I. Lichtelektrischer Effekt (Planck'sches Wirkungsquantum)

Wie schon der Titel es andeutet, soll in dieser Aufgabe der Wert des Planck'schen Wirkungsquantums h bestimmt werden

Theoretische Grundlagen

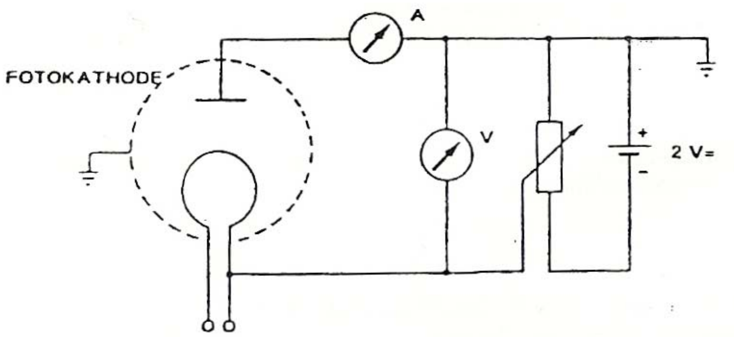
Zuerst zur Begriffserklärung: Der Begriff „Lichtelektrischer Effekt" beschreibt recht ungenau einige nahe Verwandte Phänomene der Physik, gemeint ist aber meist der „Äußere photoelektrische Effekt", der das Freisetzen elektrisch geladener Teilchen aus einem Material durch Einwirkung einer elektromagnetischen Strahlung (also z.B. Licht, UV-Strahlung) behandelt. Dabei lädt sich das bestrahlte Material natürlich positiv auf

Der Effekt war schon einige Zeit vor Einstein bekannt, doch erst dieser deutete den Effekt mit der Erklärung, dass ein Elektron aus einem Metall durch ein Lichtquant mit der Energie $E = h \cdot \nu$ losgelöst wird, wenn diese Energie zumindest gleich groß der erforderlichen Austrittsarbeit A des vorliegenden Metalls ist. Hat das Lichtquant größere eine größere Energie, so wird diese dem Elektron als kinetische Energie mitgegeben, woraus sich folgende Beziehung ergibt:

(1.1) $$h\nu = A + \frac{m_e v^2}{2} = A + eU$$

Wobei m_e für die Masse des Elektrons steht. Der Term eU ergibt sich aus dem Umstand, dass sich durch das herausschlagen von Elektronen automatisch eine elektrische Spannung einstellt.

Versuchsanordnung



Um das Planck'sche Wirkungsquantum berechnen zu können, wurde hier eine Gegenfeld-Kompensationsschaltung aufgebaut. Durch Beleuchtung der Fotozelle liegt an der Fotokathode wie vorher erwähnt eine positive elektrische Spannung an und es stellt sich ein elektrischer Strom ein, der Fotostrom I_v.

Wie in der Zeichnung schon angedeutet, ist auch eine „weitere Stromquelle" an den Stromkreis angelegt, nämlich eine 2V-Gleichspannungquelle, die dem Fotostrom entgegengerichtet ist und über ein Potentiometer regelbar ist.

Wächst diese Gegenspannung nun, so nimmt der gemessene Fotostrom ab. Er wird dann Null, wenn die Grenz-Gegenspannung U_0 erreicht ist, gegen die auch die schnellsten, ausgetretenen Elektronen nicht mehr anlaufen können, es gilt also:

(1.2) $$eU_0 = \frac{1}{2} m v^2{}_{\mathrm{max}}$$

U_0 ist also quasi ein Maß für die schnellsten Elektronen. Dieser Umstand wird im Experiment ausgenützt, es werden bei verschiedenen Frequenzen die jeweiligen Grenz-Gegenspannungen gemessen.

Für 2 verschiedene Frequenzen gilt nach Formel 1.1:

$$h\nu_1 = A + eU_1$$
$$h\nu_2 = A + eU_2$$

Dadurch lässt sich erstens die unbekannte Austrittsarbeit A eliminieren und zweitens lässt sich nach Umformung der Wert des Planck'schen Wirkungsquantums h gewinnen:

(1.3) $$h = e \cdot \frac{U_1 - U_2}{\nu_1 - \nu_2}$$

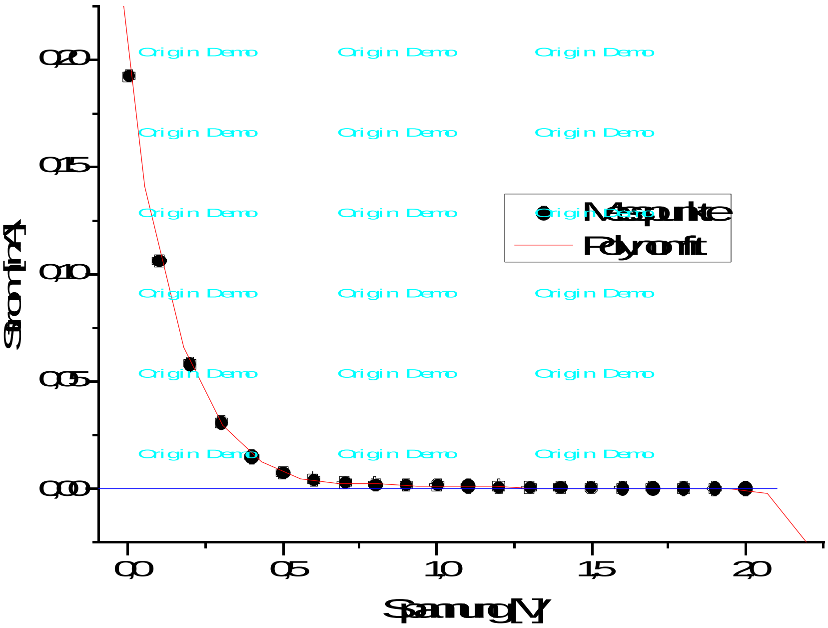
Wobei ν_1 und ν_2 für die jeweils verwendeten Lichtfrequenzen stehen.

Messung und Auswertung

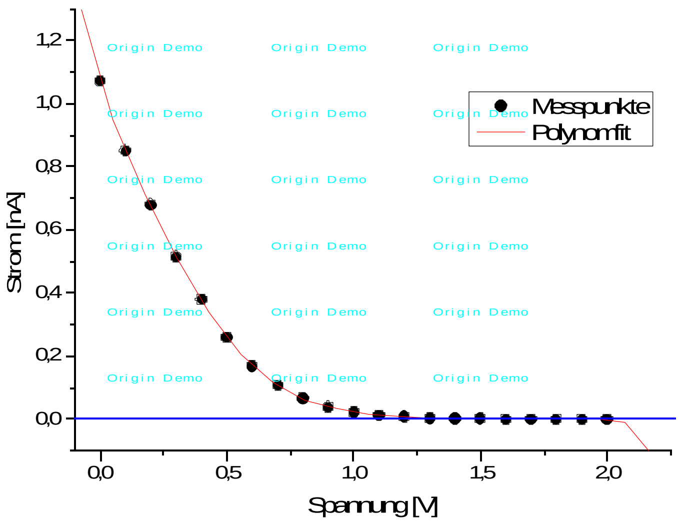
Die Daten der Messung und der Auswertung befinden sich im Anhang und den Blättern, die mit „I. Planck'sches Wirkungsquantum“ beschriftet sind

Auswertung

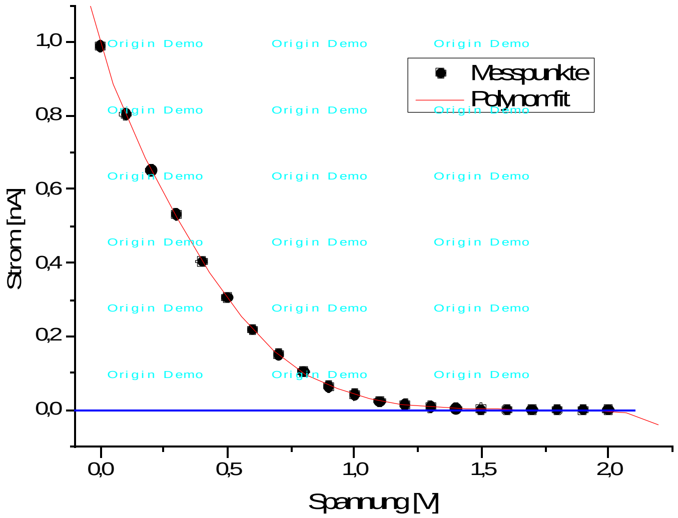
Die erhaltenen Messwerte werden durch Abziehen des kleinsten Wertes für die Stromstärke korrigiert um so einen Messfehler durch die statische Aufladung der Fotozelle korrigieren. Die korrigierte Stromstärke wurde dann in ein Diagramm gegen die Spannung auf. Die Diagramme für die einzelnen Farbfilter folgen:



bei grünem Licht



bei blauem Licht



bei violetten Licht

Anschließend wurde in den Diagrammen der Abknickpunkt der Messkurve vom von der Nulllinie bestimmt. Für grünes Licht(λ = 543 nm) liegt er bei ca. 1,1V, bei blauem(λ = 543 nm) bei 1,2V und bei violetten(λ = 543 nm) bei 1,3V. Durch Einsetzen in Formel (1.3) bekommt man nun ein Plank'sches Wirkungsquantum von $2,9*10^{-35}$ Js unter Verwendung unserer Werte von grünem und blauem Licht, bei blauem und violetten Licht kommt man auf $2,3*10^{-35}$ Js und für die Werte von grünem und violetten Licht erhalten wir ein h von $5,8*10^{-35}$ Js. Daraus ergibt sich ein Mittelwert von $(3,7*10^{-35}\ ^{+}_{-}\ 1,9*10^{-35})$ Js.

II. Strahlung

Einleitung

Durch Bestrahlung einer Fotozelle entsteht ein Fotostrom, der wiederum mit einem geeigneten Strom-Spannungsumwandler in eine zu messende Spannung umgesetzt werden kann, was die zweite Aufgabe beinhaltet. Zusätzlich sollen für 2 verschiedene Betriebsbedingungen die zugeführten elektrischen Leistungen und die Strahlungstemperaturen der verwendeten Glühlampe bestimmt werden.

Theoretische Grundlagen

Ein idealer, schwarzer Strahler bzw. der ihn bildende Hohlraum, dessen Wände eine gewisse Temperatur T haben, ist von Energie erfüllt, die eine Funktion der Temperatur ist. Für die Berechnung der Energiedichte u geht man von folgenden Überlegungen aus:

Betrachtet man die, von einem bestimmten Flächenelement dA, in eine Richtung, die mit der Flächennormalen von dA den Winkel α einschließt, ausgesandte Strahlung, so legt diese in einer Zeit dt die Strecke $c \cdot dt$ zurück (c … Lichtgeschwindigkeit). Nach geometrischen Überlegungen erfüllt diese ein Volumen $V = c \cdot (\cos \varepsilon) \cdot dA \cdot dt$. Andererseits ist die Strahlungsleistung dΦ, die von dA in die Richtung ε und in den Raumwinkel dΩ abgestrahlt wird, $d\Phi = E \cdot (\cos \varepsilon) \cdot dA \cdot d\Omega$, wobei E hier die spektrale Strahlungsdichte ist.

Die Energiedichte du, welche sich aus dem Quotienten Strahlungsleistung pro Volumselement ergibt, lautet somit:

(2.1)
$$du = \frac{E(\cos\varepsilon)\,dA\,d\Omega\,dt}{c(\cos\varepsilon)\,dA\,dt} = \frac{E}{c}\,d\Omega$$

Und durch Integration über den gesamten Raum (4π sr, sr … Raumwinkeleinheit Steradiant) lautet das Ergebnis für die Energiedichte der schwarzen Strahlung:

(2.2)
$$u = \frac{4\pi}{c}E$$

Durch thermodynamische Analogien und Betrachtungen kann gezeigt werden, dass die Funktion der **spektralen Strahlungsdichte** $E_{\lambda,S}(\lambda,T)$ eines idealen schwarzen Strahlers (dafür das „S“) gleich ist dem Produkt einer Potenz der ausgestrahlten Wellenlänge λ und einer Funktion nur einer Variablen, nämlich des Produktes aus λ und der Temperatur T des Körpers.

Diese Überlegungen sind Teil des **Wien’schen Verschiebungsgesetzes** (etwa um 1893)**,** welches die Ähnlichkeit der in einem Hohlraum eingeschlossenen Strahlung mit einem idealen Gas in einem bestimmten Volumen ausnützt (ohne Beweis, Herleitung würde den Rahmen sprengen):

(2.3)
$$E_{\lambda,S}(\lambda,T) = \beta\lambda^{-5}F(\lambda,T)$$

Wobei β hier eine nicht näher betrachtete, empirische Konstante ist.

Auf Grund dieses Gesetzes haben Rayleigh und Jeans zusätzlich die Freiheitsgrade des schwingenden Systems in die Rechnung eingebracht (was grob gesagt eine Analogie zwischen der kinetischen Gastheorie und elektromagnetischen Wellen sucht), was deren Strahlungsgesetz begründete:

(2.4.1) $$u_{\lambda,S}(\lambda,T)=\frac{8\pi k}{\lambda^4}T$$

Bzw. durch Umformen von Formel (2.2):

(2.4.2) $$E_{\lambda,S}(\lambda,T)=\frac{2ck}{\lambda^4}T$$

K steht hier für die Boltzmann-Konstante. Aus rein praktischen Überlegungen erkannte man aber schnell, dass auch dieses Gesetz keine endgültige Lösung sein kann, da bei extrem kurzen Wellenlängen die Energie unendlich groß werden kann („Ultraviolett-Katastrophe“)

Das große Problem bestand lange Zeit darin, die gesuchte Funktion F (aus Formel 2.3)zu finden, der die spektrale Strahlungsdichte E zu Grunde liegt. Erst durch Max Planck und die Quantentheorie wurde ein wesentlicher Fortschritt erzielt. In diesem Modell geht man von der Annahme aus, das die hier verwendeten Resonatoren („schwingfähigen Systeme“) welche für die Strahlung verantwortlich sind, Energie nicht stetig aufnehmen oder abgeben, sondern nur in bestimmten Quanten ε.

Demgemäß soll ein harmonischer Oszillator nur die Energiewerte 0, ε, 2ε, etc. annehmen können. Die mittlere Energie <u> pro Freiheitsgrad der gesamten Energie des Systems ergibt sich zu

(2.5) $$<u> = \frac{\varepsilon}{e^{\left(\varepsilon/kT\right)}-1}$$

Multipliziert man dies nun mit der Anzahl der gesamten Freiheitsgrade aus (2.4.1), so ergibt sich die Energiedichte u eines idealen, schwarzen Strahlers:

(2.6) $$u_{\lambda,S}(\lambda,T)=\frac{8\pi\varepsilon}{\lambda^4}\cdot\frac{1}{e^{\left(\varepsilon/kT\right)}-1}$$

Und damit nach (2.4.2):

(2.7) $$E_{\lambda,S}(\lambda,T)=\frac{2c\varepsilon}{\lambda^4}\cdot\frac{1}{e^{\left(\varepsilon/kT\right)}-1}$$

Für den Energiewert ε ist nun noch die Photonenenergie einzusetzen, nämlich

(2.8) $$\varepsilon=h\nu=\frac{hc}{\lambda}$$

Somit ergibt sich die endgültige Form des Planck'schen Strahlungsgesetzes:

$$E_{\lambda,S}(\lambda,T)=\frac{2hc}{\lambda^5}\cdot\frac{1}{e^{\left(hc/\lambda kT\right)}-1} \tag{2.9}$$

Für einen nicht-schwarzen Strahler muss die Gleichung 2.9 noch mit dem jeweils vorliegenden Emissionskoeffizienten multipliziert werden, welcher im Intervall [0,1] liegt (0 … totale Reflektion von Strahlung, 1 … totale Absorption von Strahlung = schwarzer Strahler). Für Wolfram z.B. liegt dieser bei etwa 0,47.

Im Experiment werden zwei verschiedene Glühfadentemperaturen eingesetzt, sowie ein Lichtfilter mit 558nm, woraus sich jeweils eine gewisse Lichtstärke I ergibt. Damit folgt aus Formel 2.9, wobei sich die Faktoren 2hc/λ5 sowie der spezifische Emissionskoeffizient herauskürzen und 1 gegen den Exponenten vernachlässigt wird:

$$\frac{E(\lambda,T_1)}{E(\lambda,T_2)}=\frac{I_1}{I_2}=\frac{e^{ch/k\lambda T_2}}{e^{ch/k\lambda T_2}} \tag{2.10}$$

Durch Logarithmieren erhält man

$$\ln\frac{I_1}{I_2}=\left(\frac{1}{T_2}-\frac{1}{T_1}\right)\frac{ch}{k\lambda} \tag{2.11}$$

Geht man nun davon aus, dass die der Glühlampe zugeführte Leistung P entsprechend dem Stefan-Boltzmann Gesetz umgesetzt wird, so gilt:

$$\frac{P_1}{P_2}=\frac{\sigma T_1^{\,4}}{\sigma T_2^{\,4}} \tag{2.12}$$

Die Formeln 2.11 und 2.12 enthalten in diesem Experiment 2 Unbekannte, nämlich T_1 und T_2, die sich nun aus diesen 2 Gleichungen berechnen lassen:

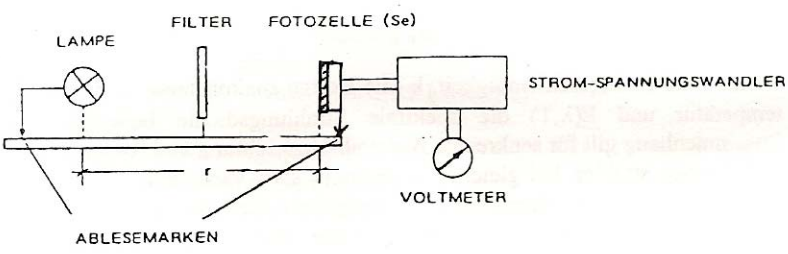
$$T_1=\frac{\left(\sqrt[4]{\frac{P_1}{P_2}}-1\right)ch}{k\lambda\cdot\ln\left(\frac{I_1}{I_2}\right)} \tag{2.13}$$

Und T_2 lässt sich dann aus Formel 2.12 berechnen:

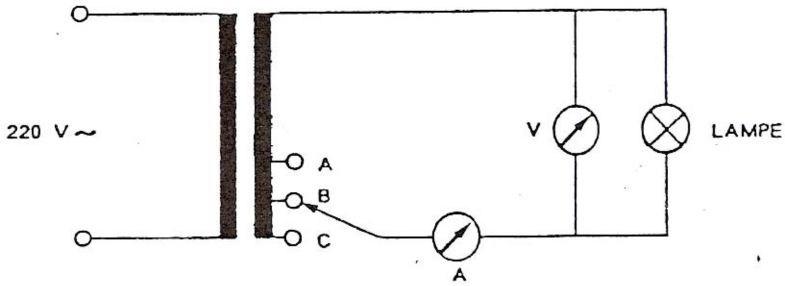
(2.14) $$T_2 = T_1 \cdot \sqrt[4]{\frac{P_2}{P_1}}$$

<u>Versuchsaufbau</u>

VERSUCHSAUFBAU



Entfernung: Ablesemarke - strahlende Fläche: 38 ± 1 mm
Entfernung: Ablesemarke - Fotozelle : $17{,}5 \pm 0{,}5$ mm



Elektrische Schaltung für die Lampe

<u>Messung und Auswertung</u>

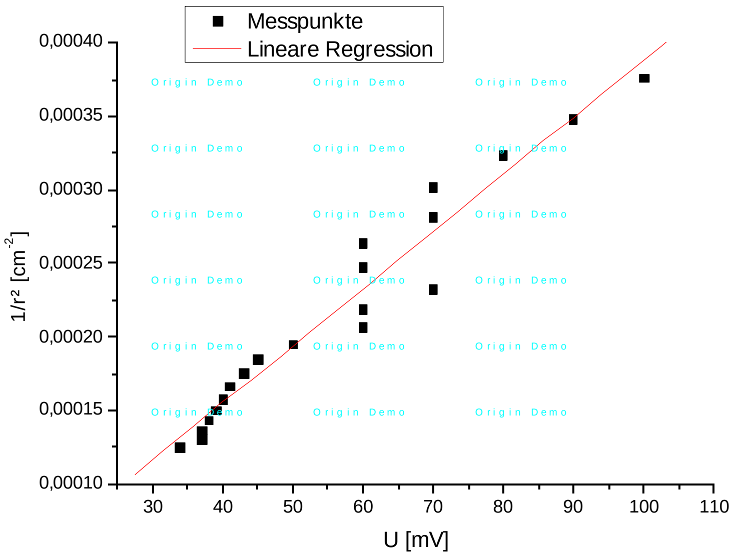
Folgende Punkte sollten ausgearbeitet werden:

1. Diagramme (mV gegen $1/r^2$) für beide Betriebsbedingungen
2. Die zugeführten elektrischen Leistungen P_1 und P_2 sollten berechnet werden
3. Die Strahlungstemperaturen der Glühlampe, entsprechend den zuvor berechneten elektrischen Leistungen P_1 und P_2 sollten berechnet werden.

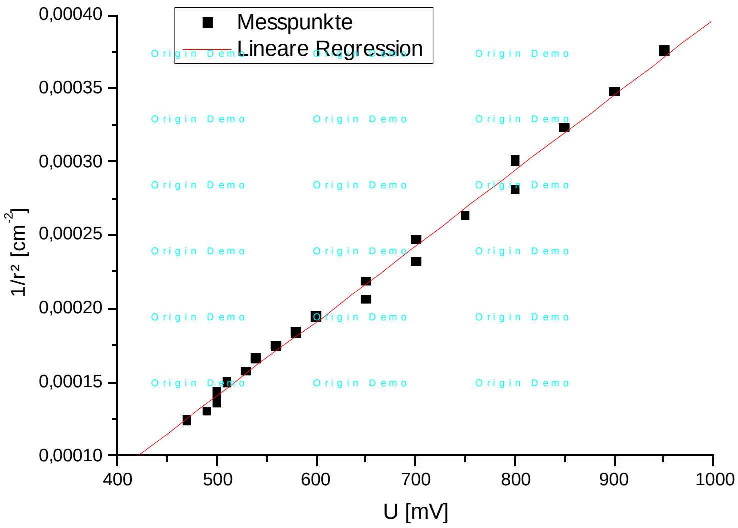
Die Auswertungen befinden sich jeweils auf den Beilagen zu Punkt II „Strahlung“.

Auswertung

Die Betriebsleistung der Glühbirne errecht man aus dem Produkt der Betriebsspannung und Betriebsstromstärke. Hier erhält man für die Lampe bei Anschluss an Buchse A eine Leistung von (10,23 $\pm$ 0,07)W und an Buchse C eine Leistung von (23,78 $\pm$ 0,07)W. Aus unseren einzelnen Messwerten kann man nun in ein Diagramm die Spannung gegen $1/r^2$ auftragen. Danach führt man eine lineare Regression durch und berechnet jeweils einen Wert für $1/r^2$ bei beiden Lampen, jedoch bei gleicher Spannung.



Lampe an Buchse A



Lampe an Buchse C

Bei 500mV erhält man aus der Interpolation ein Verhältnis r_A^2/r_C^2 von ca. 0,0723. Durch Einsetzen diese Verhältnisse anstatt I_1/I_2 in die Formel (2.13) erhält man ein T_1(Temperatur der Lampe bei Anschluss an Buchse A) von (1866 $\pm$ 121)K und unter Verwendung der Formel (2.14) ein T_2(Temperatur der Lampe bei Anschluss an Buchse C) von (2304 $\pm$ 149)K.

Theorie

Bohr'sches Atommodell
Niels Bohr erweiterte das Rutherfordsche Atommodell mit Hilfe der Quantenmechanik. Die Elektronen kreisen nun auf Bahnen mit diskreten Drehimpulsen(diese müssen ein ganzzahliges Vielfaches von ħ sein) um den Atomkern. Der Übergang zwischen den Bahnen erfolgt sprunghaft und hierbei Energie aufgenommen bzw. emittiert(Strahlung) gemäß:

$$\Delta E = E_{n_2} - E_{n_1} = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2}\left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}\right)$$

Für leichte Elemente ist dieses Modell durchaus eine ausreichende Näherung, doch bei schweren Atomen versagt es leider, da es sich beim Bohr'schen Atommodell nur um eine relativ einfache und noch teilweise klassische Beschreibung des Atoms handelt.

Linienspektrum
Beim „Fallen" eines Elektrons von einem angeregten Zustand in einem niedrigeren Zustand wird Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung abgegeben. Da die Elektronen nur ganz bestimmte Niveaus einnehmen können, sind auch für die Strahlung welche durch Wechsel den zwischen zwei Anregungszuständen emittiert wird, auch nur bestimmte Frequenzen möglich. Hierfür gilt die Formel:

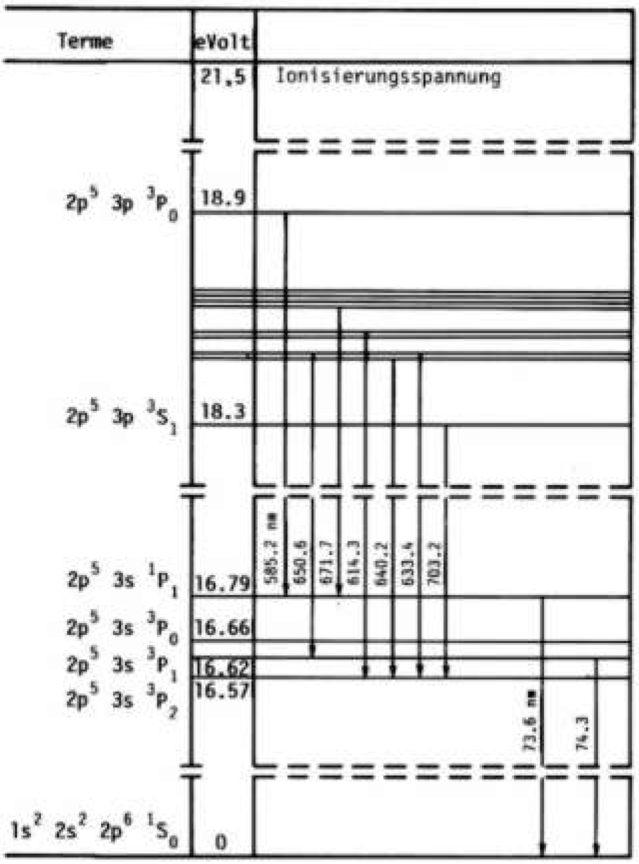
$$\Delta E = h\nu$$

Energieniveaus
Hierbei handelt es sich um erlaubte diskrete Energie in quantenmechanischen System. Energie innerhalb des Systems kann nur zwischen diesen Zuständen wechseln. Im Bohr'schen Atommodel werden sie mittels der Formel:

$$E_n = -\mathrm{Ry}\frac{Z^2}{n^2}$$

beschrieben, wobei Ry die Rydberg-Konstante ist, welche bei 13,6eV bei Wasserstoff liegt.

Termschema
Hierbei handelt es um eine schematische Darstellung der Energieniveaus eines Atoms. Diese werden einfach als waagrechte Striche vom Grundzustand bis zur Ionisationsenergie aufgetragen und man kann dabei sehr schön die Energiedifferenz bei einem Wechsel zwischen zwei Zuständen ablesen.



Termschema von Neon

Planck'sches Wirkungsquantum
Das Wirkungsquantum ist eine grundlegende Naturkonstante, welche vor allem in der Quantenmechanik vorkommt. Es tritt in so bedeutsamen Gleichungen wie der Heisenberg'schen Unschärferelation oder Gleichung für die Energie eines Lichtquants.

$$h = 6{,}62607 \cdot 10^{-34}\,\mathrm{J\,s} = 4{,}13567 \cdot 10^{-15}\mathrm{eVs},$$

Stoßanregung
Trifft ein Elektron auf Atom so kann es nach einem elastischen Stoß einfach abprallen oder wenn es ausrechende Energie hat, kann es seine kinetische Energie beim Stoß dazu verwenden um ein Elektron im Atom auf einem höheren Energiezustand zu heben. Dies wird als Anregung bezeichnet. Beim Zurückfallen des angeregten Elektrons in einem niedrigeren und stabileren Zustand wird die Energie wieder frei und zwar in Form von Strahlung.

elastischer und inelastischer Stoß
Beim elastischen Stoß prallen zwei Objekte aneinander und entfernen sich nach einer Ablenkung von ihrer ursprünglichen Flugbahn wieder. Beim inelastischen Stoß verbinden sich beiden Objekte bei der Berührung. Bei beiden Stößen gilt die Energie- und Impulserhaltung, wobei jedoch beim inelastischen Stoß ein durchaus großer Teil der kinetischen Energie in innere Energie umgewandelt wird.

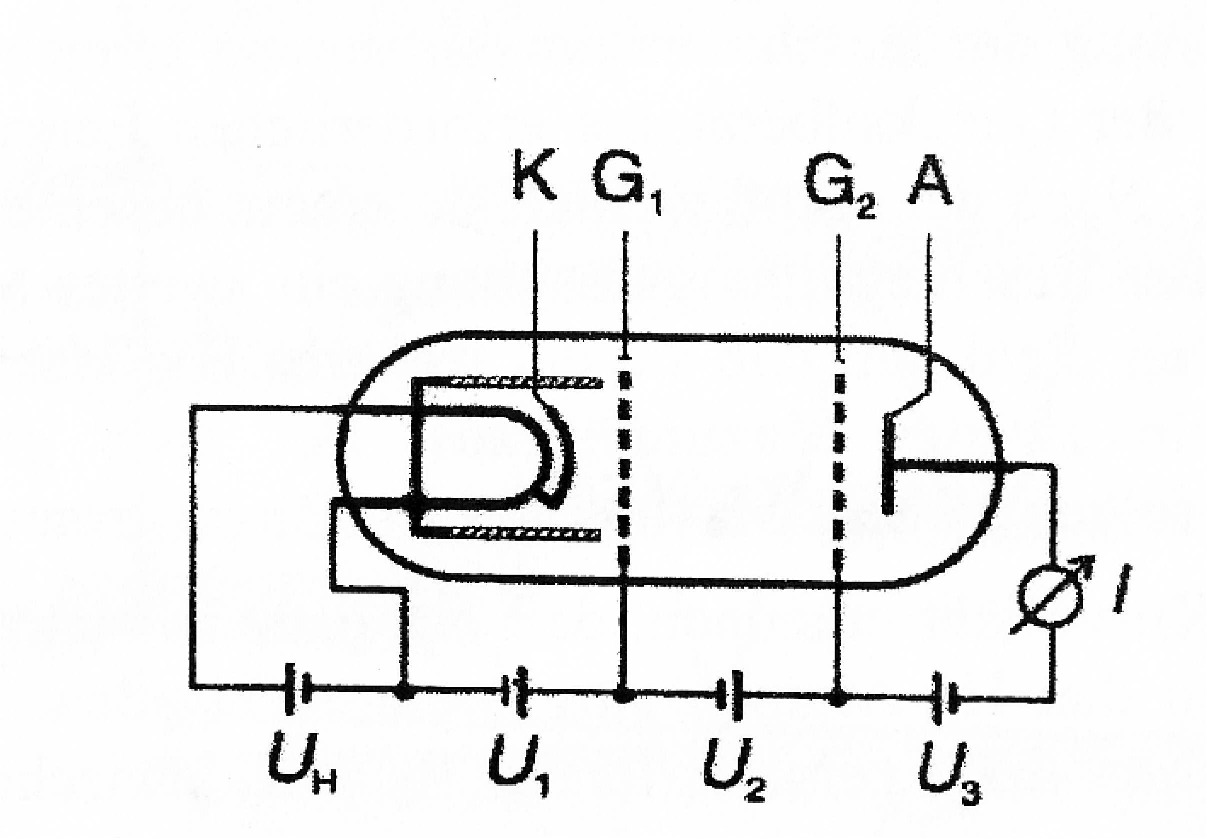
Quantenmechanik
Die Theorie der Quantenmechanik ist ein Eckpfeiler der modernen Physik und entstand zu Beginn des 20. Jahrhunderts. Heute lassen sich damit alle fundamentalen Wechselwirkungen exklusive der Gravitation beschreiben. Sie basiert auf der Annahme, dass alles aus Quanten aufgebaut ist, welche eine Teilchen- und Wellencharakter besitzen.

Gasentladung
Gasentladungen entstehen wenn Strom durch ein gasförmiges Medium fließt und ein Plasmazustand mittels Stoßionisation ausbildet. Durch die Rekombination der Elektronen entsteht Strahlung. Gasentladung kann man auch mittels eines Hochfrequenzfeldes erzeugen.

Leuchtstoffröhre
Bei einer Leuchtstoffröhre handelt es sich um eine Gasentladungslampe, welche mit einem fluoreszierenden Substand beschichte ist, die das erzeugte hochfrequente Licht in sichtbares Licht umwandelt.

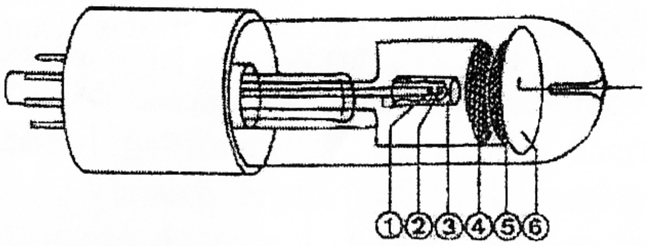
Frank-Hertz-Versuch
Der zum ersten Mal 1913/14 durchgeführte Versuch bestätigte die Bohr'schen Postulate und James Franck und Gustav Hertz erhielt dafür den Nobelpreis. Durch kontrolliert beschleunigte Elektronen werden die Elektronen in den Gasatomen Stoß angeregt. Dadurch verlieren die beschleunigten Elektronen kinetische Energie und können, dann das Gegenfeld vor der Auffängerelektrode nicht mehr überwinden. Da die Elektronen in den Atomen nur ganz genau bestimmte kinetische Energie aufnehmen können, erreichen je nach angelegter Beschleunigungsspannung einmal mehr und einmal weniger Elektronen die Auffängerelektrode und werden gemessen. Die Abstände zwischen die Beschleunigungsspannungen, bei welchen ein Maximum an Elektronen gemessen wird, sind konstant und entsprechen der Energie, welche die Elektronen im Atom zu Wechsel auf einen angeregtes Niveau benötigen.

Durchführung



schematische Darstellung des Franck-Hertz-Versuches

1 Kathodenheizung
2 Kathode H
3 Schutzzylinder
4 Steuergitter G_1
5 Beschleunigungsgitter G_2
6 Auffängerelektrode A



Aufbau des Neon-Rohrs

Wir stellten die Spannungen U_1, U_3 und U_H gemäß Anweisung und kalibrierten unsere Messgeräte. Danach erhöhten wir U_2 langsam von 0 bis 80 Volt und lasen dabei die Spannung U_A ab, welche proportional I_A ist. Anschließend schlossen wir den XY-Schreiber an und führt damit dem Versuch nochmals durch.

VERSUCH WURDE NICHT DURCHGEFÜHRT!

Blau		
Spannung [V]	Strom [nA]	$Strom_{korr}$ [nA]
0,0	1,018	1,070
0,1	0,799	0,851
0,2	0,628	0,680
0,3	0,463	0,515
0,4	0,327	0,379
0,5	0,207	0,259
0,6	0,117	0,169
0,7	0,056	0,108
0,8	0,015	0,067
0,9	-0,013	0,039
1,0	-0,030	0,022
1,1	-0,039	0,013
1,2	-0,044	0,008
1,3	-0,048	0,004
1,4	-0,050	0,002
1,5	-0,050	0,002
1,6	-0,051	0,001
1,7	-0,051	0,001
1,8	-0,052	0,000
1,9	-0,052	0,000
2,0	-0,052	0,000

Grün		
Spannung [V]	Strom [nA]	$Strom_{korr}$ [nA]
0,0	0,178	0,192
0,1	0,092	0,106
0,2	0,044	0,058
0,3	0,017	0,031
0,4	0,001	0,015
0,5	-0,006	0,008
0,6	-0,010	0,004
0,7	-0,011	0,003
0,8	-0,012	0,002
0,9	-0,012	0,002
1,0	-0,012	0,002
1,1	-0,013	0,001
1,2	-0,013	0,001
1,3	-0,013	0,001
1,4	-0,013	0,000
1,5	-0,014	0,000
1,6	-0,014	0,000
1,7	-0,014	0,000
1,8	-0,014	0,000
1,9	-0,014	0,000
2,0	-0,014	0,000

Viollet		
Spannung [V]	Strom [nA]	$Strom_{korr}$ [nA]
0,0	0,932	0,988
0,1	0,747	0,803
0,2	0,595	0,651
0,3	0,475	0,531
0,4	0,347	0,403
0,5	0,251	0,307
0,6	0,163	0,219
0,7	0,096	0,152
0,8	0,048	0,104
0,9	0,008	0,064
1,0	-0,013	0,043
1,1	-0,032	0,024
1,2	-0,041	0,015
1,3	-0,047	0,009
1,4	-0,051	0,005
1,5	-0,053	0,003
1,6	-0,055	0,001
1,7	-0,055	0,001
1,8	-0,056	0,000
1,9	-0,056	0,000
2,0	-0,056	0,000

Lampe auf Buchse A

Spannung: 3,3V
Stromstärke:3,1 A

Entfernung [cm]	Spannung [mV]	1/r² [cm^{-2}]
51,6	100	0,00038
53,6	90	0,00035
55,6	80	0,00032
57,6	70	0,00030
59,6	70	0,00028
61,6	60	0,00026
63,6	60	0,00025
65,6	70	0,00023
67,6	60	0,00022
69,6	60	0,00021
71,6	50	0,00020
73,6	45	0,00018
75,6	43	0,00017
77,6	41	0,00017
79,6	40	0,00016
81,6	39	0,00015
83,6	38	0,00014
85,6	37	0,00014
87,6	37	0,00013
89,6	34	0,00012

Lampe auf Buchse B

Spannung: 5,8 V
Stromstärke:4,1 A

Entfernung [cm]	Spannung [mV]	$1/r^2$ [cm^{-2}]
51,6	950	0,00038
53,6	900	0,00035
55,6	850	0,00032
57,6	800	0,00030
59,6	800	0,00028
61,6	750	0,00026
63,6	700	0,00025
65,6	700	0,00023
67,6	650	0,00022
69,6	650	0,00021
71,6	600	0,00020
73,6	580	0,00018
75,6	560	0,00017
77,6	540	0,00017
79,6	530	0,00016
81,6	510	0,00015
83,6	500	0,00014
85,6	500	0,00014
87,6	490	0,00013
89,6	470	0,00012