

## 1 目的

光電管を用いて基礎物理定数のひとつであるプランク定数  $h$  および仕事関数  $W$  を測定する。

また、光子数と光電子数の関係について考察する。

## 2 原理

金属表面にある振動数以上の光を当てると電子 (光電子) が飛び出す。この現象を光電効果という。光電子の運動エネルギーを  $K$ 、光の振動数を  $\nu$ 、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 (仕事関数) を  $W$  とすると、以下の関係式が成り立つ。

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

ここで  $h$  がプランク定数である。光電効果には以下のような性質があることが知られている。

- 金属の種類によって決まる限界振動数より小さな振動数の光では、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、光の強度をどんなに弱くしても光電子は観測される。
- 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。
- 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装置であり、陽極と陰極から構成される。陰極に限界振動数をこえりう光を当てると、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。

よって光電管を用いて、光電子の運動エネルギーを測定すれば、(1) 式からプランク定数および仕事関数を求める事ができる。

光電管は真空面から飛び出した光電子に対して特定の電圧をかけながら印可できるようになっている。印可電圧を上げていくといずれ電流は流れなくなる。その時の電圧  $V_0$  を阻止電圧とよび、光電子の最大運動エネルギーを  $K$  とすると次式が成り立つ。

$$K = eV_0 \quad (2)$$

ここで  $e$  は電気素量である。

本実験では複数のカラーフィルタを用いる。カラーフィルタは特定の波長より短い波長を遮断する。例えばあるフィルタでは  $x$  nm より短い波長を遮断するとする。光の振動数  $\nu$  と波長  $\lambda$  の間には、 $\nu = c/\lambda$  の関係式が成り立つので、カラーフィルタを通過した光の振動数  $\nu$  の最大値を  $\nu_{max}$  とすると、その値は次式で与えられる。

$$\nu_{max} = \frac{299792458}{x \times 10^{-9}} \text{ Hz} \quad (3)$$

## 3 実験方法

### 3.1 準備

以下のような手順で電流計の準備をした。

- 電流計の電源を入れた。
- シフトボタンを押したあと DCV ボタンを押して直流電流測定モードにした。
- 右矢印ボタンを 3 回押してディスプレイに 100 NPLC と表示させた。
- NULL キーを off にしランプを点灯し、光電管に 2 V を印可した。
- 赤色フィルタを挿入し、電流値を 10 回測定し記録した。
- 同様の測定をすべての色で行い全測定中で一番大きな電流値が表示された赤色フィルタを再度挿入した。
- 表示された測定値が最大値と同程度になったとき NULL キーを押した。

### 3.2 プランク定数と仕事関数の測定

以下のような手順でプランク定数および仕事関数を求めた。

- 絞板がないことを確認し、光源と光電管の間に赤色のカラーフィルタを挿入する。
- 電圧を 0 V にして光電流値を測定した。
- 逆方向電圧を光電流が変化しなくなるまで 0.05 V 間隔で印可していき、その都度、光電流値を記録した。光電流の平均値の差が 1nA 以下になってから、5 回測定した。
- 以上の測定を全てのカラーフィルタ (橙、黄、青) についても同様に行った。
- 電流速では 3 nA より大きな値では 5 回、これ以下では 10 回測定し、平均値を用いた。
- 光電流地が変化しなくなったときの電圧を阻止電圧とみなし、(2) 式から電子の最大運動エネルギー  $K$  を求めた。またカラーフィルタごとの光の最大振動数を (3) 式から求めた。
- 横軸に光の振動数を縦軸に光電子の運動エネルギーをプロットしグラフを描きグラフからプランク定数および仕事関数を求めた。

### 3.3 光子数と光電子数の関係

以下のような手順で光子数と光電子数の関係について調べた。

- 印加電圧を 0 V とし、色フィルタを外した。
- 絞板を挿入しない場合の光電流値を測定した。
- すべての絞板で光電流値を測定した。
- 横軸に絞板の面積を縦軸に光電流値をとったグラフを作成した。

## 4 実験結果

### 4.1 プランク定数と仕事関数の測定

赤色フィルタを挿入したときの印可電圧と光電流値は次の表のとおりとなった。

表1 赤色フィルタを挿入したときの印可電圧と光電流

印加電圧 $V_s$ / V	光電流 $I$ /nA
0.00	68.9
0.05	50.9
0.10	34.4
0.15	20.7
0.20	11.5
0.25	6.4
0.30	3.6
0.35	2.0
0.40	1.4
0.45	0.8
0.50	1.0
0.55	0.6
0.60	0.2
0.65	0.6

橙色フィルタを挿入したときの印可電圧と光電流値は次の表のとおりとなった。

表 2 橙色フィルタを挿入したときの印可電圧と光電流

印加電圧 $V_s$ / V	光電流 $I$ /nA
0.00	217.5
0.05	176.7
0.10	139.1
0.15	103.9
0.20	73.3
0.25	48.6
0.30	30.1
0.35	18.5
0.40	10.6
0.45	5.9
0.50	3.2
0.55	1.9
0.60	0.7
0.65	0.05
0.70	-0.06
0.75	-0.1
0.80	-0.5
0.85	-0.5
0.90	-0.4

黄色フィルタを挿入したときの印可電圧と光電流値は次の表のとおりとなった。

表 3 黄色フィルタを挿入したときの印可電圧と光電流

印加電圧 $V_s$ / V	光電流 $I$ /nA
0.00	663
0.05	575
0.10	492
0.15	411
0.20	336
0.25	266
0.30	200
0.35	143
0.40	97.9
0.45	64.5
0.50	41.4
0.55	26.2
0.60	15.6
0.65	8.96
0.70	4.96
0.75	2.33
0.80	0.64
0.85	0.81
0.90	0.3
0.95	0.01
1.00	-0.02
1.05	-0.11
1.10	-0.18

青色フィルタを挿入したときの印可電圧と光電流値は次の表のとおりとなった。

表 4 青色フィルタを挿入したときの印可電圧と光電流

印加電圧 $V_s$ / V	光電流 $I$ /nA
0.00	373
0.05	332
0.10	292
0.15	256
0.20	221
0.25	188
0.30	158
0.35	130
0.40	106
0.45	84.4
0.50	66.8
0.55	52.6
0.60	40.5
0.65	30.9
0.70	23.2
0.75	17.0
0.80	12.8
0.85	9.3
0.90	6.6
0.95	4.6
1.00	3.5
1.05	2.8
1.10	2.2
1.15	1.8
1.20	1.3
1.25	1.0
1.30	0.82

(3) 式より求めたフィルタのごとの最大振動数および電流の測定値から求めた阻止電圧、(2) 式より求めた光電子の最大運動エネルギーをまとめたのが以下の表である。

表 5 プランク定数の測定

フィルタの種類	遮断する波長 / nm	振動数 $f$ / Hz	阻止電圧 $V_0$ / V	運動エネルギー $K$ / eV
赤色	590	$5.08 \times 10^{14}$	0.45	0.72
橙色	530	$5.66 \times 10^{14}$	0.60	0.96
黄色	492	$6.10 \times 10^{14}$	0.80	1.28
青色	428	$7.01 \times 10^{14}$	1.30	2.08

グラフの傾きから求めたプランク定数  $h$  の値は

$$h = \frac{(1.30-0.60) \times 1.6022 \times 10^{-19}}{(7.01-5.66) \times 10^{14}} = 0.831... \times 10^{-33} \cong 8.31 \times 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg/s}$$

仕事関数  $W$  の値は

$$W = 4.10 \times 1.622 \times 10^{-19} = 6.65 \times 10^{-19} \text{ J}$$

またグラフから決定される定数  $\delta X = 0.035 \times 10^{14} \text{ Hz}$ 、 $\delta Y = 0.018 \text{ eV}$  を用いてプランク定数  $h$  の不確かさ  $\Delta h$  および仕事関数の不確かさ  $\Delta W$  は以下のように求められる。

$$\Delta h = 8.31 \times 10^{-34} \times \sqrt{\left(\frac{0.018}{1.12}\right)^2 + \left(\frac{0.035}{1.21}\right)^2} = 0.27.. \times 10^{-34} \cong 0.3 \times 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg/s}$$

$$\Delta W = \delta Y = 0.018 \times 1.6022 \times 10^{-19} = 0.0288... \times 10^{-19} \cong 0.03 \times 10^{-19} \text{ J}$$

よってプランク定数および仕事関数は次のように求められた。

$$h = (8.3 \pm 0.3) \times 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg/s}$$

$$W = (6.65 \pm 0.03) \times 10^{-19} \text{ j}$$

## 4.2 光子数と光電子数の関係

絞板の面積と光電流値は以下の表の通りであった。

表 6 絞板の面積と光電流値の関係

絞板の直径 $d$ / mm	絞板の直径の二乗 $S$ / mm <sup>2</sup>	光電流値 $I$ / nA
20	400	1136
14	196	860
10	100	522
7	49	300
5.5	30.25	179
3.5	12.25	45.0

## 5 考察

### 5.1 プランク定数と仕事関数の測定

今回の実験で得られたプランク定数の値は  $h = (8.3 \pm 0.3) \times 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg/s}$  であった。プランク定数の文献値は  $h = 6.62607004 \times 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg/s}$  であり不確かさの範囲で一致していなかった。qq

両者が一致しなかった原因は阻止電圧を求める際、まだ光電流値が収束しきってない段階の電圧を阻止電圧として採用してしまった可能性や、実験器具のウォーミングアップが不十分な段階で実験を行った可能性などが考えられる。

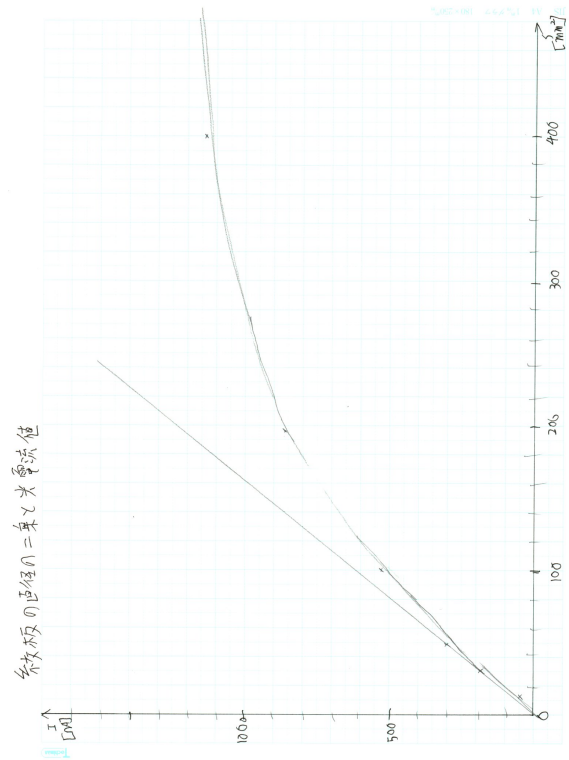
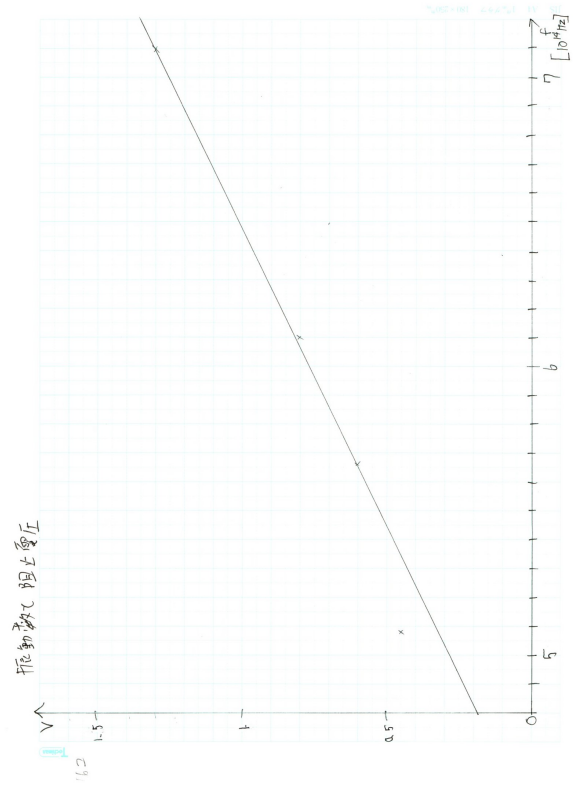
### 5.2 光子数と光電子数の関係

絞板の面積が大きくなれば光電面に入り込む光子数は増える。光子数が増えたとき、光電流値の値は大きくなっており、光電子の数が増えていることが確認できる。ただ、グラフの作成時に指示された横軸の値が半径でなく直径の二乗だったことが少し疑問である。

## 6 参考文献

- 理科年表
- 基礎科学実験 A(物理学実験) 平成 31 年度版





全色フイルムのデータ

