

Praktikumsvorbereitung Photoeffekt

Silas Kraus und André Schendel
Gruppe Do-20

19. April 2012

Inhaltsverzeichnis

0.1	Plancksches Wirkungsquantum	2
0.2	Innerer/Äußerer lichtelektrischer Effekt	2
0.3	Photozelle	2
0.4	Quecksilberspektrum	2
0.5	Strom- und Spannungsrichtige Schaltung	2
0.6	Bandpassfilter	3
0.7	Elektrometer	4
1	Demonstrationsversuch: Hallwachs-Effekt	4
2	Elektrometereigenschaften	5
3	Photoeffekt und h/e-Bestimmung	6
3.1	Messung der maximalen Lichtintensität bei verschiedenen Wellenlängen	6
3.2	Messung der Gegenspannung, die erforderlich ist, um die Klemmspannung auf Null abzusenken	7
3.3	Messung des Photostroms bei Wellenlänge 400 nm, in Abhängigkeit von der angelegten Spannung	7
3.4	Messung des Photostroms bei Wellenlänge 400 nm, in Abhängigkeit von der angelegten Spannung mit Graufilter	8
3.5	Messung der Gegenspannung, die erforderlich ist, um den Strom auf Null abzusenken	8
4	Quellen	8

Vorbesprechung

0.1 Plancksches Wirkungsquantum

1899/1900 entdeckte Max Planck, dass die Wirkung (Produkt aus Energie und Zeit oder Ort und Impuls oder verallg. Ort und verallg. Impuls) immer nur ein Vielfaches des Planckschen Wirkungsquantums h annehmen kann. Somit ist die Energie E eines Elektrons, das ein Photon absorbiert hat, ein Vielfaches von h , wobei dies abhängig von der Wellenlänge des Photons ist:

$$E = h \cdot f = h[Js] \cdot f[\frac{1}{s}] = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad h = 6,62 \cdot 10^{-34}$$

0.2 Innerer/Äußerer lichtelektrischer Effekt

Der äußere lichtelektrische Effekt, oder auch Hallwachs-Effekt, bezeichnet das Phänomen, dass ein Photon in ein Material eindringen und dort ein Elektron herauslösen kann, wenn das Photon eine genügend hohe Energie besitzt.

Beim inneren lichtelektrischen Effekt (tritt nur in Halbleitern auf) wird das Elektron nicht aus dem Material, sondern nur aus seiner Bindung gelöst, was zur Folge hat, dass in dem Material ein Elektron und ein dazugehöriges Defektelektron frei verfügbar sind. Dadurch ist es dem Halbleiter möglich, Strom (besser) zu leiten.

0.3 Photozelle

Eine Photozelle besteht aus einem evakuierten oder mit einer geringen Menge Gas gefüllten Glaskolben und zwei Elektroden: einer Kathode mit geringer Austrittsarbeit und einer Anode mit höherer Austrittsarbeit (=Arbeit, die nötig ist, um ein e^- herauszulösen). Treffen nun Photonen mit ausreichend hoher Frequenz auf die Kathode, lösen sie Elektronen aus jener heraus, welche dann zur Anode überspringen können. Durch diese Ladungsverschiebung bildet sich eine Spannung zwischen Kathode und Anode, welche gemessen und zur Bestimmung der Lichtintensität genutzt werden kann.

0.4 Quecksilberspektrum

Das Lichtspektrum von Quecksilber reicht bis weit in den Ultraviolett-Bereich hinein, lässt allerdings den sichtbaren roten und insbesondere den Infrarot-Bereich aus. Es ist also wesentlich energiereicher als das Licht herkömmlicher Lampen, dessen Photonen nicht genügend Energie hätten, um Elektronen aus der Kathode herauszulösen.

0.5 Strom- und Spannungsrichtige Schaltung

Die meisten Messgrößen in der Physik lassen sich durch die elementaren Messgrößen Spannung $U[V]$ und Strom $I[A]$ berechnen. In den meisten Fällen gilt dabei das ohmsche Gesetz: $R = \frac{U}{I}$.

Ein Spannungsmessgerät wird parallel zum Verbraucher geschaltet, ein Strommessgerät in Reihe. Da aber jedes reale Bauteil einen Innenwiderstand hat, kann stets nur eine der beiden Größen exakt gemessen werden:

In einer spannungsrichtigen Schaltung misst das Spannungsmessgerät nur die Spannung über dem Verbraucher. Das Strommessgerät misst zusätzlich zum eigentlichen Verbraucherstrom auch den Strom, der durch das Spannungsmessgerät fließt.

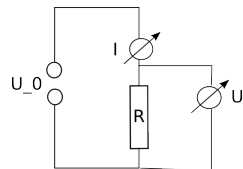


Abbildung 1: spannungsrichtige Schaltung)

In einer stromrichtigen Schaltung misst das Spannungsmessgerät die Spannung sowohl über dem Verbraucher als auch über dem Strommessgerät. Dafür misst dieses den Strom exakt.

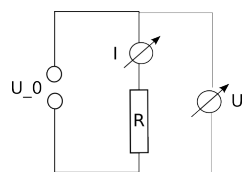


Abbildung 2: stromrichtige Schaltung

Aus diesem Grund muss es bei der Herstellung der Messgeräte Ziel sein, im Spannungsmessgerät einen möglichst hohen und im Strommessgerät einen möglichst geringen Innenwiderstand zu erreichen.

0.6 Bandpassfilter

Ein Bandpassfilter ist ein Filter, der nur eine bestimmte Signalfrequenz passieren lässt. Alle anderen Frequenzen werden entweder stark abgeschwächt oder komplett blockiert. Diese Filter können elektrischer, akustischer oder optischer Natur sein. Ein Beispiel für einen optischen Bandpassfilter ist das Fabry-Pérot-Interferometer. Dieses lässt durch konstruktive Interferenz nur solche Wellenlängen durch, für die gilt: $\lambda = \frac{2d}{m}$ $m = 1, 2, \dots$

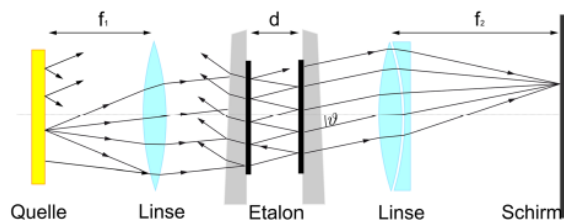


Abbildung 3: Fabry-Pérot- Interferometer (Quelle: [1])

0.7 Elektrometer

Ein Elektrometer ist ein Elektroskop mit Skala, an der man Spannungen und Ladungen messen kann. Dabei werden der bewegliche Zeiger und der unbewegliche Leiter des Elektroskops mit einer Ladung versehen. Je größer die Ladungsmenge ist, desto stärker stoßen sich Zeiger und starrer Leiter ab, da sie gleichnamig geladen sind. Dabei schlägt der Zeiger solange aus, bis die - in diesem Fall abstoßend wirkende - Coulombkraft und die Gravitationskraft im Gleichgewicht stehen.

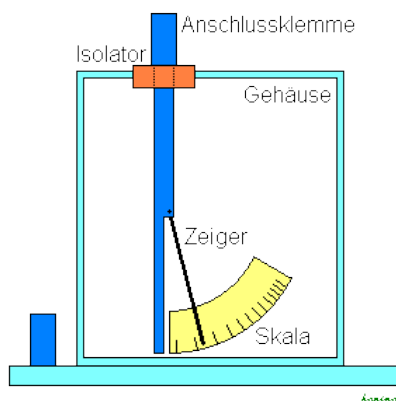


Abbildung 4: Braunsches Zeigerelektroskop mit Messskala (Quelle: [II])

1 Demonstrationsversuch: Hallwachs-Effekt

Zuerst soll der äußere lichtelektrische Effekt demonstriert werden.

Dafür wird eine Zinkplatte an den isolierten Anschluss eines elektrostatischen Elektrometers angeschlossen. Die Platte muss frisch geschliffen sein, damit sich auf ihr keine Oxidschicht befindet, welche eine weit höhere Austrittsarbeit aufweisen würde als die nicht oxidierte Zinkplatte, sodass Photonen mit einer höheren Frequenz zum Herauslösen von Elektronen erforderlich wären.

Dann wird die Zinkplatte statisch aufgeladen. Beobachtet man anschließend das Elektrometer, zeigt sich, dass dessen Ausschlag sehr langsam zurück geht. Der Grund hierfür ist, dass Luft kein idealer Isolator ist und bedingt durch die aufgenommene Feuchtigkeit doch leicht leitend ist, somit können geringe Mengen an Ladung von der Zinkplatte abfließen.

Wird die Platte jetzt noch zusätzlich mit einer Quecksilberdampfampe beleuchtet, werden noch einige Ladungs-Elektronen aus der Platte herausgeschlagen, allerdings fallen die meisten dieser Elektronen wieder auf die Platte zurück. Somit sollte der Rückgang des Elektrometersauschlages nur leicht erhöht im Gegensatz zu vorher sein.

Zum Schluss der Demonstration wird noch eine positiv geladene Metallelektrode in der Nähe der Zinkplatte platziert, was dazu führen sollte, dass der Elektrometersauschlag rasch abnimmt. Die Begründung hierfür ist, dass die herausgeschlagenen Elektronen jetzt nicht mehr auf die Zinkplatte zurückfallen, sondern von der Anode angezogen werden und somit viel besser abfließen können.

2 Elektrometereigenschaften

Eine ideale Spannungs-/Stromquelle liefert immer die gleiche Spannung/Strom, egal wie groß die an sie angelegte Last ist. In der Realität ist dieser Fall aber unmöglich, da die Last die Quelle immer beeinflusst und somit ein/e konstante/r Spannung/Strom nicht gegeben ist.

Ein Voltmeter ist ein Spannungsmessgerät und dementsprechend ist ein Amperemeter ein Strommessgerät. Worauf bei der Messung dieser Größen zu achten ist, wurde in der Vorbesprechung (strom- und spannungsrichtige Schaltung) erläutert.

Dient nun zum Beispiel eine Vakuum-Photozelle als Spannungsquelle, spielt es eine große Rolle, welchen Widerstand das nachgeschaltete Messgerät besitzt, da die Photozelle, die nur sehr geringe Spannungen liefert, sehr stark vom Widerstand des Messgerätes beeinflusst wird.

Deshalb soll nun der Innenwiderstand des Elektrometers über eine Spannungsmessung bestimmt werden. Hierfür wird eine Quellspannung von 5V angelegt und mit verschiedenen Vorwiderständen (0/0,1/1/10GΩ) die Spannung am Elektrometer gemessen.

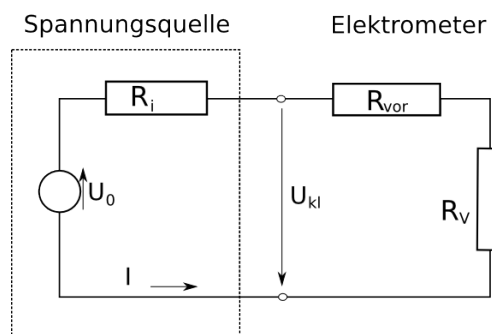


Abbildung 5: schematischer Schaltungsaufbau

In dem Schaubild steht R_V für den Innenwiderstand des Elektrometers und R_{Vor} für den Vorwiderstand, der in Reihe zwischen R_i und R_V platziert wird. U_{Kl} ist die Klemmenspannung. Aufgrund der Kirchhoffschen Maschenregel gilt

$$\begin{aligned}
 U_0 &= U_i + U_{Vor} + U_V \\
 &= I \cdot [R_i + R_{Vor} + R_V] \quad \text{mit} \quad I = \frac{U_V}{R_V} \\
 &= \frac{U_V}{R_V} \cdot [R_i + R_{Vor}] + U_V
 \end{aligned}$$

Umgeschrieben ergibt sich also:

$$R_V = \frac{U_V \cdot [R_i + R_{Vor}]}{U_0 - U_V}$$

3 Photoeffekt und h/e -Bestimmung

Nun wird das eigentliche Thema dieses Praktikums behandelt, nämlich der Photoelektrische Effekt und der Bestimmung des Quotienten aus dem Plankschen Wirkungsquantum und der Elementarladung des Elektrons. Dafür wird ein optisches System, wie in der Versuchsanleitung beschrieben, mit einer Quecksilberdampfampe als Strahlungsquelle vor der Photozelle aufgebaut.

Es ist für diesen Versuch entscheidend, dass eine Hg-Lampe verwendet wird und nicht eine handelsübliche Halogenlampe, wie es in der Aufgabenstellung vorgeschlagen wird, da die Energie der emittierten Photonen nur von der Frequenz des Lichts abhängt.

$$E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

Da Halogenlampen nur relativ langwelliges Licht emittieren, wäre die Photonenergie zu gering, um den photoelektrischen Effekt auszulösen. Anders verhält es sich bei einer Hg-Lampe, deren Emissionsspektrum auch in den ultravioletten Bereich hinein reicht, und die somit auch hochenergetische Photonen aussendet.

3.1 Messung der maximalen Lichtintensität bei verschiedenen Wellenlängen

Als erstes soll die Klemmspannung an der Photozelle für verschiedene Wellenlängen λ ($=360/400/440/490/540/590\text{nm}$) je drei Mal gemessen werden, um auch über die Reproduzierbarkeit des Versuchs eine Aussage treffen zu können. Da die gemessene Spannung unabhängig von der Intensität der Lichteinstrahlung ist, lässt sich anhand der ermittelten Daten h/e berechnen.

Dafür wird verwendet, dass die kinetische Energie in folgender Beziehung zur Spannung steht:

$$E_{kin} = \frac{m \cdot v_e^2}{2} = U \cdot q = U \cdot e$$

Desweiteren wird verwendet, dass die Photonen ihre gesamte Energie $E = h \cdot f$ an die Elektronen abgeben und diese ihre kinetische Energie E_{kin} erhalten abzüglich der Arbeit W_A , die benötigt wird, um die Elektronen aus dem Halbleiter zu lösen, und abzüglich der Kontaktarbeit W_{Kon} , die dadurch entsteht, dass Kathode und Anode aus verschiedenen Materialien bestehen. Es ergibt sich also

$$\begin{aligned} E &= E_{kin} + W_A + W_{Kon} \\ h \cdot f &= U \cdot e + (W_A + W_{Kon}) \\ h \cdot \frac{c}{\lambda} &= U \cdot e + W \end{aligned}$$

Umgeformt ergibt sich

$$U = \frac{h}{e} \cdot \frac{c}{\lambda} - \frac{W}{e}$$

mit der Formel auf dem Aufgabenblatt

$$U = a \cdot \lambda^{-1} + b$$

Dabei ist a der Quotient aus h und der Elementarladung, multipliziert mit der Lichtgeschwindigkeit

$$a = \frac{h}{e} \cdot c$$

Dann ist b die Arbeit, die benötigt wird, um die Elektronen aus der Kathode zu lösen

$$b = -\frac{W}{e}$$

Da a und b Konstanten sind, die aus anderen Konstanten bestehen, ist eindeutig zu erkennen, dass die gemessene Spannung wirklich nur von der Wellenlänge des Lichts abhängt und nicht von der Intensität.

Dennoch ist keine Spannung messbar, wenn die Beleuchtung vollkommen abgeschaltet ist und gar kein Licht mehr auf die Photozelle trifft.

3.2 Messung der Gegenspannung, die erforderlich ist, um die Klemmspannung auf Null abzusenken

Als nächstes soll die für die jeweilige Wellenlänge benötigte Gegenspannung ermittelt werden, die dazu führt, dass die Klemmspannung auf Null sinkt. Dafür wird die vorherige Versuchsaufgabe wiederholt, allerdings wird hierbei zusätzlich ein Batterie (Spannungsquelle) gegenpolig zur Klemmspannung in die Schaltung eingebaut, so wie in Schaltbild 2. auf dem Aufgabenblatt dargestellt, jedoch noch ohne den Vorwiderstand.

Dadurch, dass die Spannung der Batterie der, der Photozelle entgegen gesetzt ist, heben sie sich, bei geeigneter Größe, gerade auf und man kann durch den Nullabgleich sehr genau bestimmen, welche kinetische Energie die Elektronen besitzen. Da die Austrittsarbeit aus dem Kathodenmaterial die selbe wie im vorherigen Versuch und somit bekannt ist, lässt sich wieder der Quotient h/e aus der Steigung der Ausgleichsgeraden für die Spannung bestimmen.

$$U = \frac{h}{e} \cdot \frac{c}{\lambda} - \frac{W}{e}$$

3.3 Messung des Photostroms bei Wellenlänge 400 nm, in Abhängigkeit von der angelegten Spannung

Im Weiteren soll der von der angelegten Spannung abhängige Photonenstrom gemessen werden, der sich bei Licht mit einer Wellenlänge von 400 nm ergibt. Dafür wird nun der Versuchsaufbau aus dem vorherigen Aufgabenteil um den Vorwiderstand ($100\text{M}\Omega$) erweitert, wie in Schaltung 2 dargestellt.

Es sollte sich zeigen, dass ab einer bestimmten Gegenspannung kein Photostrom mehr existiert, da die Energie der Elektronen nicht mehr ausreicht um diese Potentialdifferenz zu überbrücken. Auch sollte sich zeigen, dass, wenn die angelegte Gegenspannung klein genug ist oder sogar gleichgerichtet ist mit der Spannung zwischen Kathode und Anode, der Photonenstrom konstant ist, da alle Elektronen von der Kathode zu Anode überspringen können.

Diese Messungen sollen alle bei maximaler Lichtintensität durchgeführt werden, die zwar die Spannung nicht beeinflusst, aber entscheidend für den von den Photonen erzeugten Strom ist. Allerdings sollen hier ebenfalls die Einflüsse von Streulicht und Dunkelstrom untersucht werden. Beim Dunkelstrom handelt es sich dabei um einen Strom, der entsteht, weil zwar kein sichtbares und kein ultraviolettes Licht auf die Kathode einstrahlt und Elektronen aus dem Material löst, aber immer noch unsichtbares infrarotes Licht. Diese Wärmestrahlung erhitzt den Halbleiter stark genug, sodass durch die Atomschwingungen im Kristallgitter einige Elektronen aus ihren Bindungen lösen. Diese können zur Anode

überspringen, und somit entsteht doch ein geringer Strom. Die ermittelten Daten sollen im Anschluss daran noch in zwei Diagramme übertragen und die hieraus ersichtlichen Erkenntnisse über die Abhängigkeit zwischen Spannung und Strom diskutiert werden.

3.4 Messung des Photostroms bei Wellenlänge 400 nm, in Abhängigkeit von der angelegten Spannung mit Graufilter

Als nächstes soll die vorangegangene Aufgabenstellung wiederholt werden, aber dieses Mal soll zusätzlich noch ein Graufilter verwendet werden. Die ermittelten Daten sollen dann in die gleichen Diagramme wie in Aufgabenteil 3.3 eingezeichnet werden. Anhand einer Gegenüberstellung der beiden Datensätze soll bestimmt werden, wie stark der Graufilter den Photonenstrom abschwächt, und ob die Nulldurchgänge für den Photonenstrom immer noch übereinstimmen. Da der Graufilter das Licht nur relativ gering abschwächt, sollten jedoch nur leichte Abweichungen bei den Nulldurchgängen der Photonenströme festzustellen sein.

3.5 Messung der Gegenspannung, die erforderlich ist, um den Strom auf Null abzusenken

Zum Abschluss soll noch analog zu Aufgabenteil 3.2 die Gegenspannung gemessen werden, die dieses Mal dafür sorgt, dass der Anodenstrom gleich Null ist. Der Unterschied zu Aufgabenteil 3.2 besteht darin, dass nicht die Klemmenspannung, sondern der Anodenstrom 0 sein soll. So werden eventuelle systematische Fehler durch die Innenwiderstände der Messgeräte vermieden.

4 Quellen

1. Literaturangaben
2. www.wikipedia.de
3. <http://www.volkenandt.org/physik/index.php?page=109>

[I] G. U. Nienhaus: Vorlesungsskript Experimentalphysik III, Teil 7 - Interferenz , Seite 33

[II] <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Elektroskop.PNG&filetimestamp=20061009164950>