1. **実験目的**

光のスペクトルと光電効果を観察し、仕組みを理解すると共に、プランク定数及び仕事関数をこの結果より求める。



図１　光電効果の原理

1. **実験原理**

金属内にはフェルミ準位と呼ばれるポテンシャルが存在する。このポテンシャルがある一定の値を超えると、金属外に電子が飛び出す。

図１のように、金属に光が当たると、内部にある電子にエネルギーが与えられる。このエネルギーが仕事関数*W*の値より大きくなると、外部へ脱出する光電子が現れる。この現象を光電効果と呼ぶ。



図２　阻止電圧

光粒子仮説によると、周波数の光エネルギーは、(*h*:プランク定数)という最小のエネルギー単位を持つ粒子(光子)から成っている。そして、1個の光子が1個の電子に働く。のとき、電子は金属外に出たところで止まってしまうが、のとき、電子はの運動エネルギーを持ち、金属外に出た後も運動を続ける。の変数はのみであり、がある一定の周波数を超えない限り、光電子は放出されない。とEの関係式を2つ以上導き出すことができれば、*h*及び*W*を求めることができる。

図２のように、光電管に光が当たり、その結果光電子が運動エネルギーをもった場合、光電子は陽極に向かっていく。しかし、図の左側から右側に向かって電圧をかけた場合、光電子の運動エネルギーは弱められる。そして、この電圧が大きくなり、光電子が陽極にたどり着けなくなったとき、その最小の電圧を阻止電圧と呼ぶ。阻止電圧を上回る電圧がかかった場合にも、光電子の発生は起こらない。

1. **実験方法**
   1. 実験前の確認

分光器の蓋を垂直に慎重に持ち上げ、図３との対応関係を確認した。分光器の「POWER」スイッチをOFFにしたまま、電源プラグをコンセントに差し込んだ。そして、「LAMP」スイッチを入れ、調整つまみで入射スリットの動きを確認した。

* 1. スペクトルの変化の様子



図３　分光器の構造(真上から)



図４　操作パネルの略図



図５　実験で使われた回路

調整つまみで、スリットから明かりが漏れなくなる場所を探した。その場所から調整つまみをスリットが開く方向に回転した。分光器のカバーを外して脇に置き、回折格子の目盛板をに合わせ、出射スリットとテレメーターレンズの間にスペクトルができることを確認した。この間に升目を書いた紙を垂直に立て、目盛板をまで回転させながら、スペクトルの変化を観察・記録した。また、色分けされない角度も測定した。最後に、分光器のカバーを元に戻した。

* 1. 光電流と逆電圧の関係

電流計と電圧計を寝かせるようにして置き、これと分光器を配線した。電圧計は3*V*のレンジ、電流計は100*μA*のレンジに配線した。分光器の操作パネルは、図４のような形をしていた。また、配線後の回路は図５のようになった。操作パネルの「LAMP」をOFFにし、「COLLECTOR VOLTAGE」を最小に、「ZERO ADJ.」を真上に、「GAIN」を×1にそれぞれ調整した。そして、「POWER」をONにし、「LAMP」をONにした。その後、次の操作を行った。

1. 「COLLECTOR VOLTAGE」を調整し、電圧計の値を3*V*にした。
2. 目盛板を調整した。
3. 入射スリットを閉じた。
4. 「GAIN」が×1の状態で電流計が振れないよう「ZERO ADJ.」を調整し、×100についてさらに同じ作業を行った。そして、「GAIN」を1に戻した。
5. 「COLLECTOR VOLTAGE」を最小に戻した。
6. 入射スリットを開き、光電流を100*μA*流した。
7. 逆電圧を3*V*に戻した。
8. (4)の操作を再び行った。但し、「GAIN」は×100のままこの操作を終わった。
9. 「COLLECTOR VOLTAGE」を調整し、光電流が0.01*μA*、0.02*μA*、0.04*μA*、0.1*μA*、0.2*μA*、0.4*μA*、1*μA*、2*μA*、4*μA*、10*μA*、20*μA*、40*μA*、100*μA*となる電圧を記録した。

(1)から(9)の操作を、目盛板がの場合との場合について行った。そして、これらの結果をもとに、光電流と逆電流の関係を表及び片対数グラフにまとめた。

* 1. 周波数と阻止電圧の関係

③の(1)～(9)までの操作を、目盛板が、、の場合について行った。但し、(9)の操作については、光電流が0.01*μA*の場合についてのみ行った。そして、③の結果と合わせて、表にまとめた。そして、周波数と阻止電圧の関係をグラフにまとめた。グラフの直線は最小自乗法を使って書き、この直線よりプランク定数*h*と仕事関数*W*を求めた。

* 1. 実験後の操作



図６　目盛板の値とスペクトル

逆電圧を3*V*に戻し、「LAMP」、「POWER」の順にOFFにし、分光器の電源プラグを抜いた。

1. **実験結果**
   1. スペクトルの変化の様子を観察した結果は、図６のようになった。但し、スペクトルの色の境目は目測で行ったため、正確ではない。目盛板が及びにおいては、スペクトルを観察することはできなかった。色分けされない光が、目盛板がのとき中央に観察された。目盛板を＋から－方向に回転させると、スペクトルは出射スリットを正面に見て左に移動した。また、を境に、スペクトルの色の順番が反転した。目盛板の値が小さくなるにつれ、角度によるスペクトルの違いが少なくなった。スペクトルの各色の幅は、に近づくにつれ狭くなった。色の強さは、に近づくほど強くなった。また、付近においては、全く色分けされず、では白い光が中央に見えた。
   2. 光電流と逆電圧の関係の実験結果を表及びグラフにしたものが表１と図７である。測定は、有効数字3桁で行ったが、光電流の有効数字が低かったので、表には有効数字2桁で書いた。周波数は、分光器のスペクトル特性より書いたもので、目盛板の値がのとき、のときである。光電流が100*μA*において、逆電流は観測できなかったので、この値は0とした。また、グラフは片対数グラフ用紙を使い、縦軸に光電流、横軸に逆電圧を書いた。表、グラフにおいて、電圧計の値に-1をかけたものを逆電圧の値とした。

表１　周波数ごとの逆電圧と光電流

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 光電流  [*μA*] | 逆電流[*V*] | |
|  |  |
|  | -0.70 | -1.7 |
|  | -0.62 | -1.6 |
|  | -0.57 | -1.5 |
|  | -0.53 | -1.4 |
|  | -0.50 | -1.4 |
|  | -0.47 | -1.3 |
|  | -0.43 | -1.2 |
|  | -0.40 | -1.1 |
|  | -0.36 | -0.99 |
|  | -0.31 | -0.81 |
|  | -0.26 | -0.65 |
|  | -0.18 | -0.44 |
|  | -0 | -0 |

* 1. 周波数と阻止電圧の関係の実験結果を表及びグラフにまとめたものが表２と図８である。但し、目盛板の角度が及びの値は、実験結果②の結果をそのまま書いたものである。電流計の読みをもとにした計測なので、有効数字は2桁とした。図８について、直線のグラフになったので、グラフの直線を最小自乗法により求めた。その計算結果は、次のようになった。

･･･①

ここで、最小自乗法とは、直線と実測値との差の自乗をそれぞれの値に対して行い、その和が最小となる直線を求める方法である。

また、なので、





表２　角度の違いによる阻止電圧

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 角度  [°] | 周波数 | 阻止電圧 |
| 0 | 5.09 | 0.70 |
| -2.00 | 5.56 | 0.78 |
| -4.00 | 6.14 | 0.96 |
| -6.00 | 6.86 | 1.2 |
| -8.00 | 7.78 | 1.7 |

･･･②

実験結果から求めた①式と、理論式である②式の対応関係より、*h*及び*W*を求めると、





･･･③





･･･④

となった。

1. **考察**
   1. 目盛板がのとき、白色光になった理由



図９　実験で使った回折格子の構造

この理由を考える前に、実験で使った回折格子について見ていこうと思う。この回折格子は、反射した光に光路差を持たせるものだと考えられる。図９を見て欲しい。回折格子全体の面と格子1つ1つの向きが違う方向を向いているが、この図では格子の段差を大きく書いているので、実際には回折格子全体の向いている角度と格子面の向いている角度はほぼ同じと考えてよい。そのとき、入射光は回折格子全体の傾きθと同じ角度θで入射することになる。そして、反射角はとなる。

さて、実験では、テレメーターレンズで集められた光がスペクトルを作っている。これは光の色によって波長が違うために起こる現象である。回折格子により光路差が生まれているが、この光路差がスクリーンの場所の中で異なっているため、スペクトルが観察されたのである。

実験結果では、目盛板がのとき、白色光が観察された。これは、すべての波長の光に対して、強めあいの条件が揃ったからだと考えられる。強めあいの条件は、図９より、光の波長をλ、格子定数を*d*としたとき、

　(*n*=整数)･･･⑤

と考えられる。において、なので、入射角θは反射角と同じになる。これは、鏡面反射と同じ状態だと考えられる。テレメーターレンズは、入射光に対しの方向を向いているので、鏡面反射した光がテレメーターレンズの方向を向くためには、であればよい。においてこの式が成り立つ条件に、光の波長は関係が無いため、すべての色の光が1点に集まる。その結果、もとの光と同じ白色光になったのである。

* 1. プランク定数の誤差

まずは、相対誤差を求めてみた。(理論値：)



この誤差の原因について考えてみよう。

* + - 目盛の読み方

実験では、電流計、電圧計、目盛板の3つの目盛を目測で読んだ。有効数字を2桁としたのだが、それでも誤差が生じている可能性がある。特に、電流計については、針の振れがなかなか止まらなかったので、読むことが困難だった。そのため、目盛の読み方の規準が曖昧になっていたことが考えられる。

* + - サンプルの少なさ

最小自乗法でグラフの直線を求める際には、サンプルが少ないと1つ1つの結果の影響が大きくなってしまう。誤差を減らすためには、もっと多くの周波数の光について記録をとらなければならない。

* + - 光電流の値

実験では、光電流が0.01*μA*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を見ると、光電流が0.01*μA*違うだけでも、逆電流が変わってしまうことが分かる。よって、誤差の原因となりうる。

* + - 系統誤差

装置の能力のために、誤差が生じてしまう。特に、電流計及び電圧計の配線において、抵抗が生じているため、誤差が生じる可能性が高い。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。

このように原因を考えた上で、表２及び図８を見ると、目盛板の角度がのときの阻止電圧の測定値が、グラフの直線に比べかなり大きな値をとっているように見える。この結果により直線の傾きが減ってしまった、すなわちプランク定数の計算値が小さいものになってしまったと考えられる。

1. **感想**

回折格子によってスペクトルを見ることができた点が面白かった。電流計で逆電圧や阻止電圧を測定する際、なかなか針が止まらず、根気の要る実験だと思った。光を金属に当てると電流が発生するということに実験をするまで実感が無かったが、実験を通してその様子を観察でき、良かったと思う。

1. **参考文献**

* 「自然科学実験　物理学編　2000」2000年発行

慶應義塾大学理工学部

* 「初等物理シリーズ8　光と電波」1990年発行

好村滋洋著　培風館発行