

Kompaktgerät zum Planckschen Wirkungsquantum

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

Bedienungsanleitung

10/26 ALF/DU/HJB



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, Nanoammeter 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 Cäsium-Kathode der Photozelle nach der Gegenspannungsmethode.

Er enthält eine Vakuumphotozelle, ein Voltmeter zur Messung der Gegenspannung, ein Nanoammeter 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 ist für eine Netzspannung von 115 V ($\pm 10\%$) ausgelegt, das Gerät mit der Nummer 1000537 für 230 V ($\pm 10\%$).

4. Technische Daten

Photozelle:	Typ 1P39, Caesium (Cs)
<u>Voltmeter:</u>	
Anzeige:	3½-stellige LCD
Genauigkeit:	0,5 % (typisch)
<u>Nanoamperemeter:</u>	
Anzeige:	3½-stellige LCD
Genauigkeit:	1 % (typisch)
Leuchtdioden:	472 nm, 505 nm, 525 nm, 588 nm, 611 nm
Abmessungen:	280 x 150 x 130 mm ³
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 direkt proportional zu ihrer Frequenz f und der Betrag ihres Impulses p indirekt proportional zur Wellenlänge λ 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 Gegenspannung zwischen Kathode und Anode fließt ein Elektronenstrom von der Kathode zur Anode, der mit dem Nanoamperemeter gemessen wird. Entspricht die Gegenspannung der Grenzspannung U_0 mit

$$e \cdot U_0 = h \cdot f - W \quad \text{und} \quad e = 1,6021 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

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 Geraden 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 λ die Frequenzen $f = \frac{c}{\lambda}$ mit $c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$ des Lichts berechnen.
- Aus den Grenzspannungen U_0 die Energien $e \cdot U_0$ mit $e = 1,6021 \cdot 10^{-19} C$ 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.

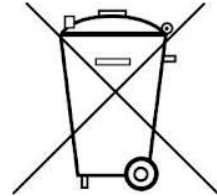
- Eine LED auswählen.
- Maximale Intensität einstellen und Grenzspannung U_0 ermitteln.
- Intensität schrittweise auf Null reduzieren und jeweils Grenzspannung U_0 ermitteln.

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. Hinweise zur Entsorgung (ElektroG)

Das Symbol der durchgestrichenen Mülltonne auf Rädern bedeutet, dass dieses Gerät am Ende seiner Lebensdauer einer vom unsortierten Siedlungsabfall getrennten Erfassung zuzuführen ist. Das Gerät darf nicht im normalen Hausmüll entsorgt werden. Nutzen Sie für die Rückgabe die lokalen kostenlosen Sammel- und Rückgabesysteme der Kommunen (z. B. Wertstoffhöfe) oder die Rücknahmemöglichkeiten des Handels.



- Batterien und Lampen: Entnehmen Sie Altbatterien und Akkumulatoren, die nicht vom Altgerät umschlossen sind, sowie Lampen, die zerstörungsfrei entnommen werden können, vor der Abgabe an einer Erfassungsstelle zerstörungsfrei aus dem Altgerät.
- Datenschutz: Sie sind als Endnutzer gesetzlich selbst dafür verantwortlich, personenbezogene Daten auf den zu entsorgenden Altgeräten zu löschen.
- Verpackung: Entsorgen Sie die Verpackungsmaterialien getrennt bei den örtlichen Recyclingstellen (z. B. Altpapier im Papiermüll, Kunststoffe im Gelben Sack).

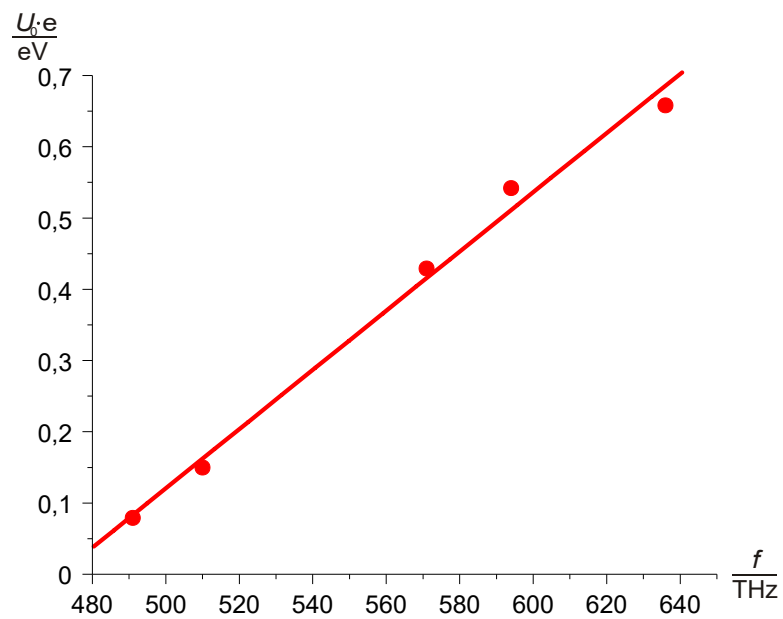


Abb.1 Grenzenenergie $U_0 \cdot e$ in Abhängigkeit der Frequenz f

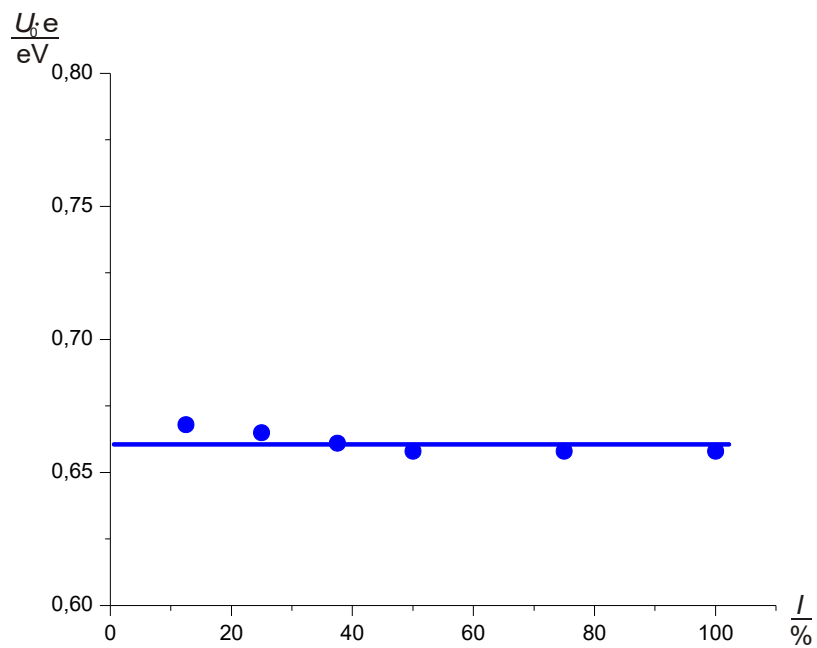


Abb. 2 Grenzspannung U_0 in Abhängigkeit der Lichtintensität I bei einer Wellenlänge von 472 nm

Planck Constant Apparatus

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

Product Manual

10/26 ALF/DU/HJB



1. Notes

The photocell in the Planck's constant apparatus is highly sensitive. Bright light can cause it to age quickly and can cause permanent damage. Following irradiation, it ideally needs to be left for quite a long period before it regains its stability.

- The protective cover for the photocell should never be removed.
- When the experiment is completed, slide the empty sleeve over the collector tube of the photocell.
- Keep the apparatus secure so that it does not get shaken and do not expose it to extreme temperatures, high humidity, moisture or direct sunlight.

2. Scope of delivery

- 1 Basic apparatus with photocell, voltmeter, nanoammeter and LED power supply
- 1 Empty sleeve for covering the photocell collector tube
- 5 LEDs (472 nm, 505 nm, 525 nm, 588 nm, 611 nm) in case with connector leads
- 1 Plug-in power supply, 12 V AC
- 1 Product Manual

3. Description

The Planck's constant apparatus is to determine the magnitude of Planck's constant h and the work W done in emitting electrons from a cesium cathode in a photocell using the back-EMF method.

It contains a vacuum photocell, a voltmeter for measuring back EMF, a nanoammeter for measuring the photocell current and a power supply for the LEDs. Five different light-emitting diodes (LEDs) are provided, which emit light at differing known average frequencies. The intensity of the emitted light can be varied between 0 and 100% in each case. The photocell itself consists of a cathode with cesium condensed onto its surface

and a ring-shaped anode. When the apparatus is switched on, a voltage is applied between the two electrodes, and this can be adjusted by two knobs for coarse and fine adjustment.

Power is supplied to the apparatus via the plug-in transformer provided. The Planck's constant apparatus with order number 1000536 is designed for a mains voltage of 115 V ($\pm 10\%$) while the version with order number is for 230 V ($\pm 10\%$).

4. Technical data

Photocell:	Type 1P39, cesium (Cs)
<u>Voltmeter:</u>	
Display:	3½-digit LCD
Precision:	0,5 % (typically)
<u>Nanoammeter:</u>	
Display:	3½-digit LCD
Precision:	1 % (typically)
LEDs:	472 nm, 505 nm, 525 nm, 588 nm, 611 nm
Dimensions:	280 x 150 x 130 mm ³
Weight:	1,3 kg approx.

5. Theoretical principles

At the end of the 19th century and the beginning of the 20th, it almost seemed as though Physics had explained all there was to know, but the so-called photo-electric effect was one of the last riddles. Classical theories were unable to account for this effect. In 1905, though, Albert Einstein devised a brilliantly simple theoretical description of the phenomenon using the quantum theory which had been introduced by Max Planck. His assumption was that light consisted of particles, so-called photons (quanta of light), with an energy E which was directly proportional to their frequency f and a momentum p indirectly proportional to the wavelength λ :

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

The constant of proportionality here h was Planck's "quantum of action". What it meant was that energy in the form of electro-magnetic radiation could only be emitted in small, discrete packets called quanta. This minimum energy was dependent on the frequency. Planck's constant is one of the fundamental constants of nature and has a value to a high accuracy of $h = 6.62606896 \cdot 10^{-34}$ Js.

In this experiment light from the light emitting diode connected in the circuit passes through a ring-shaped anode before striking the cathode. If an electron is struck by a photon, the photon can give up all of its energy ($E = h \cdot f$) to the electron. Part of that energy may then propel the

electron out of the metal surface (the so-called work function W). The rest of it is converted into kinetic energy for the electron:

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

The work done in emitting electrons from the cathode is dependent on the material as well as on the temperature. For cesium it is 2.14 eV at 0 K and about 2 eV at room temperature.

Depending on the adjustment of the back EMF between the cathode and anode, a current of electrons should flow from the former to the latter. This can be measured using the nanoammeter. If the back-EMF corresponds to the critical voltage U_0 , where

$$e \cdot U_0 = h \cdot f - W \quad \text{and} \quad e = 1,6021 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

then this current should have a magnitude of 0 nA.

Plot a graph of $e \cdot U_0$ against f for the critical voltages U_0 , measured for various frequencies of light f , to obtain a line of gradient h crossing the y axis at W . The point where the line crosses the y-axis is different for all cathode materials, so that the corresponding straight lines are all different too. The gradient of the line depends on the cathode material.

6. Operation

6.1 Measurement of critical voltage at a light intensity of 75%.

- Plug in the transformer to supply power.
- Set the intensity of the light source to 75%.
- Insert the plug for the first light source into the LED connector socket.
- Push together the jaws of the clip for the sleeve over the collector tube of the photocell and remove the sleeve.
- Push the LED unit fully onto the collector tube of the photocell until the jaws of the clip snap into place.
- Set the fine adjustment knob for the back-EMF to a central position.

Note: it is worth waiting a few minutes to set the critical voltage before starting the first measurement.

- Slowly turn the coarse setting knob till the photoelectric current measured by the nanoammeter is approximately 0.
- Use the fine setting knob to optimize the calibration. Turn it round till the display oscillates between 0 and -0.
- Take note of the back-EMF as set in this fashion and record it as the critical voltage U_0 .

- Repeat this measurement for the four other LEDs.
- After the experiment, close the plastic cover back over tube for attaching the LED.

6.2 Determining Planck's constant h .

- Work out the frequencies of the light from the printed wavelengths λ using the formula $f = \frac{c}{\lambda}$ where $c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$.
- Use the critical voltages U_0 to work out the energies $e \cdot U_0$ where $e = 1,6021 \cdot 10^{-19} C$.
- Plot the values obtained on a graph of energy against frequency.
- Draw a straight line through the points and determine Planck's constant h from the gradient and the work W from where the line crosses the Y axis.

Note: It is easiest to evaluate the results, particularly those referring to the back-EMF, with the help of the supplied Excel spreadsheet. This merely involves entering the measured critical voltage into the relevant table. Afterwards the gradient h and the y-axis crossing point W can be read from a graph and any discrepancies from quoted values can be calculated by entering the quoted figures into the relevant cell in the second table.

6.3 Proof that the critical voltage does not depend on the light intensity.

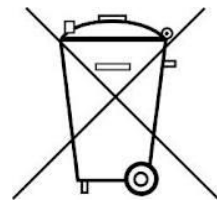
- Select an LED.
- Set the light to maximum intensity and determine the critical voltage U_0 .
- Reduce the intensity to zero in a set of steps and determine the critical voltage U_0 in each case.

7. Cleaning

- Only use conventional mild washing-up liquid and never aggressive detergents.
- Make sure that no moisture gets inside the equipment.
- Unplug the power supply to turn off the equipment.
- Clean the equipment using a slightly damp and non-fluffy cloth.

8. Disposal of Waste (WEEE)

The symbol of the crossed-out wheeled bin means that this device must be collected separately from unsorted municipal waste at the end of its service life. Do not dispose of the device in normal household waste. For return, please use the local free collection and return systems provided by municipalities (e.g., recycling centers) or the take-back options provided by retailers.



- Batteries and Lamps: Remove waste batteries and accumulators that are not enclosed by the waste equipment, as well as lamps that can be removed without being destroyed, from the waste equipment prior to delivery to a collection point.
- Data Protection: As an end-user, you are legally responsible for deleting personal data from the waste equipment to be disposed of.
- Packaging: Dispose of the packaging materials separately at local recycling points (e.g., paper/cardboard in paper waste, plastics in designated recycling bins).

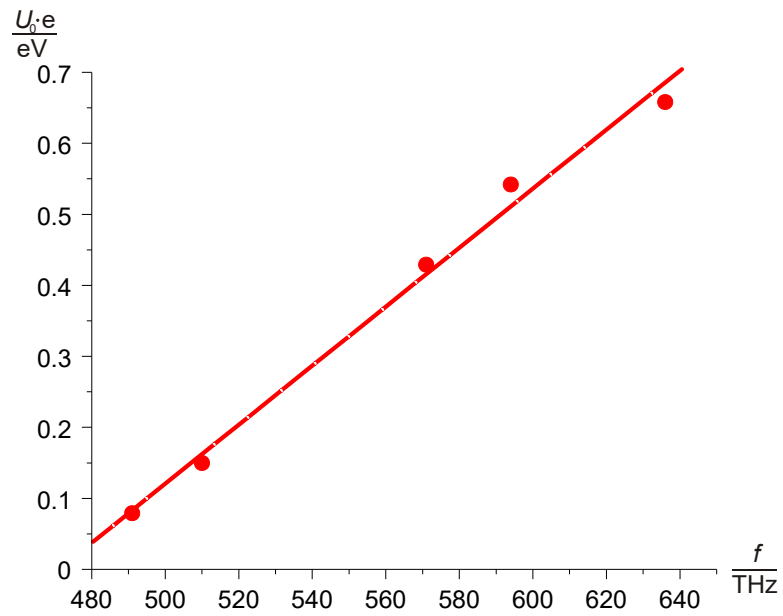


Fig. 1 Critical energy $U_0 \cdot e$ against frequency f

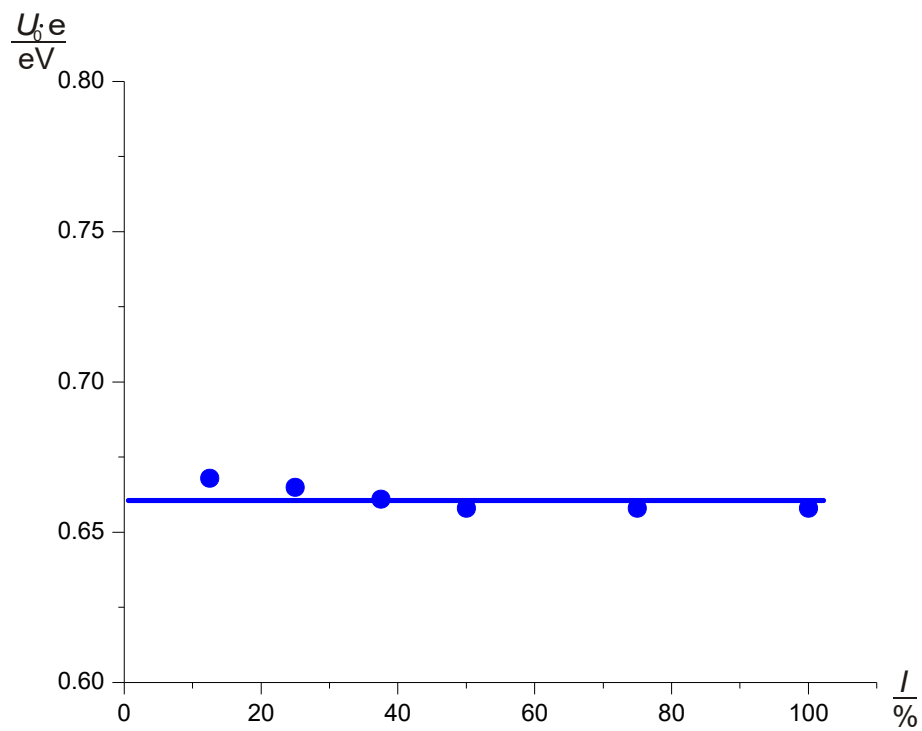


Fig. 2 Critical voltage U_0 against light intensity I at a wavelength of 472 nm

Aparato para la Constante de Planck

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

Manual de instrucciones

10/26 ALF/DU/HJB



- 1 LEDs con cable de conexión
- 2 Nanoamperímetro
- 3 Voltmeter
- 4 Caperuza de protección de la fotocélula
- 5 Tubo de alojamiento de la fotocélula
- 6 Casquillo hueco para la fuente de tensión enchufable
- 7 Fuente de alimentación con casquillo de conexión para el LED
- 8 Ajuste de contratensión (burdo)
- 9 Ajuste de contratensión (fino)
- 10 Ajuste de la intensidad
- 11 Carcasa vacía

1. Observaciones

La fotocélula del aparato de la constante de Planck es muy sensible. Una fuerte exposición a la luz hace que la misma envejezca rápidamente y puede conducir a un daño permanente. Después de una alta irradiación ella necesita en el mejor de los casos un tiempo considerable hasta volver a estabilizarse.

- Nunca retire la caperuza de protección de la fotocélula.
- Después de concluir el experimento deslice la carcasa vacía sobre el tubo de alojamiento de la fotocélula.
- Proteja el aparato contra sacudidas y evite exponerlo, a temperaturas extremas, a la humedad, a ser mojado o a la insolación solar directa.

2. Volumen de suministro

- 1 Aparato base con fotocélula, voltímetro, nanoamperímetro y fuente de alimentación para los LEDs
- 1 Carcasa vacía como caperuza para el tubo de alojamiento de la fotocélula.
- 5 LEDs (472 nm, 505 nm, 525 nm, 588 nm, 611 nm) en carcasa con cable de conexión.
- 1 Fuente de alimentación enchufable 12 V CA
- 1 Manual de instrucciones

3. Descripción

El aparato de la constante de Planck sirve para la medición de la constante de Planck h y del trabajo de extracción de electrones W del cátodo de cesio de la fotocélula, por medio del método de la contratensión.

Este aparato lleva una fotocélula al vacío, un nanoamperímetro para la medición de la corriente fotoeléctrica y una fuente de alimentación para los LEDs. Como fuente de luz para diferentes frecuencias, se tienen a disposición cinco diodos emisores de luz de longitud de onda promedio conocida (LED). La intensidad de la luz emitida se puede variar entre 0% y 100% sin saltos. La fotocélula está compuesta de un cátodo metalizado por

vaporización con cesio (Cs) y un ánodo en forma de anillo. Cuando el aparato está conectado se tiene una tensión entre esos electrodos, la cual se puede variar bruscamente y finamente por medio de dos botones de ajuste.

La alimentación de tensión del aparato se realiza por medio de la fuente de tensión enchufable que se entrega. El aparato de la constante de Planck con el número de artículo 1000536 está diseñado para una tensión de red de 115 V ($\pm 10\%$), el aparato con el número 1000537 para 230 V ($\pm 10\%$).

4. Datos técnicos

Fotocélula:	Tipo 1P39, Cesio (Cs)
<u>Voltímetro:</u>	
Indicación:	pantalla LCD de 3½ dígitos
Exactitud:	0,5 % (típica)
<u>Nanoamperímetro:</u>	
Indicación:	pantalla LCD de 3½ dígitos
Exactitud:	1 % (típica)
Diodos luminosos:	472 nm, 505 nm, 525 nm, 588 nm, 611 nm
Dimensiones:	280 x 150 x 130 mm ³
Masa:	aprox. 1,3 kg

5. Fundamentos teóricos

A finales del siglo 19 y a inicios del siglo 20, el llamado “efecto fotoeléctrico” representaba uno de los últimos enigmas para la Física considerada ya como cerrada. La explicación de este fenómeno no se pudo lograr con la teoría clásica del siglo 19. En 1905 el Físico Albert Einstein logró una descripción teórica sencilla y genial de este efecto, apoyándose en la teoría cuántica introducida por Max Planck. Él asumió que la luz se compone de partículas, llamadas cuantos. La energía E de estos fotones (cuantos de luz) debería ser directamente a su frecuencia f y la magnitud de su impulso p debería ser indirectamente proporcional a la longitud de onda de la luz λ :

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

Siendo en este caso la constante de proporcionalidad h , el cuanto de acción de Planck. Esto significa que la energía se puede entregar sólo en forma de pequeños paquetes de radiación electromagnética. Esta cantidad mínima depende de la frecuencia. El cuanto de acción de Planck es una constante natural fundamental que tiene exactamente el valor de $h = 6,62606896 \cdot 10^{-34}$ Js.

En el experimento, la luz incide sobre el cátodo del diodo luminoso encerrado y conectado, a través del ánodo en forma de anillo. Si un electrón es chocado por un fotón, el fotón en el efecto fotoeléctrico trasporta su energía total al electrón

($E = h \cdot f$). Una parte de la energía es necesaria para extraer el electrón de la superficie del metal (trabajo de extracción W). El resto de la energía está a disposición del electrón en forma de energía cinética:

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

El trabajo de extracción es una magnitud que depende del material del cátodo y de la temperatura, para el cesio (Cs) es de 2,14 eV para 0 K y de aprox. 2 eV para temperatura ambiente.

Dependiendo de la contratensión aplicada entre el cátodo y el ánodo, fluye una corriente de electrones del cátodo hacia el ánodo, la cual se mide con el nanoamperímetro. Si la contratensión corresponde a la tensión límite U_0 con

$$e \cdot U_0 = h \cdot f - W \quad \text{y} \quad e = 1,6021 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

llega así esta corriente al valor 0 nA.

En un diagrama $e \cdot U_0 - f$ los valores de U_0 medidos para diferentes frecuencias f se encuentran en una recta de pendiente h y con un corte del eje-y igual a W . Para cada material de cátodo se tiene un rango diferente en la abscisa-y correspondiente. La pendiente de la línea depende del material del cátodo.

6. Manejo

6.1 Medición de las tensiones límite con 75% de la intensidad de la luz.

- Para realizar el suministro de tensión se conecta la fuente.
- La intensidad de la fuente de luz se ajusta en 75%.
- La clavija de la primera fuente de luz se conecta en el casquillo para LED.
- Se aprietan las clavijas de sujeción de la carcasa vacía en el tubo de alojamiento de la fotocélula y se retira la carcasa vacía.
- Se desliza completamente la carcasa del LED en el tubo de alojamiento de la fotocélula hasta que las clavijas de sujeción encajen.
- El botón de ajuste fino para la contratensión se lleva a la posición intermedia.

Observación: Se recomienda que en la primera medida se espere un par de minutos antes de iniciar con el ajuste de la tensión o voltaje límite.

- Se gira lentamente el botón de ajuste burdo hasta que la corriente fotónica se haga aprox. 0 en el nanoamperímetro.
- Con el botón de ajuste fino se optimiza el ajuste. Para ello, se gira el botón de ajuste fino hasta que la indicación cambie entre 0 y -0.

- La contratensión ajustada en esta forma se anota como tensión límite U_0 .
- Se repite la medición con los siguientes cuatro LEDs.
- Después del experimento Se coloca nuevamente la tapa de protección de plástico del tubo de soporte del LED.

6.2 Determinación de la constante de Planck h .

- Con las longitudes de onda λ impresas se calculan las frecuencias de la luz $f = \frac{c}{\lambda}$ con $c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$.
- Con las tensiones límite U_0 se calculan las energías $e \cdot U_0$ tomando $e = 1,6021 \cdot 10^{-19} C$.
- Los valores determinados se anotan en un diagrama "Energía - Frecuencia".
- Se ajustan los valores con la recta y se determina la constante de Planck h a partir de la pendiente y el trabajo de extracción W del corte de la recta con la eje-y.

Observación: La evaluación se hace lo más sencillamente posible, especialmente con respecto a la línea de compensación, aplicando el programa de Excel que se entrega, porque sólo se tienen que anotar en la tabla correspondiente los valores medidos para el voltaje límite. Luego se pueden leer, la pendiente h y el corte de la abscisa W en la gráfica y se puede calcular el error con respecto al valor bibliográfico, anotando estos valores en el lugar correspondiente de la segunda tabla.

6.3 Comprobación de la independencia de la tensión límite con la intensidad de la luz.

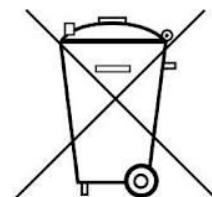
- Se selecciona un LED.
- Se ajusta la intensidad máxima y se determina la tensión límite U_0 .
- Se reduce paso a paso la intensidad de la luz y cada vez se determina la tensión límite U_0 .

7. Limpieza

- Utilizar únicamente detergentes suaves habituales del comercio, nunca abrasivos cáusticos.
- Tener cuidado de que nunca entren líquidos al interior del aparato.
- Se retira la fuente de tensión enchufable para apagar el aparato.
- Se limpia el aparato con un trapo húmedo (!) libre de pelusas.

9. Eliminación de residuos (RAEE)

El símbolo del contenedor de basura tachado con una cruz significa que este dispositivo debe ser recogido por separado de los residuos urbanos no clasificados al final de su vida útil. El dispositivo no debe desecharse con la basura doméstica normal. Para su devolución, utilice los sistemas de recogida y devolución gratuitos locales provistos por los municipios (por ejemplo, puntos limpios) o las opciones de devolución de los distribuidores.



- Baterías y lámparas: Retire las baterías y acumuladores usados que no estén integrados en el aparato, así como las lámparas que puedan extraerse sin ser destruidas, antes de entregar el aparato en un punto de recogida.
- Protección de datos: Como usuario final, usted es legalmente responsable de borrar los datos personales de los aparatos usados que vaya a desechar.
- Embalaje: Deseche los materiales de embalaje por separado en los puntos de reciclaje locales (por ejemplo, papel/cartón en el contenedor de papel, plásticos en los contenedores de reciclaje correspondientes).

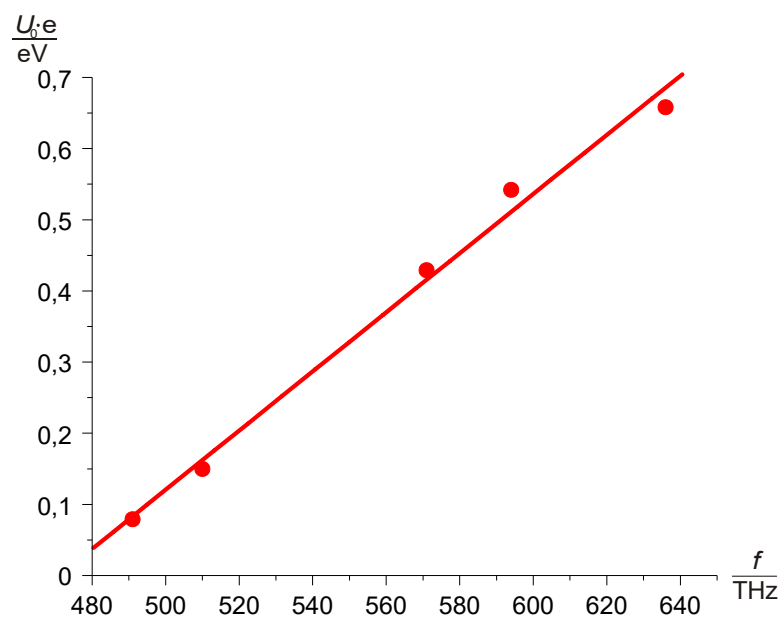


Fig.1 Energía límite $U_0 \cdot e$ en dependencia con la frecuencia f

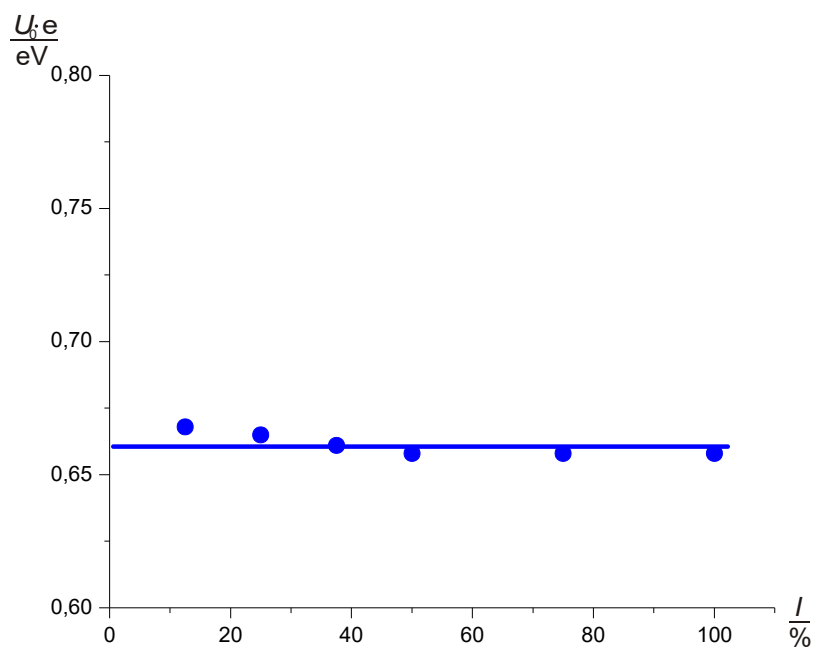


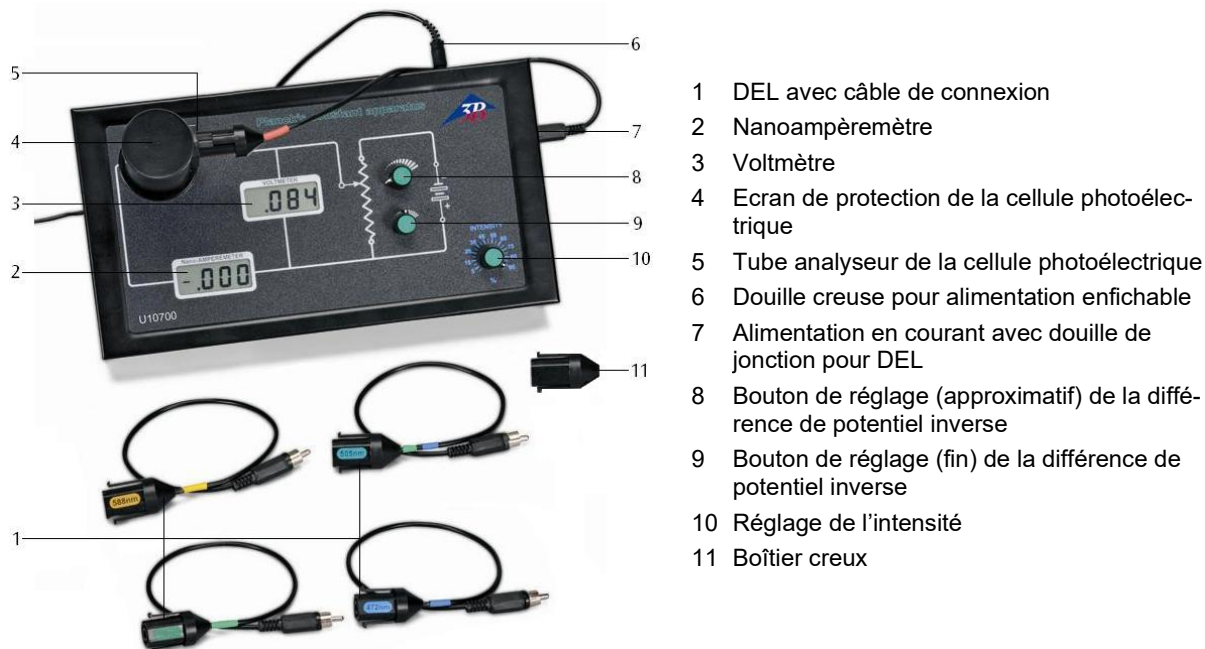
Fig. 2 Tensión límite U_0 en dependencia con la intensidad de la luz I de longitud de onda 472 nm

Appareil pour la Constante de Planck

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

Manuel d'utilisation

10/26 ALF/DU/HJB



- 1 DEL avec câble de connexion
- 2 Nanoampèremètre
- 3 Voltmètre
- 4 Ecran de protection de la cellule photoélectrique
- 5 Tube analyseur de la cellule photoélectrique
- 6 Douille creuse pour alimentation enfichable
- 7 Alimentation en courant avec douille de jonction pour DEL
- 8 Bouton de réglage (approximatif) de la différence de potentiel inverse
- 9 Bouton de réglage (fin) de la différence de potentiel inverse
- 10 Réglage de l'intensité
- 11 Boîtier creux

1. Remarques

La cellule photoélectrique de l'appareil pour la constante de Planck est très sensible. Une forte exposition à la lumière entraîne son usure prématurée et l'endommagement définitivement. Après une irradiation excessive, elle nécessite dans le meilleur des cas une longue période pour se stabiliser.

- L'écran de protection de la cellule photoélectrique ne doit en aucun cas être retiré.
- A la fin de l'expérience, poussez le boîtier creux au-dessus du tube analyseur de la cellule photoélectrique.
- Protégez l'appareil des vibrations et ne l'exposez ni à des températures extrêmes, ni à une humidité élevée ou à un ensoleillement direct.

2. Volume de livraison

- 1 Appareil de base avec cellule photoélectrique, voltmètre, nanoampèremètre et alimentation en courant pour les DEL
- 1 Boîtier creux comme cache pour le tube analyseur de la cellule photoélectrique
- 5 DEL (472 nm, 505 nm, 525 nm, 588 nm, 611 nm) dans un boîtier avec câble de connexion
- 1 Alimentation enfichable 12 V CA
- 1 Manuel d'utilisation

3. Description

L'appareil pour la constante de Planck permet de déterminer la constante de Planck h et le travail de sortie des électrons W de la cathode en césium de la cellule photoélectrique selon la méthode de la différence de potentiel inverse.

Il comprend une cellule photoélectrique à vide, un voltmètre pour la mesure de la différence de potentiel inverse, un nanoampèremètre pour la mesure du courant photoélectrique et une source de tension pour les DEL. En tant que sources lumineuses de fréquence différente, cinq diodes électroluminescentes (DEL) de longueur d'onde connue sont disponibles. L'intensité de la lumière

émise peut varier chaque fois entre 0 et 100 %. La cellule photoélectrique se compose d'une cathode vaporisée de césium et d'une anode cylindrique. Si l'appareil est sous tension, une tension est présente entre ces électrodes : elle peut être réglée à l'aide de deux boutons

L'alimentation en courant de l'appareil s'effectue à partir d'une alimentation enfichable fournie. L'appareil pour la constante de Planck dont la référence est 1000536, est conçu pour une tension du secteur de 115 V (± 10 %), l'appareil dont la référence est 1000537 pour une tension du secteur de 230 V (± 10 %)

4. Technical data

Photocellule :	Type 1P39, césium (Cs)
<u>Voltmètre :</u>	
Affichage :	Afficheur LCD 3½ chiffres
Précision :	0,5 % (typique)
<u>Nanoampèremètre :</u>	
Affichage :	Afficheur LCD 3½ chiffres
Précision :	1 % (typique)
DEL :	472 nm, 505 nm, 525 nm, 588 nm, 611 nm
Dimensions :	env. 280 x 150 x 130 mm ³
Masse :	env. 1,3 kg.

5. Bases théoriques

L'effet photoélectrique fut une des dernières énigmes de la fin du 19ème siècle et du début du 20ème siècle, époque à laquelle on pensait avoir quasiment fait le tour de la question en physique. La théorie classique ne permettait pas d'expliquer ce phénomène. En 1905, Einstein parvint à faire une description théorique incroyablement simple de cet effet, à l'aide de la théorie quantique introduite par Max Planck. Il expliqua que la lumière est composée de particules appelés photons. L'énergie E , de ces photons (quanta de lumière) devait être directement proportionnelle à leur fréquence f et leur nombre d'impulsions p indirectement proportionnel aux longueurs d'ondes λ :

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

La constante de proportionnalité h est désignée comme la Constante de Planck. Cela signifie que l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique ne peut être émise qu'en petits paquets, appelés quanta. Cette valeur minimale dépend de la fréquence. La Constante de Planck est une constante naturelle fondamentale dont la valeur exacte est $h = 6.62606896 \cdot 10^{-34}$ Js.

Dans cette expérience, la lumière de la diode électroluminescente connectée, rencontre l'anode cylindrique sur la cathode. Si un électron rencontre un photon, le photon lui transmet toute

son énergie, ($E = h \cdot f$) par effet photoélectrique. Une partie de cette énergie servira à repousser les électrons de la surface métallique (travail de sortie W). Le reste de l'énergie est mis à disposition des électrons sous forme d'énergie cinétique :

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

Le travail de sortie des électrons s'agit d'une grandeur dépendant du matériau et de la température et pour le césium, elle est égale à 2,14 eV pour 0 K et environ 2 eV à température ambiante.

Selon la différence de potentiel inverse appliquée entre la cathode et l'anode, un flux d'électrons circule de la cathode vers l'anode, mesuré à l'aide du nanoampèremètre. Correspond à la différence de potentiel inverse de la tension limite U_0 avec

$$e \cdot U_0 = h \cdot f - W \quad \text{et} \quad e = 1,6021 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

donc ce courant atteint la valeur 0 nA.

Dans un diagramme f e $\cdot U_0$, les tensions limites U_0 mesurées pour différentes fréquences f se trouvent sur une droite de gradient h et d'une section de coordonnée y W . En fonction du matériau de la cathode, l'axe des ordonnées y de la droite correspondante, est différent. La montée de la droite dépend du matériau de la cathode.

6. Manipulation

6.1 Mesure des tensions limites avec une intensité lumineuse de 75 %.

- Raccordez l'alimentation enfichable pour l'alimentation en courant.
- Réglez l'intensité lumineuse sur 75 %.
- Insérez la fiche de la première source lumineuse dans la douille de jonction pour les DEL.
- Appuyez sur les tiges de verrouillage du boîtier creux au niveau du tube analyseur de la cellule photoélectrique et tirez le vers le bas.
- Poussez entièrement le boîtier des DEL sur le tube analyseur de la cellule photoélectrique jusqu'à ce que les tiges de verrouillage s'enclenchent.
- Placez le bouton de réglage fin pour la différence de potentiel inverse en position médiane.

Précision : Il est recommandé, lors de la première mesure, d'attendre quelques minutes avant de commencer le réglage de la tension limite.

- Tournez le bouton de réglage approximatif jusqu'à ce que le courant photoélectrique dans le nanoampèremètre soit sur environ 0.

- Optimisez le réglage avec le bouton de réglage fin. Pour cela, tournez le bouton de réglage fin de façon à ce que l'affichage varie entre 0 et -0.
- Notez la différence de potentiel inverse réglée de cette manière en tant que tension limite U_0 .
- Recommencez la mesure avec les quatre DEL restantes.
- Une fois l'expérience terminée, repoussez la housse de protection sur le tube analyseur à DEL.

6.2 Détermination de la constante de Planck h .

- A partir des longueurs d'onde λ appliquées, calculez les fréquences

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad \text{avec} \quad c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s} \text{ de la lumière.}$$
- A partir des tensions limites U_0 , calculez les énergies $e \cdot U_0$ avec $e = 1,6021 \cdot 10^{-19} C$.
- Reportez les valeurs obtenues dans un diagramme énergie/fréquence.
- Tracez une droite passant par les valeurs et déterminez la constante de Planck h à partir du gradient et du travail de sortie W de la section de coordonnée y .

Précision : Le plus simple est d'effectuer l'évaluation concernant, en particulier, la droite de compensation, à l'aide du programme Excel fourni, car il suffit de saisir les valeurs mesurées pour la tension limite, dans le tableau correspondant. Il suffit ensuite de lire la droite de gradient h et l'axe des ordonnées y W sur le graphique et de calculer la différence par rapport à la valeur de la littérature, en saisissant ces valeurs dans la colonne correspondante du second tableau.

6.3 Preuve de l'indépendance de la tension limite par rapport à l'intensité lumineuse.

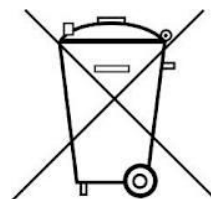
- Choisissez une DEL.
- Réglez l'intensité maximale et déterminez la tension limite U_0 .
- Réduisez progressivement l'intensité à zéro et déterminez chaque fois la tension limite U_0 .

7. Nettoyage

- Utilisez uniquement un produit de rinçage doux courant dans le commerce mais aucun produit à récurer caustique.
- Veillez impérativement à ce qu'aucun liquide ne pénètre à l'intérieur de l'appareil.
- Débranchez l'alimentation enfichable pour mettre l'appareil hors tension.
- Nettoyez l'appareil avec un chiffon léger (!), humide et non pelucheux.

8. Élimination des équipements électriques (DEEE)

Le symbole de la poubelle à roulettes barrée d'une croix signifie qu'à la fin de sa durée de vie, cet appareil doit faire l'objet d'une collecte sélective séparée des déchets municipaux non triés. L'appareil ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères. Pour le retour, veuillez utiliser les systèmes de collecte et de retour locaux et gratuits mis à disposition par les municipalités (p. ex. les déchetteries) ou les options de reprise proposées par les distributeurs.



- Piles et lampes : Retirez les piles et accumulateurs usagés qui ne sont pas enfermés dans l'appareil, ainsi que les lampes qui peuvent être retirées sans être détruites, avant de déposer l'appareil dans un point de collecte.
- Protection des données : En tant qu'utilisateur final, il vous incombe légalement d'effacer les données personnelles présentes sur les appareils usagés à éliminer.
- Emballage : Éliminez les matériaux d'emballage séparément dans les points de recyclage locaux (p. ex. le papier/carton dans le bac à papier, les plastiques dans le bac de recyclage approprié).

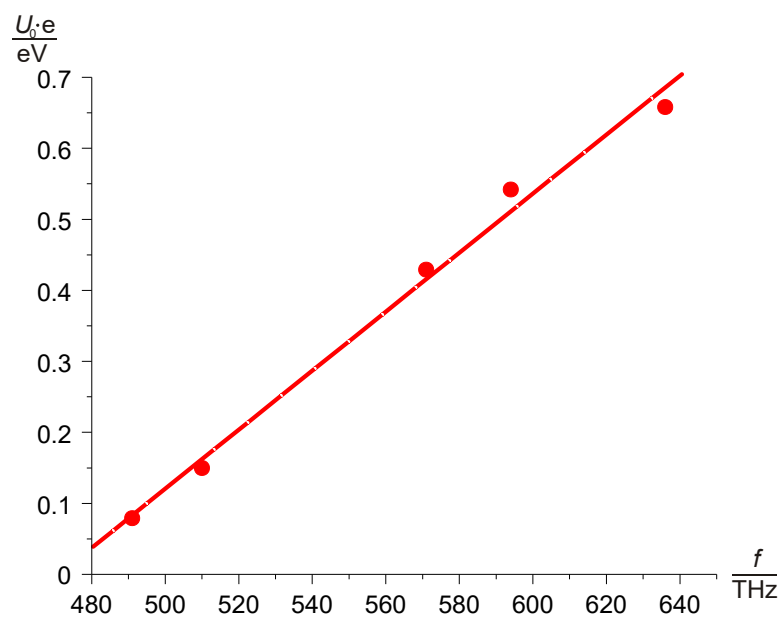


Fig.1 Energie limite $U_0 \cdot e$ en fonction de la fréquence f

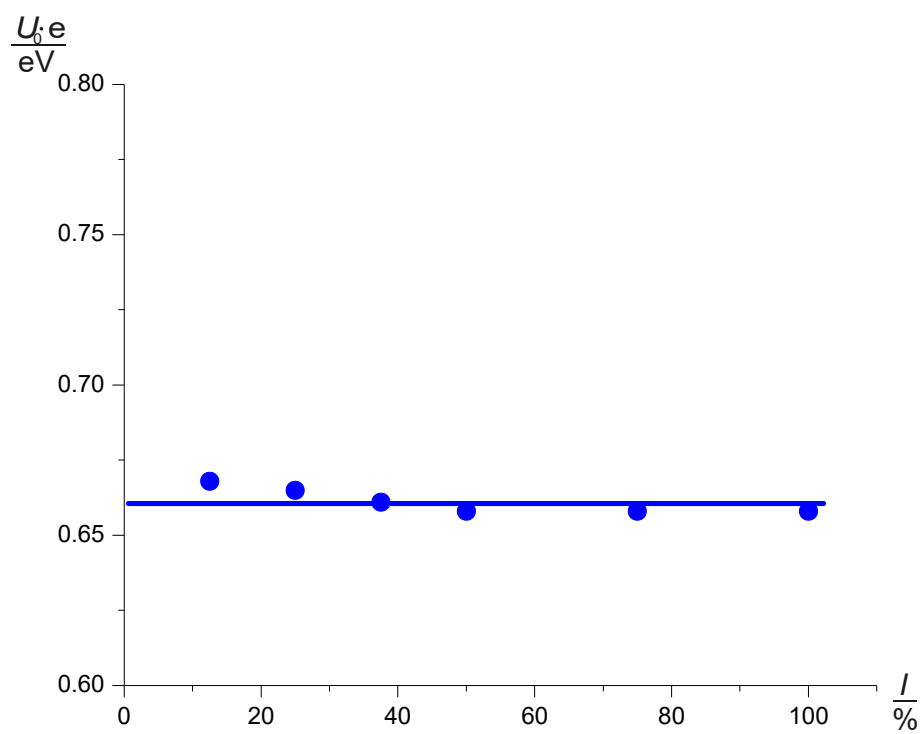


Fig. 2 Tension limite U_0 en fonction de l'intensité lumineuse I pour une longueur d'onde de 472 nm

Apparecchio per la Costante di Planck

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

Manuale di istruzioni

10/26 ALF/DU/HJB



1. Note

La fotocellula dell'apparecchio della costante di Planck è molto sensibile. Un'intensa esposizione alla luce potrebbe provocarne il rapido invecchiamento e danneggiarla in modo permanente. Dopo l'irradiazione essa necessita, anche nelle migliori condizioni, di parecchio tempo per potersi ristabilizzare.

- Non rimuovere in alcun caso il cappuccio di protezione della fotocellula.
- Al termine degli esperimenti, inserire l'involucro sul tubo di alloggiamento della fotocellula.
- Proteggere l'apparecchio da urti e non esporre a temperature estreme, elevata umidità atmosferica, liquidi o raggi solari diretti.

2. Contenuto della fornitura

- 1 apparecchio di base con fotocellula, voltmetro, nanoamperometro e alimentazione per i LED
- 1 involucro protettivo per il tubo di alloggiamento della fotocellula
- 5 LED (472 nm, 505 nm, 525 nm, 588 nm, 611 nm) in scatola con cavo di collegamento
- 1 alimentatore ad innesto 12 V CA
- 1 manuale di istruzioni

3. Descrizione

L'apparecchio per la misura della costante di Planck serve la determinazione della costante di Planck h e l'estrazione degli elettroni W dal catodo al cesio della fotocellula secondo il metodo della forza controelettromotrice.

Esso comprende una fotocellula a vuoto, un voltmetro per la misurazione della forza controelettromotrice, un nanoamperometro per la misurazione della fotocorrente e una sorgente di tensione per LED. Cinque diodi ad emissione luminosa (LED) con lunghezza d'onda media conosciuta vengono utilizzati come sorgente luminosa a frequenza diversa. L'intensità della luce

emessa può variare da 0 a 100%. La fotocellula è composta da un catodo vaporizzato al cesio e un anodo ad anello. Quando l'apparecchio è acceso, fra questi elettrodi è presente una tensione variabile in maniera approssimativa o fine tramite due regolatori.

L'alimentazione di tensione dell'apparecchio è effettuata mediante l'alimentatore a spina fornito in dotazione. L'apparecchio per la misura della costante di Planck con numero articolo è predisposto per una tensione di rete di 115 V ($\pm 10\%$), mentre quello con numero articolo 1000537 è predisposto per una tensione di 230 V ($\pm 10\%$).

4. Dati tecnici

Fotocellula:	tipo 1P39, cesio (Cs)
<u>Voltmetro:</u>	
Display:	display LCD a 3½ cifre
Accuratezza:	0,5 % (tipico)
<u>Nanoamperometro:</u>	
Display:	display LCD a 3½ cifre
Accuratezza:	1 % (tipico)
LED:	472 nm, 505 nm, 525 nm, 588 nm, 611 nm
Dimensioni:	ca. 280 x 150 x 130 mm³
Massa:	ca. 1,3 kg

5. Principi teorici

Il cosiddetto effetto fotoelettrico rappresentò tra la fine del XIX e l'inizio del XX secolo, quando si ritenne la fisica praticamente completata, uno degli ultimi enigmi. La spiegazione di questo fenomeno non era possibile con la teoria classica. Nel 1905, Einstein riuscì a fornirne una spiegazione teorica semplice e geniale servendosi della teoria quantica introdotta da Max Planck. Egli suppose che la luce consistesse di particelle, dette fotoni. L'energia E di tale fotoni (quanti di luce) doveva essere direttamente proporzionale alla relativa frequenza f e la durata dell'impulso p indirettamente proporzionale alla lunghezza d'onda λ :

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

La costante di proporzionalità h è proprio la costante di Planck. Ciò significa che l'energia sotto forma di radiazione elettromagnetica può essere propagata solo in piccoli pacchetti, definiti quanti. Questa grandezza minima dipende dalla frequenza. La costante di Planck è una costante naturale fondamentale e ha un valore preciso $h = 6,62606896 \cdot 10^{-34}$ Js.

Nell'esperimento, la luce del diodo luminoso collegato giunge sul catodo attraverso un anodo ad anello. Se un elettrone viene colpito da un fotone, per l'effetto fotoelettrico quest'ultimo rilascia tutta

la propria energia ($E = h \cdot f$). Una parte dell'energia serve a strappare l'elettrone dalla superficie metallica (lavoro di estrazione W), mentre il resto è disponibile all'elettrone come energia cinetica:

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

Il lavoro di estrazione tratta di una grandezza dipendente dal materiale e dalla temperatura e ammonta per il cesio a 2,14 eV a 0 K e a circa 2 eV a temperatura ambiente.

A seconda della forza controelettromotrice applicata fra catodo e anodo, dal catodo all'anodo scorre una corrente elettronica misurabile con il nanoamperometro. Se la forza controelettromotrice corrisponde alla tensione massima U_0 con

$$e \cdot U_0 = h \cdot f - W \quad \text{und} \quad e = 1,6021 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

allora tale corrente raggiungerà il valore di 0 nA.

In un diagramma $e \cdot U_0 - f$ le tensioni massime U_0 misurate per le diverse frequenze f si trovano su una retta con inclinazione h e sezione dell'asse y W . Per ciascun materiale catodico, la sezione dell'asse y della retta corrispondente è diversa. L'incremento della retta è indipendente dal materiale catodico.

6. Funzionamento

6.1 Misurazione della tensione massima con intensità luminosa al 75%.

- Collegare l'alimentatore.
- Impostare l'intensità della sorgente luminosa al 75%.
- Inserire il connettore della prima sorgente luminosa nel jack di raccordo per LED.
- Premere l'uno contro l'altro i perni di fissaggio dell'involucro del tubo di alloggiamento della fotocellula e togliere l'involucro.
- Inserire interamente la scatola LED sul tubo di alloggiamento della fotocellula fino a far scattare i perni di fissaggio.
- Portare il pulsante di regolazione fine della forza controelettromotrice in posizione centrale.

Nota: è consigliabile, durante la prima misurazione, attendere un paio di minuti prima di iniziare a regolare la tensione massima.

- Ruotare lentamente il regolatore approssimativo fino a quando la fotocorrente nel nanoamperometro non sarà circa 0.
- Ottimizzare la regolazione con il regolatore fine. A tale scopo, ruotare il regolatore fine fino a quando l'indicatore non cambia da 0 a -0.

- Annotare la forza contro elettromotrice così impostata come tensione massima U_0 .
- Ripetere la misurazione con gli altri quattro LED.
- Dopo l'esperimento reinserire l'alloggiamento in plastica sul tubo del LED.

6.2 Determinazione della costante di Planck h .

- Sulla base delle lunghezze d'onda λ indicate, calcolare le frequenze $f = \frac{c}{\lambda}$ con $c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$ della luce.
- Sulla base delle tensioni massime U_0 , calcolare le energie $e \cdot U_0$ con $e = 1,6021 \cdot 10^{-19} C$.
- Registrare i valori rilevati in un diagramma energia-frequenza.
- Adeguare la retta ai valori e determinare la costante di Planck h in base all'inclinazione e il lavoro di estrazione W in base alla sezione dell'asse Y.

Nota: la valutazione risulta più semplice, soprattutto in riferimento alla retta del risultato, con il programma Excel fornito in dotazione, che richiede unicamente l'inserimento dei valori di tensione massima misurati nella tabella corrispondente. Fatto questo, è possibile leggere l'incremento h e la sezione dell'asse y W nei grafici e calcolare l'errore relativo al valore di letteratura registrando questi valori nella posizione prevista nella seconda tabella.

6.3 Dimostrazione dell'indipendenza della tensione massima dall'intensità luminosa.

- Selezionare un LED.
- Impostare l'intensità massima e rilevare la tensione massima U_0 .
- Ridurre gradualmente l'intensità fino a zero, rilevando ogni volta la tensione massima U_0 .

7. Pulizia

- Utilizzare solamente detergenti delicati normalmente reperibili in commercio. Non usare detergenti abrasivi o corrosivi.
- Prestare attenzione e assicurarsi che nessun liquido penetri all'interno dell'apparecchio.
- Per scollegare l'apparecchio, rimuovere l'alimentatore a spina.
- Pulire l'apparecchio con un panno privo di filaccia leggermente (!) inumidito.

8. Smaltimento delle apparecchiature (RAEE)

Il simbolo del cassonetto barrato indica che questo dispositivo, alla fine della sua vita utile, deve essere raccolto separatamente dai rifiuti urbani indifferenziati. Il dispositivo non deve essere smaltito nei normali rifiuti domestici. Per la restituzione, si prega di utilizzare i sistemi di raccolta e restituzione locali gratuiti messi a disposizione dai comuni (es. centri di riciclaggio) o le opzioni di ritiro offerte dai rivenditori.



- **Batterie e lampade:** Rimuovere le batterie e gli accumulatori esausti non racchiusi nell'apparecchiatura, nonché le lampade che possono essere rimosse senza essere distrutte, prima di consegnare l'apparecchiatura a un punto di raccolta.
- **Protezione dei dati:** In qualità di utente finale, è vostra responsabilità legale cancellare i dati personali dalle apparecchiature da smaltire.
- **Imballaggio:** Smaltire i materiali di imballaggio separatamente presso i punti di riciclaggio locali (es. carta/cartone nella raccolta della carta, plastica negli appositi contenitori per il riciclaggio).

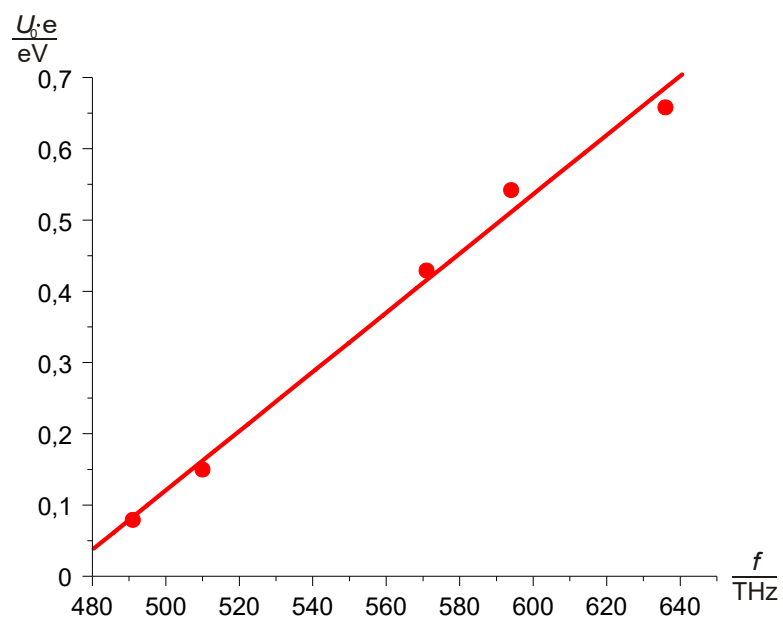


Fig.1 Energia massima $U_0 \cdot e$ in funzione della frequenza f

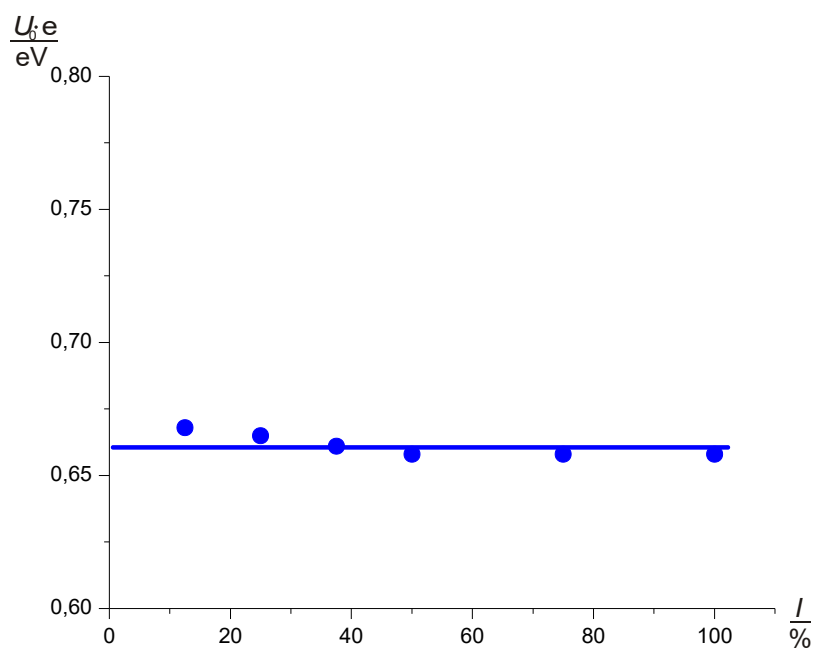


Fig. 2 Tensione massima U_0 in funzione dell'intensità luminosa I ad una lunghezza d'onda pari a 472 nm

Aparelho para a Constante de Planck

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

Manual de instruções

10/26 ALF/DU/HJB



- 1 LED com cabo de conexão
- 2 Nanoamperímetro
- 3 Voltímetro
- 4 Tampa de proteção da fotocélula
- 5 Tubo de recepção da fotocélula
- 6 Tomada oca para a fonte de alimentação
- 7 Fornecimento de tensão com tomada de conexão para LED
- 8 Comutador de tensão inversa (aproximativo)
- 9 Comutador de tensão inversa (fino)
- 10 Comutador de intensidade
- 11 Caixa vazia

1. Indicações

A fotocélula do aparelho para a constante de Planck é muito sensível. A iluminação intensa pode envelhecê-la rapidamente e pode danificá-la permanentemente. Após de uma irradiação excedente ela vai precisar também, no melhor caso, um tempo considerável para poder-se estabilizar de novo.

- Em nenhum caso retirar a tampa de proteção da fotocélula.
- Após da finalização das experiências empurrar a caixa vazia sobre o tubo de recepção da fotocélula.
- Proteja o aparelho contra impactos e não o exponha a temperaturas extremas, alta umidade do ar, umidade ou luz solar direta.

2. Fornecimento

- 1 Aparelho básico com fotocélula, voltímetro, nano amperímetro e fornecimento de tensão para o LED
- 1 Caixa vazia para cobertura do tubo de recepção da fotocélula
- 5 LED (472 nm, 505 nm, 525 nm, 588 nm, 611 nm) em caixa com cabo de conexão
- 1 Fonte de alimentação de 12 V CA
- 1 Manual de instruções

3. Descrição

O aparelho para a constante de Planck serve para a determinação da constante de Planck h e do trabalho de saída dos elétrons W do cátodo de césio da fotocélula segundo o método de tensão inversa.

Ele contém uma fotocélula de vácuo, um voltímetro para a medição da tensão inversa, um nano amperímetro para medir o fluxo da corrente fotoelétrica e uma fonte de alimentação de tensão para o LED. Como fontes de luz de diferentes frequências estão disponíveis cinco diodos emissores de luz (LED) de comprimento de ondas médio conhecido. A intensidade da luz emitida pode ser

variada a cada vez entre 0 e 100%. A fotocélula consiste de um cátodo vaporizado com césio e um anodo em forma de anel. Com o aparelho ligado existe uma tensão entre estes eletrodos, que é variada com dois comutadores em aproximado e fino.

O fornecimento da tensão para o aparelho acontece através de uma fonte de alimentação fornecida. O aparelho para a constante de Planck com o número de item 1000536 é guarnecido para uma tensão de rede de 115 V ($\pm 10\%$), o aparelho com o número 1000537 é para 230 V ($\pm 10\%$)

4. Dados técnicos

Fotocélula:	tipo 1P39, césio (Cs)
<u>Voltímetro:</u>	
Indicação:	display LCD de 3½ dígitos
Exatidão:	0,5 % (típico)
<u>Nanoamperímetro:</u>	
Indicação:	display LCD de 3½ dígitos
Exatidão:	1 % (típico)
LED:	472 nm, 505 nm, 525 nm, 588 nm, 611 nm
Dimensões:	aprox. 280 x 150 x 130 mm ³
Massa:	aprox. 1,3 kg

5. Fundamentos teóricos

O assim chamado efeito fotoelétrico apresentava no final do século 19º e no princípio do 20º, quando se considerava que a física estava quase concluída, um dos últimos enigmas. A explicação deste fenômeno não podia ter sucesso com a teoria clássica. Em 1905 Einstein conseguiu a descrição teórica genialmente simples deste efeito com ajuda da teoria quântica introduzida por Max Planck. Ele assumiu que a luz se compunha de partículas, os assim chamados fótons. A energia E , destes fótons (quanta de luz) deveria ser diretamente proporcional para a sua frequência f e o valor do seu impulso p indiretamente proporcional para o comprimento de onda λ :

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

Nisto a constante de proporcionalidade h é o efeito quantum de Planck. Isto significa que a energia em forma de radiação eletromagnética somente pode entregar quanta em pequenos pacotes. Esta grandeza mínima é dependente da frequência. A constante de Planck é uma constante fundamental da natureza e tem o valor exato $h = 6,62606896 \cdot 10^{-34}$ Js.

Na experiência a luz do diodo luminoso conectado incide através do anodo em forma de anel sobre o cátodo. Se um elétron for atingido por um fóton, no efeito fotoelétrico o fóton entrega para aquele toda a sua energia ($E = h \cdot f$). Uma parte

da energia será necessária para tirar o elétron para fora da superfície metálica (trabalho de saída W). O resto da energia está à disposição do elétron como energia cinética:

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

O trabalho de saída é uma grandeza dependente do material e da temperatura e vale para césio 2,14 eV em 0 K e aprox. 2 eV em temperatura de ambiente.

Dependendo da tensão inversa aplicada entre o cátodo e o anodo, uma corrente de elétrons flui entre o cátodo para o anodo, que é medido com um nano amperímetro. Se a tensão inversa equivale a tensão limite U_0 com

$$e \cdot U_0 = h \cdot f - W \quad \text{e} \quad e = 1,6021 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

esta corrente alcança o valor de 0 nA.

Num diagrama $e \cdot U_0 - f$, se situam as tensões limites U_0 medidas para diferentes frequências f numa reta com a subida h e o corte axial y -, W . Para cada material catódico o corte axial y é diferente para a reta correspondente. A subida da reta é independente do material catódico.

6. Operação

6.1 Medição das tensões limites na intensidade luminosa de 75%.

- Para o fornecimento de tensão conectar a fonte de alimentação.
- Ajustar a intensidade luminosa para 75%.
- Inserir o conector da primeira fonte de luz na tomada de conexão para LED.
- Comprimir os pinos de pregar da caixa vazia no tubo de recepção e puxar a caixa vazia para baixo.
- Empurrar a caixa de LED completamente sobre o tubo de recepção da fotocélula até que encaixem os pinos de pregar.
- Levar o botão de ajuste fino para a tensão inversa para a posição central.

Indicação: na primeira medição é recomendável esperar alguns minutos, antes que se comece com a regulação da tensão limite.

- Girar lentamente o botão de ajuste aproximativo até que a corrente fotoelétrica no nano amperímetro atinja aproximadamente 0.
- Com o botão de ajuste fino aperfeiçoar a regulação. Nisto girar o botão de ajuste fino de tal maneira, que o indicador mude entre 0 e -0.
- Anotar a tensão inversa, obtida desta maneira como sendo a tensão limite U_0 .

- Repetir as medições com os restantes quatro LED.
- Após da experiência recolocar a tampa de proteção de plástico por sobre o tubo de entrada do LED.

6.2 Determinação da constante de Planck h

- Dos comprimentos de onda impressos λ calcular as frequências $f = \frac{c}{\lambda}$ com $c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$ da luz.
- Das tensões limite U_0 calcular as energias $e \cdot U_0$ com $e = 1,6021 \cdot 10^{-19} C$.
- Anotar os valores verificados num diagrama de energia-frequência.
- Adaptar uma reta aos valores e determinar a constante de Planck h da subida e trabalho de saída W da secção de eixo Y.

Indicação: a avaliação se fará mais simples, antes de tudo em relação à reta de compensação do programa Excel fornecido, porque se tem que anotar os valores medidos para a tensão limite na tabela correspondente. Seguidamente a subida h e o corte axial y , W podem ser lidas no diagrama e pode ser calculado o erro em relação ao valor de literatura, ao anotar esses valores no lugar correspondente da segunda tabela.

6.3 Comprovação da independência da tensão limite da intensidade luminosa.

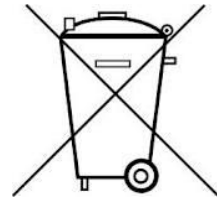
- Escolher um LED.
- Ajustar para intensidade máxima e verificar a tensão limite U_0 .
- Reduzir a intensidade passo a passo para zero e verificar a cada vez a tensão limite U_0 .

7. Limpeza

- Utilizar somente detergente suave corrente, mais nenhum produto corrosivo para esfregar.
- Incondicionalmente tomar cuidado, que nenhum líquido entre no interior do aparelho.
- Retirar a peça da fonte de alimentação para desligar o aparelho.
- Limpar o aparelho levemente (!) com um pano livre de fiapos, ligeiramente umedecido.

8. Eliminação de resíduos (REEE)

O símbolo do caixote do lixo com uma cruz indica que este dispositivo deve ser recolhido separadamente dos resíduos urbanos indiferenciados no final da sua vida útil. O dispositivo não deve ser eliminado no lixo doméstico normal. Para a devolução, utilize os sistemas locais de recolha e devolução gratuitos disponibilizados pelos municípios (por exemplo, ecocentros) ou as opções de retoma dos distribuidores.



- Pilhas e lâmpadas: Remova as pilhas e acumuladores usados que não estejam integrados no equipamento, bem como as lâmpadas que possam ser removidas sem serem destruídas, antes de entregar o equipamento num ponto de recolha.
- Proteção de dados: Como utilizador final, é legalmente responsável pela eliminação dos dados pessoais constantes dos equipamentos usados a eliminar.
- Embalagem: Elimine os materiais de embalagem separadamente nos pontos de reciclagem locais (por exemplo, papel/cartão no contentor do papel, plásticos nos contentores de reciclagem adequados).

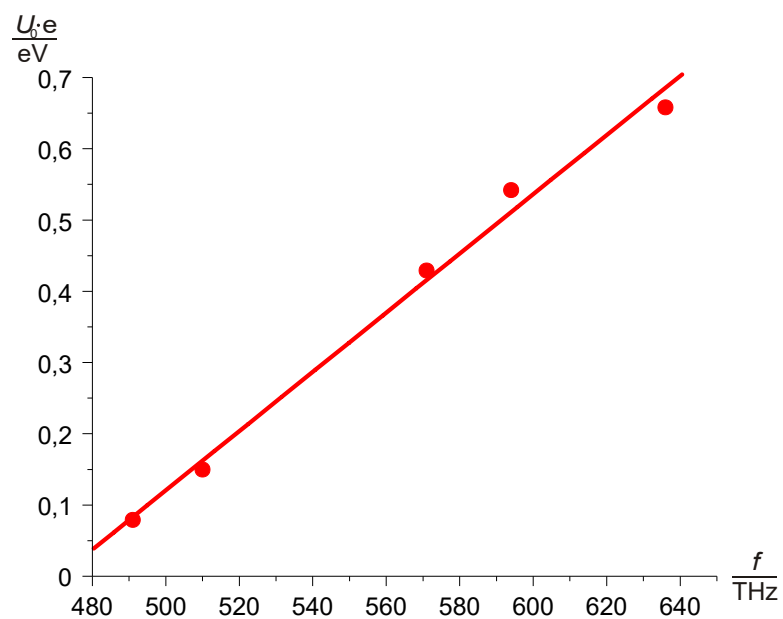


Fig.1 Energia limite $U_0 \cdot e$ em dependência da frequência f

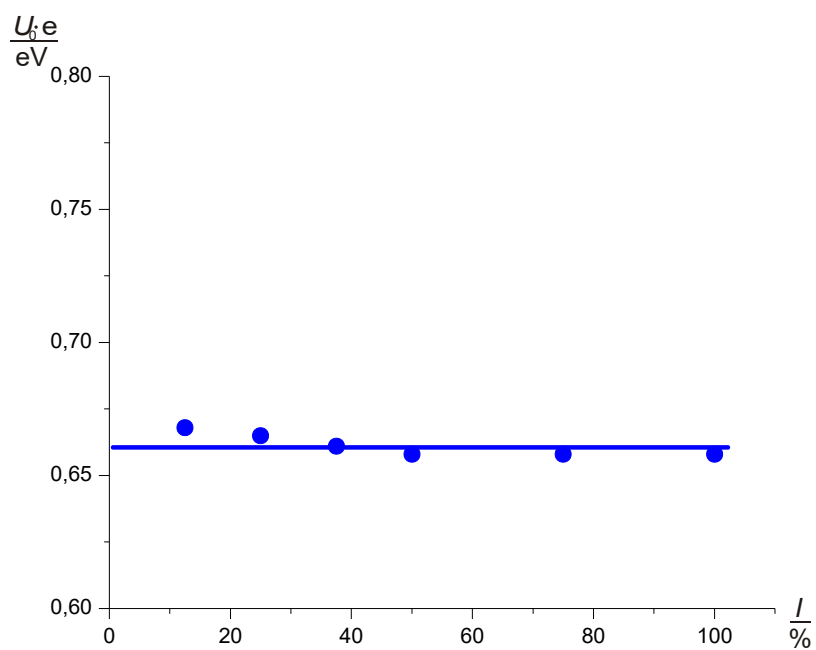


Fig. 2 Tensão limite U_0 em dependência da intensidade luminosa I com um comprimento de onda de 472 nm