

Anfängerpraktikum V500

Der Photo-Effekt

Helena Nawrath
helena.nawrath@tu-dortmund.de

Carl Arne Thomann
arnethomann@me.com

Durchführung: 21. April 2015

Abgabe: 28. April 2015

TU Dortmund – Fakultät Physik

Ziel

In diesem Versuch soll mit Hilfe des Photoeffekts die maximale kinetische Energie der Elektronen in Abhängigkeit der Lichtfrequenz untersucht werden. Dabei gilt es wichtige Größen wie die Austrittsarbeit W_K , sowie den Quotienten h/e_0 mit der Elementarladung e_0 zu bestimmen. Realisiert wird dies, in dem die Abhängigkeit des auftretenden Photostroms I von der verwendeten Gegenspannung U_G gemessen wird.

1 Theorie

Im Laufe der Jahrhunderte entwickelte sich die Vorstellung des Lichtes und dazugehörige Theorien basierend auf durchgeführten Versuchen. Beispielsweise ließen sich mit der Wellentheorie des Lichtes auftretende Interferenz- und Beugungserscheinungen erklären. Schwachstellen dieser Theorie wurden durch die Entdeckung des Photoeffekts aufgezeigt, dessen Aufbau in Abbildung 1 schematisch dargestellt ist.

Betrachtet werden zwei sich im Vakuum befindliche Elektroden. Die Oberfläche der Photokathode ist mit einer Metallegierung bedampft. Die Anode besitzt relativ zur Kathode ein positives Potential. Wird die Kathode mit Licht der Frequenz ν bestrahlt lässt sich über ein angeschlossenes Amperemeter ein geringer Strom I messen. Dieser sogenannte Photostrom wird durch Elektronen hervorgerufen. Diese werden durch das Licht aus der Photokathode herausgelöst und von der Anode aufgenommen.

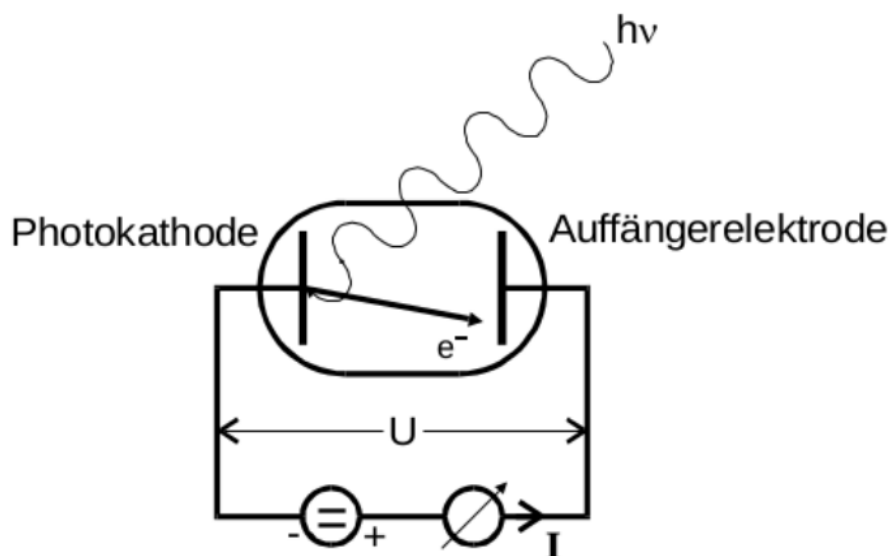


Abbildung 1: Schematischer Aufbau der Apparatur zur Untersuchung der Photoeffekts.

Die wichtigen experimentellen Ergebnisse lassen sich in drei Punkten zusammenfassen.

- Die kinetische Energie E_{kin} der Elektronen welche die Anode erreichen ist unabhängig von der Lichtintensität, wird aber durch die Frequenz des Lichtes stark beeinflusst.
- Die Anzahl der herausgelösten Elektronen ist proportional zur Lichtintensität.
- Unterhalb einer kathodenmaterialabhängigen Grenzfrequenz ν_{Grenz} werden keine Elektronen aus der Photokathode herausgeschlagen.

Die Entdeckung des Photoeffekts ließ sich damals jedoch nicht mit der bereits vorhandenen Theorie vereinbaren. Grund dafür war die Annahme, dass die Energie der Strahlung gleichmäßig über die Wellenfläche verteilt ist. Die daraufhin erdachte Korpuskulartheorie des Lichtes liefert einen Ansatz, der bis heute eine Erklärung des Effekts darstellt. Korpuskular- und Wellenmodell werden verbunden durch die Quantenelektrodynamik, welche beide Theorien als Grenzfälle mit einschließt. Die Korpuskulartheorie postuliert, dass die Energie des Lichtes quantisiert ist und durch Photonen – nahezu masselose Teilchen – transportiert wird. Nach EINSTEIN, der 1905 die Erklärung des Photoeffekts aufstellte, sind diese Photonen gleich dem PLANCKschen Wirkungsquantum h . Mit dieser Annahme lassen sich die vorherig genannten Resultate erklären.

- Die Photonen bewegen sich mit der Lichtgeschwindigkeit c und tragen die Energie $E = h\nu$.
- Jedes auf die Kathode treffende Photon kann höchstens ein Elektron aus der Oberfläche herauslösen. Je größer die Intensität, d.h. die Anzahl der Photonen ist, desto mehr Elektronen werden herausgelöst.
- Trifft ein Photon bestimmter Energie auf die Kathode teilt sich die Energie auf in die Austrittsarbeit W_K und die kinetische Energie E_{kin} der Elektronen. W_K muss von den Elektronen geleistet werden um das Kathodenmaterial überhaupt verlassen zu können. Ist die Energie des Photons aufgrund einer niedrigen Frequenz zu gering um den Elektronen das Verlassen der Anode zu ermöglichen treffen keine Elektronen auf die Anode. Dies hat zur Folge, dass für den Photostrom $I = 0 \text{ V}$ gilt.

Die kinetische Energie E_{kin} der schnellsten Elektronen wird über die Gegenfeldmethode bestimmt. Dazu wird die Gegenspannung U_G so lange variiert, bis der gemessene Photostrom I gegen Null geht. Spätestens, wenn die Beziehung

$$e_0 U_G = \frac{1}{2} m v_{\text{max}}^2 \quad (1)$$

erfüllt ist verschwindet der Stromfluss. Die Energie der Elektronen setzt sich zusammen aus

$$h\nu = e_0 U_G + W_K. \quad (2)$$

In der Realität tritt jedoch kein unvermittelter Stromabfall bei $U = U_G$ auf. Schon für $U < U_G$ fällt der Strom ab. Grund dafür ist, dass die sich in der Metalloberfläche befindlichen Elektronen nicht alle die gleiche Energie besitzen. Laut der FERMI-DIRAC-Statistik erstreckt sich die Energie der Leitungs- und Valenzelektronen in Feststoffen von Null bis zur FERMI-Energie ζ , die durchaus in der Größenordnung einiger eV liegen kann. Bei höheren Temperaturen gilt sogar $E_e > \zeta$.

2 Durchführung

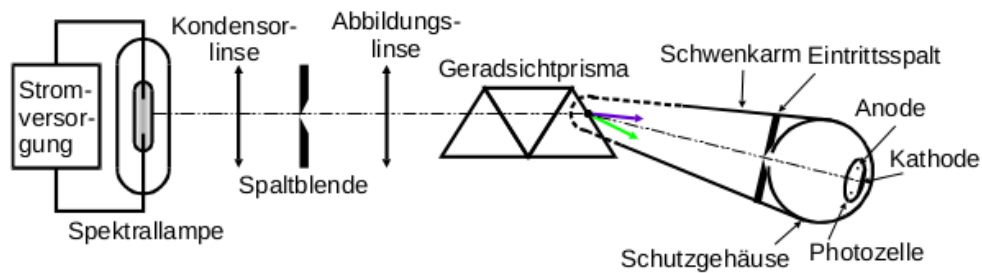


Abbildung 2: Anordnung der optischen Elemente zur Untersuchung des Photoeffekts.

In Abbildung 2 ist der gesamte Versuchsaufbau dargestellt. Es werden optische Elemente genutzt um die Intensität des auf die Photozelle fallenden Lichtes zu maximieren. Durch geringe Variation der verschiedenen Abstände kann die Anordnung so verändert werden, dass dies gut gelingt. Verwendet wird eine Hg-Spektrallampe. Ihr Licht wird durch eine Kondensorlinse gebündelt und auf einen schmalen Spalt geworfen. Bestenfalls befindet sich dieser im Brennpunkt des durch die Linse gebeugten Lichts. Anschließend passiert das Licht Abbildungslinse und Geradsichtprisma. Das Prisma bricht das Licht in einzelne Spektrallinien auf. Auf einem Schwenkarm sitzt die Photozelle, deren Aufbau in Abbildung 3 zu sehen ist. Innerhalb der Photozelle befindet sich in einem evakuierten

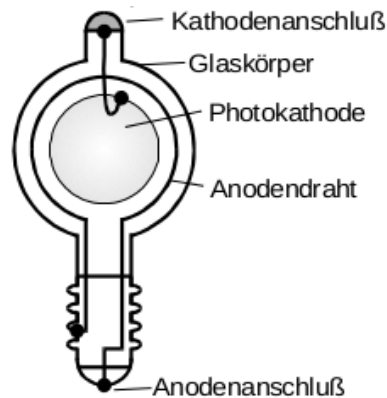


Abbildung 3: Anordnung der optischen Elemente zur Untersuchung des Photoeffekts.

Glasgefäß die im Versuch mit Licht bestrahlte Photokathode. In wenigen Millimetern Abstand parallel zur Kathode verweilt die Anode, realisiert durch einen Drahring welcher die Kathode umgibt. Der Photosrom I wird über ein empfindliches Picoamperemeter gemessen; die Spannung U_G kann über ein Digitalvoltmeter variiert werden. Das Schaltbild entspricht Abbildung 4.

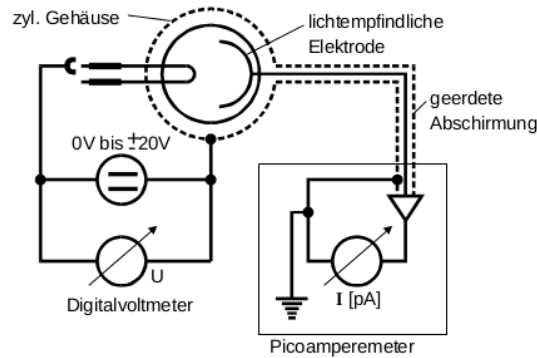


Abbildung 4: Anordnung der optischen Elemente zur Untersuchung des Photoeffekts.

Es werden für fünf verschiedene Spektrallinien mindestens 15 Wertepaare (U_G, I) aufgenommen, indem die Gegenspannung in regelmäßigen Abständen vergrößert und I abgelesen wird. Vor dem eigentlichen Messbeginn wird bei ausgeschalteter Gegenspannung die Photozelle so ausgerichtet, dass die Intensität des Lichts der gewählten Spektrallinie möglichst groß ist. Danach wird U_G grob so bestimmt, dass $I = 0 \text{ V}$ gilt. Alsdann kann mit der eigentlichen Messung begonnen werden. In einer weiteren Messung wird für die gelbe Spektrallinie der Photostrom über einen Bereich von $-19 \text{ V} \leq U_G \leq 19 \text{ V}$ ausgemessen.

3 Auswertung

Die Messwerte sind in den Tabellen 1 aufgetragen. In Abbildung ?? sind die gemessenen Bremsspannungen U_B gegen die Wurzel des Photostroms I_0 aufgetragen.

| UV-Spektrallinie $\lambda = 266,3 \text{ nm}$ | | Violette Spektrallinie $\lambda = 435,8 \text{ nm}$ | | Grüne Spektrallinie $\lambda = 546 \text{ nm}$ | | Gelbe Spektrallinie $\lambda = 577,0 \text{ nm bis } 579,1 \text{ nm}$ | | Rote Spektrallinie $\lambda = 640 \text{ nm}$ | |
|--|-------------------|--|-------------------|---|-------------------|---|-------------------|--|-------------------|
| U_B / V | I_0 / pA | U_B / V | I_0 / pA | U_B / V | I_0 / pA | U_B / V | I_0 / pA | U_B / V | I_0 / pA |
| 0,20 | 200 | 0,20 | 295 | 0,10 | 150 | 0,02 | 79 | 0,00 | 10 |
| 0,30 | 190 | 0,25 | 255 | 0,12 | 130 | 0,04 | 68 | 0,05 | 8 |
| 0,40 | 160 | 0,30 | 220 | 0,14 | 120 | 0,06 | 59 | 0,10 | 7 |
| 0,50 | 135 | 0,35 | 190 | 0,16 | 100 | 0,08 | 50 | 0,15 | 6 |
| 0,60 | 110 | 0,40 | 160 | 0,18 | 97 | 0,10 | 41 | 0,20 | 5 |
| 0,70 | 98 | 0,45 | 135 | 0,20 | 81 | 0,12 | 34 | 0,25 | 4 |
| 0,75 | 84 | 0,50 | 105 | 0,22 | 65 | 0,14 | 28 | 0,30 | 4 |
| 0,80 | 70 | 0,55 | 90 | 0,24 | 53 | 0,16 | 22 | 0,35 | 3 |
| 0,85 | 59 | 0,60 | 66 | 0,26 | 42 | 0,18 | 18 | 0,40 | 2 |
| 0,90 | 48 | 0,65 | 48 | 0,28 | 32 | 0,20 | 14 | 0,45 | 2 |
| 0,95 | 39 | 0,67 | 40 | 0,30 | 25 | 0,22 | 10 | 0,50 | 1 |
| 1,00 | 32 | 0,69 | 32 | 0,32 | 18 | 0,24 | 8 | 0,506 | 0 |
| 1,05 | 23 | 0,71 | 26 | 0,34 | 12 | 0,26 | 5 | | |
| 1,10 | 18 | 0,73 | 21 | 0,36 | 8 | 0,28 | 4 | | |
| 1,15 | 14 | 0,75 | 15 | 0,38 | 4 | 0,30 | 2 | | |
| 1,20 | 9 | 0,77 | 11 | 0,397 | 0 | 0,32 | 0 | | |
| 1,25 | 6 | 0,79 | 8 | | | | | | |
| 1,30 | 4 | 0,81 | 2 | | | | | | |
| 1,345 | 0 | 0,83 | 0 | | | | | | |

Tabelle 1: Die gemessenen Bremsspannungen U_B und Photoströme I_0 in Abhängigkeit von der Wellenlänge λ des Lichtes.

4 Diskussion

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Literatur

- [1] John D. Hunter. „Matplotlib: A 2D Graphics Environment“. In: *Computing in Science and Engineering* 9.3 (2007), S. 90–95. URL: <http://link.aip.org/link/?CSX/9/90/1>. Version 1.3.1.
- [2] Eric Jones, Travis Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python*. 2001. URL: <http://www.scipy.org/>. Version 0.14.0.
- [3] Eric O. Lebigot. *Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties*. URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>. Version 2.4.5.
- [4] Travis E. Oliphant. „Python for Scientific Computing“. In: *Computing in Science and Engineering* 9.3 (2007), S. 10–20. URL: <http://link.aip.org/link/?CSX/9/10/1>. Version 1.8.1.
- [5] The GIMP Team. *GIMP: GNU Image Manipulation Program*. URL: <http://www.gimp.org/>. Version 2.8.10.

Die verwendeten Plots wurden mit *matplotlib*[1] und die Grafiken mit *GIMP*[5] erstellt sowie die Berechnungen mit Python-*Numpy*, [4], *-Scipy*[2] und *-uncertainties*[3] durchgeführt.