

LED - Messung der Planck'schen Konstante mit Spannungs- und Stromsensoren

Einführung

Eine LED (lichtemittierende Diode) beginnt zu leuchten, sobald sie an eine ausreichende Spannung, die sogenannte Durchlass- oder Schwellenspannung, angeschlossen ist. Die Schwellenspannung ist die minimale Spannung, die benötigt wird, um einen Stromfluss durch die Diode in der Durchlassrichtung zu ermöglichen.

Die Energie eines Photons, das von einer LED emittiert wird, kann durch die Gleichung $E = h \cdot f$ berechnet werden (h die Planck'sche Konstante und f Lichtfrequenz, die durch die Farbe der LED bestimmt wird). Die Schwellenspannung der LED ist proportional zur Energie des emittierten Photons, so kann die Planck'sche Konstante durch die Gleichung

$$e \cdot U = h \cdot f \Rightarrow h = \frac{e \cdot U}{f} \text{ berechnet werden.}$$

Um die Planck'sche Konstante zu bestimmen, benötigen wir den möglichst genauen Wert der Schwellenspannung. Diese Spannung ist abhängig von der Lichtfrequenz der LED. Sobald die LED zu leuchten beginnt, wird die Spannung abgelesen. Diese Schwellenspannung lässt sich bei den LEDs im sichtbaren Bereich (rot bis blau) auf diese Art bestimmen. Bei der Infrarot-LED ($\lambda = 950 \text{ nm}$) kann die Schwellenspannung aus der Strom-Spannung-Kennlinie gefunden werden. Die Kennlinien der anderen LEDs dienen zur genaueren Bestimmung der Schwellenspannung.

Teil 1: Kennlinie von LEDs

Zunächst wird die $I(U)$ -Kennlinie von Leuchtdioden aufgezeichnet (Abbildung 1), um möglichst genaue Werte für die Schwellenspannungen der LEDs zu erhalten.

Dabei ist zu beachten, dass der maximale Betriebsstrom 20 mA und die Betriebsspannung z.B. der roten LED 2 V beträgt.

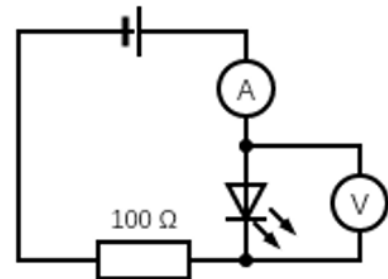


Abbildung 1: Schaltkreis

Die $I(U)$ -Kennlinie kann mit Hilfe von Wechselstrom auch automatisch aufgezeichnet werden. Diese Methode ist im Dokument „T³ Physik komplett“¹ beschrieben.

Material

- LED verschiedener Farben und ein Vorwiderstand $R = 100 \Omega$ (hier wurde die vorgefertigte Platine der Firma Conatex verwendet²)
- Spannungs- und Stromsensor, Lab Cradle, TI-Nspire Handheld oder Software
- DC-Netzgerät

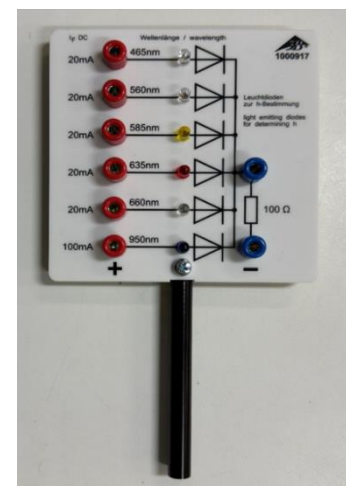


Abbildung 2: Vorgefertigte Platine

Einstellungen

- Messmodus: Time Based (zeitbasiert)
- Messrate, z. B 20 Messungen pro Sekunde
- Länge des Experimentes, z. B. 20 s

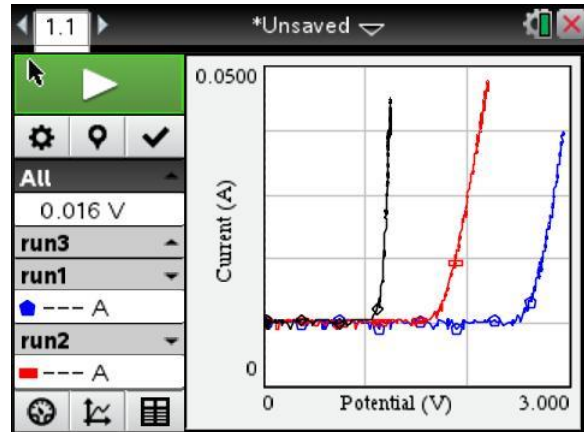
Versuchsdurchführung und Versuchsauswertung

Aufzeichnen aller $I(U)$ -Kennlinien und Bestimmung der Schwellenspannung.

Die Abbildung rechts zeigt die von drei LEDs aufgenommenen Kennlinien:

- LED 1: Wellenlänge 465nm (blau)
- LED 2: Wellenlänge 635nm (rot)
- LED 3: Wellenlänge 950nm (infrarot)

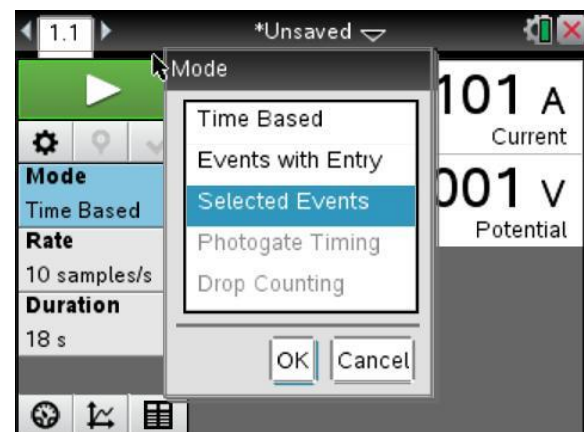
Die Kennlinien zeigen einen Knick bei der Schwellenspannung.

**Teil 2: Planck'sche Konstante**

Mit der gleichen Versuchsanordnung werden die Schwellenspannungen bestimmt, in dem die Spannung gesucht wird, wo die LEDs zu leuchten beginnen.

Einstellungen

Für die Messwerterfassung wird „Selected Events“ gewählt.



Mit dem Drücken auf „Kamera“ kann für jede LED die Schwellenspannung in der Tabelle aufgezeigt und gespeichert werden.

Events	Current (A)	Potential (V)
1.00	0.0112	1.10
2.00	0.0102	1.61
3.00	0.0113	1.69
4.00	0.0126	1.83
5.00	0.0130	1.92
6.00	0.0109	2.50
7.00		
8.00		
9.00		

Versuchsdurchführung und Versuchsauswertung

In der Tabellenkalkulation werden die Energien (E) aus den Spannungen berechnet: $E = U \cdot e$.
Die Wellenlängen (l in der Tabelle) der LEDs

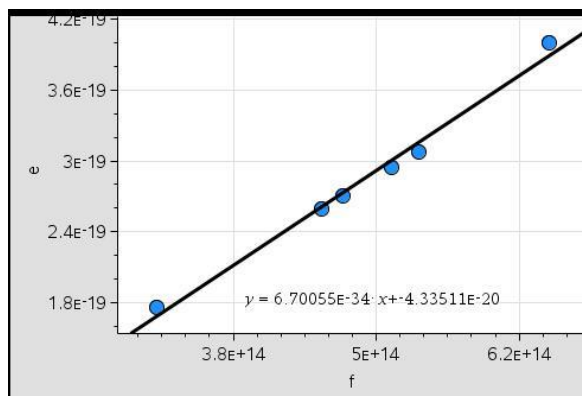
werden in Frequenzen $f_i = \frac{c}{\lambda_i}$ umgerechnet.

	u	B e	l	D f	E
=	=run1.pot	=1.6*10^(-		=3*10^8/l	
1	1.09958	1.75933...	950*10^...	6000000...	
2	1.6185	2.58961...	660*10^...	5000000...	
3	1.69176	2.70682...	635*10^...	6000000...	
4	1.83761	2.94017...	585*10^...	2000000...	
5	1.92471	3.07954...	560*10^...	3750000...	
6	2.49966	3.99946...	465*10^...	2000000...	
Df	=6000000000000000				
					19

Die Planck'sche Konstante kann durch lineare Regression sowohl in der Applikation „Lists&Spreadsheet“ als auch „Data&Statistics“ angezeigt werden.

Die gemessenen Daten liefern für die Planck'sche Konstante den Wert:

$$6.7 \cdot 10^{-34} \text{Js}$$



	l	D f	E	F
=	.6*10^(-	=3*10^8/l		=LinRegM
1	75933...	950*10^...	6000000...	Title Linear R...
2	58961...	660*10^...	5000000...	RegEqn m*x+b
3	70682...	635*10^...	6000000...	m 6.70055...
4	94017...	585*10^...	2000000...	b -4.3351...
5	07954...	560*10^...	3750000...	r^2 0.989124
6	99946...	465*10^...	2000000...	r 0.994547
7			Resid	17 62724
F3	=6.7005540901116E-34			

Hinweise: Eine Diode ist eine Kombination aus einem p- und einem n-dotierten Halbleiter. An der Grenzschicht zwischen p- und n-Leiter wegen unterschiedlichen Ladungen entsteht eine elektrische Spannung (Diffusions- oder Antidiffusionsspannung), die Material abhängig ist und zwischen 0.2 V und 0.7 V variiert. Damit eine Diode in Durchlassrichtung überhaupt leitend werden kann, muss zuerst die Diffusionsspannung überwunden werden³. Aus diesem Grund ist die Energie des emittierten Photons nicht genau gleich $E = e \cdot U$. Die sogenannte Diffusionsspannung kommt dazu⁴. Diese hat nicht den gleichen Ursprung wie die Austrittsarbeit der Elektronen beim Fotoeffekt $E = f \cdot h - W_A$, da Photonen beim Austreten keine zusätzliche Energie brauchen.

Literaturverzeichnis

- 1) *M. Tewes, J. Enders et al.* : T³-Physik: Schülerexperimente im Physikunterricht mit digitaler Messwerterfassung.
- 2) https://www.conatex.com/catalog/physik_lehrmittel/fundamentale_konstanten/millikan_versuch_e_m_bestimmung_franck_hertz_versuch_planck_konstante/product-leuchtdioden_zur_h_bestimmung/sku-1009015
- 3) *Kammer / Mgeladze*: Ergänzungskapitel, Elektromagnetismus, Halbleiter <https://www.hep-verlag.ch/physik-mittelschulen>
- 4) <http://zbmathematik.at/index.php/physik/21-zur-bestimmung-des-planckschen-wirkungsquantums-mithilfe-von-leuchtdioden>

Autor/Autorin:

Claude Blanc
Irma Mgeladze

Info:

Claude Blanc unterrichtet an der Kantonsschule Olten, Schweiz
Irma Mgeladze unterrichtet am Gymnasium Lebermatt, Schweiz