

Gerät zur Bestimmung der Planck-Konstante h

Begleitdokumentation



Diese Begleitdokumentation ist gültig für das Gerät zur Bestimmung der Planck-Konstante h

Die Begleitdokumentation liegt in der deutschen Originalfassung vor.

Das Gerät zur Bestimmung der Planck-Konstante h wird vertrieben durch:

Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG
Technisches Institut für Aus- und Weiterbildung

Hermann-Hesse-Weg 2

78464 Konstanz

Tel.: 07531 5801-100

Fax: 07531 5801-900

www.christiani.de

info@christiani.de

Inhaltsverzeichnis

1	ALLGEMEINE HINWEISE	4
1.1	Geltungsbereich des Dokuments	4
1.2	Handhabung.....	4
1.3	Pflege und Reparatur	4
1.4	Haftungsausschluss	5
1.5	Urheberrechtshinweis.....	5
2	SICHERHEIT.....	6
2.1	Bedeutung der Signalworte	6
2.2	Bedeutung der Warnzeichen	7
2.3	Allgemeine Hinweise	7
3	KUNDENSERVICE	8
4	VERWENDUNGSZWECK.....	8
4.1	Bestimmungsgemäße Verwendung	8
4.2	Unzulässige Verwendung	8
5	LIEFERUMFANG	9
6	EINSATZ DES GERÄTES ZUR BESTIMMUNG DER PLANCK-KONSTANTE h	9
6.1	Einführung	9
6.1.1	Vorbereitung und Durchführung des Versuchs	9
6.2	Versuchsdurchführung	11
6.2.1	Schwellspannung.....	11
6.2.2	Schwellspannung und die Plank-Konstante.....	12
6.2.3	Spannung/Strom-Kennlinie und Photonen.....	12
7	ENTSORGUNG.....	14
8	TECHNISCHE DATEN	15

1 Allgemeine Hinweise

In dieser Anleitung werden Hinweise für den sicheren Umgang mit dem vorliegenden Produkt gegeben. Sie klärt über die vorgesehene Verwendung, Einzelkomponenten und technische Daten auf. Zudem informieren wir über die ordnungsgemäße Entsorgung am Ende der Produktlebensdauer.

Die Begleitdokumentation muss stets am Aufstellort des Gerätes verfügbar sein. Eine unvollständige oder unleserliche Dokumentation ist umgehend zu ersetzen. Dieses Dokument ist während der gesamten Produktlebensdauer aufzubewahren.

1.1 Geltungsbereich des Dokuments

Diese Anleitung gilt für folgendes Produkt

- Gerät zur Bestimmung der Planck-Konstante h (Art.-Nr. 104517)

1.2 Handhabung

Das Gerät zur Bestimmung der Planck-Konstante h verfügt über eine Reihe von LEDs mit Spitzenemissionswellenlängen im Bereich von 426 bis 940 nm. Mit einem Stufenschalter kann jede LED nacheinander ausgewählt und die angelegte Spannung variiert werden, so dass ihre elektrischen Eigenschaften untersucht werden können. Mit einigen einfachen Berechnungen kann eine Schätzung der Planck-Konstante h vorgenommen werden.

Ein akzeptabler Wert ist: $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}$

1.3 Pflege und Reparatur

Die Gehäuse bestehen aus lackiertem Blech und Kunststoff. Reinigen Sie das Gerät bei Bedarf mit einem feuchten Tuch. Isopropanol, Benzin oder Aceton ist zum Reinigen nicht geeignet, da es die Oberfläche der Geräte beschädigen kann. Wie bei allen elektrischen Geräten ist die Verwendung in feuchten Umgebungen zu vermeiden und es dürfen keine Flüssigkeiten in das Gerät eindringen.

Es dürfen keine eigenständigen Reparaturversuche vorgenommen werden. Dadurch erlöschen die Garantieansprüche. Bei einem vorliegenden Mangel gehen Sie, wie im Kapitel Kundenservice aufgeführt, vor.

1.4 Haftungsausschluss

Für alle Personen- und Sachschäden, die aus unzulässiger Verwendung entstehen, ist nicht der Hersteller, sondern der Betreiber verantwortlich. Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG schließt jegliche Haftung für Sach- und Personenschäden aus, die durch den Einsatz des Produkts außerhalb einer reinen Ausbildungssituation auftreten, es sei denn, Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG hat solche Schäden vorsätzlich oder grob fahrlässig zu verantworten.

Der Betrieb, die Schule oder Institution und die Personen, welche Produkte der Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG einsetzen, haben dafür Sorge zu tragen, dass die entsprechenden Personen die Sicherheitsvorkehrungen kennen und beachten.

1.5 Urheberrechtshinweis

Copyright © Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG behält sich alle Rechte vor. Text, Bilder und Grafiken in diesem Dokument unterliegen dem Schutz des Urheberrechts. Der Inhalt dieses Dokuments darf nicht kopiert, verbreitet, verändert oder Dritten zugänglich gemacht werden, ohne Einverständnis des Urhebers.

Wer gegen das Urheberrecht verstößt (z. B. Bilder oder Texte unerlaubt kopiert), macht sich gem. §§ 106 ff UrhG strafbar, wird zudem kostenpflichtig abgemahnt und muss Schadensersatz leisten (§ 97 UrhG).

2 Sicherheit

2.1 Bedeutung der Signalworte

Signalwort	Bedeutung	Folgen bei Missachtung
GEFAHR	Akut drohende Gefahr	Schwere Verletzung oder Tod
WARNUNG	Möglicherweise drohende Gefahr	Schwere Verletzung oder Tod
VORSICHT	Möglicherweise drohende Gefahr	Leichte Verletzung
ACHTUNG	Möglicherweise Sachbeschädigung	Sachbeschädigungen
HINWEIS	Hilfreiche Informationen	

Signalwort	Eintrittswahrscheinlichkeit	Bemerkung
GEFAHR	Hoch	Zur Kennzeichnung von Personenschäden
WARNUNG	Mittel bis gering	Zur Kennzeichnung von Personenschäden
VORSICHT	Mittel bis gering	Zur Kennzeichnung von Personenschäden
ACHTUNG	Möglich	Zur Kennzeichnung von Sachschäden. Kein Warnzeichen
HINWEIS		Kein Warnzeichen

2.2 Bedeutung der Warnzeichen

Warnzeichen	Bedeutung
	Allgemeines Warnzeichen
	Warnung vor elektrischer Spannung
	Warnung vor heißen Oberflächen

2.3 Allgemeine Hinweise

Alle Produkte der Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG sind nach dem Stand der Technik und anerkannten, sicherheitsrelevanten Regeln gebaut. Dennoch können durch unsachgemäße Bedienung oder ungeeignete Spannungen und Netzfrequenzen Gefahren für Benutzer oder Dritte, bzw. Schäden an Geräten oder Sachwerten entstehen.

Die Geräte dürfen nur in technisch einwandfreiem Zustand und bestimmungsgemäß, unter Beachtung der vorliegenden Dokumentation, eingesetzt werden.

Vor jeder Verwendung ist das Produkt auf seinen ordnungsgemäßen Zustand zu überprüfen.

Vor dem Arbeiten mit dem Gerät müssen die damit arbeitenden Personen im Umgang eingewiesen werden.

Sollten Mängel an einem der Geräte vorhanden sein, darf dieses nicht verwendet werden. Der Mangel ist vor einer erneuten Inbetriebnahme von einer autorisierten Person zu beheben. Im Zweifelsfall ist der Kundenservice der Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG zu Rate zu ziehen (s. Kapitel Kundenservice).

Warnung

Öffnen Sie das Gerät nicht. Unternehmen Sie keine eigenen Reparaturversuche. Kontaktieren Sie im Zweifelsfall unseren Kundenservice.



3 Kundenservice

Kontaktaufnahme bitte per E-Mail an info@christiani.de mit folgenden Informationen:

- Kundennummer oder Adresse
- Artikelnummer
- Seriennummer
- Fehler- oder Mängelbeschreibung
- Eventuell Foto oder Video
- Kontaktdaten für Kontaktaufnahme unsererseits

Alternativ sind wir unter +49 7531 5801-100 zu erreichen.

Wir prüfen den Sachverhalt und werden weiterführende Schritte vornehmen bzw. einleiten.

4 Verwendungszweck

4.1 Bestimmungsgemäße Verwendung

Das Gerät zur Bestimmung der Planck-Konstante h wurde speziell für den Einsatz im Schulunterricht entwickelt. Es ist für den Einsatz in Schulexperimenten zur experimentellen Bestimmung der Planck-Konstante geeignet.

4.2 Unzulässige Verwendung

Das Produkt darf nicht eingesetzt werden:

- in industriellen Anwendungen
- Umgebung mit hoher Luftfeuchtigkeit oder hoher Staubbelastung

Modifikationen an der Elektronik sind nicht zulässig und führen zum Erlöschen des Garantieanspruches.

5 Lieferumfang

Im Rahmen des Lieferumfanges sind folgende Positionen enthalten:

- 1 x Gerät zur Bestimmung der Planck-Konstante h
- 1 x Sichtschutzrohr für LEDs

6 Einsatz des Gerätes zur Bestimmung der Planck-Konstante h

6.1 Einführung

Das Gerät zur Bestimmung der Planck-Konstante h verfügt über eine Reihe von LEDs mit Spitzenemissionswellenlängen im Bereich von 426 bis 940 nm. Legt man eine Spannung an eine LED an, so erfolgt ab einer gewissen Spannung (Schwellspannung oder Kniespannung) eine Rekombination am pn-Übergang. Bei diesem Vorgang wird vom Elektron Energie in Form von Photonen abgegeben. Die Energie E dieses Photons hängt von der Schwellspannung U_s ab.

Es gilt
$$E = e \cdot U_s = h \cdot f$$

Hieraus folgt
$$h = \frac{e \cdot U_s}{f}$$

h = Planck-Konstante

e = Elementarladung

f = Frequenz des Lichts

U_s = experimentell bestimmte Schwellspannung

6.1.1 Vorbereitung und Durchführung des Versuchs

Schließen Sie analoge oder Digitale Messgeräte an die entsprechenden Buchsen des Gerätes an (Spannungsmessbereich 0–5 V, Strommessbereich 0–20 mA). Wenn nur die Schwellspannungen gemessen werden, so kann das Amperemeter durch ein kurzes Kabel oder Drahtbrücke ersetzt werden.

Hinweis

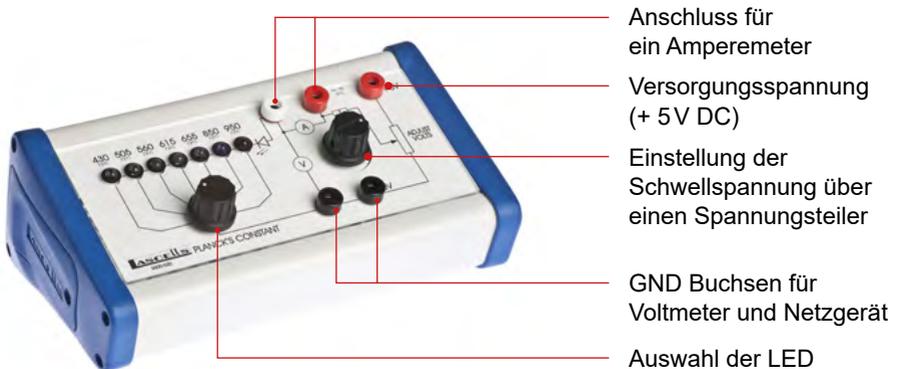
Als zusätzlicher Schutz wurde ein 1-kOhm-Widerstand in den Stromkreis zwischen den Amperemeter-Buchsen und den LEDs eingefügt (nicht auf der Frontplatte dargestellt).

Der dadurch verursachte Fehler verschiebt das Diagramm geringfügig auf der Spannungsachse, aber die Steigung ist die gleiche, daher wird der Wert von h nicht beeinflusst.

Bei dem empfohlenen Strom von $1\mu\text{A}$ – $10\mu\text{A}$ liegt der Fehler zwischen 1mV – 10mV .

Vergewissern Sie sich, dass das Potentiometer des eingebauten Spannungsteilers vor dem Start vollständig im Uhrzeigersinn auf null gedreht ist.

Schließen Sie eine 5-V-Gleichstromversorgung an die Bananenbuchsen + 5V und 0V an. Eine geglättete Gleichstromversorgung ist ausreichend. Steht keine 5-V-Versorgung zur Verfügung, können drei 1,5-V-Batterien in Reihe verwendet werden. Es ist auf die Polarität zu achten. Auf der Rückseite des Gerätes befindet sich eine 5-V-Buchse (+ innen), an die alternativ auch ein 5-V-Steckernetzgerät angeschlossen werden kann.



6.2 Versuchsdurchführung

6.2.1 Schwellspannung

Bei niedrigen Spannungen wird von einer LED kein Licht abgegeben. Wenn die Spannung erhöht wird, gewinnen die Elektronen im Halbleiter durch das elektrische Feld genügend Energie, um den Übergang vom Leitungsband zum Valenzband zu vollziehen.

Während des Übergangs verliert das Elektron Energie, die der Energie der Bandlücke zwischen Leitungs- und Valenzband entspricht. Diese Energie wird in Form eines Lichtphotons freigesetzt.

Aus der Gleichung $E = h \cdot f$ (1)

geht hervor, dass bei kleinen Energiewerten (E) die Photonenfrequenz (f) niedrig ist (größere Wellenlängen) und bei höheren Energiewerten kleinere Wellenlängen entstehen.

h ist die *Planck-Konstante*.

Wählen Sie die 645-nm-LED und betrachten durch die mitgelieferte schwarze Röhre.

Erhöhen Sie die Spannung, indem Sie das Potentiometer des Spannungsteilers gegen den Uhrzeigersinn drehen, und notieren Sie die Spannung, bei der gerade noch Licht von der LED erkannt wird. Dies ist die Mindest- oder Schwellenspannung für die Emission eines Photons. Wiederholen Sie den Vorgang für die anderen LEDs bis hinunter zu 426nm und beachten Sie, dass die Schwellenspannung (und damit die Photonenenergie) mit abnehmender Wellenlänge des Lichts zunimmt.

Es gilt $c = f \cdot \lambda$ (2)

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

f = Frequenz der abgegebenen Photonen

c = Lichtgeschwindigkeit $2,998 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$

λ = Wellenlänge der Photonen

(2) in (1) eingesetzt:
$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (3)$$

Zur Herstellung der verschiedenfarbigen LEDs wird der Halbleiter mit unterschiedlichen Mengen an Stickstoff und anderen Elementen dotiert, um die Energielücke so anzupassen, dass unterschiedliche Photonenenergien und damit Wellenlängen erzeugt werden.

Von den infraroten LEDs geht kein sichtbares Licht aus. Nehmen Sie den Schwellenspannungswert, bei dem gerade ein Strom zu fließen beginnt, beispielsweise 0,01 mA. Alternativ kann man auch versuchen, die IR-Strahlung mit einer Smartphone-Kamera sichtbar zu machen. Dies funktioniert allerdings nur bei Kameras ohne Infrarot-Sperrfilter.

6.2.2 Schwellspannung und die Planck-Konstante

Da im oben geschilderten Versuch die Wellenlänge jeder LED bekannt ist, können wir den Wert der Planck-Konstante für jede LED berechnen, wenn wir den Zusammenhang zwischen der Schwellenspannung und der Photonenenergie kennen.

Eine gute Schätzung der Photonenenergie ergibt sich aus der Gleichung

$$E = e \cdot U_s \quad (4)$$

wobei E die Energie in Joule [J], e die Ladung des Elektrons in Coulomb [C] ($1,6 \times 10^{-19}$ C) und U_s die Schwellenspannung in Volt [V] ist.

es gilt (4) in (3)
$$e \cdot U_s = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (5)$$

daraus folgt:
$$h = \frac{e \cdot U_s \cdot \lambda}{c}$$

c = Lichtgeschwindigkeit $2,998 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$

6.2.3 Spannung/Strom-Kennlinie und Photonen

Für die meisten Zwecke ist die bisherige Theorie ausreichend, aber in der Realität gibt es einige Einschränkungen. Bei Elektronenübergängen über die Bandlücke werden in der Regel sowohl Phononen (Gitterschwingungen) als auch Photonen erzeugt, und ein Teil der Energie geht an die Phononen, so dass die Photonen eine niedrigere Energie haben als die, die sich aus $E = eU_s$ errechnet.

Indirekte Übergänge sind ebenfalls möglich, was zu einer Streuung der Energien und der Wellenlängen führt. Die LEDs haben vom Hersteller angegebene Spitzenwellenlängen, und die besten Ergebnisse für die Berechnungen erhält man, wenn man die Spannungs-Strom-Kennlinie für jede LED aufzeichnet.

Messen Sie den Leitungsstrom für verschiedene Spannungen bis zu maximal 15 mA. Zeichnen Sie das Diagramm für jede LED auf und extrapolieren Sie den linearen Bereich des Diagramms zurück auf die Spannungsachse, um die Spannung für die Spitzenwellenlängenemission abzuschätzen.

Verwenden Sie diesen Wert in der Gleichung (3)
$$h = \frac{e \cdot U_s \cdot \lambda}{c} \quad (6)$$

Alternativ kann h auch wie folgt berechnet werden:

Aus den Wellenlängen lassen sich die Frequenzwerte berechnen

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (7)$$

c = Lichtgeschwindigkeit $2,998 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$

U_s wird experimentell bestimmt.

Nun tragen wir die Werte von U_s [V] gegenüber der Frequenz f [10¹⁴ Hz] grafisch

$$E = e \cdot 10^{-19} \cdot U_s \quad (8)$$

Die Trendlinie mit den Energiewerten (8) im E/f Diagramm ermitteln. Anschließend wird die Steigung der Trendlinie berechnet:

$$\frac{h}{e} = \frac{\Delta U_s}{\Delta f} \quad (9)$$

Aus (9) folgt für h :

$$h = \frac{e \cdot \Delta U_s}{\Delta f}$$

7 Entsorgung

Das Symbol der durchgestrichenen Abfalltonne bedeutet, dass elektrische und elektronische Geräte als auch Batterien nicht mit dem Hausmüll entsorgt werden dürfen.

Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG ist bei der Stiftung Elektro-Altgeräte-Register unter der WEEE-Reg.-Nr.: DE 10490543 und der Batt-Reg.-Nr. DE 84977353 registriert.



Rückgabemöglichkeit Elektro-Altgerät

Sollten Sie ein Elektro-Altgerät zurückgeben wollen, befolgen Sie die nachstehenden Punkte:

- Melden Sie die Rückgabe telefonisch oder per E-Mail bei unserem Kundenservice (Tel.: +4975315801100, E-Mail: info@christiani.de) an.
- Anschließend wird die Abholung des Elektro-Altgerätes durch unseren Kundenservice veranlasst oder ein Retourenlabel an Sie gesendet.
- Laden Sie sich das Rücksendeformular unter www.christiani.de herunter und füllen es aus.
- Das Formular legen Sie dem Elektro-Altgerät bei.
- Verpacken Sie anschließend ggf. das Elektro-Altgerät und stellen Sie es für die Abholung bereit bzw. senden Sie es an unseren Hauptstandort in Konstanz (Hermann-Hesse-Weg 2, 78464 Konstanz) zurück.

Besondere Hinweise

- Elektro-Altgeräte müssen gemäß den gesetzlichen Vorgaben einer getrennten Sammlung und Verwertung zugeführt werden.
- Altbatterien, Altakkumulatoren und Lampen, die zerstörungsfrei aus dem Altgerät entnommen werden können, müssen vor der Abgabe vom Altgerät getrennt und den hierfür vorgesehenen Entsorgungswegen zugeführt werden.
- Personenbezogene Daten auf den zu entsorgenden Altgeräten müssen Sie eigenverantwortlich löschen.
- Die Annahme von Altgeräten darf abgelehnt werden, wenn aufgrund einer Verunreinigung eine Gefahr für die Gesundheit und Sicherheit von Menschen besteht.

8 Technische Daten

Messbereiche:	LEDs mit folgenden Nenn-Wellenlängen: 430 nm, 505 nm, 560 nm, 615 nm, 655 nm, 850 nm, 950 nm
Versorgungsspannung:	5 V DC / max. 500 mA
Abmessungen:	150 x 160 x 100 mm (L x B x H)
Gewicht:	480 g

Gerät zur Bestimmung der Planck-Konstante h
Begleitdokumentation

Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG · Hermann-Hesse-Weg 2 · 78464 Konstanz
www.christiani.de · info@christiani.de