自然科学実験：物理　１０月２５日実験

**『光電効果』**

　　　　　　　　　　　　　　　　　　１年ラ組　２６番　学籍番号６０１１９６４５

学門２　　　細川 陽介

1. **実験目的**

光電管を利用してプランク定数と仕事関数を求め、光電効果を理解する。

**【２】実験原理**

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νがある値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ｈν（ｈ：プランク定数）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ｈν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ｈν＜Ｗならば光電子は発生せず、ｈν≧Ｗならば発生した光電子の運動エネルギーＥは

Ｅ＝ｈν－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。

**【３】実験手順**

（１）「ＰＯＷＥＲ」スイッチ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、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、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を出射スリットを通ることを確認した。目盛板が－２２．５°付近で色分けされないのは何故か考察した。

（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」ＯＦＦ、「ＣＯＬＬＥＣＴＯＲ　ＶＯＬＴＡＧＥ」最小（、「ＺＥＲＯ　ＡＤＪ．」中央、「ＧＡＩＮ」×１、各スイッチとつまみを上述の位置に合わせた。

（６）「ＰＯＷＥＲ」をＯＮにした。

（７）「ＣＯＬＬＥＣＴＥＲ　ＶＯＬＴＡＧＥ」を時計方向にゆっくり回し、電圧計を３Ｖにした。

（８）目盛板を０°に合わせた。

（９）「ＬＡＭＰ」スイッチをＯＮにした。

（１０）入射スリットを閉じた。

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

（１２）「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逆電圧をゼロにした。

1. 入射スリットをゆっくり開き、光電流を１００μＡにした。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。
2. 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。
3. 同様にして、光電流が０．０２μＡ、０．１μＡ、０．２μＡ、０．４μＡ、１μＡ、２μＡ、４μＡ、１０μＡ、２０μＡ、４０μＡとなる逆電圧をとった。
4. 「ＣＯＬＬＥＣＴＥＲ ＶＯＬＴＡＧＥ」を３Ｖに戻した。
5. 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。
6. 目盛板を－８°にして（１０）から（１８）までの操作を繰り返した。
7. 目盛板を－４°、－６°にして同様の操作をした。光の周波数νと阻止電圧Ｖ０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。
8. この直線の勾配からｈを求め、次いでＷを求めた。

**【４】実験結果**

実験結果を以下の表にまとめる。

表１：回折角と色の関係

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **回折角** | +40 | +30 | +20 | +10 | 0 | -10 | -20 | -30 | -40 | -50 | -60 | -70 | -80 | -90 |
| **色** | － | 赤 | 緑 | 紫 | 橙 | － | － | － | 青 | 赤 | 青 | 黄緑 | 赤 | － |

表2：逆電圧と光電流の関係

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 光電流  (μＡ) | ０°時の逆電圧(Ｖ) | －８°時の逆電圧 | －６°時の逆電圧 | －４°時の逆電圧 |
| 0.01 | 0.700 | 1.540 | 1.30 | 1.00 |
| 0.02 | 0.640 | 1.483 | － | － |
| 0.1 | 0.560 | 1.347 | － | － |
| 0.2 | 0.526 | 1.288 | － | － |
| 0.4 | 0.490 | 1.222 | － | － |
| 1 | 0.460 | 1.118 | － | － |
| 2 | 0.420 | 1.008 | － | － |
| 4 | 0.380 | 0.882 | － | － |
| 10 | 0.320 | 0.664 | － | － |
| 20 | 0.260 | 0.440 | － | － |
| 40 | 0.178 | 0.102 | － | － |

また、

図３：逆電圧と光電流の関係のグラフ

図４：阻止電圧と振動数の関係のグラフ

これらを巻末に記載した。

* **ｈとＷの算出**

実験値を用いてｈ、Ｗを求める。

ｈν≧Ｗのとき発生した光電子の運動エネルギーＥは

Ｅ＝ｈν－Ｗ

　であるから、

*E= hν－W－ｅＶ*　　　　（ｅ：電子の電荷）

と書ける。いまここで光電流が０．０１［μＡ］の時、Ｅは限りなく０に近いから

　(2)

と変形できる。よって、Ｖがνの関数として表され、それが直線関数であることがわかる。ｈとＷを求めてみる。

Ｙ＝ＡＸ＋Ｂにおいて、Ｘの値に対しＹがそれぞれと測定されたとする。ここから予想される理論値と測定値の差の自乗の和



を最小にするＡとＢの値がもっとも正しい値と考えられる。このようなＡとＢはとの２つの条件から決められ、これらの条件はつまり、



であるからこれらを解けば、ＡとＢが求まる。

上式より、Ｘをν、ＹをＶ、Ａ＝、Ｂ＝－として考え、それぞれの値を求めると

Ａ＝0.40746×10－15

Ｂ＝8.02233

が得られる。よって、e＝1.6021765×10－19を代入して、

ｈ＝ｅ×4.0746×10－15＝6.52823×10－34［J･s］

Ｗ＝ｅ×8.02233＝1.28566×10－19［J］

が導かれる。

**【５】考察**

* **目盛板が－22.5°で色分けされない理由**

４０°～－９０°のスペクトル変化を示すと、

４０°～８°　　　：　赤→青

８°～－１２°　　：　赤→青

－２２．５°　　　：　白色光

－３０°～－５７°　：　青→赤

－５７°～－９０°　：　青→赤

図１

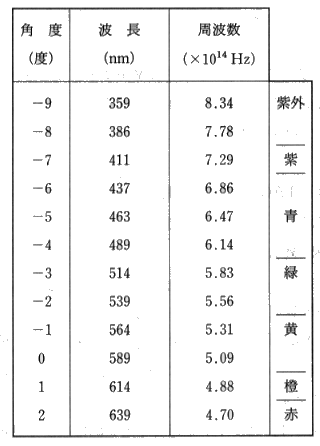


　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　図１：「自然化学実験物理学編2001」より

図２のように光が入射し、反射している回折格子を考える。（α＜β）二つの光波の光路差をΔとすると、





二つの光波が干渉しあう条件は光路差が半波長の整数倍になることだから、



　（ｍ＝１，２，…）　　　となる。

図２

　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　図２：「自然化学実験物理学編2001」より

一方実験においては、光源と回折格子と光電管のなす角度は４５°であるから、回折格子の回転角度を－２２．５°としたとき入射角と反射角の角度が２２．５°となり等しくなる。よって、α＝β＝２２．５°となるため、



つまり、光路差が０だから、光波は互いに干渉することなく光源の光がそのまま反射して光電管側で観測される。よって、スペクトルは観測されない。

この単なる鏡面反射（β＝－α）を０次のスペクトルという。０次のスペクトルはすべての波長の光を含む。

* **プランク定数ｈについて**

プランク定数の文献値は　　ｈ＝6.62607×10－34［J･s］

今回の実験値は　　ｈ＝6.52823×10－34［J･s］

相対誤差を求めると、



となり、なかなかの精度ではあるものの微妙な誤差が生じている。誤差の原因を考えてみる。

今回の実験器具は精度の高いものであるので、実験器具により大きな誤差が生じたとは考えにくい。そこで考えられるのはやはり、数値の読み間違いである。なぜなら、微小な値を扱う実験であった上に、ある程度目測で数値を読み取るしかなかったからである。

* **光電効果について**

金属の表面に光を照射すると、電子が放出される現象を光電効果という。この現象の特異な点は､一つの金属に対して光の特定の波長が対応し､以下の波長の光でなければ電子の放出が起こらないことである。金属内の電子はあるエネルギーＷを持って､金属内に束縛されている。これを外へ飛び出させるには､少なくともＷ以上のエネルギーを電子に与える必要がある。

古典理論によると､光のエネルギーはその強度に比例するから､強い光を当てれば､波長に無関係にこの現象が起こり､またたとえ波長は短くても､弱い光では電子を飛び出させることはできないはずである。飛び出す電子の数は光の強さに比例するが､より短い波長の光であれば、弱い光でもこれを当てたときには、少ないながらも電子が即座に放出される。これに反し､より大きい波長の光では、どんなに強い光でも電子は全く放出されない。この現象は古典論では説明できない。

そこでアインシュタインは、光をという、エネルギーを持った粒子と考えて､これを簡単に説明した。

エネルギーが電子に与えられたとすれば､金属に特有な、あるエネルギー値ｗがあって､＜ｗならば電子は外へ出ることができないが､ε＞ｗであれば金属の表面を通って外へ飛び出す。したがってという振動数､あるいはが前記の限界波長で、の時に電子が放出されることがわかる。この場合あまったエネルギーは電子の運動エネルギーになる。すなわち光のエネルギーの一部は電子が金属から脱出するためのＷ、残りが運動エネルギーに変わるのである。ここにｍは電子の質量､vはその速度である。

　この式からv､ωを知れば､Ｗの値が求められる。Wの大きさは通常の金属で数電子ボルトである。X線で照射した場合などでは､が数千電子ボルトであるから、Ｗの項は省略され､放出される電子の速度を測ることによりｈの値が決定される。同時にこの逆の現象､すなわち普通のX線管の中におけるように、高速の電子が金属に当たって止められる場合､いわゆる制動輻射において､放射されるX線の波長に下限があり、衝突電子のエネルギーが大きいほどその値が小さくなることがわかる。

* **その他**

今回の実験で用いたＷの文献値を見つけることができなかったため、誤差などの比較検討は行えなかった。また、光電流0.04μＡでの逆電圧を測り忘れてしまった。実験結果に大きな影響を及ぼしたとは考えられないが、今回の実験における反省点の一つである。

≪参考文献≫

「自然化学実験物理編２００１」・・・・学術図書出版社

「大学理工系物理学」・・・・・・・・・佐々木宗雄著　　理工学社

「物理学の歩み」・・・・・・・・・・・鳴海元著　　培風館

「量子力学の考え方」・・・・・・・・・砂川重信著　　岩波書店