

Vorbereitung

Photoeffekt

Carsten Röttele Stefan Schierle

Versuchsdatum: 12.06.2012

Inhaltsverzeichnis

0	Theoretische Grundlagen	2
1	Hallwachs-Effekt	3
2	Elektrometereigenschaften	3
3	Photoeffekt und h/e-Bestimmung	5
3.1	Messung der Klemmenspannungen in Abhängigkeit der Wellenlänge . . .	5
3.2	Messen der Gegenspannung (1)	6
3.3	Photostrom in Abhängigkeit von der Spannung	6
3.4	Abschwächfaktor des Graufilters	7
3.5	Messen der Gegenspannung (2)	7

0 Theoretische Grundlagen

Zunächst wollen wir allgemein den photoelektrischen Effekt (kurz: Photoeffekt) betrachten. Ein solcher liegt vor bei einer Wechselwirkung zwischen Photonen und Materie, wobei es hier drei verschiedene Arten gibt:

- **äußerer Photoeffekt:**

Dieser findet statt, wenn ein Elektron aus einem Halbleiter oder einem Metall herausgelöst wird.

- **innerer Photoeffekt:**

Hier verlassen im Vergleich zum vorherigen äußeren Photoeffekt die angeregten Elektronen den Festkörper nicht, sondern bewegen sich nur innerhalb des Kristallgitters, wodurch man einen Strom durch das Material durchfließen lassen kann. Anhand dieser Eigenschaften kann man schon vermuten, dass dies vor allem bei Halbleitern der Fall sein dürfte.

- **Photoionisation:**

Beim letzten Fall wird ein auftreffendes Photon komplett absorbiert und gibt seine Energie an ein Elektron ab, welches bei einer genügend hoher Energie danach die Atomhülle verletzt. Es ist logisch, dass wegen $E_{ph} = h\nu$ die Frequenz des Lichtes dazu hoch sein muss, damit man das Atom ionisieren kann.

In diesem Versuch wird das auftreffende Photon absorbiert werden, wodurch wir ein Elektron aus der inneren Schale heraus lösen werden. Betrachtet man hierfür die Energieerhaltung, so ergibt sich:

$$E_{kin} = E_{ph} - W_A$$

Wir haben also die oben schon erwähnte Energie des Photons vor dem Herauslösen des Elektrons, die dann einmal übergeht in die Austrittsarbeit W_A , die bei jedem Material anders ist und, wie der Name schon sagt, dafür benötigt wird das Elektron herauszulösen. Der Rest der Energie wird dann in kinetische Energie umgewandelt, welche dann das Elektron erhält.

Damit der Effekt stattfindet muss demnach gelten $E_{ph} > W_A$, was wir nur Erreichen können, wenn wir eine bestimmte Frequenz des auftreffenden Lichtes haben, die sogenannte Grenzfrequenz f_g , welche natürlich auch vom verwendeten Material abhängt. Dadurch dass das Elektron aus der inneren Schale herausgelöst wurde, wird ein anderes Elektron aus der äußeren Schale diesen Platz wieder einnehmen, damit das Atom sich wieder auf einem energetisch günstigerem Niveau befindet. Hierzu benötigt man zwar wieder ein emittiertes Photon, welches dieses Mal jedoch nicht mehr viel Energie braucht.

Weil wie schon oben erwähnt die Energie des Photoelektrons nur abhängig von der Frequenz ist, steht dies im Widerspruch zur klassischen Annahme, bei welcher man davon ausgehen würde, dass eine höhere Intensität des Lichtes mehr Energie übertragen würde. Zudem nimmt die Wahrscheinlichkeit, dass der Photoeffekt stattfindet zu, wenn die Kernladungszahl größer wird, bzw. die Quantenenergie kleiner.

1 Hallwachs-Effekt

Als erstes soll bei diesem Versuch der sogenannte Hallwachs-Effekt mit klassischen Mitteln nachgewiesen werden. Hierzu wird zunächst eine Zinkplatte frisch geschmirgelt, damit eventuell anhaftendes Zinkoxid verschwindet und es so den Versuch nicht verfälscht. Diese Zinkplatte wird dann auf den isolierten Anschluss eines elektrostatischen Elektrometers gesteckt, um sie mit dem am Gehäuse angebrachten Masseanschluss eines Hochspannungsgerätes auf ca. 2kV negativ aufzuladen. Am Voltmeter kann man jetzt, nachdem man die Platte aufgeladen hat, ein sehr langsames zurückgehen der Ladung feststellen, was mit der Leitfähigkeit der Luft durch die Luftfeuchtigkeit zu begründen ist.

Auch wenn man die Platte zusätzlich mit einer Quecksilberdampfampe bestrahlt, kann man nicht viel mehr beobachten, bis auf eine kleine Steigerung der Geschwindigkeit beim Entladen. Der Grund ist hierfür der Photoeffekt, nämlich dass die Lichtquanten Elektronen aus dem Material herausschlagen. Das Problem ist jedoch dass diese nicht abgeleitet werden können, bzw. nur sehr langsam.

Stellt man nun jedoch in die Nähe der negativ geladenen Zn-Platte, welche immer noch beleuchtet wird, eine positiv geladene Metallelektrode, so kann man feststellen, dass sich die Platte viel schneller entlädt. Dies hat den Grund, dass die durch die Quanten freigesetzten Elektronen jetzt durch die Metallelektrode abgeleitet werden können.

2 Elektrometereigenschaften

Bei diesem Versuchsteil sollen als erstes verschiedene Begriffe erklärt werden:

- **Ideale Spannungsquelle:**

Eine ideale Spannungsquelle zeichnet sich dadurch aus, dass an ihr immer die gleiche Klemmspannung abfällt, unabhängig davon welche Last daran geschaltet ist. Dazu sollte der Innenwiderstand eigentlich 0Ω betragen, in der Realität wird er in Reihe mit dem restlichen Stromkreis geschaltet und sollte also möglichst klein sein.

- **Ideale Stromquelle:**

Hier möchte man eine konstante Stromstärke erreichen. Dazu muss der Innenwiderstand im Gegensatz zur Spannungsquelle im Idealfall unendlich groß sein. Hier wird in der Realität der Innenwiderstand parallel zum Schaltkreis geschaltet.

- **Voltmeter:**

Ein Voltmeter wird im Normalfall zur Spannungsmessung verwendet. Hierzu wird es parallel zum messenden Bauteil geschaltet. Um eine möglichst genaue Messung zu erhalten, sollte natürlich fast der ganze Strom durch das Bauteil fließen, weshalb man für einen Voltmeter einen sehr großen Innenwiderstand benötigt. Wegen der bekannten Formel $I = \frac{U}{R}$ fließt somit durch das Messgerät fast kein Strom.

- **Amperemeter:**

Mit dem Amperemeter wird, wie der Name es eigentlich schon sagt, der Strom gemessen. Es muss natürlich im Gegensatz zum Voltmeter in Reihe geschaltet werden und hier sollte der Innenwiderstand möglichst klein sein, damit am Messgerät selber fast keine Spannung abfällt.

- **Vakuump-Photozelle:**

Eine Vakuum-Photozelle ist im Vergleich zu den eben beschriebenen Begriffen weder eine ideale Spannungs- noch eine ideale Stromquelle, da deren Widerstand auch nicht sehr groß bzw. sehr klein ist.

Wenn die Photozelle unbelastet ist, kann diese eine konstante Spannung aufbauen, bis man einen Widerstand dazuschaltet, was zu einer Spannungssenkung führt. Der Grund dafür ist, dass sich die Stromstärke nur im nA-Bereich befindet. Andererseits kann sie auch nicht als Stromquelle betrachtet werden, da sie dafür eine beliebige Spannung aufbauen müsste, wenn man eine von der Last unabhängige Stromstärke hätte.

Das Nützliche bei unserem Versuch ist jedoch, dass man mit ihr zwischen der Kathode und der Anode ein Gegenfeld aufbauen kann, sodass der Stromfluss verhindert werden kann, wenn die Spannung groß genug ist, dass keine Elektronen mehr ankommen.

Das eigentliche Ziel dieses Versuches ist es den Innenwiderstand eines Elektrometers zu bestimmen. Hierzu wird zunächst, wie in der Aufgabenstellung verlangt, am Elektrometer eine Spannung von z.B. 5V angelegt. Es fällt also demzufolge die komplette Spannung am Innenwiderstand des Messgerätes R_i ab. Die am Elektrometer angezeigte Spannung U sollte also U_0 sein. Als nächstes sollen zusätzlich noch verschiedene Widerstände R_x in Reihe dazu geschaltet werden. Mit den nun am Elektrometer abgelesenen Spannungen kann man auf den Innenwiderstand des Messgerätes schließen. Da bei einer Reihenschaltung der Strom konstant ist, gilt für diesen am Widerstand R_x :

$$I = \frac{U_0 - U}{R_x}$$

Setzt man diesen Strom, der natürlich auch am Messgerät gleich ist, nun für den Innenwiderstand am Elektrometer ein, so erhält man:

$$R_i = \frac{U}{I} = R_x \cdot \frac{U}{U_0 - U}$$

3 Photoeffekt und h/e -Bestimmung

Im dritten Versuchsteil soll als erstes der Aufbau des optischen Systems überprüft werden. Wir haben hier zwei Linsen, bei welcher die erste Linse das Lichtbündel der Quecksilberdampfampe auf eine Lochblende konzentriert. Mit ihr kann man auch die Lichtintensität regeln. Durch die zweite Linse wird das Licht der Lochblende auf die Kaliumkathode der Photozelle projiziert. Man muss dabei aufpassen, dass kein weiteres Licht auf die Photozelle oder Anode fällt. Außerdem soll hinter die zweite Linse ein Interferenzfilter aufgestellt werden, damit bestimmte Teile des Quecksilberspektrums ausgeblendet werden.

Wir können nun noch mithilfe der Abbildungsgleichung und der Vergrößerung die Abstände der optischen Elemente berechnen. Es gilt:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$$
$$\beta = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$$

Da wir an der ersten Linse keine Vergrößerung haben wollen, also $\beta = 1$ gelten soll, erhalten wir für $b = g = 2f = 13\text{cm}$.

Wir verwenden eine Quecksilberdampfampe, da diese Licht mit verschiedenen Wellenlängen abstrahlt, sodass wir durch einen Filter die gewünschte Wellenlänge einstellen können und nicht immer die Lampe wechseln müssen. Eine normale wohnzimmertaugliche Halogen-Lampe würde aber zu wenig Leistung bringen, als dass der Versuch mit ihr gelingen würde.

Außerdem sollte man auf den Einfluss des Umgebungslichtes achten, damit die Messergebnisse nicht zu stark verfälscht werden. Dies lässt sich feststellen, indem man die Verdunkelung variiert.

Zudem soll noch ein Nullabgleich beim Elektrometer durchgeführt werden, indem man mit den beiden Potentiometern regelt und gleichzeitig einen bestimmten Knopf drückt. In der Aufgabenstellung ist dabei der Hinweis gegeben, dass man dabei einen Verstärkungsfaktor von 100 nehmen soll.

3.1 Messung der Klemmspannungen in Abhängigkeit der Wellenlänge

Wir sollen nun bei maximaler Lichtintensität jeweils die Klemmspannungen bei den sechs verschiedenen angegebenen Wellenlängen messen. Hierzu haben wir sechs verschiedene Slots auf dem Filterrad. Das ganze soll drei Mal wiederholt werden. Zudem soll überprüft werden, ob sich etwas ändert, wenn man die Intensität des Lichtes ändert.

Wie bereits in den theoretischen Grundlagen erwähnt, gilt für die Energien:

$$E_{ph} = E_{kin} + W_A$$

Setzt man die Energie eines Photons $E_{ph} = h\nu$ und die kinetische Energie $E_{kin} = eU$ ein, so erhält man:

$$h \cdot \nu = e \cdot U + W_A$$

Da wir alles in Abhängigkeit von der Wellenlänge betrachten, nutzen wir den Zusammenhang zwischen der Wellenlänge und der Frequenz $\lambda = \frac{c}{\nu}$, womit wir erhalten:

$$h \cdot \frac{c}{\lambda} = e \cdot U + W_A$$

$$\rightarrow U(\lambda) = \underbrace{\frac{h \cdot c}{e}}_a \cdot \frac{1}{\lambda} - \underbrace{\frac{W_A}{e}}_b$$

Indem wir also jeweils die Spannung über die inverse Wellenlänge aufträgt, so erhält man die Steigung a und den y-Achsenabschnitt b. Damit wir das Verhältnis $\frac{h}{e}$ erhalten, muss man die Steigung a nur noch durch die Lichtgeschwindigkeit c teilen. Zudem können wir aus dem Parameter b die vom Material abhängige Ablöseenergie W_A bestimmen durch $W_A = -b \cdot e$.

3.2 Messen der Gegenspannung (1)

Als nächstes wollen wir das Verhältnis h/e über eine Gegenspannung bestimmen. Dazu wird zwischen der Kathode und Anode der Photozelle eine Gegenspannung U_G durch eine Batterie angelegt, wodurch die emittierten Elektronen abgebremst werden. Wir können nun natürlich die Gegenspannung so hoch drehen, sodass kein Elektron mehr das Potential überwinden kann und der Photostrom somit verschwindet. Haben wir dabei gerade die Spannung erreicht, ab der der Photostrom null ist, so haben die Elektronen genau die gleiche Energie, wie die Energie durch die Gegenspannung, also:

$$E_{kin} = e \cdot U_G$$

Wir können demzufolge genau gleich vorgehen und die selbe Gleichung nehmen, wie im Aufgabenteil 3.1, um das Verhältnis h/e zu bestimmen, nämlich:

$$U_G(\lambda) = \underbrace{\frac{h \cdot c}{e}}_a \cdot \frac{1}{\lambda} - \underbrace{\frac{W_A}{e}}_b$$

3.3 Photostrom in Abhängigkeit von der Spannung

Hier soll der Photostrom bei einer Wellenlänge von 400 nm in Abhängigkeit von der angelegten Spannung gemessen werden. Hierzu soll zu der Schaltung aus dem vorherigen Aufgabenteil ein 100MΩ Widerstand parallel zum Eingang des Elektrometers geschaltet

werden. Im Aufgabenblatt wurde dazu die Formel für den Strom bei einem ein-
gestellten Verstärkungsfaktor V gegeben durch:

$$I = \frac{U_{mess}}{RV}$$

Wir sollen hier auch wieder bei maximaler Lichtintensität messen. Außerdem soll man die Quecksilberdampf Lampe noch komplett abdunkeln, damit man den Einfluss von Streulicht berücksichtigen kann. Der Grund dafür sind thermische Effekte, wodurch auch Elektronen herausgelöst werden können.

Auch soll noch die Strom-Spannungs-Abhängigkeit des Photostroms beobachtet werden. Wie schon in der vorherigen Aufgabe erwähnt, fließt bei der Grenzspannung gerade kein Strom mehr, aufgrund der Gegenspannung, welche gerade groß genug ist, um die angeregten Elektronen vollständig zu bremsen. Um wieder einen Photostrom zu bekommen, muss man logischerweise die Gegenspannung erniedrigen, damit die Elektronen, welche zwar noch abgebremst werden, genug Energie haben, um die Anode zu erreichen. Der Photostrom erhöht sich nun so lange, bis man den sogenannten Sättigungsstrom erreicht hat, bei welchem alle Elektronen die Anode erreichen.

Man hat jedoch auch noch andere Möglichkeiten den Photostrom zu erhöhen, indem man z.B. die Lichtintensität erhöht. Auch wird wohl selbst bei der Grenzspannung ein Photostrom fließen, der sich z.B. durch Streueffekte erklären lässt.

3.4 Abschwächfaktor des Graufilters

Wir bringen nun an die Apparatur aus dem vorherigen Aufgabenteil einen Graufilter an und wiederholen damit die selbe Messung. Durch den Graufilter wird sich die Lichtintensität gleichmäßig verringern.

Man soll nun die Stromnulldurchgänge mit den der vorherigen Aufgabe vergleichen, ebenso wie die Intensitätsmaxima. Dazu sollen wir die Messwerte in das selbe Diagramm der Aufgabe 3.3 zeichnen.

3.5 Messen der Gegenspannung (2)

Zum Schluss soll gleich wie in Aufgabenteil 3.2 für alle Wellenlängen die Gegenspannung gemessen werden, bei welcher der Photostrom null wird, um daraus wieder das Verhältnis h/e zu bestimmen. Da wir den Photostrom wieder über $I = \frac{U_{mess}}{R \cdot V}$ bestimmen können, müssen wir demzufolge nur warten bis die gemessene Spannung null ist, denn dann ist auch der Photostrom null. Wir haben hier wieder genau den gleichen Effekt, dass aufgrund der Gegenspannung keine herausgelösten Elektronen mehr die Anode erreichen. Äquivalent können wir hier auch wieder aus der Steigung der Ausgleichsgeraden das Verhältnis h/e bestimmen.

Wir haben hier im Gegensatz zur Messung in Aufgabe 3.2 den Vorteil, dass es einfacher ist den Wert der Gegenspannung einzustellen und abzulesen, da wir hier genau diesen erreicht haben, wenn der Photostrom null ist und nicht wie im anderen Aufgabenteil die Klemmspannung.