１．実験の目的

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。観測によると、光の周波数νがある値ν0より小さいときは光を強くしても光電子は発生しない。また、νがν0より大きいときには、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となどが分かった。この現象を説明するために、アインシュタインは光量子仮説を提案した。

　光量子仮説によると、周波数νの光はエネルギーhνを持つ粒子からなる。hはプランク定数である。この粒子を光子(photon)とよぶ。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は物質特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　①

によってあたえられる。もし二つ以上のνの値に対してそれぞれEが測定できれば、(1)式からhとWを決めることができる。Ｅは、光電子を減速する向きの電圧Ｖ（逆電圧）を徐々に大きくし、光電流がほぼ０になる電圧Ｖ０（－Ｖ０は阻止電圧）を知ることにより、Ｅ＝ｅＶ０から測定できる。

（ｅは電子の電荷でＶ０＝１［Ｖ］の時、Ｅ＝１（ｅＶ）＝１．６０×１０－１９［Ｊ］）

３．実験方法

1. 本体操作パネルのタ－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。以後どちらもレンジを変えなかった。
2. 各スイッチとつまみを次の位置にした。

「ＬＡＭＰ」ＯＦＦ

「ＣＯＬＬＥＣＴＯＲ ＶＯＬＴＡＧＥ」最小（反時計方向）（ポテンシオメータなので摩耗を防ぐために５秒で１回転くらいのゆっくりした速度で回した。）

「ＺＥＲＯ ＡＤＪ．」 中央(真上)

「ＧＡＩＮ」×１

1. 「ＰＯＷＥＲ」をＯＮにした。
2. 「ＣＯＬＬＥＣＴＯＲ ＶＯＬＴＡＧＥ」を時計方向にゆっくり回し、電圧計を３Ｖにした。
3. 目盛板を０°にした。このとき光電管にあたる光の波長は５８９ｎｍである。
4. 「ＬＡＭＰ」をＯＮにした。
5. 入射スリットを閉じた。スリットが完全に閉じなので紙を置いて光を遮った。
6. 電流計がゼロからずれていたので、「ＺＥＲＯ ＡＤＪ．」によりゼロに調整した。
7. 「ＧＡＩＮ」を×１００にして、同様にゼロ調整した。
8. 「ＧＡＩＮ」×１に戻した。
9. 「ＣＯＬＬＥＣＴＯＲ ＶＯＬＴＡＧＥ」を反時計方向にいっぱい回し、逆電圧をゼロにした。
10. 入射スリットをゆっくり開き、光電流を１００μＡにした。±１μＡ程度の誤は無視した。
11. 逆電圧を３Ｖに戻した。
12. 「ＧＡＩＮ」の×１と×１００の順で再び電流計のゼロ調整をした。
13. 逆電圧を３Ｖから徐々に下げ、光電流が０．０１μＡ（×１００でμＡ）になる逆電圧を読んだ。逆電圧を変えてから電流が落ち着くまで１０秒程かかるので注意して読んだ。
14. 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となる逆電圧を読んだ。
15. 「ＣＯＬＬＥＣＴＯＲ ＶＯＬＴＡＧＥ」を３Vに戻した。
16. 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。
17. 目盛板を－８°（波長３８６ｎｍ）にして、（７）から（１８）までの操作を繰り返した。ただし、（８）から（１０）は省略した。
18. －３°、－５°の角度に対して同様の操作をした。
19. 周波数と阻止電圧のグラフをより正確にするため－１°、－２°－４°、－６°、－７°について、（７）から（１５）までの操作をした。
20. 逆電圧を３Ｖに戻してから、「ＬＡＭＰ」「ＰＯＷＥＲ」の順に切り、電流プラグを抜いた。

４．実験結果

表１：逆電圧と光電流

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | 逆電圧 |  |  |
| 光電流（μＡ） | 0° | －3° | －5° | －8° |
| 0.01 | 0.672 | 0.840 | 1.050 | 1.660 |
| 0.02 | 0.612 | 0.788 | 1.018 | 1.518 |
| 0.04 | 0.562 | 0.760 | 0.978 | 1.468 |
| 0.1 | 0.520 | 0.720 | 0.930 | 1.380 |
| 0.2 | 0.490 | 0.684 | 0.890 | 1.322 |
| 0.4 | 0.462 | 0.652 | 0.842 | 1.260 |
| 1 | 0.424 | 0.600 | 0.780 | 1.164 |
| 2 | 0.392 | 0.550 | 0.718 | 1.080 |
| 4 | 0.358 | 0.498 | 0.642 | 0.976 |
| 10 | 0.298 | 0.418 | 0.522 | 0.798 |
| 20 | 0.240 | 0.340 | 0.420 | 0.628 |
| 40 | 0.160 | 0.240 | 0.300 | 0.420 |

表２：逆電圧と分光器のスペクトル特性

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 角度 | 0 | -1 | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 |
| 逆電圧 | 0.672 | 0.680 | 0.718 | 0.840 | 0.940 | 1.050 | 1.178 | 1.388 | 1.660 |
| 波長 | 589 | 564 | 539 | 514 | 489 | 463 | 437 | 411 | 386 |
| 振動数 | 5.09 | 5.31 | 5.56 | 5.83 | 6.14 | 6.47 | 6.86 | 7.29 | 7.78 |

ここで、　　　（ｅは電子の電荷）より

　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。ここで最小自乗法によってｈとＷを求めると



が得られる。よって、



となる。

次項に光電流と逆電流および周波数と阻止電圧のグラフを載せる。

５．考察

1. 理論値と誤差

・プランク定数ｈについて

実験値 

理論値 

誤差は、１２．３％であった。

ここで、誤差が出た要因について考えてみると次のことが挙げられる。

（ⅰ）０調節

（ⅱ）電流計、電圧計の読み違い

（ⅲ）回折格子の角度

（ⅰ）について

時間が余ったので実験方法の（４）から（１４）を繰り返してみたが、正確に０を指すことはなかった。これは、装置自体に異常があったと思われる。しかし、このことがどのくらいの誤差を引き起こしたかはわからない。

（ⅱ）について

これは、誤差をほとんど引き起こした思われる。なぜなら、針が止るまで、

１０秒以上待ってから目盛を注意して読んだからである。

（ⅲ）について

表２を参考に角度が０．１°ずれたときの波長のずれを考えてみると、およそ２．５ｎｍである。これは、－８°（波長 ３８６ｎｍ）のときでも０．６５％とほとんど影響しない。

（２）回折格子を－２２．５°にしたとき分光しないわけ

格子定数ｄの平面回折格子に平行な白色光が入射角αで入射し、波長λの回折光が回折角βの方向に現れるとする。このときλは

ｄ（ｓｉｎα－ｓｉｎβ）＝ｎλ （ｎ＝０、±１、±２…）

で与えられる。ｎ＝０のときは回折ではなく、単なる鏡面反射（β＝α）となる。これを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。つまり、目盛板が－２２．５°のときは入射角と回折角が同じなので、０次のスペクトルとなり、色分けされないのである。

ｄ（ｓｉｎ２２．５°－ｓｉｎ２２．５°）＝ｎλ＝０

・光を粒子として考えなければならない理由

光電効果の研究をしていたレナルト（Lenard）は１９０２年に次の注目すべき事実を見出した。

　（Ⅰ）光電効果を起こすためには、ある限界振動数よりも大

　　　きい振動数の光を照射しなければならない。限界振動数

　　　は金属に応じて異なる。

　　（Ⅱ）光電子の最大エネルギーは光の強さによらず、光の振

　　　　動数と共に増す。

　　（Ⅲ）限界振動数以上であれば、光の強さが非常に弱くても、

　　　　光を当てると直ちに光電子が出る。光の強さを増せば、

　　　　光電子の数が増すだけである。

これらの事実は光を波動と考えたのではまったく説明のつかない事柄である。なぜなら古典論によれば、光の波は一点に局在するのではなくて、空間的な広がりを持っており、光のエネルギーはその空間的広がりの中に連続的に分布している。そしてこのエネルギーを荷電粒子は連続的にしか放出吸収できないものと考えられている。それゆえ光の振動数がいかに小さくても十分強い光を照射すれば、金属内の電子は十分なエネルギーを光から吸収して表面から飛び出しうるはずである、またいかに振動数が大きくても、非常に弱い光であればエネルギーが足りず、電子が飛び出すのに必要なエネルギーを集めるには、かなりの時間が必要で、瞬間的に飛び出すことはできないはずだからである。

アインシュタインは光電効果を次のように説明した。彼はプランクのエネルギー量子の考えをさらにおしすすめて、振動数νの光はｈνなるエネルギーを持つ粒子の流れであると考えた。この粒子を光子という。そして電子が光のエネルギーを吸収する際には、一個の光子が一挙に一個の電子に吸収されるものと考えたのである。金属の表面から電子一個を取り出すのに要する仕事の最小値をＷ（仕事関数）とすると、光の振動数νが条件

ｈν＞Ｗ

を満足する場合に光電効果が起こることになり、（Ⅰ）の事実が説明できる。Ｗ／ｈが限界振動数である。また、放出される光電子の最大エネルギーは保存則より



となり、（Ⅱ）も説明される。光の強さは含まれる光子の数に比例し、また一個の光子が一挙に、一個の電子に吸収されると考えるのであるから、（Ⅲ）は当然のこととして説明される。こうして光電効果の現象は、古典論とはまったく異なる光子という考えによって説明されたのである。

・光の研究の歴史

光の研究は、まず光線の幾何学として成長した。この成果が、例えば望遠鏡や顕微鏡の進歩を導き、それらがほかのあらゆる経験科学の発展に貢献してきたことも、見逃してはならない。一方、光の本性については、古くギリシア時代から問題にされていたけれども、光の現象を統一的に把握する科学の体系が確立されたのは、ようやく１９世紀になってからである。つまり１７世紀には、すでにホイヘンスが光の波動説を主張し、同時代のニュートンはこれに反して粒子説の優位を認めていたが、このどちらがいっそうすぐれた体系であるかを決定するには、経験的事実がまだ十分に整っていなかったと考えられる。１９世紀のはじめに、ようやく干渉や回折の事実を通して、光の波動としての性質が導入され、ヤングやフレネルなどは、改めてホイヘンスの波動説を支持するようになった。さらに偏光という現象は、光波が純粋に横波であるという仮説を導いた。そうしてついに、媒質中の光速度測定の結果は、決定的に粒子説を放棄させたのである。このようにして、光についてのあらゆる現象は、光波という描像のもとに、初めて統一的な理解を得たわけである。

ところが、光波の媒質として仮定されたエーテルは、透明な物質をはじめ全空間を満たす（横波だけを許すような）特定の弾性体に違いないが、それでも物質の運動には、どんな影響も与えてはいないはずである。このように特殊な媒質のメカニズムをたずねることは、非常に困難な問題であった。

しかし一方では、電気や磁気の現象を統一的に理解することができたマクスウェルの場の理論から、必然的に真空中をも伝播する、電磁波の存在が予見され、しかもその伝播速度が光波の速度に一致するところから、光波も電磁波に違いないと結論された。このマクスウェルの理論は、あとでヘルツによって実験的に検証され、ここに光の電磁（波動）論が確立されたのである。その結果、エーテルの実在性の問題は、電磁場の構造の中に解消し、縦波が自然に除かれる点も、この理論がエーテルの弾性波動論より、はるかにすぐれていることを示している。

こうして巨視的な領域における光の理論が、とにかく電磁場の理論に統一されたことは、自然法則の普遍性に対する確実な証拠の一つであるとみなしてよいだろう。しかし光の発生や吸収、あるいは散乱の現象（光と物質との相互作用）を理解するためには、どうしても物質の微視的な構造に立ち入らなければならない。アインシュタインはこれと同時に、光に対しても粒子説の復活を指摘したのである。けれども、この粒子像はもはやニュートンの構想を単に再現しただけではない。やがて波動像との根本的な調和の一面をになうようになった。これがエディントンのいう波粒(wavicle)として、場の概念と粒子の概念とを一応統一した、量子力学の自然像を準備したのである。

６．参考文献

物理学の歩み：　鳴海元著　（株）培風館