

## Planck'sche-Konstante-Apparat (115 V, 50/60 Hz) Planck'sche-Konstante-Apparat (230 V, 50/60 Hz)

1000536 / U10700-115 (115 V, 50/60 Hz)  
1000537 / U10700-230 (230 V, 50/60 Hz)

### Bedienungsanleitung

10/15 ALF



- 1 LED mit Anschlusskabel
- 2 Nanoamperemeter
- 3 Voltmeter
- 4 Schutzabdeckung der Photozelle
- 5 Aufnahmerohr der Photozelle
- 6 Hohlbuchse für Steckernetzgerät
- 7 Spannungsversorgung mit Anschlussbuchse für LED
- 8 Gegenspannungssteller (grob)
- 9 Gegenspannungssteller (fein)
- 10 Intensitätssteller
- 11 Leergehäuse

#### 1. Hinweise

Die Photozelle des Planck'sche-Konstante-Apparats ist sehr empfindlich. Starke Belichtung lässt sie rasch altern und kann sie dauerhaft beschädigen. Nach einer Überstrahlung benötigt sie auch im besten Fall eine geraume Zeit, um sich wieder zu stabilisieren.

- Die Schutzabdeckung der Photozelle auf keinen Fall entfernen.
- Nach Abschluss der Experimente das Leergehäuse über das Aufnahmerohr der Photozelle schieben.
- Das Gerät vor Erschütterungen schützen und weder extremen Temperaturen, noch hoher Luftfeuchtigkeit, Nässe oder direkter Sonneneinstrahlung aussetzen.

#### 2. Lieferumfang

- 1 Grundgerät mit Photozelle, Voltmeter, Nanoamperemeter und Spannungsversorgung für die LED
- 1 Leergehäuse als Abdeckung für Aufnahmerohr der Photozelle
- 5 LED (472 nm, 505 nm, 525 nm, 588 nm, 611 nm) in Gehäuse mit Anschlusskabel
- 1 Steckernetzgerät 12 V AC
- 1 Bedienungsanleitung

### 3. Beschreibung

Der Planck'sche-Konstante-Apparat dient zur Bestimmung der Planck'schen Konstanten  $h$  und der Austrittsarbeit  $W$  der Elektronen aus der Caesiumkathode der Photozelle nach der Gegenstrommethode.

Er enthält eine Vakuumphotozelle, ein Voltmeter zur Messung der Gegenstromspannung, ein Nanoamperemeter zur Messung des Photostroms und eine Spannungsquelle für LED. Als Lichtquellen unterschiedlicher Frequenz stehen fünf Licht emittierende Dioden (LED) bekannter mittlerer Wellenlänge zur Verfügung. Die Intensität des emittierten Lichts kann jeweils zwischen 0 und 100% variiert werden. Die Photozelle besteht aus einer mit Caesium bedampften Kathode und einer ringförmigen Anode. Bei eingeschaltetem Apparat liegt zwischen diesen Elektroden eine Spannung, die mit zwei Stellern grob und fein variiert wird.

Die Spannungsversorgung des Apparats erfolgt aus einem mitgelieferten Steckernetzgerät. Der Planck'sche-Konstante-Apparat mit der Artikelnummer 1000536 / U10700-115 ist für eine Netzspannung von 115 V ( $\pm 10\%$ ) ausgelegt, das Gerät mit der Nummer 1000537 / U10700-230 für 230 V ( $\pm 10\%$ ).

### 4. Technische Daten

|                  |  |
|------------------|--|
| Photozelle:      | Typ 1P39, Caesium (Cs)                 |
| Voltmeter:       | 3½ Digit, LCD                          |
| Genauigkeit:     | 0,5 % (typisch)                        |
| Nanoamperemeter: | 3½ Digit, LCD                          |
| Genauigkeit:     | 1 % (typisch)                          |
| Leuchtdioden:    | 472 nm, 505 nm, 525 nm, 588 nm, 611 nm |
| Abmessungen:     | 280 x 150 x 130 mm <sup>3</sup>        |
| Masse:           | ca. 1,3 kg                             |

### 5. Theoretische Grundlagen

Der so genannte Photoeffekt stellte Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts, als man die Physik für fast abgeschlossen hielt, eines der letzten Rätsel dar. Die Erklärung dieses Phänomens konnte mit der klassischen Theorie nicht gelingen. 1905 gelang Einstein die genial einfache, theoretische Beschreibung dieses Effekts mit Hilfe der von Max Planck eingeführten Quantentheorie. Er nahm an, dass Licht aus Teilchen besteht, den so genannten Photonen. Die Energie  $E$ , dieser Photonen (Lichtquanten) sollte di-

rekt proportional zu ihrer Frequenz  $f$  und der Betrag ihres Impulses  $p$  indirekt proportional zur Wellenlänge  $\lambda$  sein:

$$E = h \cdot f \cdot p = h / \lambda$$

Dabei ist die Proportionalitätskonstante  $h$  das Planck'sche Wirkungsquantum. Das bedeutet, dass Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung nur in kleinen Paketen, Quanten abgegeben werden kann. Diese Mindestgröße ist von der Frequenz abhängig. Das Planck'sche Wirkungsquantum ist eine fundamentale Naturkonstante und hat den genauen Wert  $h = 6,62606896 \cdot 10^{-34}$  Js.

Im Experiment trifft das Licht der angeschlossenen Leuchtdiode durch die ringförmige Anode auf die Kathode. Wird ein Elektron von einem Photon getroffen, gibt das Photon beim Photoeffekt seine gesamte Energie ( $E = h \cdot f$ ) an dieses ab. Ein Teil der Energie wird dazu benötigt das Elektron aus der Metalloberfläche herauszuschlagen (Austrittsarbeit  $W$ ). Der Rest der Energie steht dem Elektron als kinetische Energie zur Verfügung:

$$E_{\text{kin}} = h \cdot f - W$$

Die Austrittsarbeit ist eine materialabhängige und zudem temperaturabhängige Größe und beträgt für Caesium 2,14 eV bei 0 K und ca. 2 eV bei Raumtemperatur.

Je nach angelegter Gegenstromspannung zwischen Kathode und Anode fließt ein Elektronenstrom von der Kathode zur Anode, der mit dem Nanoamperemeter gemessen wird. Entspricht die Gegenstromspannung der Grenzspannung  $U_0$  mit  $e \cdot U_0 = E_{\text{kin}} = h \cdot f - W$  und  $e = 1,6021 \cdot 10^{-19}$  C so erreicht dieser Strom den Wert 0 nA.

In einem  $e \cdot U_0 - f$  - Diagramm liegen die für verschiedene Frequenzen  $f$  gemessenen Grenzspannungen  $U_0$  auf einer Geraden mit der Steigung  $h$  und dem y-Achsenabschnitt  $W$ . Für jedes Kathodenmaterial ist der y-Achsenabschnitt der entsprechenden Gerade anders. Der Anstieg der Gerade ist vom Kathodenmaterial unabhängig.

### 6. Bedienung

#### 6.1 Messung der Grenzspannungen bei 75% Lichtintensität.

- Zur Spannungsversorgung Steckernetzgerät anschließen.
- Intensität der Lichtquelle auf 75% einstellen.
- Stecker der ersten Lichtquelle in die Anschlussbuchse für LED stecken.
- Klemmstifte des Leergehäuses am Aufnahmerohr der Photozelle zusammendrücken und Leergehäuse herunterziehen.

- LED-Gehäuse vollständig auf das Aufnahmerohr der Photozelle schieben bis die Klemmstifte einrasten.
- Feinstellknopf für Gegenspannung in Mittelstellung bringen.

Hinweis: Es ist empfehlenswert bei der ersten Messung, ein paar Minuten zu warten, bevor man mit der Einstellung der Grenzspannung beginnt.

- Grobeinstellknopf langsam drehen bis der Photostrom im Nanoamperemeter ungefähr 0 wird.
- Mit dem Feinstellknopf die Einstellung optimieren. Dazu den Feineinstellknopf so drehen, dass die Anzeige zwischen 0 und -0 wechselt.
- Auf diese Weise eingestellte Gegenspannung als Grenzspannung  $U_0$  notieren.
- Messung mit den übrigen vier LED wiederholen.
- Nach dem Experiment die Plastikschutzhaube wieder über das LED Aufnahmerohr schieben.

### 6.2 Bestimmung der Planck'schen Konstante $h$

- Aus den aufgedruckten Wellenlängen  $\lambda$  die Frequenzen  $f = \frac{c}{\lambda}$  mit  $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  des Lichts berechnen.
- Aus den Grenzspannungen  $U_0$  die Energien  $e \cdot U_0$  mit  $e = 1,6021 \cdot 10^{-19} \text{C}$  berechnen.
- Ermittelte Werte in ein Energie-Frequenz-Diagramm eintragen.
- Gerade an die Werte anpassen und Planck'sche Konstante  $h$  aus der Steigung und Austrittsarbeit  $W$  aus dem Y-Achsenabschnitt bestimmen.

Hinweis: Am einfachsten ist die Auswertung, vor allem in Bezug auf die Ausgleichsgerade, mit dem mitgelieferten Excel-Programm, da man nur die gemessenen Werte für die Grenzspannung in die entsprechende Tabelle eintragen muss. Danach kann man die Steigung  $h$  und den y-Achsenabschnitt  $W$  im Graphen ablesen und den Fehler zum Literaturwert berechnen lassen, indem man diese Werte an der entsprechenden Stelle in der zweiten Tabelle einträgt.

### 6.3 Nachweis der Unabhängigkeit der Grenzspannung von der Intensität des Lichts.

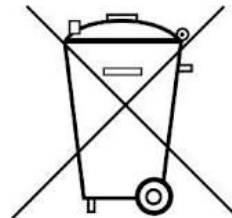
- Eine LED auswählen.
- Maximale Intensität einstellen und Grenzspannung  $U_0$  ermitteln.
- Intensität schrittweise auf Null reduzieren und jeweils Grenzspannung  $U_0$  ermitteln.

## 7. Reinigung

- Nur handelsübliche milde Spülmittel aber keine ätzenden Scheuermittel verwenden.
- Unbedingt darauf achten, dass keine Flüssigkeit ins Innere des Gerätes gelangt.
- Steckernetzteil entfernen, um das Gerät auszuschalten.
- Gerät mit einem leicht(!) befeuchteten, fusselfreien Tuch reinigen.

## 8. Entsorgung

- Die Verpackung ist bei den örtlichen Recyclingstellen zu entsorgen.
- Sofern das Gerät selbst verschrottet werden soll, so gehört dieses nicht in den normalen Hausmüll. Es sind die lokalen Vorschriften zur Entsorgung von Elektroschrott einzuhalten.



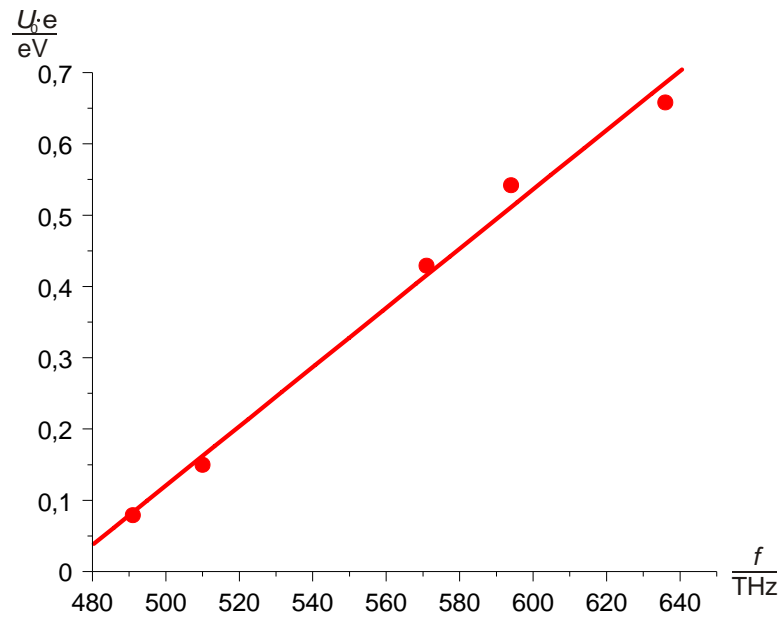


Fig.1 Grenzenergie  $U_0 \cdot e$  in Abhängigkeit der Frequenz  $f$

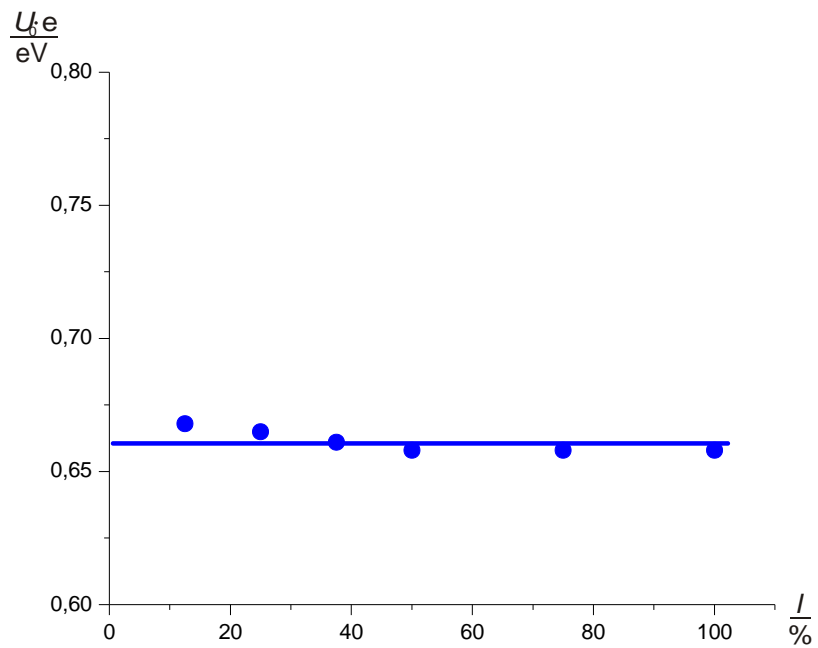


Fig. 2 Grenzspannung  $U_0$  in Abhängigkeit der Lichtintensität  $I$  bei einer Wellenlänge von 472 nm