

1 概要

光電効果の特性を調べ、アインシュタインの提唱した光電子説について検証する目的で、今回の実験を行なった。金属に光を当てたときに飛び出してくる電子を光電子といい、図1のような回路において飛び出した光電子に逆電圧をかけ、装置に流れる電流量の変化を計測することで、光電子の持つエネルギーと光の強度、波長についての関係を調べ、光電子効果の特性について一般に言われているように光電子のエネルギーは光の強度に依存せず、光の波長に依存するという現象を確認することができ、アインシュタインの光電子説についての検証ができたと思われる。

2 序論

2.1 目的

金属に光を照射すると、金属内の電子が金属表面より飛び出すという現象を光電効果という。この光電効果の性質について調べるために、照射する光の波長や強度を変えながら測定し、その結果を考察する。

2.2 理論

光電効果は1905年にアルバート・アインシュタインが提唱した光量子仮説によって説明付けられた。この仮説は1916年にミリカンの実験によって光量子仮説が証明されたことにより正しいとされ、当時の物理学に大きな衝撃を与えた。光電効果は、アインシュタインが説明をするまで、次のような特性が発見されていた。

- ある一定以上の波長の光でなければ、電子は放出されない。
- 振動数の大きい光を当てると光電子の運動エネルギーは増加するが、数は増えない。
- より強度の大きい光を当てると光電子の数は増えるが、運動エネルギーは増加しない。

これらの特性は一見、直感に反している。そして、光の波動性では説明することができない。アインシュタインの光量子仮説では、光は粒子としての性質を兼ね備えており、そのエネルギー E は

$$E = h\nu \quad (1)$$

で表されるとした (h : プランク定数, ν : 振動数) [1]。この式より、光のエネルギーは光の振動数に比例することを示しており、波の基本式より、

$$\nu = c/\lambda \quad (2)$$

と表されるため (c : 光速, λ : 波長), 式 (1) は

$$E = hc/\lambda \quad (3)$$

でもあり、光の波長に反比例する。これより、金属表面に飛び出た光電子のエネルギーは

$$E = h\nu - W \quad (4)$$

となる (W : 仕事関数)。ここで光電子に逆電圧をかけた時、アインシュタインの理論が正しいければ

$$E = eV \quad (5)$$

となり、光電子は金属表面上に止まり、光の強度によらず波長だけに依存するはずである。

3 実験

3.1 実験前準備

本実験では図 1 のような回路を用いて、光電子のエネルギーを測定した。この回路において K の電位を P よりも高くし PK 間に逆電圧をかけた。そして、逆電圧を大きくしていくことで光電流の変化を観測し、記録した。使用した装置は図 2 であり、計測前に余分な光が入らないように入口スリットとレンズ間にカバーを被せる遮光措置を行った。また、電圧計は $3V$ に、電流計は $100\mu A$ に接続し、電源は $100V$ のものを使用した。実験前の調整として角度板を -4 度に設定し、 $489nm$ の光を取り出せるようにし、光電管に $2.0V$ の逆電圧をかけた。スリッドを全閉し、光源を ON に切り替えた後に電流計のゼロ調整をし、逆電圧を $0V$ に作業を行なった。その後にスリッドを少しずつ開いていき、電流計の値を $90\mu A$ 以内で最大の値にセットした。今回は $82\mu A$ であった。最後に逆電圧を $2.9V$ に戻し、電流計が 0 を示していることを確認した。

3.2 実験手順

逆電圧を $0V$ に設定し、減光板を 0 枚から 4 枚に増やしながら各光電流値を測定し、逆電圧を $0.1V$ ずつ大きくしながら繰り返し、 $0.7V$ まで測定した。そして角度板を -8 度、 -6 度、 -2 度と変更し、各波長について上記の手順を繰り返し、光電流を測定した。

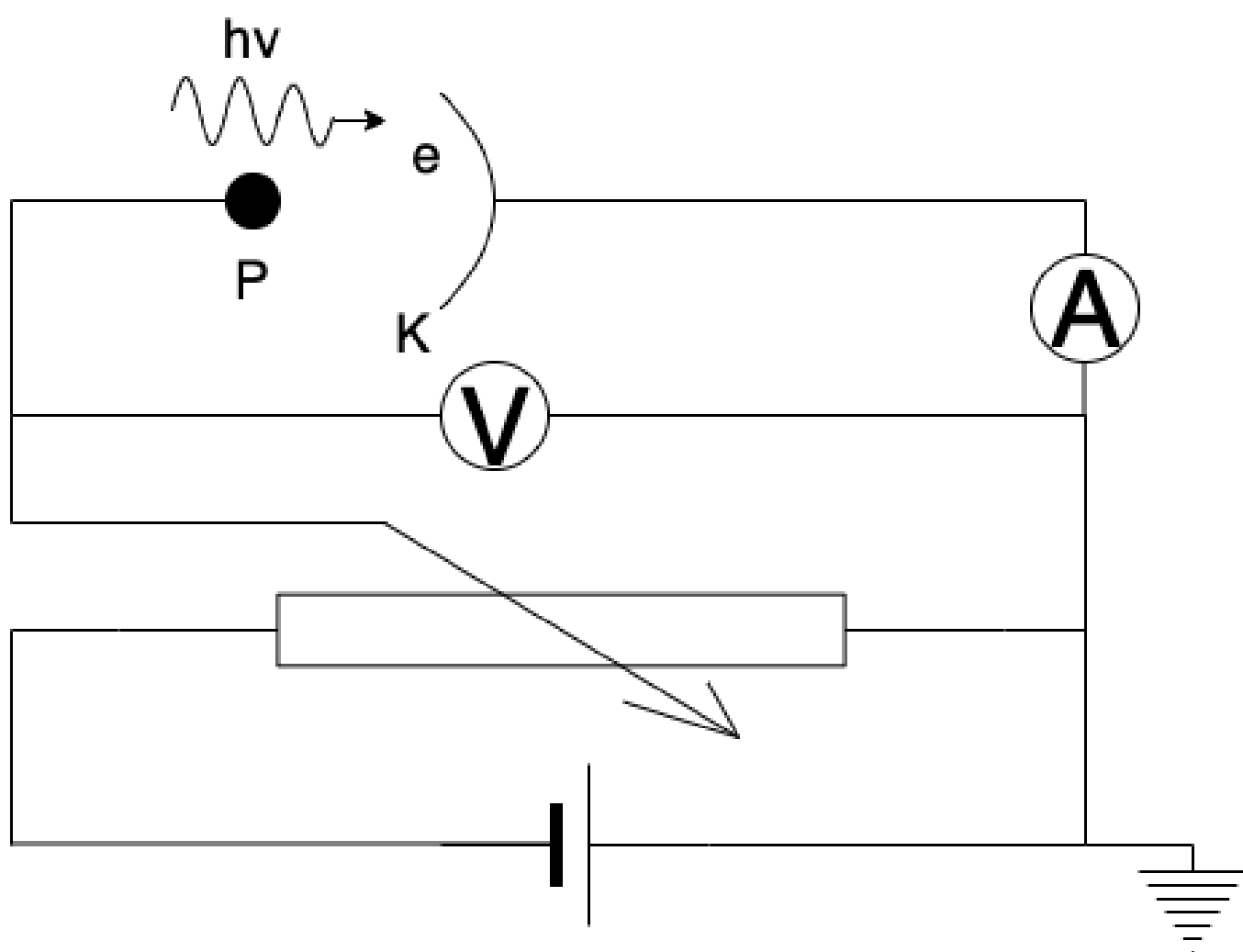


图 1 回路图 [2]

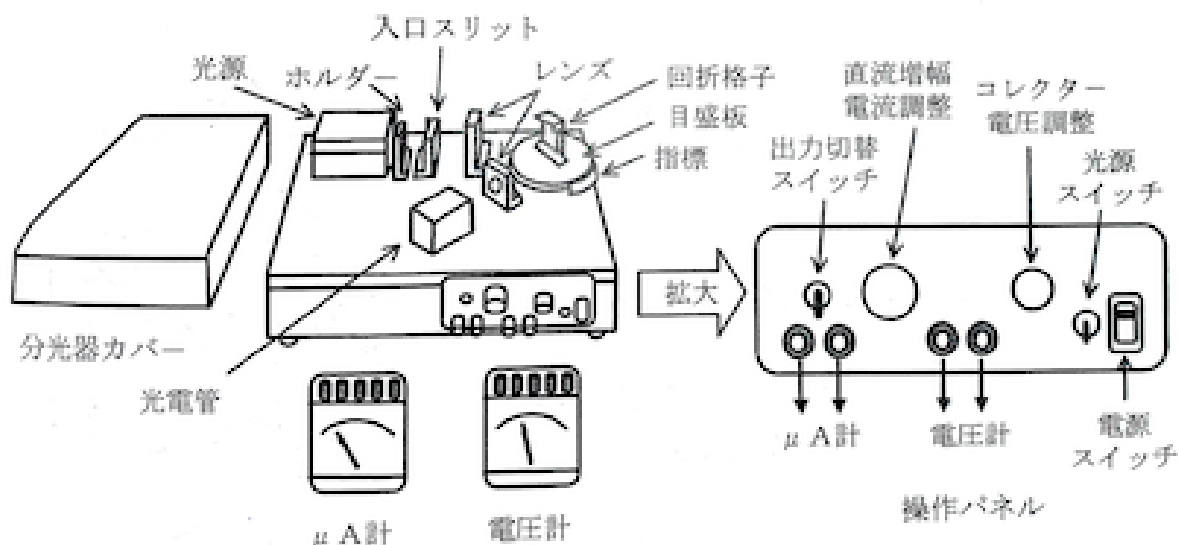


図2 実験装置と計測器 [2]

4 結果

測定を行なった結果、各波長における減光板0から4枚の時の光電流値は表1から表4となった。これらを縦軸に光電流、横軸に逆電圧をとったグラフに起こすと図3、図5、図7、図9のようになった。また、縦軸を $I_n/I_0 (n > 0)$ とし、横軸に逆電圧をとった図4、図6、図8、図10において各減光板の枚数において各電圧におけるそれぞれの点は定数倍になっているように見えた。

表1 -2度における光電流の測定結果

| 減光板の枚数 | 逆電圧 0[v] における光電流 | 逆電圧 0.10[v] における光電流 |
|--------|------------------|---------------------|
| | [μA] | [μA] |
| 0 | 80.0 | 1.0 |
| 1 | 43.0 | 1.0 |
| 2 | 24.0 | 1.0 |
| 3 | 13.0 | 1.0 |
| 4 | 6.5 | 1.0 |

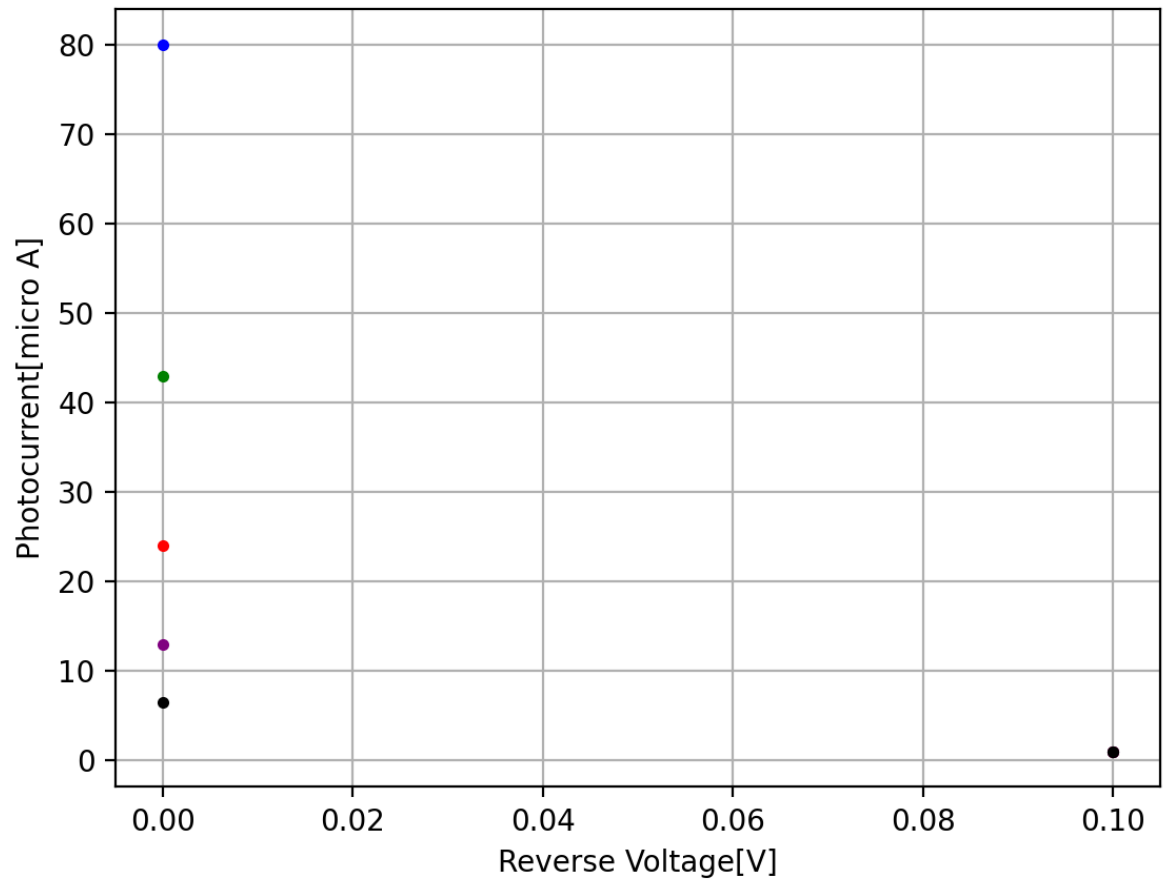


図 3 角度板が-2 度における光電流と逆電圧の関係

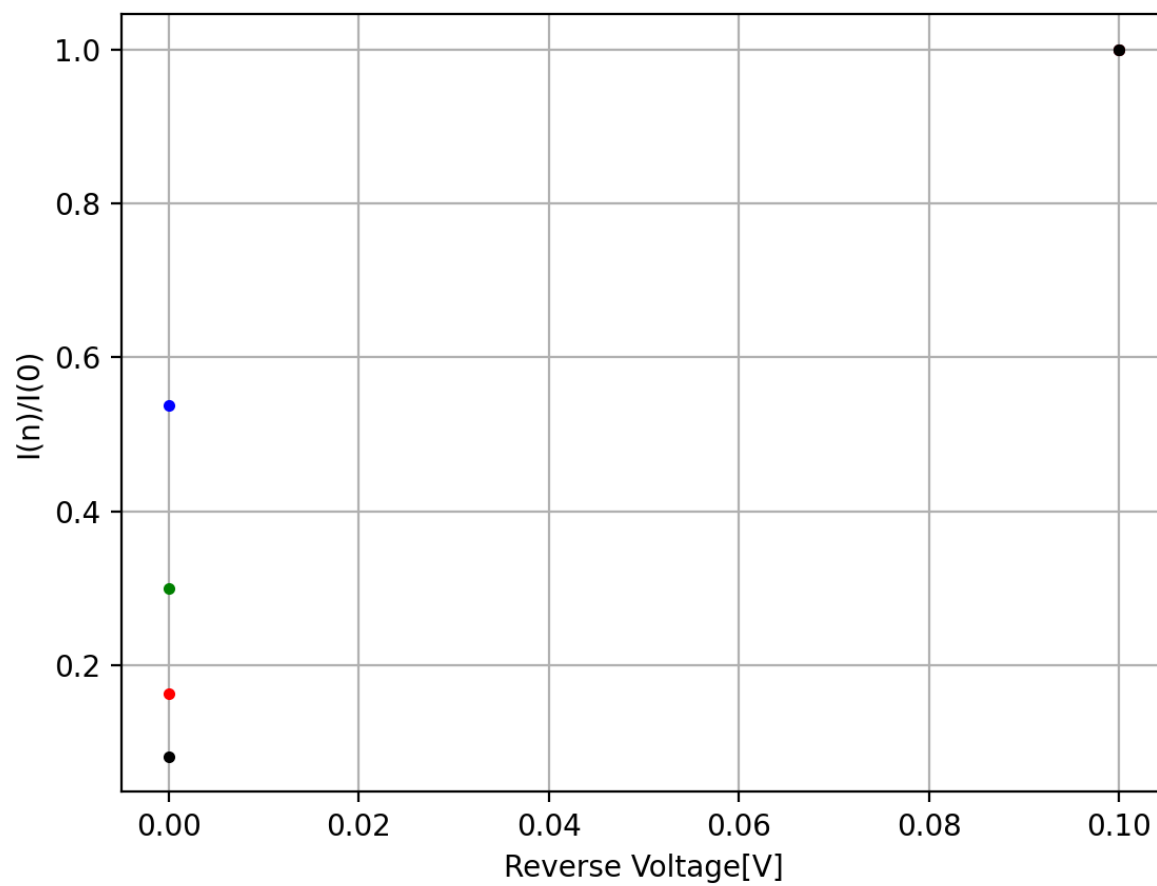


図 4 角度板が-2 度における I_n / I_0 と逆電圧の関係

表 2 -4 度における光電流の測定結果

| 減光板の枚数 | 逆電圧 0[V] における光電流 [μA] | 逆電圧 0.10[V] における光電流 [μA] | 逆電圧 0.20[V] における光電流 [μA] | 逆電圧 0.30[V] における光電流 [μA] |
|--------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 0 | 82.0 | 69.0 | 52.0 | 38.0 |
| 1 | 51.5 | 43.9 | 33.9 | 24.0 |
| 2 | 32.5 | 27.5 | 21.8 | 15.5 |
| 3 | 21.9 | 17.9 | 14.0 | 10.0 |
| 4 | 14.1 | 12.0 | 9.0 | 6.0 |

| 減光板の枚数 | 逆電圧 0.40[V] における光電流 [μA] | 逆電圧 0.50[V] における光電流 [μA] | 逆電圧 0.60[V] における光電流 [μA] | 逆電圧 0.70[V] における光電流 [μA] |
|--------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 0 | 24.0 | 13.0 | 5.6 | 1.9 |
| 1 | 15.5 | 8.1 | 3.1 | 0.20 |
| 2 | 10.0 | 5.3 | 2.0 | 0.10 |
| 3 | 6.0 | 3.0 | 1.0 | 0.05 |
| 4 | 4.0 | 2.1 | 0.20 | 0.06 |

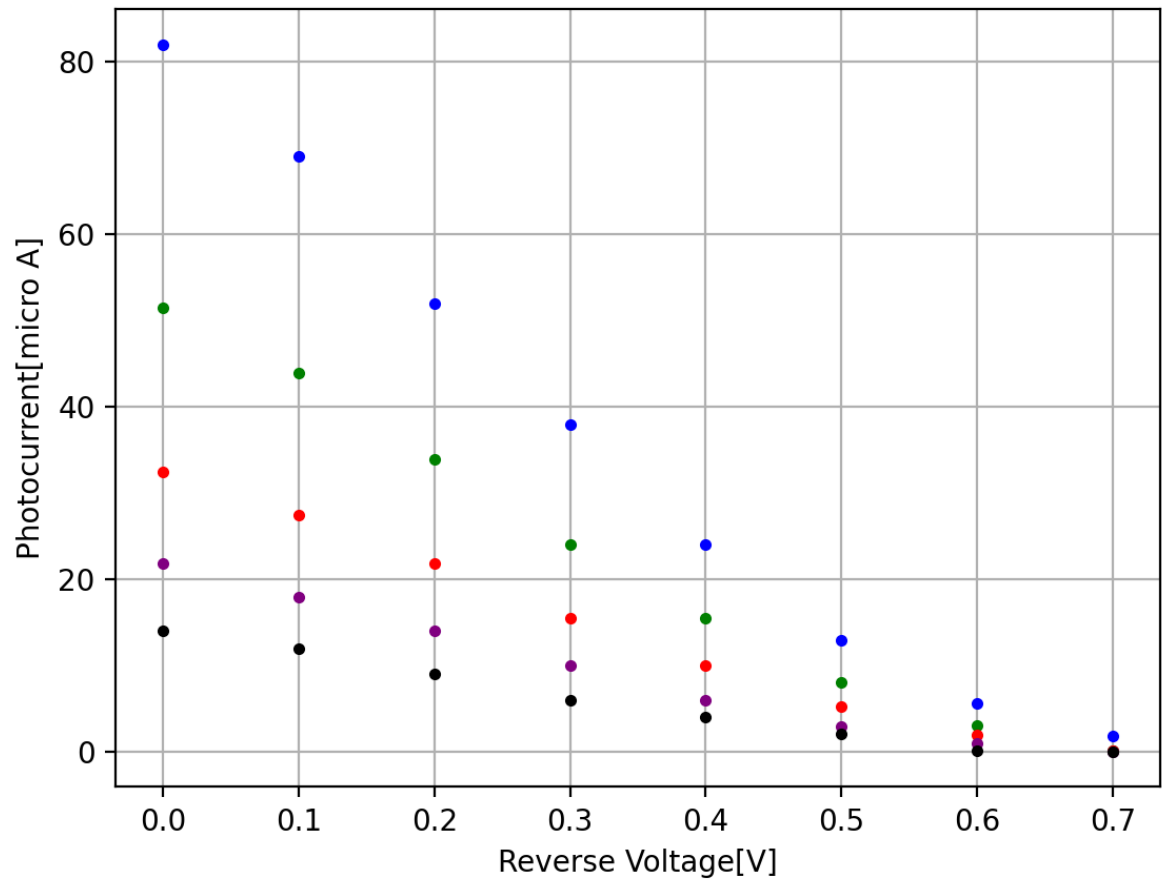


図5 角度板が-4度における光電流と逆電圧の関係

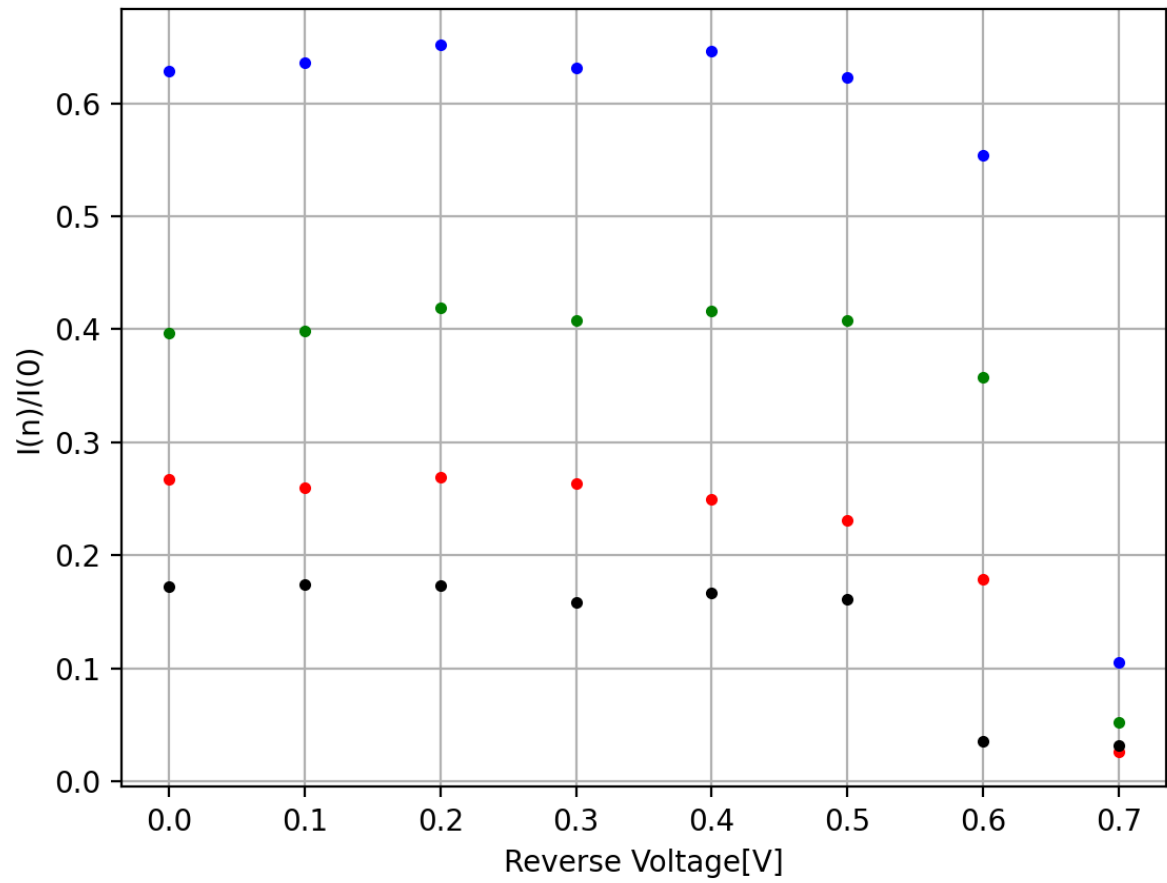


図 6 角度板が-4 度における I_n / I_0 と逆電圧の関係

表 3 -6 度における光電流の測定結果

| 減光板の枚数 | 逆電圧 0[V] における光電流 [μA] | 逆電圧 0.10[V] における光電流 [μA] | 逆電圧 0.20[V] における光電流 [μA] | 逆電圧 0.30[V] における光電流 [μA] |
|--------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 0 | 80.0 | 80.0 | 80.0 | 80.0 |
| 1 | 46.0 | 46.0 | 46.0 | 46.0 |
| 2 | 27.0 | 27.0 | 27.0 | 27.0 |
| 3 | 16.1 | 16.1 | 16.1 | 16.1 |
| 4 | 2.1 | 2.1 | 2.1 | 2.1 |

| 減光板の枚数 | 逆電圧 0.40[V] における光電流 [μA] | 逆電圧 0.50[V] における光電流 [μA] | 逆電圧 0.60[V] における光電流 [μA] | 逆電圧 0.70[V] における光電流 [μA] |
|--------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 0 | 22.1 | 14.0 | 12.0 | |
| 1 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 |
| 2 | 4.1 | 4.1 | 4.1 | 4.1 |
| 3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 4 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |

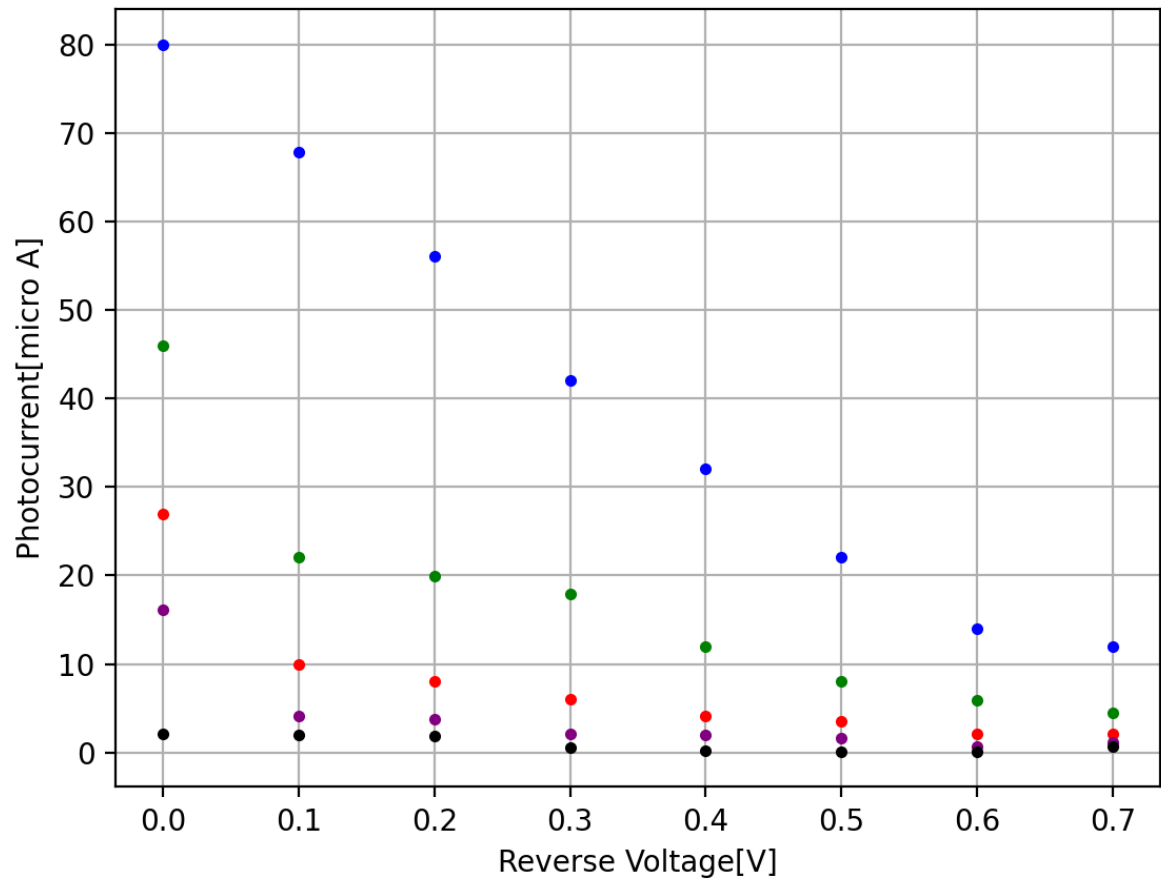


図7 角度板が-6度における光電流と逆電圧の関係

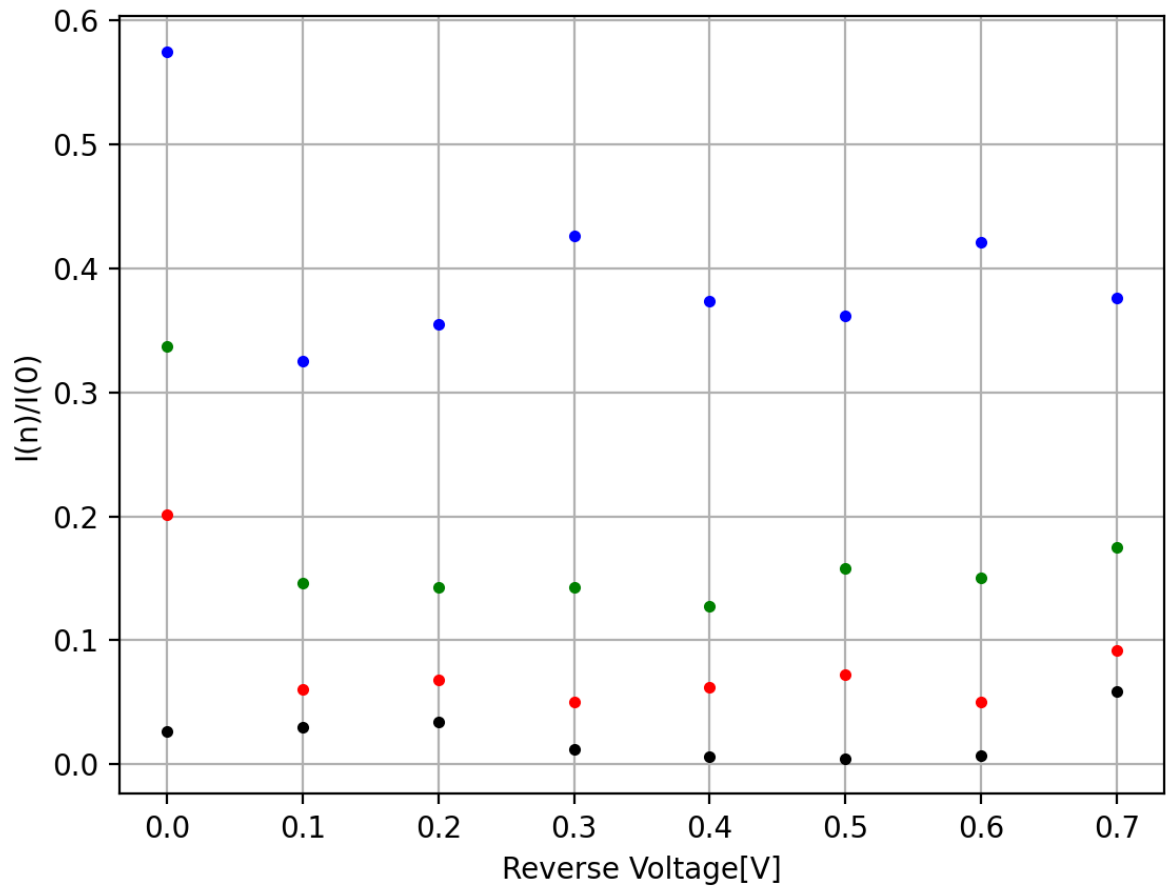


図8 角度板が-6度における I_n / I_0 と逆電圧の関係

表 4 -8 度における光電流の測定結果

| 減光板の枚数 | 逆電圧 0[V] における光電流 [μA] | 逆電圧 0.10[V] における光電流 [μA] | 逆電圧 0.20[V] における光電流 [μA] | 逆電圧 0.30[V] における光電流 [μA] |
|--------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 0 | 77.0 | 70.0 | 60.0 | 49.0 |
| 1 | 39.5 | 35.9 | 33.1 | 25.4 |
| 2 | 22.5 | 18.5 | 17.8 | 13.0 |
| 3 | 12.5 | 10.0 | 10.0 | 7.8 |
| 4 | 7.5 | 6.0 | 5.8 | 4.0 |

| 減光板の枚数 | 逆電圧 0.40[V] における光電流 [μA] | 逆電圧 0.50[V] における光電流 [μA] | 逆電圧 0.60[V] における光電流 [μA] | 逆電圧 0.70[V] における光電流 [μA] |
|--------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 0 | 39.0 | 30.2 | 22.1 | 16.2 |
| 1 | 20.0 | 16.0 | 12.0 | 8.4 |
| 2 | 11.2 | 11.2 | 11.2 | 11.2 |
| 3 | 6.5 | 6.5 | 6.5 | 6.5 |
| 4 | 3.9 | 3.9 | 3.9 | 3.9 |

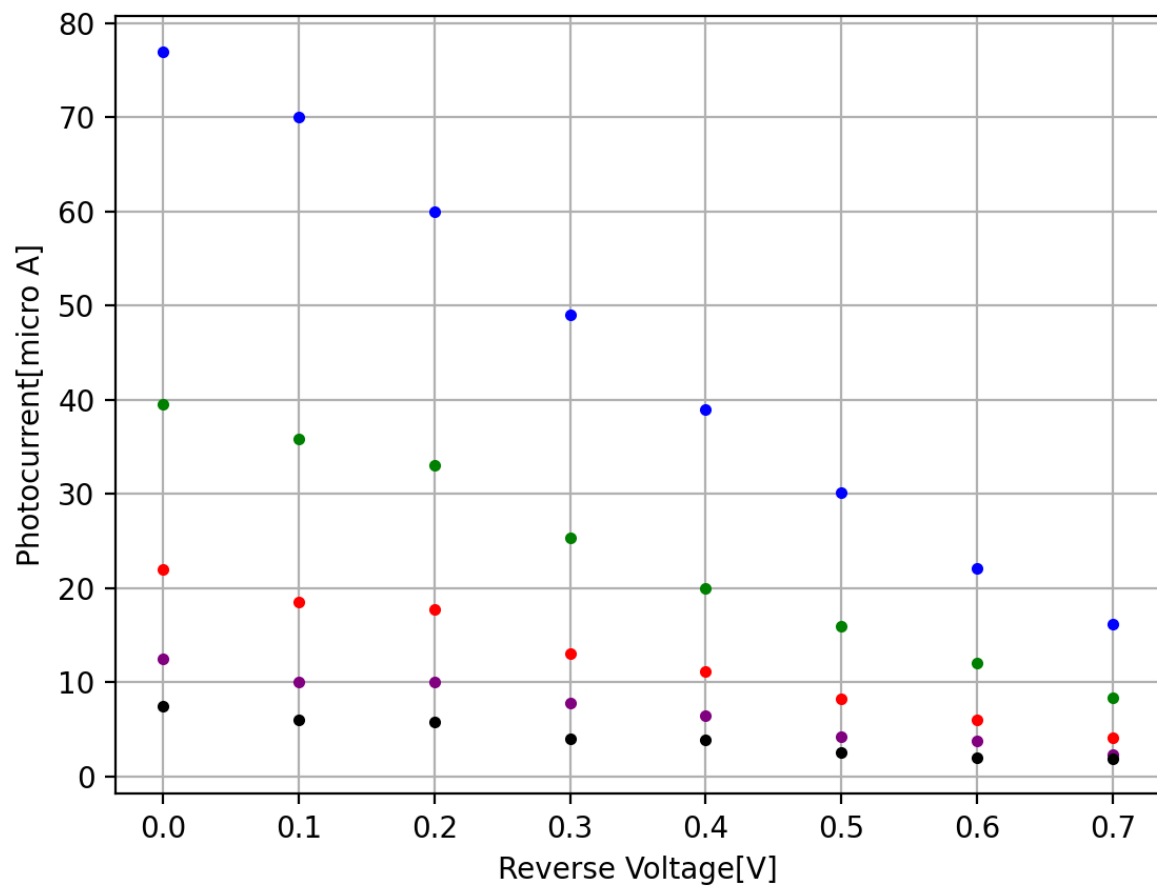


図9 角度板が-8度における光電流と逆電圧の関係

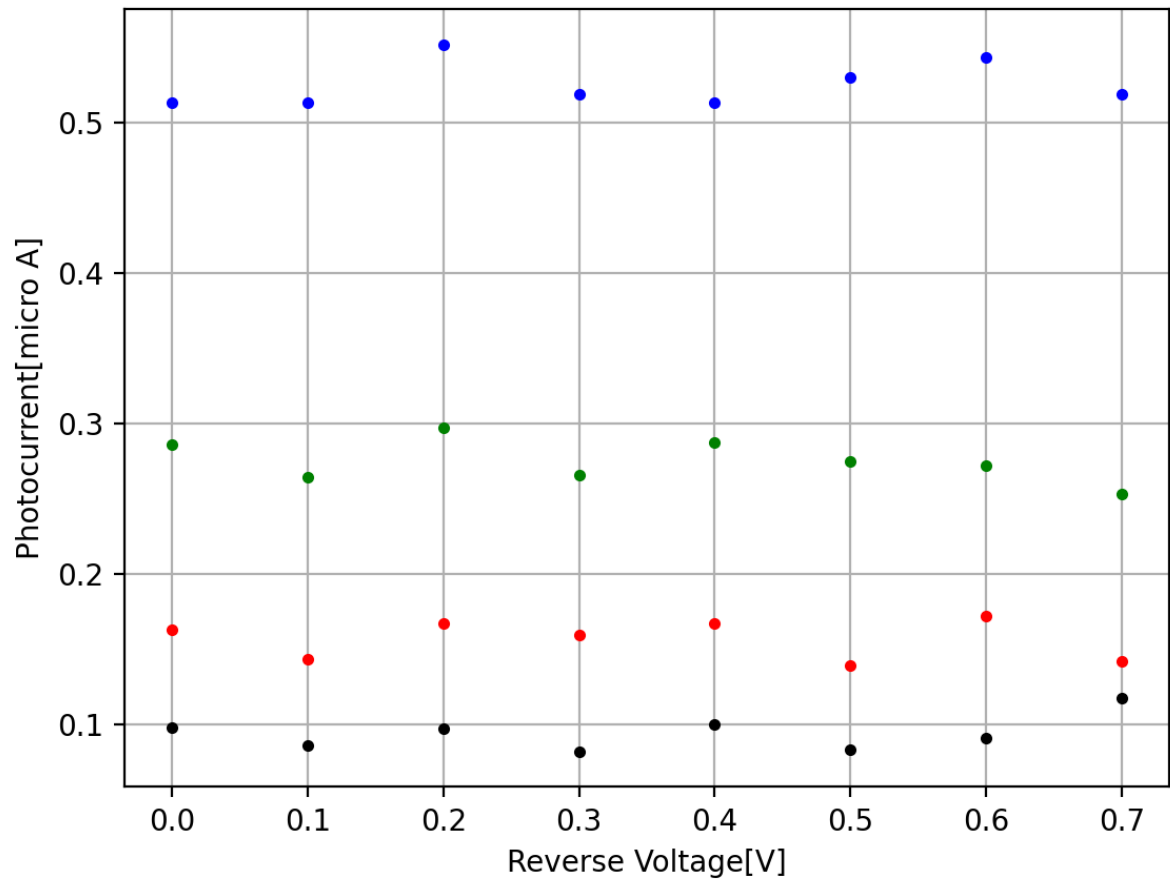


図 10 角度板が-8 度における I_n / I_0 と逆電圧の関係

5 考察

グラフより、減光板の枚数の差は定数倍として現れているだけではないかとみられ、さらに図 4, 図 6, 図 8, 図 10 はそれらの結果を補強するデータになると考えられる。なぜならそれらの値は同じ光の強度において各点が横軸と並行な直線のようにになっており、逆電圧に光電流値が依存していないということを示しているのではないかとと思われるためである。そして、光電流は逆電圧は図 3, 図 6, 図 7, 図 10 より光電流は逆電圧を大きくしていくと、同一波長において光の強度差は各点を定数倍として現れているだけなので、最終的にとある逆電圧で光電流は収束し、それは光の強度に依存しないと考えられる。本実験結果よりアインシュタインが提唱した光電子説は正しいのではないかとわれ、光電効果の特性を十分に調べることができたと言えるだろう。

参考文献

- [1] A.Einstein, “Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt”, in Annalen der Physik, 1905, p.134
- [2] 物理科学科, “基礎物理学実験 (立命館大学理工学部物理科学科編)”, 2021, p.45