

Auswertung: Photoeffekt

Christine Dörflinger und Frederik Mayer, Gruppe Do-9

2. Mai 2012

Inhaltsverzeichnis

1	Hallwachseffekt	3
2	Bestimmung des Innenwiderstands des Elektrometers	3
3	Photoeffekt und $\frac{h}{e}$ -Bestimmung	3
3.1	$\frac{h}{e}$ -Bestimmung bei verschiedenen Wellenlängen	3
3.2	$\frac{h}{e}$ -Bestimmung durch Anlegen einer Gegenspannung	5
3.3	Photostrom in Abhängigkeit von der angelegten Spannung	5
3.4	Photostrom mit Graufilter	8
3.5	Gegenspannungen $U_{I=0}$, damit Photostrom zum Erliegen kommt	9

1 Hallwachseffekt

Wie in der Vorbereitung beschrieben wurde für diese Aufgabe eine Zinkplatte auf dem isolierten Anschluss eines elektrostatischen Elektrometers platziert. Die Zinkplatte wurde zuvor geschmirgelt, sodass keinen Oxidschicht den Austritt von Elektronen verhindern kann.

Wir beobachteten folgendes:

- Zinkplatte ohne äußere Einflüsse auf elektrostatischem Elektrometer: Wie zu erwarten war, kann ein langsames Entladen beobachtet werden. Die Anordnung entlädt sich hier über die Luftfeuchtigkeit.
- Mit Quecksilberdampfampe: Es kann beobachtet werden, dass das Entladen schneller von statten geht, als ohne Quecksilberdampfampe.
- Mit Quecksilberdampfampe und positiv geladenerer Elektrode: Die Anordnung entlädt sich hier am schnellsten.

Im Versuch konnten folglich unsere Erwartungen bestätigt werden (siehe Vorbereitung).

2 Bestimmung des Innenwiderstands des Elektrometers

Der Versuch wurde gemäß Versuchsbeschreibung aufgebaut. Zunächst sollte eine definierte Spannung ($U_0 = 4.96V$) direkt und dann über Vorwiderstände ($100M\Omega$, $1G\Omega$, $10G\Omega$) an das Elektrometer angelegt werden. Für die verschiedenen Vorwiderstände R_V wurden dann die Spannungen U_e am Elektrometer abgelesen. Leider wurde Messung ohne Vorwiderstand von uns vergessen.

Bei der Durchführung der Messungen fiel auf, dass die Spannung am Elektrometer stark schwankte, solange wir uns in der Nähe des Versuchsaufbaus befanden. Daher entfernten wir uns immer einige Meter vom Versuchsaufbau, bis sich der Spannungswert stabilisierte und lasen dann ab. Daher sind die von uns aufgenommenen Messwerte schon im Vorraus anzuzweifeln.

Aus den Messwerten berechneten wir mithilfe folgender Formel den Innenwiderstand des Elektrometers: $R_e = U_e \cdot \frac{R_i + R_V}{U_0 - U_e}$ (\rightarrow siehe Vorbereitung):

U_0 in V	R_V in Ohm	U_e in V	R_e in Ohm
4,96	1,00E+10	4,5	9,78E+10
4,96	1,00E+09	4,9	8,17E+10
4,96	1,00E+08	4,99	-1,66E+10

Tabelle 1: gemessene U_0 , R_V , U_e , berechnetes R_e

Auffallend ist, dass die ersten beiden errechneten Werte zwar ungefähr gleich sind (1. Wert ist um 19.7% größer als der 2.), der letzte gemessene Wert aber offensichtlich falsch ist. Der Fehler hierbei ist, dass die am Elektrometer abfallende Spannung nicht größer als U_0 sein kann. Hier liegt offensichtlich ein systematischer Fehler vor. Im Nachhinein können wir aber nicht erklären, was hier zum Fehler geführt hat; allerdings haben wir bereits bei der Durchführung des Versuches nicht mit allzu genauen Messwerten gerechnet, da die bereits erwähnten Spannungsschwankungen am Elektrometer auftraten.

3 Photoeffekt und $\frac{h}{e}$ -Bestimmung

3.1 $\frac{h}{e}$ -Bestimmung bei verschiedenen Wellenlängen

Wie bereits in der Vorbereitung beschrieben wird hier eine Ausgleichsgerade und damit das Verhältnis $\frac{h}{e}$ bestimmt.

Die Ausgleichsgerade hat die Form:

$$U = \frac{a}{\lambda} + b \quad (1)$$

Hierbei sei $\frac{h}{e}$ über $\frac{h}{e} = \frac{a}{c}$ zu bestimmen. Der Faktor b ist ein Verhältnis aus Ablöseenergie und Elementarladung: $b = -\frac{W_A}{e}$.

Slot	Wellenlänge in nm	Messung 1 in V	Messung 2 in V	Messung 3 in V
1	360	-1,09	-1,1	-1,09
2	400	-0,8	-0,79	-0,8
3	440	-0,58	-0,58	-0,59
4	490	-0,42	-0,41	-0,41
5	540	-0,26	-0,26	-0,26
6	590	-0,12	-0,12	-0,12
Steigung	a in Vm:	$8.766 \cdot 10^{-7}$	$8.818 \cdot 10^{-7}$	$8.794 \cdot 10^{-7}$
$\frac{W_A}{e}$	b in V:	1.375	1.387	1.381

Tabelle 2: Messwerte 3.1

Bei der Messung konnten wir zeigen, dass die Messung reproduzierbar ist, da sich die gemessenen Werte nur minimal unterscheiden. Die Intensitätsunabhängigkeit wurde überprüft in dem wir per Hand den Strahlengang teilweise unterbrachen.

Die Werte von a und b wurden mit Matlab ermittelt. Offensichtlich wurde das Messgerät falsch angeschlossen, weswegen im Folgenden alle Messwerte mit (-1) multipliziert sind. Da wir experimentell gezeigt haben, dass die Messung reproduzierbar ist, wird ab hier außerdem der Mittelwert aus a und b verwendet.

- $\bar{a} = 8,793 \cdot 10^{-7} Vm$
- $\bar{b} = 1,381V$

Hieraus ergibt sich durch dividieren durch die Lichtgeschwindigkeit c die gesuchten Werte für Ablöseenergie und $\frac{h}{c}$:

- $\frac{h}{c_{mess}} = 2,931 \cdot 10^{-15} \frac{J}{A}$
- $W_{A-mess} = 1,381eV = 2,21 \cdot 10^{-19} J$

Der tatsächliche Wert für $\frac{h}{c}$ wäre aber: $\frac{h}{c} = 4.136 \cdot 10^{-15}$. Damit weicht unser Messwert um 29,1% ab.

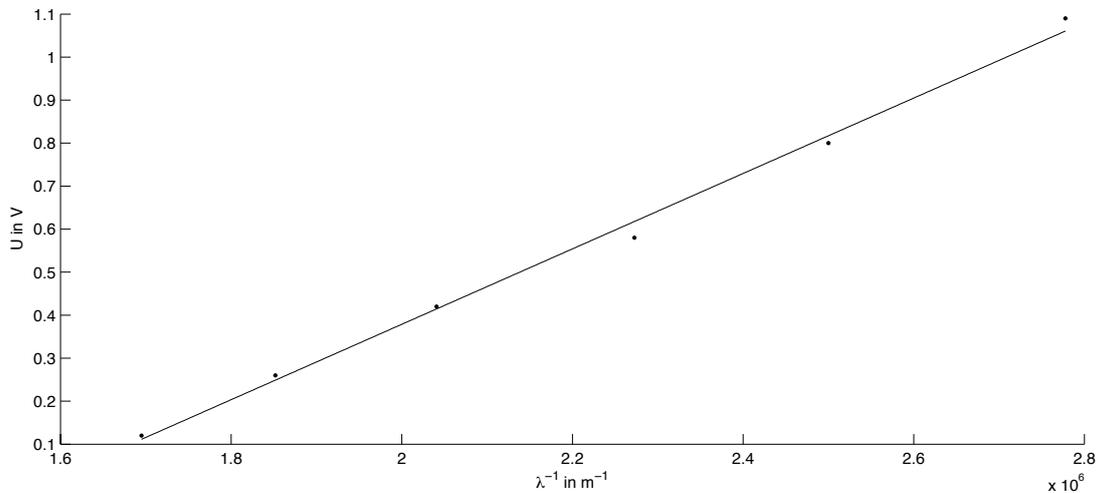


Abbildung 1: Exemplarisch: Messung 1

3.2 $\frac{h}{e}$ -Bestimmung durch Anlegen einer Gegenspannung

Im Prinzip wurde hier die gleiche Messung durchgeführt, wie bei 3.1. Daher wird hier auf eine ausführliche Beschreibung des Vorgehens verzichtet.

Slot	Wellenlänge in nm	Gegenspannung in V
1	360	1,04
2	400	0,73
3	440	0,54
4	490	0,38
5	540	0,23
6	590	0,11
Steigung	a in Vm:	$8.364 \cdot 10^{-7}$
$\frac{W_A}{e}$	b in V:	1.326

Tabelle 3: Messwerte 3.2

Somit ergibt sich:

- $\frac{h}{c_{mess}} = 2,788 \cdot 10^{-15} \frac{J}{A}$
- $W_{A-mess} = 1,326eV = 2,12 \cdot 10^{-19} J$

Der Messwert, der mit der Gegenfeldmethode ermittelte Wert für $\frac{h}{e}$ weicht um 32,5% vom theoretischen Wert ab. Es ist auffällig, dass beide Messungen vom Wert her nahezu identisch sind, aber beide relativ stark vom theoretischen Wert abweichen. Daher liegt die Vermutung nahe, dass bei der Messung ein systematischer Fehler gemacht wurde.

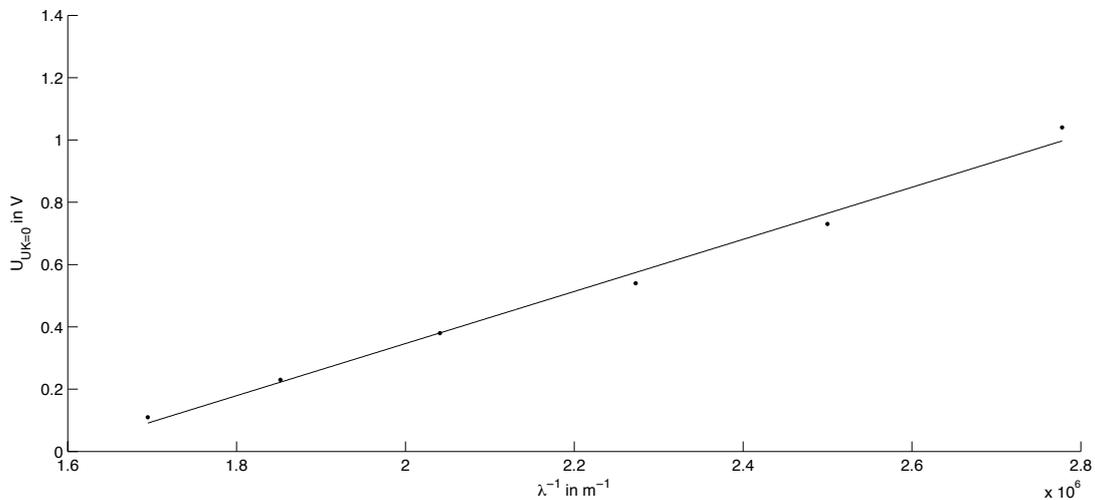


Abbildung 2: $\frac{h}{e}$ -Bestimmung mit Gegenfeldmethode

3.3 Photostrom in Abhängigkeit von der angelegten Spannung

Nun sollte der Photostrom in Abhängigkeit von der an die Photozelle angelegte Spannung bestimmt werden. Dazu wurde ein Widerstand von $100 M\Omega$ parallel zum Messeingang des Elektrometers angeschlossen. In bestimmten Spannungsintervallen wurden dann die Spannungen am Elektrometer gemessen.

Da die Versuche 3.3 und 3.4 lichtempfindlich sind, führten wir sie bei geschlossenem Vorhang durch. Es sollte ein Dunkelstrom bestimmt werden. Die hier gemessene Spannung war äußerst gering und muss daher im Folgenden nicht berücksichtigt werden.

Mit der Formel $I = \frac{U_{mess}}{RV}$, wobei V der eingestellte Verstärkungsfaktor ist, ließ sich dann der Photostrom berechnen.

Spannungsintervalle in V	U_{mess}	I in 10^{-9} A
-3	-0,1	-10
-2,9	-0,1	-10
-2,8	-0,1	-10
-2,7	-0,1	-10
-2,6	-0,1	-10
-2,5	-0,099	-9,9
-2,4	-0,099	-9,9
-2,3	-0,095	-9,5
-2,2	-0,1	-10
-2,1	-0,1	-10
-2	-0,1	-10
-1,9	-0,1	-10
-1,8	-0,1	-10
-1,7	-0,1	-10
-1,6	-0,1	-10
-1,5	-0,1	-10
-1,4	-0,1	-10
-1,3	-0,095	-9,5
-1,2	-0,089	-8,9
-1,1	-0,082	-8,2
-1	-0,066	-6,6
-0,9	-0,049	-4,9
-0,8	-0,029	-2,9
-0,7	0	0
-0,6	0,035	3,5
-0,5	0,072	7,2
0	0,3	3
0,5	0,6	60
1	0,94	94
1,5	1,31	131
2	1,66	166
2,5	2,05	205
3	2,41	241
4	3,18	318
5	3,86	386
6	4,53	453
7	5,2	520
8	5,84	584
8,79	6,48	648

Tabelle 4: Messwerte 3.3 und Photostrom I

Nun trugen wir den Photostrom über die angelegte Gegenspannung in einem Schaubild auf:

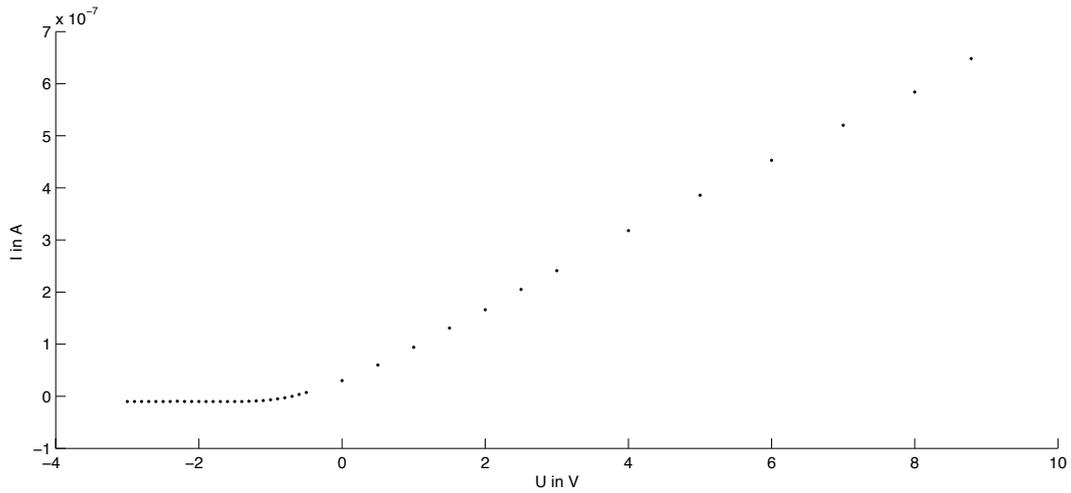


Abbildung 3: Photostrom in Abhängigkeit von der angelegten Gegenspannung

Darin ist zu erkennen, dass der Betrag der Photostromstärke mit steigender Spannung (also Saugspannung) immer größer wird. In diesem Bereich ist der Photostrom ungefähr linear proportional zur angelegten Spannung.

Legt man eine geringe Gegenspannung an, so fließt zunächst noch ein Strom zur Anode. Mit steigender Gegenspannung erreicht die Photostromstärke einen Bereich, in dem sie immer schwächer anwächst, ihr Vorzeichen wechselt und einen Maximalwert erreicht ('Plateaubereich', 'Sättigung'). In diesem Bereich erreichen keine Elektronen von der Kathode mehr die Anode. Stattdessen könnte man vermuten, dass der Fotoeffekt geringfügig auch an der Anode auftritt, und die Elektronen dann zur Kathode beschleunigt werden (Sie müssen keine Gegenspannung überwinden). Da die Anzahl der an der Anode emittierten Elektronen jedoch sehr klein sein muss (kleine Oberfläche, Material aus dem weniger Elektronen ausgelöst werden können: Platin, besitzt hohe Ablösearbeit), wird sehr schnell ein Sättigungswert erreicht. Dieser Sättigungswert ist allein durch die Intensität des einfallenden Lichtes bestimmt; es herrscht ein linearer Zusammenhang.

Bei großen Saugspannungen ($U > 0$) wurde im Gegensatz zu den Gegenspannungen bei unseren Messungen kein Sättigungswert erreicht, da aus dem Kathodenmaterial (Kalium) leicht viele Elektronen ausgelöst werden können. Zudem hat die Kathode eine viel größere Oberfläche, die von der Quecksilberdampfampe beleuchtet werden kann. Die resultierende Stromstärke ist also viel größer.

Anschließend sollte noch der Spannungsbereich zwischen -2.5 und 0V vergrößert dargestellt werden:

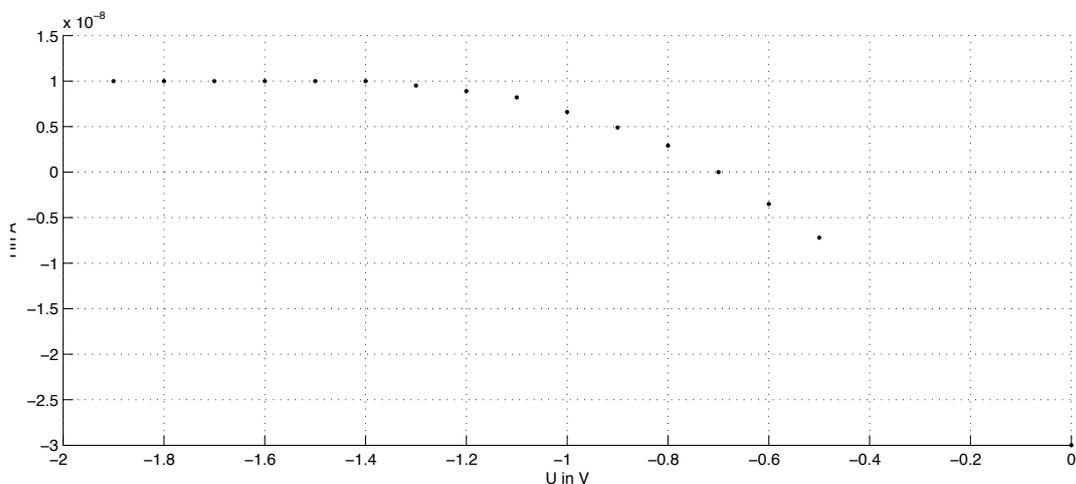


Abbildung 4: Vergrößerte Darstellung des Spannungsbereichs von -2.5 bis 0V

Daraus lässt sich der Punkt bestimmen, an dem der Photostrom den Wert 0 annimmt: Die zugehörige

Spannung ist $U_{I=0} = -0.7V$. Elektronen, die diese Gegenspannung nicht mehr überwinden können, haben also die kinetische Energie

$$E_{kin} = e \cdot U = 0.7eV. \quad (2)$$

Der Literaturwert für die Austrittsarbeit aus der Kaliumkathode beträgt $E_A = 2.25eV$. Damit lässt sich ein theoretischer Wert für die kinetische Energie der Elektronen berechnen:

$$E_{kin} = hf - W_A = 4.14 \cdot 10^{-15} eVs \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{400 \cdot 10^{-9} m} - 2.25eV = 0.86eV \quad (3)$$

Der experimentell bestimmte entspricht also ungefähr dem theoretischen Wert für die kinetische Energie die Elektronen.

3.4 Photostrom mit Graufilter

Hier führten wir den selben Versuch wie in 3.3 durch, mit dem Unterschied, dass wir in den Strahlengang der Quecksilberlampe einen Graufilter einbauten. Graufilter reduzieren die Intensität des Lichtes gleichmäßig auf allen Wellenlängenbereichen. Da die Photostromstärke linear proportional zur einfallenden Lichtintensität ist, lässt sich durch Messung des Photostroms der Abschwächungsfaktor des Graufilters berechnen.

Wir nahmen folgende Messdaten auf und berechneten daraus den Photostrom I. Dann trugen wir die Photostromstärke mit Graufilter zusammen mit der Photostromstärke ohne Graufilter zusammen in einem Schaubild auf:

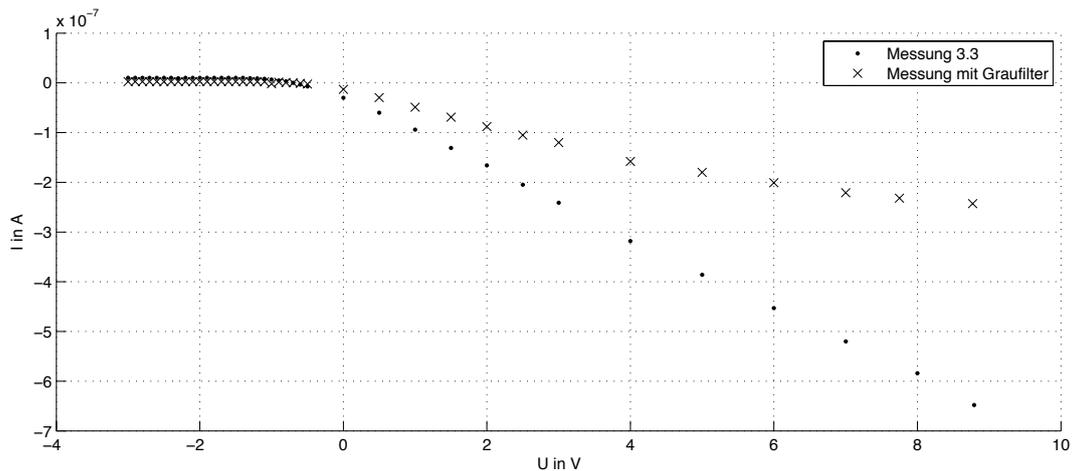


Abbildung 5: Photostrom in Abhängigkeit von der angelegten Gegenspannung, mit und ohne Graufilter

Zur Berechnung des Abschwächungsfaktors verwendeten wir die Plateaubereiche der jeweiligen Messungen, da in diesen Bereichen die Lichtintensität (siehe Aufgabe 3.3) linear proportional zur Photostromstärke ist.

Um den Abschwächungsfaktor zu bestimmen, berechneten wir in diesem Bereich für jede Batteriespannung U_0 das Verhältnis $\frac{I_{Filter}}{I_{ohne}}$:

U_0 in V	$\frac{I_{Filter}}{I_{ohne}}$
-3	0,25
-2,9	0,25
-2,8	0,25
-2,7	0,25
-2,6	0,25
-2,5	0,23
-2,4	0,25
-2,3	0,25
-2,2	0,25
-2,1	0,25
-2	0,24
-1,9	0,25
-1,8	0,25
-1,7	0,24
-1,6	0,25
-1,5	0,25
-1,4	0,23
-1,3	0,23
-1,2	0,25
-1,1	0,27
Mittelwert	0,25

Tabelle 5: Verhältnisse $\frac{U_{Filter}}{U_{ohne}}$, Mittelwert

Damit beträgt der Mittelwert der Stromstärkenverhältnisse und damit das Transmissionsvermögen des Graufilters $\frac{U_{Filter}}{U_{ohne}} = T = 0.25$.

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

Analog zu Aufgabe 3.2 wurde hier mit Matlab eine Gerade durch unsere Messwerte gefittet.

Slot	Wellenlänge in nm	Gegenspannung in V
1	360	1,02
2	400	0,71
3	440	0,54
4	490	0,36
5	540	0,21
6	590	0,18
Steigung	a in Vm:	$7,847 \cdot 10^{-7}$
$\frac{W_A}{e}$	b in V:	1.215

Tabelle 6: Messwerte 3.5

Somit ergibt sich:

- $\frac{h}{c_{mess}} = 2,616 \cdot 10^{-15} \frac{J}{A}$
- $W_{A-mess} = 1,215eV = 1,944 \cdot 10^{-19} J$

Die Abweichung vom theoretischen Wert beträgt hier 36,8%, was ebenso ungenau ist wie die Ergebnisse aus Aufgabe 3.1 und 3.2. Der Unterschied zu Messung 3.2 besteht darin, dass hier eine Strommessung vorgenommen wurde. Das bedeutet, dass hier der Strom über den gewählten Vorwiderstand abfällt.