

光電効果

有馬海人

2018 年 1 月 18 日

1 実験の目的

光電管を用いてプランク定数を測定する。また、光電効果の諸特性について得られた測定値を元に検証を行う。

2 実験の原理

金属表面に特定の振動数以上の光が当たると電子が飛び出す現象は光電効果として知られている。光電子の運動エネルギー K と光の振動数 ν , 金属表面から光電子が飛び出してくるのに必要なエネルギーを W とすると、これらの量には次式の関係が成り立つ。

$$K = h\nu - W \quad (1)$$

ここで、 h はプランク定数である。光電効果は次のような性質を持つことがわかっている。

1. 金属の種類によって決まる限界振動数より小さい振動数の光では、光の強度を強くしても光電子は観測されない。逆に、光の振動数が限界振動数より大きければ、光の強度がどんなに小さくても光電子は観測される。
2. 光電子の運動エネルギーは光の強度によらず、光の振動数のみに依存する。
3. 光の振動数を一定にし、その強度を強くしていくと光電子の数が増加するが、光電子の運動エネルギーは変化しない。

光電管は光電効果を利用して光エネルギーを電気エネルギーに変換する電子管で、ほぼ真空のガラス管内に入れた陽極と陰極からなる。陰極に限界振動数より高い振動数の光を当てると、光電子が飛び出し陽極へ到達し、電流として取り出すことができる。この電流を光電流と呼ぶ。陰極には仕事関数が小さいアルカリ金属が用いられる。

以上から、光電管を用いて光電子の運動エネルギーを測定すれば、プランク定数を求めることができる。また、同様の測定を条件を変えて光電流を測ることで、上記の光電効果の諸性質を定量的に検証することができる。

光電管には、光電面から飛び出した光電子を陽極から追い返す向き、あるいは加速する向きに電圧を変化さ

せながら印可できるよう工夫されている。光電管に対する印可電圧と陽極より取り出した光電流はそれぞれ電圧計と電流計によって測定できる。

適当な光源を用意して光電管に当てて、光電面から飛び出した光電子に対して逆方向電圧 V をかけると、光電子はクーロン斥力のために陽極に到達しにくくなる。印可電圧をあげると、ついには光電子は全て電圧によって追いつかれ陽極に到達できなくなる。すなわち、光電流はゼロとなる。この時の電圧を V_0 とすると、電圧によって光電子が失うエネルギーと光電子が陰極を飛び出した瞬間に持っていた運動エネルギーが等しいので、 $eV_0 = K$ となる。従って V_0 を測定することで、光電子の最大エネルギーの大きさを知ることができる。なお、電子など荷電粒子のエネルギーの大きさは電子ボルトがよく用いられる。1 電子ボルトは

$$1\text{eV} = 1.6022 \times 10^{-19}\text{J} \quad (2)$$

である。これは 1 つの電子が 1V の電圧によって加速されるときに得る運動エネルギーの大きさに等しい。

3 実験の方法

3.1 準備

1. NULL キーを off, ランプを点灯し, 光電管に 2V を印加した。
2. 赤色フィルタを挿入し電流値を 10 回測定した。
3. 橙, 黄, 青色フィルタについて同じ測定を行った。
4. 全測定値中で一番大きな電流値が出現するフィルタを挿入した。
5. 表示される測定値が測定された最大値と同程度となったとき NULL キーを押した。
6. 数回値を観測して平均的に負値となることを確認した。

3.2 測定 1

1. 絞板は挿入せず, 赤色フィルタのみ挿入した。
2. 電圧を 0V にして光電流値を測定した。
3. 電圧を 0.05V 毎に変え, その都度光電流を測定した。
4. 光電流値の平均値の前の値との差が 5 点以上変化しなくなるまで測定を繰り返した。
5. 手順 (2) 以降の手順で測定を繰り返した。

3.3 測定 2

1. 7mm の絞板を挿入した。
2. 黄, 青フィルタについて測定 1 の (2)~(4) を行った。

3.4 測定 3

1. 印加電圧を 0V とし, 色フィルタをはずした。

2. 20mm の絞板で光電流値を測定した。
3. 全ての絞板で同様に光電流値を記録した。

4 測定結果

測定 1 の結果から、横軸を電圧、縦軸を電流にとって全ての色フィルタの測定値を 1 枚のグラフ図 1 に書いた。

この傾きはプランク定数 h なので、素電荷 $e = 1.60217 \times 10^{-19}$ とすると

$$h = e \cdot \frac{V_1 - V_2}{I_1 - I_2} = 1.602 \times 10^{-19} \frac{1.16 - 0}{(7.35 - 4.2) \times 10^{14}} = 5.89 \times 10^{-34}$$
 となった。また、このグラフの傾きは $\frac{40 - (-18.0)}{(7.4 - 2.8) \times 10^{14}} = 0.368 \times 10^{-14}$ なので、グラフの切片は $1.16 - 0.368 \times 7.35 = -1.548$ よって、仕事関数は単位を eV にすると 2.47eV となる。

また、測定 2 の結果から、横軸を電圧、縦軸を電流にとって全ての測定値を一枚のグラフ図 3 に書いた。

この傾きもまた、プランク定数 h なので、先程と同様に計算すると

$$h = e \cdot \frac{V_1 - V_2}{I_1 - I_2} = 1.602 \times 10^{-19} \frac{1.04 - 0.08}{(7.53 - 4.2) \times 10^{14}} = 4.62 \times 10^{-34}$$
 である。また、このグラフの傾きは $\frac{1.04 - 0.08}{(7.53 - 4.2) \times 10^{14}} = 0.288 \times 10^{-14}$ なので、グラフの切片は $1.04 - 0.288 \times 7.53 = -1.129$ よって、仕事関数は単位を eV にすると 1.81eV となる。

5 考察

5.1 光子数と光電子の運動エネルギーに関する考察

測定結果を計算した結果、仕事関数は 1.81eV, 2.47eV となったこのことからテキストにある文献値の値と比較して、今回の実験において使われていた金属は Cs もしくは K であると考察する。測定結果の計算結果である 2.47 を基準とした 1.81 の誤差は $\frac{2.47 - 1.81}{2.47}$ より 0.27 であった。この値の違いは小さくはないと考察する。このような結果の違いは実験を早く切り上げたことと、測定 2 のカラーフィルタの種類が少なかったからであると考察する。なぜなら、前者に関してはもう少し、測定の際に値がより安定するようにするまで実験を続けたらどの測定に関しても実験結果は安定するため、このような実験結果から計算する結果に違いは生じないと考察するからである。また、後者に関してはカラーフィルタの種類が多い場合、阻止電圧の数が増えるのでグラフがより安定すると考察するからである。しかし、測定の 1, 2 の両方で大きく値が異なることはなかった。測定 2 では絞板を使って講師の量を減らしているという条件があってもこの結果なので光電子の運動エネルギーは光子の量とは関係がないと考察する。

5.2 光子数と光電子数の関係に関する考察

グラフより、光電効果の発生する条件下では、光の強さは光子の多さと同じなので、光子の量と発生する光電子の量は比例すると考察する。なぜなら図 5 は単調増加のグラフであるからである。また、非常に小さい光であっても光電子は必ず出てくることである。なぜなら、遮光板であっても外の光によってか、高精度な電流計で光電子の発生を確認することができたからである。

参考文献

- [1] 共通教育部自然科学部会（物理）、『基礎科学実験 A（物理学実験）平成 29 年（2017 年）版』