

UNIVERSITÄT ZU KÖLN

MATHEMATISCH–NATURWISSENSCHAFTLICHE FAKULTÄT



PRAKTIKUM B

11. JUNI 2024

B1.4

Photoelektrischer Effekt

CATHERINE TRAN
CARLO KLEEFISCH
OLIVER FILLA

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Theoretische Grundlagen	4
2.1	Physikalische Grundlagen	4
2.1.1	Elektrische Felder	4
2.1.2	Spannung	4
2.1.3	Transmission von Licht	4
2.1.4	Photoelektrischer Effekt	5
2.1.5	Austrittsarbeit	5
2.2	Elektrotechnik	5
2.2.1	Funktionsweise einer Photozelle	5
2.2.2	stromfreie Spannungsmessung	5
2.2.3	Kontaktspannung	6
3	Durchführung	7
3.1	Bestimmung von h/e	7
3.1.1	Gegenspannungsmethode	7
3.1.2	direkte Messmethode	7
3.2	Photostrom	7
3.2.1	Photoströme	7
3.2.2	Intensität	8
3.3	Untersuchung von LEDs mit der Photozelle	8
4	Auswertung	9
5	Fazit	10
6	Literatur	11

1 Einleitung

Der photoelektrische Effekt beschreibt die Auslösung von Elektronen aus einem Material, das mit Licht einer bestimmten Frequenz bestrahlt wird. Diese Elektronen haben nach dem Austritt eine kinetische Energie, die von der Frequenz des Lichts abhängt.

Die Energie der Elektronen hängt jedoch nicht von der Intensität des Lichtes ab. Dadurch kann nicht jede elektromagnetische Strahlung für den Photoeffekt verwendet werden. Die Intensität bestimmt stattdessen die Anzahl der Elektronen, die in einer bestimmten Zeit ausgelöst werden und einen Photostrom bilden.

Dieses Phänomen war bereits im 19. Jahrhundert beobachtet worden, konnte jedoch nicht erklärt werden. Ohne die Quantenphysik nahm man an, dass die Energie des Lichts von seiner Amplitude und Intensität abhängt, ähnlich wie bei makroskopischen Wellen. Dies stand jedoch im Widerspruch zum beobachteten Photoeffekt.

ALBERT EINSTEIN erklärte diesen Effekt im Jahr 1905 durch seine Lichtquantenhypothese. Nach dieser besteht das Licht einer Frequenz ν aus Quanten mit der Energie $h\nu$. Damit ist der fehlende Zusammenhang von Lichtintensität und kinetischer Energie der Elektronen erklärbar.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Physikalische Grundlagen

2.1.1 Elektrische Felder

Das elektrische Feld ist ein Vektorfeld, welches jedem Punkt im Raum den Vektor der elektrischen Feldstärke \vec{E} zuordnet. Diese beschreibt die Coulomb-Kraft \vec{F}_C , die auf eine Ladung Q an diesem Ort wirkt.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_C}{Q} \quad (2.1)$$

Feldlinien werden als Darstellungsmittel verwendet und liegen tangential an der Feldstärke \vec{E} . Feldlinien beginnen in positiven und enden in negativen Ladungen.

2.1.2 Spannung

Um eine elektrische Ladung von einem Ort A zu einem Ort B zu bewegen, muss elektrische Arbeit W_{AB} aufgebracht werden. Sie hängt von der Feldstärke ab.

Die *elektrische Spannung* beschreibt diese Arbeit unabhängig von der zu verschiebenden Ladung Q . [2]

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (2.2)$$

2.1.3 Transmission von Licht

Wie jede Welle kann auch Licht ein Medium durchdringen. Der *Transmissionsgrad* T eines Mediums beschreibt, welcher Anteil von einfallender Strahlung transmittiert wird. Er ist der Quotient aus der Beleuchtungsstärke vor dem Medium I_0 sowie hinter demselben I . [2]

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (2.3)$$

Der Transmissionsgrad eines Mediums hängt im Allgemeinen von der betrachteten Wellenlänge ab. Es gibt verschiedene Filter, um die Strahlungsintensität zu reduzieren.

Ein *Farbfilter* lässt nur Licht einer bestimmten Wellenlänge hindurch. Für diese Wellenlänge beträgt der Transmissionsgrad näherungsweise 1, für alle anderen Wellenlängen 0.

Im Unterschied dazu lässt ein *Graufilter* oder Neutralfilter alle Wellenlängen in gleicher Stärke hindurch. Der Transmissionsgrad ist damit idealerweise unabhängig von der Wellenlänge.

2.1.4 Photoelektrischer Effekt

2.1.5 Austrittsarbeit

2.2 Elektrotechnik

2.2.1 Funktionsweise einer Photozelle

Eine Photozelle besteht aus einer Photokathode und einer Anode in einem Glaskolben, siehe Abbildung 1.

Fällt Licht auf die Photokathode, so werden durch den Photoeffekt Elektronen aus der Kathode gelöst. Einige dieser sogenannten *Photoelektronen* treffen auf die Anode. Dadurch entsteht ein elektrisches Feld zwischen den Elektroden.

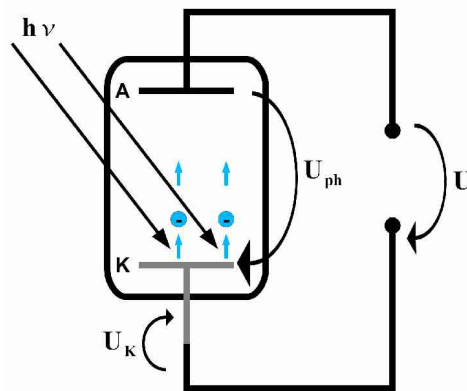


Abbildung 1: Darstellung einer Photozelle mit Kathode K und Anode A [3]

Die Photoelektronen können auf ihrem Weg zur Anode abgebremst werden, indem eine externe Spannung an den Elektroden angelegt wird. Hierbei muss an der Anode eine negative Spannung angelegt werden.

Die *Stoppspannung* $U_{\text{Ph},0}$ ist die minimale Spannung, die alle Photoelektronen abbremsst. Sie hängt von der Energie des Lichts $h\nu$ mit Frequenz ν und der Austrittsarbeit $W_A(K)$ der Kathode ab. [2]

$$e \cdot U_{\text{Ph},0} = h \cdot \nu - W_A(K) \quad (2.4)$$

2.2.2 stromfreie Spannungsmessung

Bei stromfreier Spannungsmessung wird die Spannung gemessen, ohne dass Strom durch das Messgerät fließt. Sie wird mittels eines Elektrometers durchgeführt.

Es gibt verschiedene Arten von Elektrometern, die alle nach dem gleichen Prinzip funktionieren. Eine elektrische Ladung ist an einer Art Zeiger angebracht, der sich in einem Kondensator befindet. Wird eine Spannung an den Kondensator angelegt, wird

der Zeiger aufgrund des entstehenden elektrischen Feldes ausgelenkt. Eine passend angebrachte Skala ermöglicht die Bestimmung der Spannung anhand der Auslenkung des Zeigers [2].

Eine solche stromfreie Spannungsmessung wird in diesem Versuch verwendet.

2.2.3 Kontaktspannung

3 Durchführung

Zunächst wird das System genullt, d.h. es wird so eingestellt, dass die Gegenspannung U bei Kurzschluss der Photozelle 0 V ist.

3.1 Bestimmung von h/e

Der Widerstand des Elektrometers wurde auf $10^{13} \Omega$ eingestellt.

Filter	Farbe	λ [nm]
1	UV	366
2	Violett	405
3	Blau	436
4	Grün	546
5	Gelb	578

Tabelle 1: Eigenschaften der Interferenzfilter mit $\Delta\lambda = \pm 7\text{nm}$

3.1.1 Gegenspannungsmethode

Die Zeitkonstante wurde auf 0.3 s und der Messverstärker auf 10 eingestellt.

Filter	Farbe	U_0 [V]
1	UV	1.769
2	Violett	1.434
3	Blau	1.232
4	Grün	0.705
5	Gelb	0.645

Tabelle 2: Messergebnisse nach der Gegenspannungsmethode mit $\Delta U_0 = \pm 1\text{ mV}$

3.1.2 direkte Messmethode

Schon während der Messung fiel die große Ähnlichkeit der Messwerte mit denen aus der vorherigen Messung auf. Dass die Werte eher minimal kleiner sind liegt vermutlich an einem reduzierten Rauschen aus der Umgebung, da die nicht-abgeschirmten Kabel des Aufbaus noch weiter von der Photozelle entfernt waren.

3.2 Photostrom

3.2.1 Photoströme

Bei der Messung der Photoströme trat ein Nullpunktsfehler von 1 mV auf. Der Messverstärker wurde auf 10^4 gestellt, die Zeitkonstante auf 0.3 s. Der Photostrom wurde indirekt über einen Widerstand $R = 10\text{ k}\Omega$ gemessen.

Filter	Farbe	U [V]
1	UV	1.770
2	Violett	1.434
3	Blau	1.232
4	Grün	0.696
5	Gelb	0.635

Tabelle 3: Messergebnisse nach der direkten Methode mit $\Delta U_0 = \pm 1 \text{ mV}$

λ [nm]	Transmissionsgrad T [%]					
	1	2	3	4	5	6
436	68	48	33	28	20	14
546	67	46	31	23	16	11

Tabelle 4: Eigenschaften der Graufilter mit $\Delta T = 1 \%$

Filter	Farbe	Photostrom U_{Ph} [V]						
		ohne	1	2	3	4	5	6
3	Blau	1.777	1.486	1.067	0.807	0.655	0.440	0.338
4	Grün	0.608	0.536	0.357	0.265	0.190	0.126	0.090

Tabelle 5: Messungen der Photoströme über mit $\Delta U_{\text{Ph}} = 1 \text{ mV}$

3.2.2 Intensität

Ohne den Graufilter wurde eine Photospannung von $U_0 = 0.688 \pm 0.001 \text{ V}$ gemessen, mit Graufilter 6 eine von $U'_0 = 0.693 \pm 0.001 \text{ V}$. Aufgrund dieser Abweichungen sollte der Fehler auf zumindest $\pm 3 \text{ mV}$ erhöht werden.

3.3 Untersuchung von LEDs mit der Photozelle

Bezeichnung	U_0 [V]
blue	1.047
verde	0.891
true green	0.807

Tabelle 6: Messungen der LEDs mit $\Delta U_0 = 1 \text{ mV}$

4 Auswertung

5 Fazit

6 Literatur

- [1] W. Demtröder, “Experimentalphysik 3”, 5. Auflage, Springer Verlag, DOI 10.1007/978-3-662-49094-5
- [2] D. Meschede, “Gerthsen Physik”, 25. Auflage, Springer Verlag, DOI 10.1007/978-3-662-45977-5
- [3] Universität zu Köln, “B1.4: Photoeffekt: Bestimmung von h/e ”, Juli 2008, Online verfügbar unter https://teaching.astro.uni-koeln.de/sites/default/files/praktikum_b/Anleitung_1.4.pdf, Abruf am 10.04.2024