法線に対して反対側にある場合には光線①と②の光路差はAOとBOの差があるので、iとθは反符号とする必要がある。ここでは法線の右側を（－）符合とする。

また①式は反射形回折格子だけでなく透過形回折格子でも成立する。なお入射角Iが０度のときは、

d sinθ＝mλ（m＝0，±１，±２…） 式②

で表される。

②

①

i

（図3：回折格子１）

O

θ

i

θ

d

d

回折格子

N

N

N

②

①

i

N

（図４：回折格子２）

i

θ

O

θ

d

d

回折格子

N

N

２．分光器解説

この装置（図５）について式①を当てはめてみる。

・回折格子の格子定数d＝1/1200mmである。

・入口スリットS1と出口スリットS2は固定されており∠S1OS2＝45°である。よって、

θ－i＝45°（式③）といえる。

・グレーティングの法線に対する入射角iは目盛板の標線で読み取る。

１）①式でm＝0のときI，θを求めるとθ＝－iのときだから

i＝－22.5°，θ＝22.5°

iを－22.5°とすると、０次光を出口スリットから取り出すことができる。

２）m＝+1のとき出口スリットS2から取り出せる波長が350～600nmに対するIを求めると式①と式③より

（式⑥）



λ：350nm，i＝－9.36°

λ：600nm，i＝　0.43°

したがって、-9.36＜i＜0.43でIが整数のとき式①を満足する波長λが存在するといえる。

i

θ

i

入口スリット

S1

↓回折格子

出口スリット

S2

↑標線

45°

↑標線

i

i

θ

入口スリット

S1

↓回折格子

出口スリット

S2

（図５：分光器光路）

## 《実験方法》

①「POWER」スイッチのOFFを確認して電源プラグをコンセントにさし、「LAMP」スイッチをいれた。入射スリットの調整つまみをゆっくり回し、つまみをスリットが開きはじめてから約半回転した位置でとめた。

②目盛板の0°を指標にあわせた。出射スリットのすぐ前に白い紙をおき、色分けされた連続スペクトルの一部が出射スリットを通ることを確認した。

③「LAMP」スイッチを切り、カバーを真上から、回折格子などに触れないように注意して、元の場所に戻した。

④本体操作パネルのターミナルに電圧計（3Vレンジ）と電流計（100μAレンジ）を正負の向きを正しく接続した。

⑤「LAMP」をOFF、「COLLECTOR VOLTAGE」を最小、「ZERO ADJ.」を中央、「GAIN」を×1、各スイッチとつまみを以上の位置にした。

⑥「POWER」をONにして、「COLLECTOR VOLTAGE」を時計方向にゆっくり回し、電圧計を３Vにして、目盛板を0°にした。

⑦「LAMP」スイッチをONにして、入射スリットを閉じた。

⑧「GAIN」を×1、×100でのゼロ調整を「ZERO ADJ.」により行った。

⑨「GAIN」を×1に戻して「COLLECTOR VOLTAGE」を反時計方向にいっぱいにまわして電圧をゼロにした。

⑩入射スリットをゆっくり開き、光電流を100μAにした。

⑪逆電圧を3Vに戻し、「GAIN」の×1、×100の順で電流計のゼロ調整をした。

⑫逆電圧を3Vから徐々に下げ、光電流が0.01μAになる逆電圧を読んだ。

⑬同様にして、光電流が0.02μA、0.04μA、0.1μA、0.2μA、0.4μA、1μA、2μA、4μA、10μA、20μA、40μAとなる逆電圧をとった。

⑭「COLLEVTOR VOLTAGE」を3Vに戻した。

⑮以上の測定結果を、逆電圧を直線スケール、光電流を対数スケールでグラフ上にプロットした。

⑯目盛板を－8°にして⑨から⑮までの操作を繰り返した。

⑰目盛板を-4°，-2°にして同様の操作をした。ただし⑬については光電流が10μA、20μA、40μAとなるときは省いた。

⑱光の周波数νと阻止電圧*V*0の関係を両者とも直線スケールのグラフ上にプロットし、最小自乗法によって直線を引いた。

⑲この直線の勾配から*h*を求め、次いで*W*を求めた。

## 《実験結果》

測定した逆電圧と光電流の値を目盛板の角度別にしめした（表１）。これをプロットしたグラフを（図１）とした。

ここで目盛板の角度から光の周波数νを教科書の表より求めて、阻止電圧*V*0との関係を（表２），（図２）で示した。

ここで（図２）でプロットした値の近似直線を最小自乗法を用いて求めると、次のように示せた。

*V*0[V]＝0.32･10-14×ν[Hz]－1.364[V]

このとき*V*0についてE＝e*V*0という式が成り立つので、

*E*＝*h*ν－*W*

は次のように書き換えられる。

*E/e*＝*V*0＝*（h/e）･*ν－*W/e*

ここから実験値より求まる*h*，*W*はそれぞれ

*h* ＝0.32･10-14×1.6･10-19

＝5.12×10-34［J･s］

*W* ＝1.364×1.6･10-19

＝2.18×10-19［J］

となった。

また、プランク定数*h*の理論値は6.63×10-34なので実験値の精度は、0.23となった。

表1：逆電圧と光電流の関係

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 光電流  [μA] | 逆電圧[V] | | | |
| 目盛板 0° | 目盛板 -8° | 目盛板 -4° | 目盛板 –2° |
| 0.01 | 0.61 | 1.66 | 1.13 | 0.78 |
| 0.02 | 0.58 | 1.56 | 1.01 | 0.72 |
| 0.04 | 0.26 | 1.50 | 0.96 | 0.69 |
| 0.1 | 0.52 | 1.42 | 0.90 | 0.65 |
| 0.2 | 0.50 | 1.35 | 0.86 | 0.62 |
| 0.4 | 0.47 | 1.28 | 0.83 | 0.58 |
| 1 | 0.43 | 1.19 | 0.78 | 0.54 |
| 2 | 0.40 | 1.08 | 0.74 | 0.50 |
| 4 | 0.36 | 0.98 | 0.70 | 0.45 |
| 10 | 0.30 | 0.81 | ---- | ---- |
| 20 | 0.24 | 0.64 | ---- | ---- |
| 40 | 0.17 | 0.43 | ---- | ---- |

表２：光の周波数と阻止電圧の関係

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 角度[°] | 0 | -2 | -4 | -8 |
| 周波数[1014Hz] | 5.09 | 5.56 | 6.14 | 7.78 |
| 阻止電圧[V] | 0.61 | 0.78 | 1.13 | 1.66 |

## 《検討･考察》

１．誤差について

まず図１を見ると、それぞれの角度が大きい物のほうが、逆電圧は大きいと分かる。

また、角度が小さい物の方が大きい物に比べて、傾きが急であることもわかる。また、それぞれの系は、光電流が0.01μAの時はずれてしまっているが、逆電圧を加えるごとに傾きが大きくなっていることがわかる。よって、このグラフをもっと大きくとって、光電流がもっと小さくなるようなグラフが書ければ、実際の阻止電圧の値との誤差が小さくなると考えられる。

次にプランク定数*h*の誤差について考えてみた。まず、誤差の原因について考えられる物を挙げてみて、その解決策について考えてみた。

まず蛍光灯の光が入ったことも考えられる。これについて詳しく考えてみると、蛍光灯の光が鉄の金具から入ったとすれば、鉄の仕事関数Wは4.36[J]であり、蛍光灯は主に紫外線を放射するため周波数νを8.34･1014とおくと、原理で記した条件式より、

*h*ν＝6.63･10-34×8.34･1014 ＝5.53×10-19＜*W*

となり、光電子は出ていないことがわかる。したがって蛍光灯の光については誤差としてはほぼ考えられないと言える。

そして今回、阻止電圧*V*0の値を光電流が0.01μAの時の逆電圧を近似してとったのだが、グラフを見てみると、0.01μAの時のプロットが微妙に曲線上からずれている。これについて原因を考えた。この値については数回にわたり測定したので人為的な誤差とは考え難い。この実験におけるスペクトルは、装置の構造的に（紫→赤→紫→…）とループしているため、最後の赤の部分を測定する際、すでに次の紫の光が少し入ってきている。そして、その高い振動数を持った光により、阻止電圧は大きくなってしまう。そのため、このプロットは大きく上へとずれてしまったのであろうと考えられる。これについては仕方がないと思われる。

これ以外に考えられるものを挙げてみた。

・目盛の読み方

実験では、電流計、電圧計、目盛板の3つの目盛を目分量で見ていた。特に電流計は、針の振れがおさまるまでの時間を充分に取る必要があったため、目測が曖昧であった可能性がある。

これについてはもっと細かい値がとれるものを使用すればある程度は解決できると思う。

・プロットの少なさ

最小自乗法でグラフの直線を求める際、プロットの数が少ないと1つ1つの結果の影響が大きく出てしまう。今回の場合は4つしか値が求められていなかった。教科書の表に角度と周波数の値の関係が載っているが、そこに載っている角度を全て調べていればかなりの精度で求まったのではないかと思われる。

・光電流の値

実験では、光電流が0.01μAのときの電圧を近似的に阻止電圧とした。よって、阻止電圧の値の実験値は理論値より大きくなっていると考えられる。表１を見ても、光電流が0.01μA違うだけでも、逆電流が変わってしまうことが分かる。また、図１を見ると0.01μAあたりで大きくズレが生じているので、本当の値と近似できているのかかなり怪しい。したがって、もっと光電流が0μAに近い時の値までとれれば精度は上げられたと思われる。

・系統誤差

装置の能力、特に電流計及び電圧計の配線において、抵抗が生じていることにより、誤差が出る可能性が高い。この誤差については、最初に調整を行ってから実験を行っているが、それでも系統誤差は生じてしまうと思われる。

ここで気になったのは前回の光の実験では光を波としてあつかったのに、今回は粒子として考えたことである。これについて調べると、

１．一般に波の運ぶエネルギーは波の振幅が大きいほど大きい。このため、もし光を波として考えるならば、その振動数がどんなに小さくても、振幅が大きければ電子は十分なエネルギーを光からもらい、金属から飛び出るはずである。しかしこれは、光電効果は振動数に影響されるということに矛盾する。

２．光が波であるとした時、電子が光からエネルギーをもらって表面から飛び出すための時間を求めると、非常に弱い光の場合、時間は極めて長くなってしまう。これは「振動数が光電限界振動数より大きい光であればどんなに弱い光を当てても、光を当てた瞬間に電子が表面から飛び出る」という性質に反する。

以上の問題を解決するため、アインシュタインは論文で、光（電磁波）は波動性をもつとともに粒子（光子）の性質を持つとした仮定を発表した。そして彼は光子のエネルギーE[J]、および、運動量の大きさp[kg･m/s]が

E＝hf

p＝h･f/c＝h/λ

で表される「アインシュタインの関係」を示した。

## 《結語》

今まで教科書の上でしか分かっていなかったプランク定数などの量子化学について少し理解が深められてよかった。光電効果についても最初聞いた時に比べればかなり分かってよかった。

今回で実験は最後となったが、物理実験全体として高校のころよりもはるかに優れた器具を使って、面白い実験が出来て良かったと思います。

## 《参考文献》

自然化学実験　物理学編　　慶應義塾大学理工学部