

Experimentelle Prüfung

Donnerstag, 7. Juli 2005

Lesen Sie den gesamten Text der Prüfung, bevor Sie mit dem Experiment beginnen!

Bitte lesen Sie zunächst die folgenden Hinweise:

1. Die Arbeitszeit für den experimentellen Wettbewerb beträgt 5 Stunden.
2. Verwenden Sie nur die Vorderseite des zur Verfügung gestellten Papiers !
3. Bearbeiten Sie jede Aufgabe auf einem neuen Blatt Papier.
4. Für jede Aufgabe gibt es zusätzlich zu den *leeren Blättern* ein *Antwort-Formular*. Auf diesem *müssen* Sie Ihre Ergebnisse zusammen fassen. Schreiben Sie Zahlenwerte mit einer geeigneten Anzahl signifikanter Stellen auf. Achten Sie auf die Angabedaten und auf die Angabe der korrekten Einheit!
5. Was immer Sie für die Bearbeitung der Aufgabenstellung für notwendig erachten, schreiben Sie es auf das zur Verfügung gestellte Papier. Bitte verwenden Sie *so wenig Text wie nur irgend möglich!* Verwenden Sie vorwiegend Gleichungen, Terme, Zahlenwerte und Skizzen.
6. Auf dem Kopf jedes Blattes finden Sie Angabefelder. Füllen Sie aus: Ihren *Ländercode (Country Code)*, Ihre *Studentennummer (Student code)*, *Aufgabennummer (Question number)*, die fortlaufende Nummerierung jedes Blattes (*Page number*) und die Gesamtanzahl aller Blätter, die Sie zur Bearbeitung einer Frage verwendet haben (Total number of pages).

Schreiben Sie die Aufgabennummer und die Nummer der Frage, die Sie auf dem Blatt bearbeitet haben, oben auf das Blatt. Jene Blätter, die Sie nicht beurteilt haben wollen, durchkreuzen Sie mit einem X quer über die Seite und numerieren sie diese Seiten nicht.

7. Am Ende des Wettbewerbs ordnen Sie bitte alle Blätter für jede einzelne Aufgabe in folgender Reihenfolge:
 - Antwortblatt
 - Beschriebene Blätter in verwendeter Reihenfolge
 - Jene Blätter, die Sie nicht beurteilt haben wollen
 - Unbenutzte Blätter und den Aufgabentext

Legen Sie alle Papiere in den Umschlag und lassen Sie alles auf Ihrem Arbeitsplatz liegen. Es ist Ihnen keinesfalls erlaubt, irgendwelche Papiere aus dem Arbeitsraum zu entfernen!

Legen Sie alle Teile des Experiments so zurück, wie Sie sie vorgefunden haben, bevor Sie Ihren Platz verlassen.

BESTIMMUNG DES PLANCKSCHEN WIRKUNGSQUANTUMS AUS DEM SPEKTRUM EINER GLÜHLAMPE

Im Jahre 1900 stellte Planck die Hypothese auf, dass Materie Licht in Form von Energiequanten $h\nu$ emittiert. 1905 erweiterte Einstein diese Idee und schlug vor, dass ein einmal emittiertes Energiequant als Lichtquant erhalten bleibt. (Später wurden diese Lichtquanten Photonen genannt.) Eine Lichtwelle kann demzufolge als eine Ansammlung von sehr vielen Photonen angesehen werden. Sie bleiben in der Lichtwelle verborgen, ähnlich wie einzelne Atome in einer Ansammlung von Materie nicht in Erscheinung treten. Aber das Plancksche Wirkungsquantum h enthüllt die Existenz der Photonen. Das Ziel dieses Experimentes ist es, das Plancksche Wirkungsquantum zu bestimmen.

Ein Körper emittiert nicht nur Strahlung, er kann auch von aussen einfallende Strahlung absorbieren. Ein schwarzer Körper ist ein Körper, der alle auf ihn einfallende Strahlung absorbieren kann, unabhängig von ihrer Wellenlänge. Er ist ein perfekter Strahler; das heisst, dass er elektromagnetische Strahlung total absorbiert, nichts reflektiert und alles emittiert. In Wirklichkeit gibt es keinen idealen schwarzen Körper; das Verhältnis aus der vom realen Körper emittierten Energie und der vom idealen schwarzen Körper bei der gleichen Temperatur emittierten Energie wird Emissionskoeffizient ε genannt. Er hängt normalerweise von der Wellenlänge ab.

Planck fand heraus, dass die in Form von elektromagnetischer Strahlung der Wellenlänge λ von einem Körper der absoluten Temperatur T emittierte Leistungsdichte wie folgt geschrieben werden kann:

$$u_\lambda = \varepsilon \frac{c_1}{\lambda^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)} \quad (1)$$

Hierbei sind c_1 und c_2 Konstanten. In dieser Aufgabe sollen Sie die Konstante c_2 , welche proportional zu h ist, experimentell bestimmen.

Für die Emission bei kleinen Wellenlängen λ , weit links von den Maxima in A-1, ist es zulässig, die Zahl -1 im Nenner der Gleichung (1) zu vernachlässigen, so dass gilt:

$$u_\lambda = \varepsilon \frac{c_1}{\lambda^5 e^{c_2/\lambda T}} \quad (2)$$

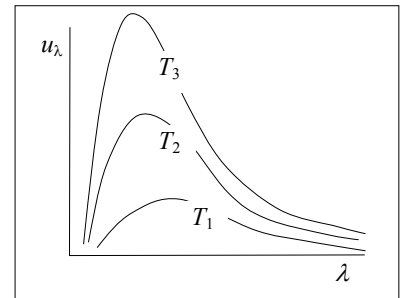
Die grundlegenden Bauteile dieser experimentellen Aufgabe sind in Abbildung A-2 skizziert.

- Der strahlende Körper ist der Wolframdraht einer Glühlampe A, der Licht in einem grossen Wellenlängenbereich emittiert. Seine Helligkeit der Glühlampe kann variiert werden.
- Das Reagenzglas B enthält ein Flüssigkeitsfilter, das nur ein dünnes Band des sichtbaren Spektrums um einen Wert λ_0 herum durchlässt (siehe A-3). Weitere Informationen über die Eigenschaften des Flüssigkeitsfilters finden Sie auf Seite 5.
- Die durchgelassene Strahlung trifft schliesslich auf einen Photowiderstand C (im Folgenden LDR, Light Dependent Resistor, genannt). Einige Eigenschaften des LDR werden auf Seite 6 beschrieben.

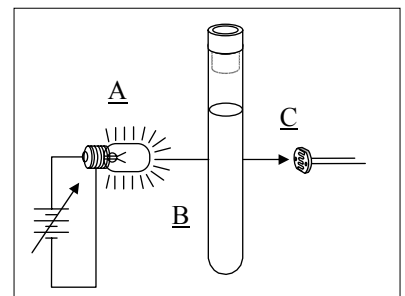
Der Widerstandswert R des LDR hängt von der auftreffenden Intensität E ab, die proportional zur Leistungsdichte des Glühdrahtes ist:

$$\left. \begin{array}{l} E \propto u_{\lambda_0} \\ R \propto E^{-\gamma} \end{array} \right\} \Rightarrow R \propto u_{\lambda_0}^{-\gamma}$$

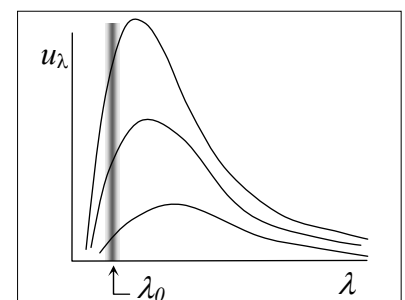
Der dimensionslose Parameter γ ist dabei eine Eigenschaft des LDR, der im Experiment bestimmt werden soll. Für diesen Aufbau brauchen wir schliesslich noch eine Beziehung zwischen dem Widerstand R des LDR und der Temperatur T des Wolframdrahtes.



A-1



A-2



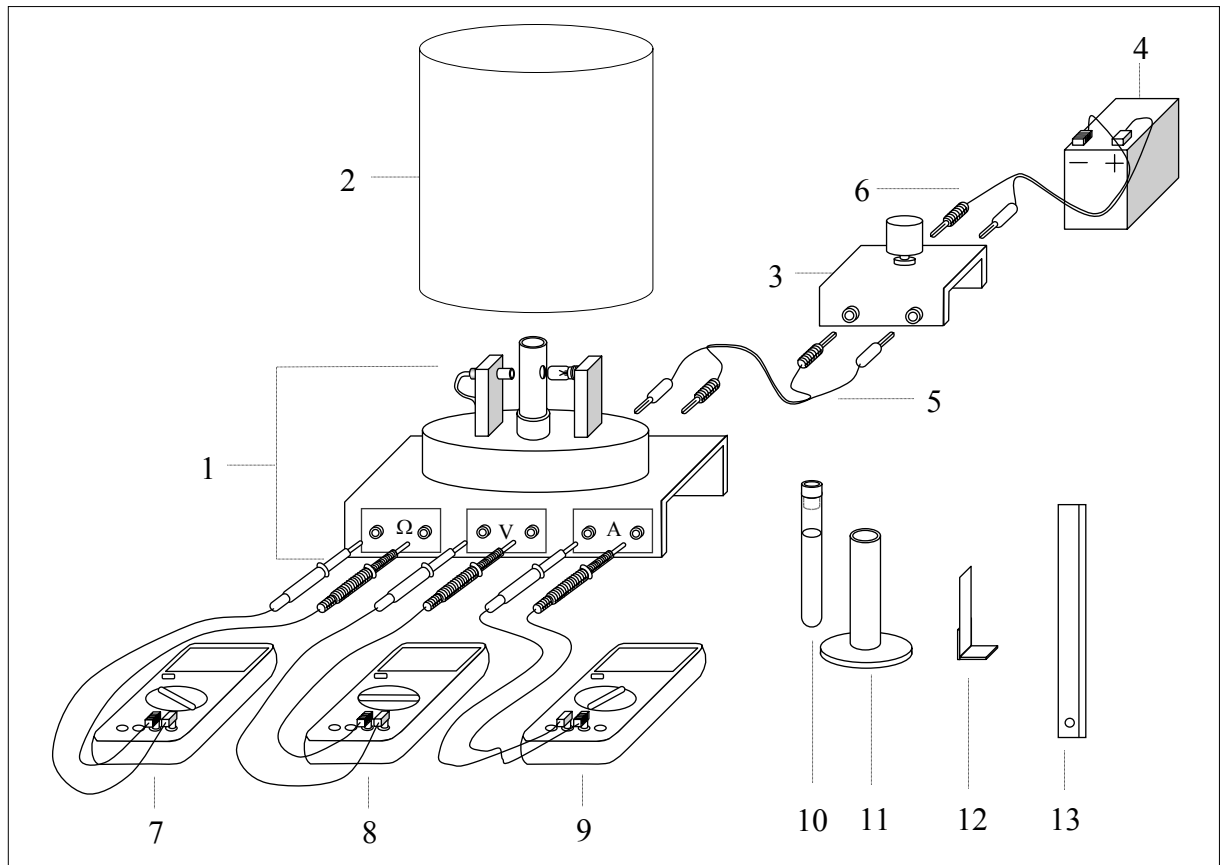
A-3

$$R = c_3 e^{c_2 \gamma / \lambda_0 T} \quad (3)$$

Diese Beziehung brauchen wir auf Seite 6. Hierbei ist c_3 eine unbekannte Proportionalitätskonstante. Indem man R als Funktion von T misst, erhält man c_2 , was zum Ziel des Experimentes führt.

BESCHREIBUNG DER APPARATUR

Die Einzelteile der Apparatur werden in Abbildung A-4 gezeigt, welche auch einige Angaben zum Aufbau enthält. Überprüfen Sie nun, ob alle Komponenten vorhanden sind, unterlassen Sie aber jegliche Veränderung an ihnen, bevor Sie nicht die Anweisungen der nächsten Seite gelesen haben.



A-4

AUSRÜSTUNG:

1. Plattform. Auf ihr befindet sich eine Scheibe mit einer Halterung für den LDR, eine Halterung für die Röhre und eine Halterung für die Glühlampe (12V; 0,1A).
2. Schutzhülle.
3. Mehrgangpotentiometer (10 Umdrehungen; 1kΩ)
4. 12V - Batterie
5. Rotes und schwarzes Kabel mit Steckern an beiden Enden, zur Verbindung der Plattform mit dem Potentiometer
6. Rotes und schwarzes Kabel mit Steckern an einem Ende und Klemmen für die Batterie am anderen Ende
7. Multimeter zur Verwendung als Ohmmeter
8. Multimeter zur Verwendung als Voltmeter

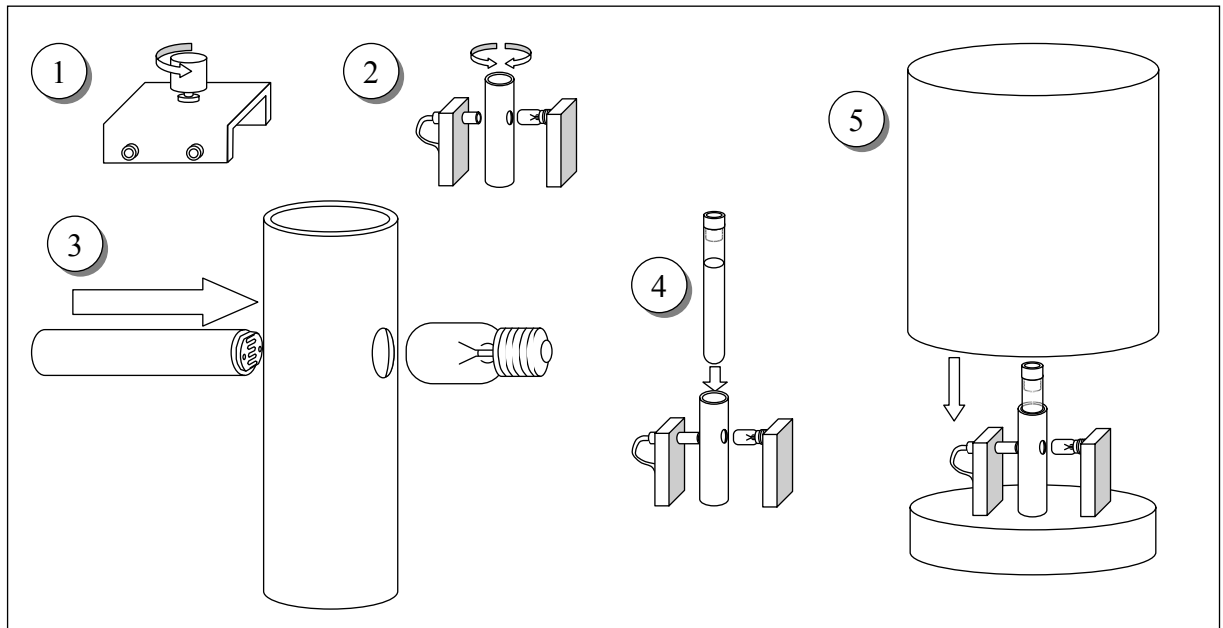
9. Multimeter zur Verwendung als Amperemeter
10. Reagenzglas mit Flüssigkeitsfilter
11. Halterung für das Reagenzglas
12. Graufilter
13. Lineal

Kurzanleitungen zur Benutzung der Multimeter, zusammen mit Informationen zur Methode der kleinsten Quadrate (Fehlerrechnung), befinden sich auf einer separaten Seite.

AUFBAU DER VERSUCHSANORDNUNG

Bitte folgen Sie diesen Anweisungen:

- **Stellen Sie vorsichtig die elektrischen Verbindungen her, wie in Abbildung A-4 gezeigt. Stecken sie aber noch nicht die Kabel 6 in das Potentiometer.**
- **Beachten Sie Abbildung A-5 und folgen Sie den unten erläuterten Schritten:**



A-5

1. Drehen sie den Potentiometer-Drehknopf gegen den Uhrzeigersinn bis zum Anschlag.
2. Drehen Sie die Halterung des Reagenzglases langsam, bis sich eines der seitlichen Löcher gegenüber der Lampe und das andere gegenüber dem LDR befindet.
3. Bewegen Sie den LDR näher an die Halterung des Reagenzglases heran, bis der LDR das seitliche Loch leicht berührt. Es wird empfohlen, die Oberfläche des LDR, wie in Abbildung A-5, gezeigt auszurichten.
4. Stellen Sie das Reagenzglas in die Halterung.
5. Stellen Sie den Deckel auf die Plattform, um die Messvorrichtung vor Licht aus der Umgebung zu schützen. Stellen Sie sicher, dass der LDR mindestens 10 Minuten in absoluter Dunkelheit ist, bevor Sie mit der Messung des

Widerstandes beginnen. Dies ist eine Vorsichtsmaßnahme, da der Wert des Widerstands in absoluter Dunkelheit nicht augenblicklich erreicht wird.

Aufgabe 1

(2.0 Punkte) Zeichnen Sie auf dem Antwortblatt 1 die elektrischen Verbindungen innerhalb und zwischen den Boxen des Versuchsaufbaus ein, wenn **alle** Komponenten angeschlossen sind. Benutzen Sie dazu auch die in Abbildung A-4 enthaltenen Informationen.

Messung der Temperatur des Glühfadens

Der elektrische Widerstand R_B eines leitenden Drahtes kann wie folgt berechnet werden:

$$R_B = \rho \frac{l}{S} \quad (4)$$

wobei ρ der spezifische Widerstand des Drahtmaterials, l die Länge und S die Querschnittsfläche des Drahtes ist.

Dieser Widerstand hängt aus folgenden Gründen von der Temperatur ab:

- Der spezifische Widerstand eines Metalls wächst mit der Temperatur. Für Wolfram kann der Widerstand für Temperaturen zwischen 300K und 3655K mit folgender empirischen Formel berechnet werden: (T in K, ρ in Ωm):

$$T = 3,05 \cdot 10^8 \rho^{0,83} \quad (5)$$

- Wärmeausdehnung verändert Länge und Querschnitt des Drahtes. Dieser Effekt ist in diesem Experiment jedoch vernachlässigbar klein.

Wenn die Wärmeausdehnung vernachlässigt wird, erhält man aus (4) und (5):

$$T = a R_B^{0,83} \quad (6)$$

- Um T zu erhalten, muss also zuerst a ermittelt werden. Dazu wird der Widerstand $R_{B,0}$ des Glühfadens bei Raumtemperatur T_0 gemessen.

Aufgabe 2

- a) **(1.0 Punkte)** Messen Sie mit dem Multimeter die Raumtemperatur T_0 .
- b) **(2.0 Punkte)** Es ist keine gute Idee, den Widerstand $R_{B,0}$ des Glühfadens bei T_0 mit dem Ohmmeter zu messen, denn das Messgerät verwendet einen schwachen Strom unbekannter Stärke, welcher zu einer Erhöhung der Glühfadentemperatur führt. Verbinden Sie stattdessen die Batterie mit dem Potentiometer und führen Sie eine genügende Anzahl Stromstärkemessungen bei geringen Spannungen durch, um $R_{B,0}$ zu erhalten. Beginnen Sie mit der tiefsten einstellbaren Spannung und steigern Sie diese dann langsam bis maximal 1V. (Es wird sich als nützlich

erweisen, mindestens 15 Messungen unterhalb von 100mV durchzuführen.) Wenn Sie fertig sind, drehen Sie am Potentiometer den Drehknopf auf die Ausgangsposition zurück und ziehen sie eines der Kabel zwischen Batterie und Potentiometer aus der Buchse heraus.

Berechnen Sie für jedes Wertepaar V und I den Widerstandswert R_B und übertragen Sie diese Werte in die für Aufgabe 2,b) vorgesehene Tabelle auf den Antwortblättern. Geben Sie den Wert für die tiefste einstellbare Spannung an. Zeichnen Sie einen Graphen, in dem Sie R_B auf der y-Achse gegen I auftragen.

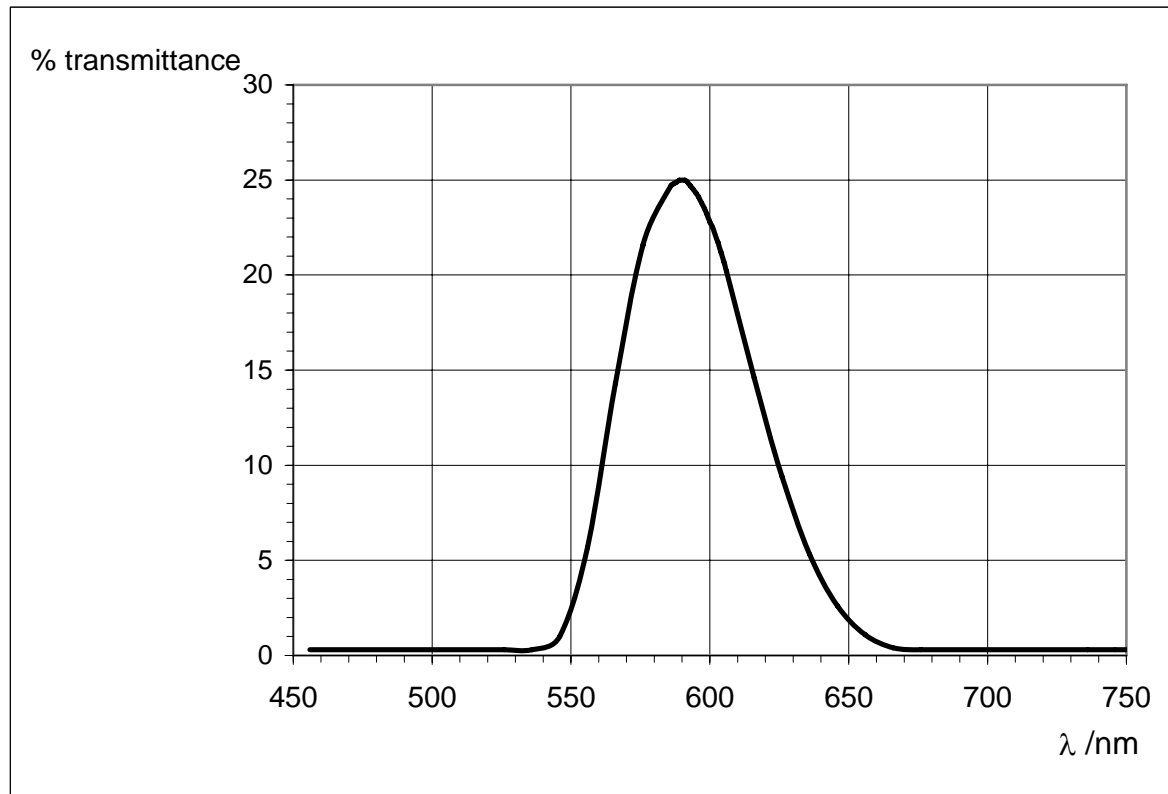
- c) **(2.5 Punkte)** Wählen Sie mithilfe des in b) erhaltenen Graphen einen geeigneten Wertebereich aus, um mittels einer linearen Annäherung (Regressionsgerade) durch Extrapolation den y-Achsenabschnitt $R_{B,0}$ zu bestimmen. Tragen Sie die ausgewählten Werte in die für Aufgabe 2, c) vorgesehene Tabelle auf den Antwortblättern ein. Bestimmen Sie schliesslich $R_{B,0}$ und $\Delta R_{B,0}$.
- d) **(1.0 Punkte)** Berechnen Sie die numerischen Werte für a und Δa . Setzen Sie dazu $R_{B,0}$ (in Ω) und T_0 (in K) in Gleichung (6) ein.

DIE OPTISCHEN EIGENSCHAFTEN DES FILTERS

Der sich in einem Reagenzglas befindliche Flüssigkeitsfilter ist eine wässrige Lösung von Kupfer(II)sulfat und Orange(II)Anilin Farbstoff. Die Aufgabe der Kupfer(II)sulfat-Lösung ist es, die infrarote Strahlung des Glühfadens zu absorbieren.

Die relative Durchlässigkeit des Filters ist in Abbildung A-6 gegen die Wellenlänge aufgetragen.

(% transmittance = durchgelassene Intensität / einfallende Intensität)



A-6

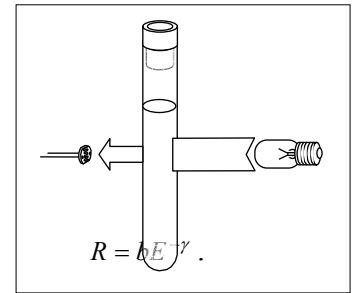
Aufgabe 3

(1.0 Punkte) Bestimmen Sie λ_0 und $\Delta\lambda$ aus der Abbildung A-6.

Anmerkung: $2 \Delta\lambda$ ist die gesamte Breite auf halber Höhe. λ_0 ist die Wellenlänge beim Maximum.

EIGENSCHAFTEN DES LDR

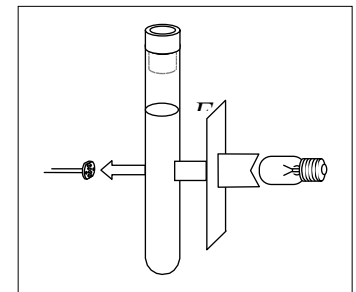
Das Material, aus dem der LDR aufgebaut ist, leitet in absoluter Dunkelheit nicht. Bei Beleuchtung werden frei bewegliche Ladungsträger „aktiviert“ und ermöglichen so einen elektrischen Stromfluss. Der Widerstandswert des LDR kann mit folgender Gleichung beschrieben werden



A-7

b ist eine Konstante, die von der Zusammensetzung und der Geometrie des LDR abhängt. γ ist ein dimensionsloser Parameter, der den Zusammenhang zwischen dem Widerstandswert des LDR und der einfallenden Lichtintensität E beschreibt. Für einen idealen LDR wäre $\gamma = 1$. Es gibt jedoch zusätzliche Einflüsse, so dass im Realfall $\gamma < 1$ ist.

Es ist erforderlich γ zu bestimmen. Dazu geht man folgendermaßen vor: Ein Werte-Paar von R und E (Abb. A-7) wird gemessen. Dann wird ein Graufilter zwischen Lampe und der Halterung für das Reagenzglas eingeführt (Abb. A-8). Die Durchlässigkeit des Graufilters ist bekannt und hat den Wert 51,2 %. Es darf angenommen werden, dass dieser Wert fehlerfrei ist. Nach dem Einschieben des Graufilters ist daher die Intensität $E' = 0,512 E$. Durch Messung des zugehörigen Widerstandswertes R' ergibt sich aus



A-8

$$R = bE^{-\gamma} \quad ; \quad R' = b(0,512 E)^{-\gamma} :$$

$$\ln \frac{R}{R'} = \gamma \cdot \ln 0,512$$

(8)

Führen Sie das hier beschriebene Verfahren jetzt noch nicht aus !

Machen Sie es erst dann, wenn Sie den Punkt b) der nachfolgenden Aufgabe 4 bearbeiten !

Aufgabe 4

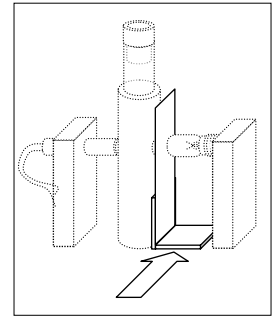
a) **(2.0 Punkte)** Beachten Sie unbedingt, dass vor Beginn der Messungen der LDR mindestens 10 Minuten in absoluter Dunkelheit sein muss !

Drehen Sie – zur Erhöhung der Spannung an der Lampe - den Drehknopf des Potentiometers sehr langsam ! (Das Potentiometer ist dabei mit der Batterie verbunden).

Lesen Sie Wertepaare V und I für V im Bereich von 9,50 V bis 11,50 V ab. Bestimmen Sie die zugehörigen LDR-Widerstandswerte R . (Führen Sie mindestens 12 Messungen durch !) Übertragen Sie diese Daten in die Tabelle im Antwortblatt.

Wegen der verzögerten Reaktion des LDR wird folgende Vorgangsweise empfohlen: Regeln Sie die Spannung auf zirka 9,5 V. Warten Sie dann ungefähr 10 Minuten, bevor Sie die erste Messung machen. Nachdem Sie die Spannung um einen Schritt hoch geregelt haben, warten Sie 5 Minuten bis zum Ablesen, und so weiter. Bevor Sie irgendwelche Berechnungen anfangen, gehen Sie weiter zum nächsten Aufgabenteil b).

b) **(1.5 Punkte)** Nach der Bestimmung des kleinsten Widerstandswertes R öffnen Sie die Schutzhülle und setzen Sie den Graufilter, so wie in Abbildung A-9 gezeigt, ein. Setzen Sie- so schnell wie möglich – die Schutzhülle wieder auf und bestimmen Sie den sich ergebenden, neuen LDR-Widerstandswert R' . Bestimmen Sie mit diesen Daten und der Gleichung (8) γ und $\Delta\gamma$!



A-9

c) **(1.0 Punkte)** Formen Sie die Gleichung (3) so um, dass $\ln R$ von $R_B^{-0.83}$ linear abhängt. Schreiben Sie diese Gleichung in das Antwortblatt 4 und bezeichnen Sie diese als Gleichung (9).

d) **(3.0 Punkte)** Stellen Sie nun mit Ihren Daten aus a) eine Tabelle auf mit deren Hilfe Sie die Gleichung (9) graphisch darstellen können.

e) **(3.0 Punkte)** Zeichnen Sie diesen Graphen und bestimmen Sie mittels der bekannten Gleichung $c_2 = hc/k$ die Werte von h und Δh . Zur Bestimmung von Δh ist Ihnen jede beliebige Methode erlaubt, auch die Verwendung der statistischen Funktionen Ihres zur Verfügung gestellten Taschenrechners.

(Lichtgeschwindigkeit $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$; Boltzmann Konstante $k = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$)

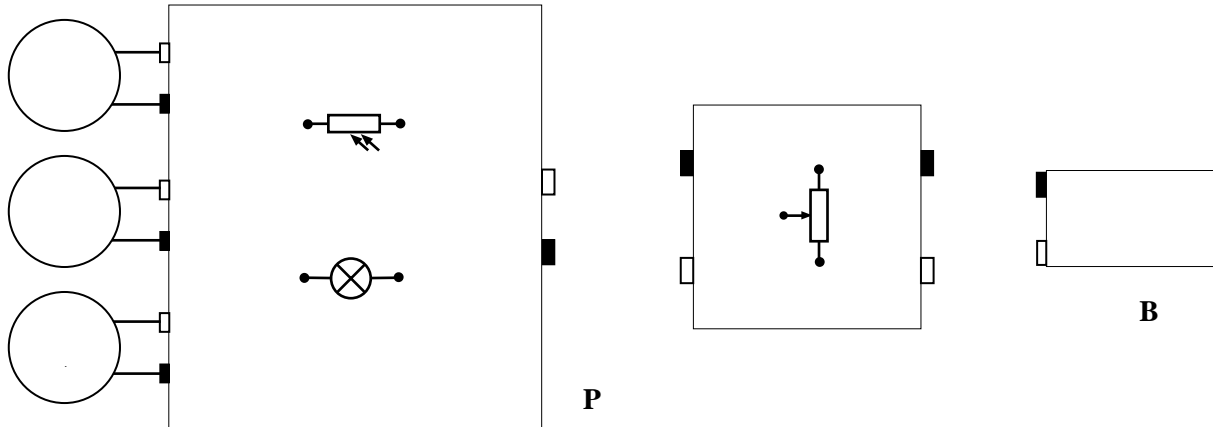
36th International Physics Olympiad. Salamanca. Spain. Experimental Competition, 7 July 2005






COUNTRY NUMBER	COUNTRY CODE	STUDENT NUMBER	PAGE NUMBER	TOTAL No OF PAGES

Antwortblatt 1

AUFGABE 1 (2.0 Punkte)

Zeichnen Sie die elektrischen Verbindungen in den Boxen und zwischen den Boxen in der nachstehenden Abbildung ein.



Photowiderstand		Ω	Ohmmeter
Glühbirne		V	Voltmeter
Potentiometer		A	Ampéremeter
rote Buchse		P	Plattform
schwarze Buchse		Pm	Potentiometer
		B	Batterie

36th International Physics Olympiad. Salamanca. Spain. Experimental Competition, 7 July 2005

COUNTRY NUMBER	COUNTRY CODE	STUDENT NUMBER	PAGE NUMBER	TOTAL No OF PAGES

Antwortblatt 2

AUFGABE 2

a) (1.0 Punkt)

$T_0 =$

b) (2.0 Punkte)

V	I	R_B

$V_{min} =$ *
* Dies ist ein für Ihr Experiment charakteristischer Wert, den Sie nicht unterschreiten können.

36th International Physics Olympiad. Salamanca. Spain. Experimental Competition, 7 July 2005

COUNTRY NUMBER	COUNTRY CODE	STUDENT NUMBER	PAGE NUMBER	TOTAL No OF PAGES

--	--	--	--

Aufgabenblatt 3

AUFGABE 2

c) (2.5 Punkte)

V	I	R_B

$R_{B0} =$	$\Delta R_{B0} =$
------------	-------------------

d) (1.0 Punkt)

$a =$	$\Delta a =$
-------	--------------

AUFGABE 3 (1.0 Punkt)

$\lambda_0 =$	$\Delta \lambda =$
---------------	--------------------

36th International Physics Olympiad. Salamanca. Spain. Experimental Competition, 7 July 2005

COUNTRY NUMBER	COUNTRY CODE	STUDENT NUMBER	PAGE NUMBER	TOTAL No OF PAGES

Aufgabenblatt 4
AUFGABE 4

a) (2.0 Punkte)

V	I	R

b) (1.5 Punkte)

$R =$	$\gamma =$
$R' =$	$\Delta\gamma =$

c) (1.0 Punkt)

Gl. (9)

36th International Physics Olympiad. Salamanca. Spain. Experimental Competition, 7 July 2005

COUNTRY NUMBER	COUNTRY CODE	STUDENT NUMBER	PAGE NUMBER	TOTAL No OF PAGES

Aufgabenblatt 5AUFGABE 4

d) (3.0 Punkte)

V	I		R	

e) (3.0 Punkte)

$h =$	$\Delta h =$
-------	--------------