

Vorbereitung: Photoeffekt

Christine Dörflinger und Frederik Mayer, Gruppe Do-9

3. Mai 2012

Inhaltsverzeichnis

0	Allgemeines	3
0.1	Elektrometer	3
1	Hallwachseffekt	3
2	Elektrometereigenschaften	3
2.1	Ideale Spannungs-/Strom-Quelle	3
2.2	Volt- / Ampèremeter	4
2.3	Vakuum-Photozelle	4
2.4	Innenwiderstand des Elektrometers	4
3	Photoeffekt und h/e -Bestimmung	4
3.1	Messung bei maximaler Lichtintensität für die Wellenlängen $\lambda = 360, 400, 440, 490, 540$ und 590 nm; Bestimmung von $\frac{h}{e}$ über Leerlaufspannung	4
3.2	Bestimmung von $\frac{h}{e}$ über Gegenfeldmethode	5
3.3	Photostrom in Abhängigkeit von der angelegten Spannung bei $\lambda = 400nm$	5
3.4	Abschwächungsfaktor des Graufilters	5
3.5	Bestimmung der Gegenspannungen $U_{I=0}$, damit Photostrom zum Erliegen kommt	5
4	Quellen	6

0 Allgemeines

0.1 Elektrometer

Ein Elektroskop ist ein Instrument, mit dem Spannungen und elektrische Ladungen nachgewiesen und gemessen werden können. Es existieren unterschiedliche Bauformen, das Prinzip ist jedoch stets das selbe: Aufgrund elektrostatischer Abstoßung von Ladungen werden zwei Folien voneinander, ein Zeiger von seiner Aufhängung oder zwei Fäden voneinander abgestoßen. Dadurch resultiert ein Ausschlag, sein Betrag ist durch das Kräftegleichgewicht von Schwerkraft und elektrostatischer Abstoßungskraft bestimmt. Hat sich das Gleichgewicht eingestellt, fließen keine Ladungen mehr (elektrostatische Messung).

Ein Elektrometer ist ein spezielles Elektroskop, das eine Skala besitzt, sodass nicht nur qualitativ sondern auch quantitativ gemessen werden kann. Eine mögliche Bauform ist beispielsweise das Zeigerelektrometer:

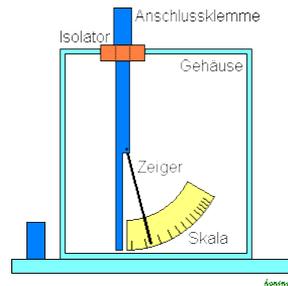


Abbildung 1: Aufbau eines Zeigerelektrometers

1 Hallwachseffekt

In diesem Versuch soll der äußere Photoeffekt (oder Hallwachseffekt) untersucht werden:

Durch die Bestrahlung durch kurzwelliges Licht können aus Halbleiter- oder Metalloberflächen Elektronen herausgelöst werden. Das Licht gibt dabei seine Energie gequantelt ab. Um ein Elektron herauszulösen, muss von einem Lichtquant mindestens die Austrittsarbeit W_A aufgebracht werden. Ein herausgelöstes Elektron besitzt dann die kinetische Energie

$$E_{kin} = hf - W_A. \quad (1)$$

Je höherfrequenter das Licht, umso höher ist also die kinetische Energie des Elektrons. Niedrigfrequentes Licht kann jedoch keine Elektronen aus der Oberfläche herauslösen, da die Austrittsarbeit nicht von einem Lichtquant aufgebracht werden kann. Bestrahlung durch höhere Lichtintensitäten ändert nur die Menge der ausgelösten Elektronen, nicht jedoch deren kinetische Energie.

Zur Durchführung des Versuchs wird eine Quecksilberdampf Lampe (da sie Licht im UV-Bereich emittiert) verwendet, um eine geschmirgelte Zinkplatte (geschmirgelt, damit keine Oxidschicht den Austritt von Elektronen verhindert) zu beleuchten. Die Zinkplatte wird dazu auf den isolierten Anschluss eines Elektroskops gesteckt. Dann wird die Zinkplatte negativ (ungefähr 2000V) aufgeladen, während das Gehäuse des Elektroskops kurz mit der Erde verbunden und damit entladen wird.

Zunächst beobachtet man einen langsamen Rückgang des Zeigerausschlags, der sich vor allem durch Entladung des Elektroskops über die Luftfeuchtigkeit erklären lässt.

Beleuchtet man die Zinkplatte jedoch mit einer Quecksilberdampf Lampe, so sieht man, dass der Zeiger schneller zurückgeht: Elektronen werden durch den Hallwachseffekt aus der Zinkplatte herausgeschlagen, die Entladung also beschleunigt.

Nun kann zusätzlich noch in die Nähe der Zinkplatte eine positiv geladene Metallelektrode gehalten werden: Nun ist eine Ansaugspannung vorhanden, die die aus der Zinkplatte herausgelösten Elektronen 'absaugt'. Durch schnellere Abführung der Elektronen resultiert auch eine schnellere Entladung des Elektroskops.

2 Elektrometereigenschaften

2.1 Ideale Spannungs-/Strom-Quelle

An einer idealen Spannungsquelle fällt unabhängig von angeschlossenen Schaltung immer die selbe Spannung ab. Der Innenwiderstand der Quelle ist also 0.

Eine ideale Stromquelle hingegen liefert unabhängig von der geschalteten Last immer die selbe Stromstärke. Da der Gesamtwiderstand der Schaltung von der geschalteten Last in diesem Fall unabhängig sein muss, hat die ideale Stromquelle einen unendlich hohen Innenwiderstand.

2.2 Volt- / Ampèremeter

Ein Voltmeter ist ein Gerät zur Messung elektrischer Spannungen. Es wird in Schaltungen stets parallel geschaltet; damit die Messung das Ergebnis nicht beeinflusst soll möglichst wenig Strom über das Voltmeter fließen, der Innenwiderstand sollte also möglichst hoch sein.

Ein Ampèremeter ist ein Instrument zur Messung elektrischer Stromstärken. Es wird in Schaltungen in Reihe eingebaut. Damit sich die Stromstärke durch den Einbau des Gerätes so wenig wie möglich ändert, sollte ein Ampèremeter einen minimalen Innenwiderstand haben.

2.3 Vakuum-Photozelle

Eine Vakuum-Photozelle ist weder eine ideale Strom- noch eine ideale Spannungsquelle: Ihr Innenwiderstand ist weder 0 noch unendlich.

Im Leerlauf baut sie zwar eine konstante, genau definierte Spannung auf. Sobald man die Fotozelle jedoch belastet, sinkt die Spannung stark ab, da durch den Fotoeffekt nur geringe Stromstärken erzeugt werden können. Also kann sie nicht als ideale Spannungsquelle betrachtet werden.

Um als ideale Stromquelle betrachtet werden zu können, müsste sie, um von der Last unabhängige Stromstärken zu erreichen, beliebig hohe Spannungen erzeugen können. Dies ist jedoch nicht möglich, da die Fotozelle eine genau definierte Grenzspannung besitzt, aber der keine Elektronen mehr die Anode erreichen. Es fließt irgendwann also gar kein Strom mehr.

2.4 Innenwiderstand des Elektrometers

Zur Bestimmung des Innenwiderstandes des Elektrometers wird eine definierte Spannung (5V) über einen großen Vorwiderstand (0.1 / 1 / 10 GΩ) angelegt. Dazu wird der Vorwiderstand in Reihe mit dem Elektrometer geschaltet. Nach der Maschenregel gilt dann

$$U_0 - U_R - U_I = 0 \quad (2)$$

wobei U_0 die angelegte Spannung, U_R die Spannung des Widerstandes und U_I die Spannung über dem Innenwiderstand des Elektrometers bezeichnet. Dies lässt sich dann folgendermaßen umformen:

$$U_0 - R \cdot I - U_I = 0 \quad (3)$$

$$U_0 - R \cdot \frac{U_I}{R_I} - U_E = 0 \quad (4)$$

$$R_E = \frac{U_I R}{U_0 - U_I} \quad (5)$$

3 Photoeffekt und h/e -Bestimmung

Zunächst soll der Versuchsaufbau untersucht werden.

In diesem Versuch wird als Lichtquelle eine Quecksilberdampfampe verwendet, da sie auch ultraviolette Strahlung emittiert, die wegen $E = hf$ sehr energiereich ist. Damit aus der Zinkplatte Elektronen ausgelöst werden können, müssen einzelne Lichtquanten eine ausreichend hohe Energie haben, um diese Ablöseenergie aufzubringen. Eine Bestrahlung durch langwelliges Licht hoher Intensität führt zu keiner Ablösung von Elektronen.

Nun soll noch ein Nullabgleich am Elektrometer durchgeführt werden. Dazu wird der Verstärkungsfaktor $V = 10^2$ eingestellt (um später nicht erneut Nullabgleich durchführen zu müssen). Danach wird der Verstärkungsfaktor wieder auf $V=1$ eingestellt.

3.1 Messung bei maximaler Lichtintensität für die Wellenlängen $\lambda = 360, 400, 440, 490, 540$ und 590 nm; Bestimmung von $\frac{h}{e}$ über Leerlaufspannung

Nun sollen Klemmenspannungen der Photozelle für verschiedene Wellenlängen bei maximaler Lichtintensität gemessen werden. Dazu ist ein Filterrad in den Strahlengang eingebaut, das 6 verschiedene Positionen für die verschiedenen Wellenlängen besitzt. Für jede Wellenlänge soll eine Messung durchgeführt werden. Außerdem

soll mit der Blende überprüft werden, ob die Spannungen intensitätsunabhängig sind. Die Intensität sollte keinen Einfluss auf den maximalen Spannungswert haben, da sie nur die Menge der abgelösten Elektronen bestimmt, nicht jedoch deren kinetische Energie.

Die Klemmspannungen sind durch ein Gleichgewicht bestimmt: In der Fotozelle baut sich zwischen Anode und Kathode eine Gegenspannung auf, da sich aus der Kathode austretende Elektronen an der Anode sammeln. Dies geschieht, bis die Elektronen das elektrische Feld nicht mehr überwinden können. Beim Austritt aus der Kathode besitzen sie abhängig von der Wellenlänge des Lichts und der Austrittsarbeit die Energie $E_{kin} = hf - W_A$. Damit:

$$E_{kin} = e \cdot U_{max} = hf - W_A \quad (6)$$

Umgeformt ergibt sich die Leerlaufspannung U_{max} :

$$U_{max} = \frac{hc}{e} \frac{1}{\lambda} - \frac{W_A}{e} \quad (7)$$

Berechnet man nun mit den Messdaten die Ausgleichsgerade

$$U = \frac{a}{\lambda} + b \quad (8)$$

so sieht man, dass man das Verhältnis $\frac{h}{e}$ über $\frac{h}{e} = \frac{a}{c}$ bestimmen kann. Der Faktor b ist ein Verhältnis aus Ablöseenergie und Elementarladung: $b = -\frac{W_A}{e}$.

3.2 Bestimmung von $\frac{h}{e}$ über Gegenfeldmethode

Der Versuch wird wie in der Versuchsanleitung beschrieben aufgebaut. Es werden wieder Messungen bei den 6 Wellenlängen durchgeführt. Das Verhältnis $\frac{h}{e}$ kann analog zur vorigen Aufgabe bestimmt werden; nur dass die Gegenspannung mithilfe der Batterie selbst eingestellt wird. Die richtige Gegenspannung ist die minimale Spannung, bei der die Klemmspannung auf Null absinkt und somit keine Elektronen mehr die Anode erreichen.

3.3 Photostrom in Abhängigkeit von der angelegten Spannung bei $\lambda = 400nm$

In diesem Versuch soll der Photostrom in Abhängigkeit von der angelegten Spannung gemessen werden. Dazu wird der Versuch wie in Abbildung 2 auf dem Aufgabenblatt beschrieben aufgebaut. Zudem sind Spannungintervalle angegeben, in denen eine Messung sinnvoll ist. Außerdem ist eine Formel zur Berechnung des Fotostroms angegeben: $I = \frac{U_{mess}}{RV}$.

Es soll bei maximaler Lichtintensität gemessen werden; außerdem soll der Einfluss von Streulicht untersucht werden: dafür kann die Quecksilberdampfampe einfach komplett abgedunkelt und die resultierende Stromstärke bei unterschiedlichen Gegenspannungen gemessen werden.

Nun soll ein Photostrom-Spannungs-Schaubild gezeichnet werden. Darin sollte zu erkennen sein, dass der Photostrom mit zunehmender Gegenspannung abnimmt: Nicht alle Lichtquanten geben ihre gesamte Energie komplett an Elektronen ab; deswegen existieren Elektronen mit unterschiedlicher kinetischer Energie. Daher erreichen mit zunehmender Gegenspannung immer weniger Elektronen die Anode; die Photostromstärke sinkt also.

Für den Bereich von -2.5 V bis 0 V soll ein zweites Schaubild mit gedehnten Maßstäben gezeichnet werden. Anschließend sollen Ursachen für die beobachtete Strom-Spannungs-Abhängigkeit des Photostroms diskutiert werden.

3.4 Abschwächungsfaktor des Graufilters

Graufilter verringern die Intensität des Lichtes gleichmäßig in allen Wellenlängenbereichen. In dieser Aufgabe soll der Abschwächungsfaktor eines Graufilters bestimmt werden. Mit den Ergebnissen aus Aufgabe 3.3 kann hier auf die Lichtintensität mit Graufilter geschlossen und daraus der Abschwächungsfaktor berechnet werden.

3.5 Bestimmung der Gegenspannungen $U_{I=0}$, damit Photostrom zum Erliegen kommt

In diesem Versuch besteht der Unterschied zu Aufgabe 3.2 darin, dass die Ladung der Photozelle über einen Widerstand abfließen kann, der dem Elektrometer parallel geschaltet ist (Versuchsaufbau identisch zu Aufgabe 3.3). Wie in der vorhergehenden Aufgabe kann die Photostromstärke dann bestimmt werden. Über die Spannung am Widerstand lässt sich die Photostromstärke wieder mit $I = \frac{U_{mess}}{RV}$ berechnen.

Der Photostrom ist genau dann Null, wenn die Spannung über Photozelle und Batterie auch Null sind. In diesem Fall erreichen in der Photozelle aufgrund der Gegenspannung keine Elektronen mehr die Anode. Die an der Batterie abgelesene Spannung sollte identisch mit der aus Aufgabe 3.2 sein.

4 Quellen

- Abbildung 1: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/fc/Fotoelektrischer_Effekt.svg/527px-Fotoelektrischer_Effekt.svg.png
- Abbildung 2: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/01/Elektroskop.PNG>
- Vorbereitungsmappe
- http://de.wikipedia.org/wiki/Photoelektrischer_Effekt