



V601

Franck-Hertz-Versuch

Pelle Ofenbach

pelle.ofenbach@udo.edu

Robert Appel

robert.appel@udo.edu

Durchführung: 18.04

Abgabe: 25.04

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
3 Durchführung	5
4 Auswertung	6
4.1 Methoden	6
4.2 Dampfdruck und die mittlere freie Weglänge	6
4.3 Differentielle Energieverteilung	6
4.4 Franck-Hertz Kurve	10
4.5 Ionisierung	12
5 Diskussion	14
Literatur	14

1 Zielsetzung

Ziel des Franck-Hertz-Versuches ist es, das Bohrsche Postulat der diskreten Energieniveaus gebundener Elektronen nachzuweisen. Zudem lässt sich sowohl die Ionisierungsenergie als auch die Anregungsenergie von Quecksilber bestimmen.

2 Theorie

Art der Anregung Eine Franck-Hertz-Röhre verwendet durch ein elektro-statisches Feld beschleunigte Elektronen, um beim Stoß dieser mit freien Quecksilberatomen letztere anzuregen. Anregung bedeutet hierbei eines der im Quecksilberatom gebundenen Elektronen auf ein höheres Energieniveau zu bringen, wofür die kinetische Energie $E_{kin} = \frac{1}{2}m_0v^2$ der Elektronen verwendet wird. Reicht E_{kin} nicht aus ein getroffenes Atom anzuregen, so stoßen Elektron und Atom vollkommen elastisch und durch die große Masse von Quecksilber wird das Elektron lediglich abgelenkt. Kann jedoch eine Anregung stattfinden, so gibt das Elektron die Anregungsenergie E_A an das Atom ab und bewegt sich mit $E_{kin} - E_A$ weiter. Das angeregte Atom gibt dann einen Lichtquant der Energie $E_A = h\nu$ ab, wobei ν die Frequenz und h das Planck'sche Wirkungsquantum bezeichnet, ab, um in den Grundzustand zurück zu kehren.

Gewinnung und Beschleunigung freier Elektronen Die freien Elektronen werden gemäß des Prinzips der Elektronenkanone durch Glühemission gewonnen. Dies bedeutet ein Draht mit hoher Schmelztemperatur und geringer Austrittsarbeit für Elektronen wird stark erhitzt, sodass sich in seinem Umfeld ein Elektronengas mit Energieverteilung ΔE bildet. Diese nun freien Elektronen werden durch die Beschleunigungsspannung U_b beschleunigt, d.h. sie erhalten die Energie $E_{kin} = e_0U_b$ mit e_0 als Elementarladung.

Quecksilberdampf Gemäß der Dampfdruck-Kurve von Quecksilber ergibt sich zu jeder Temperatur T ein Sättigungsdruck p_{st} des Quecksilberdampfes mit welchem ein Tropfen Quecksilber die Franck-Hertz-Röhre füllt. Es gilt

$$p_{st} = 5.5 \cdot 10^7 \exp(-6876/T), \quad (1)$$

wenn p_{st} in mbar und T in K gegeben sind. Der mittlere freie Weg \bar{w} (in cm) ergibt sich hierbei zu

$$\bar{w} = \frac{0.0029}{p_{st}} \quad (2)$$

wobei p_{st} in mbar ausgedrückt ist.

Komposition einer Franck-Hertz-Röhre Wie in Abb. 1 zu erkennen handelt es sich bei der Franck-Hertz-Röhre um ein i.d.R. gläsernes, mit Quecksilberdampf gefülltes Gefäß, dessen drei Kernelemente der Glühdraht, die Gitterelektrode (in der Zeichnung Beschleunigungselektrode genannt), sowie die Auffängerelektrode. Zwischen Glühdraht und

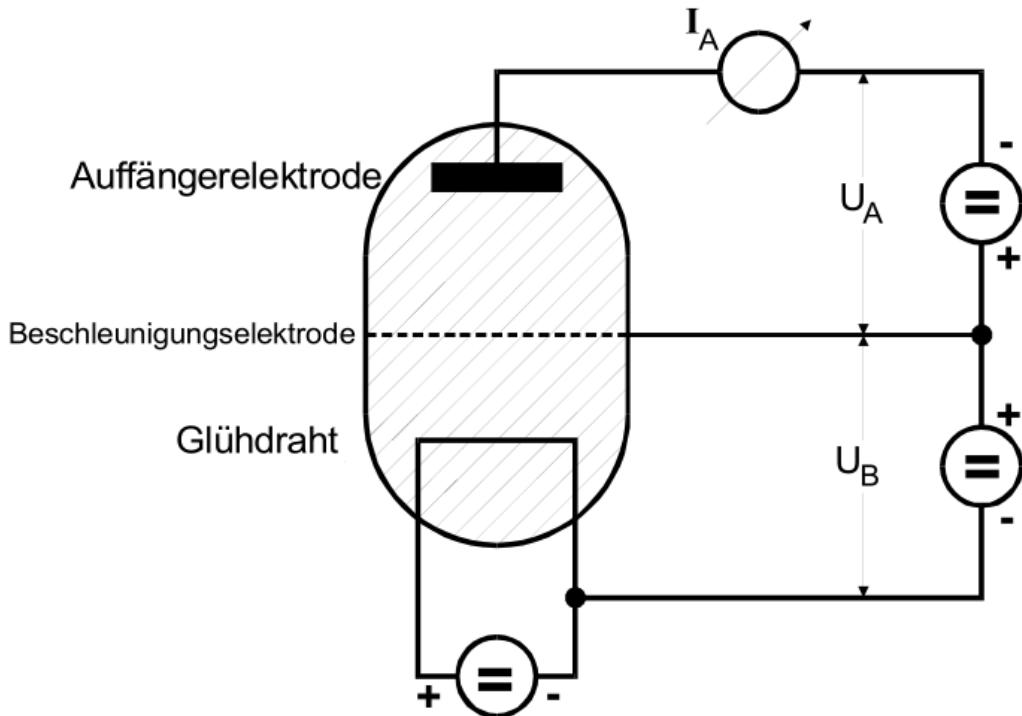


Abbildung 1: Aufbau einer Franck-Hertz-Röhre [1]

Gitterelektrode liegt hierbei die Beschleunigerspannung an, welche die freien Elektronen beschleunigt (abzüglich des Kontaktpotentials K zwischen Glühdraht und Gitterelektrode, bedingt durch unterschiedliche Fermi-Niveaus in den Elektroden) und in den hinter dem Gitter liegenden Bremsbereich einschießt. In diesem vorderen Teil der Röhre finden auch die Stöße statt. Die in diesem Versuchs verwendete Röhre beinhaltet zusätzlich einen variabel steuerbaren Heizdraht zur Temperatur Regelung.

Messung der Elektronenzahl Diejenigen Elektronen, welche über eine hinreichende Energie verfügen, um das Bremsfeld zu überwinden, treffen auf der Auffängerelektrode auf, welche über ein hochempfindliches Amperemeter mit der Gitterelektrode verbunden ist. Folglich fließt ein Strom I_a proportional zur Anzahl der auftreffenden Elektronen. Je stärker die Elektronen beschleunigt werden, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass Elektronen die Elektrode erreichen. Überschreitet ein Elektron jedoch die Anregungsenergie E_a , so gibt es diese Energie beim nächsten Stoß an ein Quecksilberatom ab, d.h. es erreichen schlagartig kaum noch Elektronen den Kollektor, weshalb I_a abfällt. Unter idealisierten Umständen gilt u.a. $\Delta E = 0$, weshalb I_a (instantan) auf 0 fällt. Trägt man nun I_a gegen U_b auf, so erhält man den in Abb. 2 dargestellten Zusammenhang.

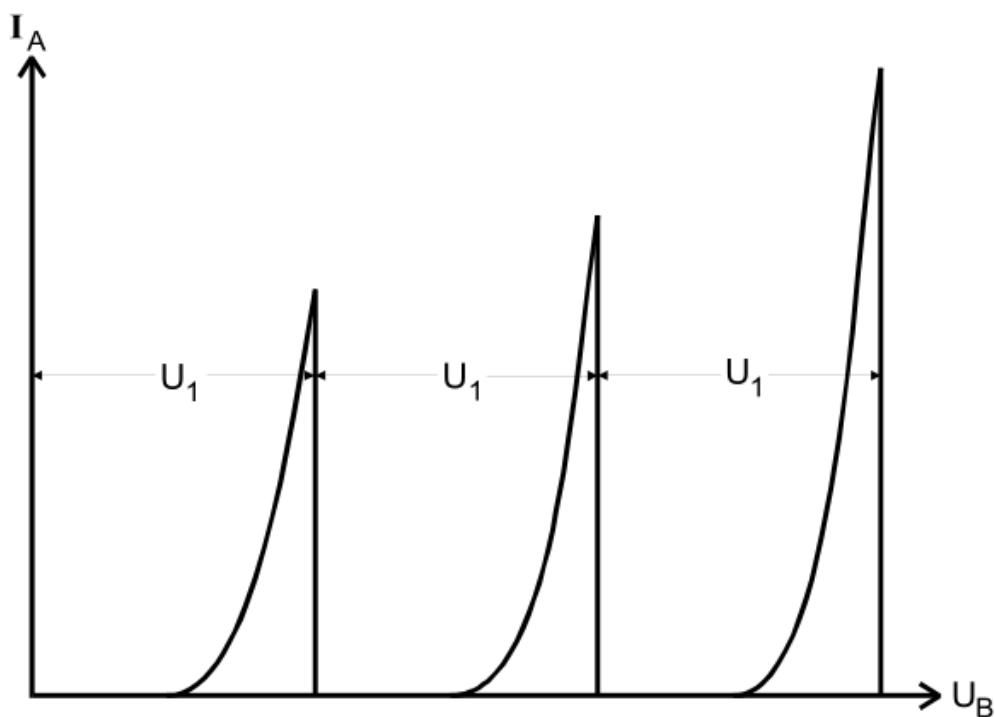


Abbildung 2: I_a aufgetragen gegen U_b unter Idealbedingungen mit $E_a = e_0 U_1$ [1]

3 Durchführung

Integrale Energieverteilung der Elektronen Die integrale Energieverteilung wird einmal bei ca. 296K und einmal bei ca. 432K durchgeführt. Hierzu wird $U_B = 11V$ fest eingestellt und U_a gleichmäßig von 0V auf ca. 11V erhöht. Mit einem X-Y-Schreiber wird I_a gegen U_a aufgezeichnet.

Franck-Hertz-Kurve Die charakteristischen Franck-Hertz-Kurven werden bei unterschiedlichen Temperaturen und einer Bremsspannung von $U_a = 1V$ aufgezeichnet, da die Temperatur (über Gasdruck und ΔE) einen großen Einfluss auf die Güte der Messung hat. U_b wird zwischen 0 und 60V variiert.

Ionisierungsenergie des Quecksilberatoms Die Ionisierungsenergie der Quecksilberatome wird bei $T \approx 376K$ bestimmt, indem bei $U_a = -30V$ I_a gegen U_b aufgetragen wird.

4 Auswertung

4.1 Methoden

Alle Mittelwerte und deren Fehler wurden mit der Formel

$$\langle x \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{und} \quad \Delta x = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2} \quad (3)$$

berechnet [2].

4.2 Dampfdruck und die mittlere freie Weglänge

Die Werte für Dampfdruck und mittlerer freier Weglänge wurden mit den Formeln (1) und (2) berechnet. In der Tabelle 1 sind die Temperaturen, Dampfdrücke, mittlere Weglängen sowie der Größenfaktor $\frac{a}{\bar{w}}$ dargestellt, wobei $a = 1\text{cm}$ bei der verwendeten Versuchapparatur beträgt. Die Tabelle zeigt die Werte zweilenweise für die verschiedenen Versuchsteile, d.h. die ersten beiden Zeilen zeigen die Werte für die Messung der integralen Energieverteilung bei verschiedenen Temperaturen, die Dritte für die Messung der Franck-Hertz-Kurve und die vierte für die Messung der Ionisierungsspannung. Der Größenfaktor sollte zwischen 1000 und 4000 liegen, da sonst keine ausreichend große Stoßwahrscheinlichkeit gewährleistet ist. Aus der Tabelle 1 ist also zu entnehmen, dass nur bei der Messung der integrale Energieverteilung eine ausreichende Stoßwahrscheinlichkeit gewährleitet war und bei der Messung der Franck-Hertz-Kurve wesentlich zu hoch war.

Tabelle 1: Temperaturen, Dampfdrücke , mittlere freie Weglängen und Größenfaktor von a und \bar{w} im Überblick

T/K	p_{st}/mbar	\bar{w}/cm	$\frac{a}{\bar{w}}$
296.35	$4.61 \cdot 10^{-3}$	$6.29 \cdot 10^{-1}$	1.59
432.15	6.76	$4.29 \cdot 10^{-4}$	2332.62
471.15	$2.52 \cdot 10^1$	$1.15 \cdot 10^{-4}$	8706.37
376.15	$6.33 \cdot 10^{-1}$	$4.58 \cdot 10^{-3}$	218.32

4.3 Differentielle Energieverteilung

Zur Bestimmung der differentielle Energieverteilung wurde die Steigung $\frac{I_A}{U_A}$ des Graphen der gemessenen integralen Energieverteilung gemessen und gegen die Bremsspannung U_A aufgetragen. Dabei wurden die Werte erst in Centimetern bestimmt und dann wurden die x-Achsen Skalenwerte gemittelt, für die y-Achse wurde ein Referenzwert des Maximums genommen um einen Umrechnungsfaktor zu berechnen. Dann ergibt sich für die gemittelten x-Achsen Skalenwerte $(2,3 \pm 0,04)\text{V cm}^{-1}$, aus dem Referenzwert für die y-Achse ergibt sich der Wert $0,37\text{nA cm}^{-1}$ somit ergibt sich der Umrechnungsfaktor für die Steigung mit $(1,62 \pm 0,03) \cdot 10^{-10}\text{A V}^{-1}$. Auf Ablesefehler wurde verzichtet.

$\frac{\Delta x}{\Delta y}$	x/cm	$\frac{I_A}{U_A} \pm \frac{\Delta I_A}{\Delta U_A} / \text{A V}^{-1}$		U_A/V
$1.61 \cdot 10^{-2}$	3.10	$2.62 \cdot 10^{-12} \pm$	$4.67 \cdot 10^{-14}$	1.34
$2.94 \cdot 10^{-2}$	9.60	$4.77 \cdot 10^{-12} \pm$	$8.51 \cdot 10^{-14}$	4.16
$5.88 \cdot 10^{-2}$	13.90	$9.54 \cdot 10^{-12} \pm$	$1.70 \cdot 10^{-13}$	6.03
$1.30 \cdot 10^{-1}$	15.90	$2.12 \cdot 10^{-11} \pm$	$3.78 \cdot 10^{-13}$	6.90
$1.50 \cdot 10^{-1}$	17.50	$2.43 \cdot 10^{-11} \pm$	$4.34 \cdot 10^{-13}$	7.59
$3.00 \cdot 10^{-1}$	18.50	$4.87 \cdot 10^{-11} \pm$	$8.69 \cdot 10^{-13}$	8.03
$3.00 \cdot 10^{-1}$	19.50	$4.87 \cdot 10^{-11} \pm$	$8.69 \cdot 10^{-13}$	8.46
$5.50 \cdot 10^{-1}$	20.50	$8.92 \cdot 10^{-11} \pm$	$1.59 \cdot 10^{-12}$	8.89
1.00	21.50	$1.62 \cdot 10^{-10} \pm$	$2.90 \cdot 10^{-12}$	9.33
3.25	22.50	$5.27 \cdot 10^{-10} \pm$	$9.41 \cdot 10^{-12}$	9.76
6.70	22.60	$1.09 \cdot 10^{-9} \pm$	$1.94 \cdot 10^{-11}$	9.80
6.70	22.80	$1.09 \cdot 10^{-9} \pm$	$1.94 \cdot 10^{-11}$	9.89
6.70	23.00	$1.09 \cdot 10^{-9} \pm$	$1.94 \cdot 10^{-11}$	9.98
2.70	23.50	$4.38 \cdot 10^{-10} \pm$	$7.82 \cdot 10^{-12}$	$1.02 \cdot 10^1 \pm$
				$1.82 \cdot 10^{-1}$

Die Werte die in

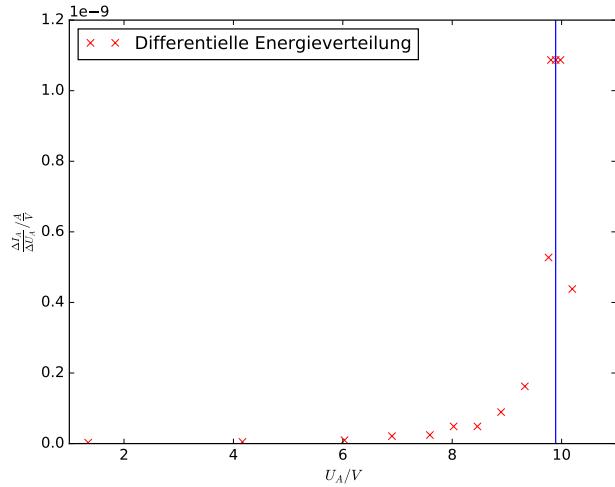
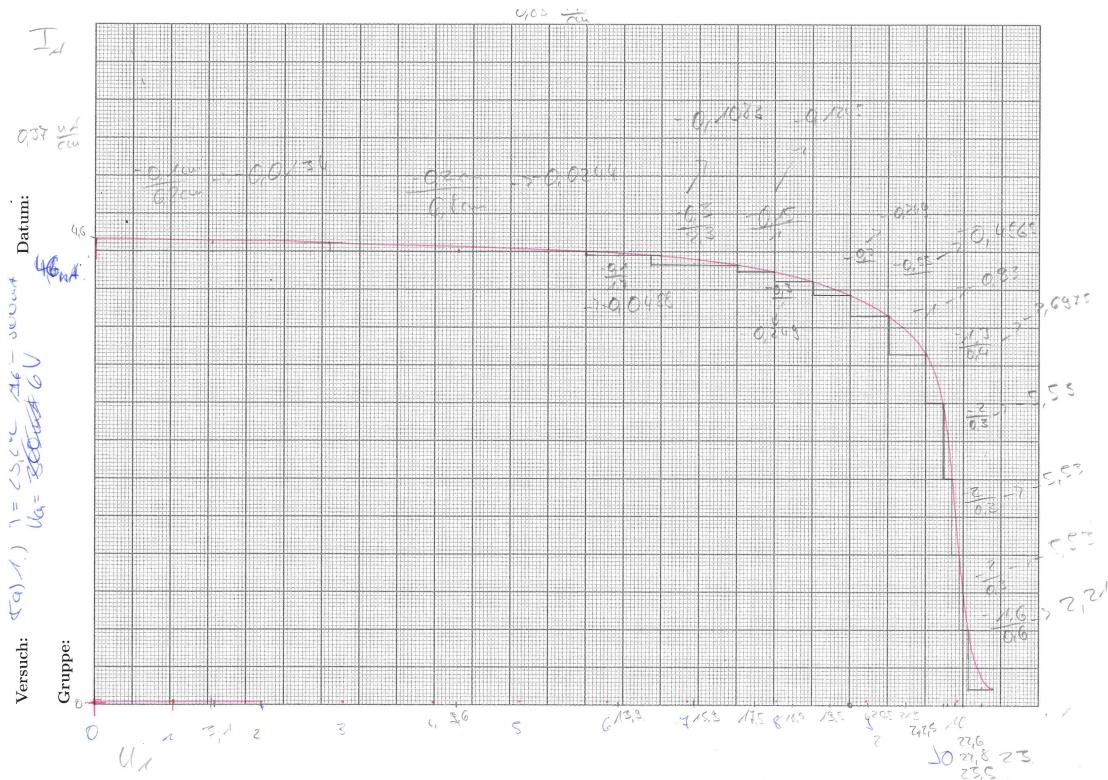
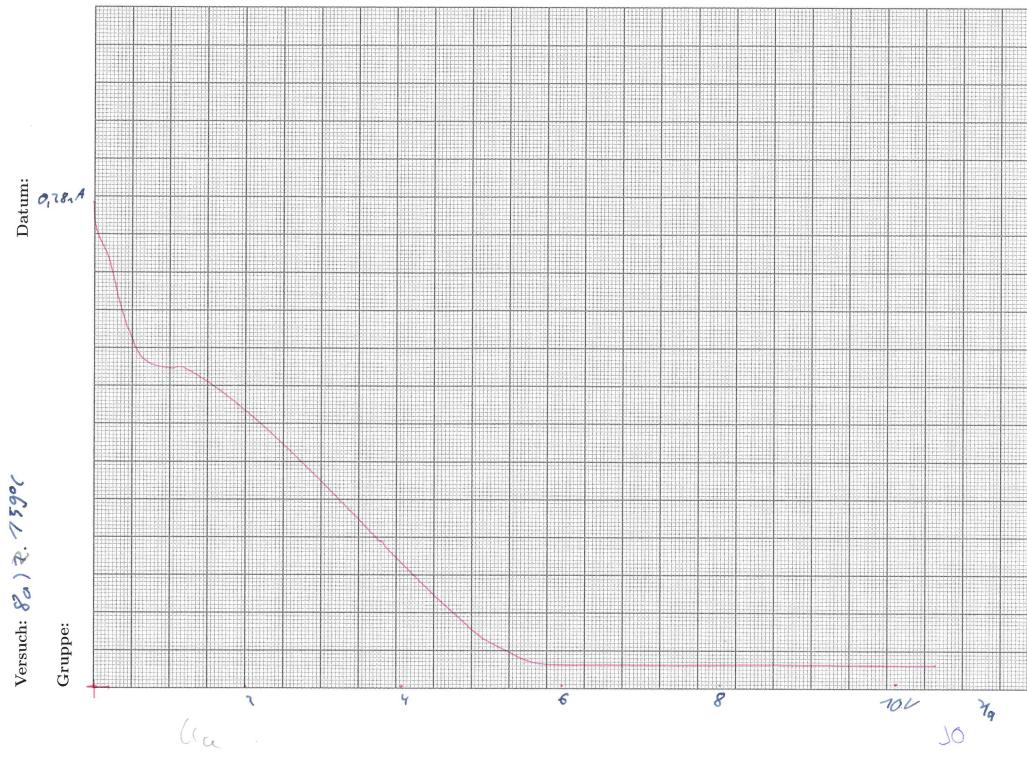


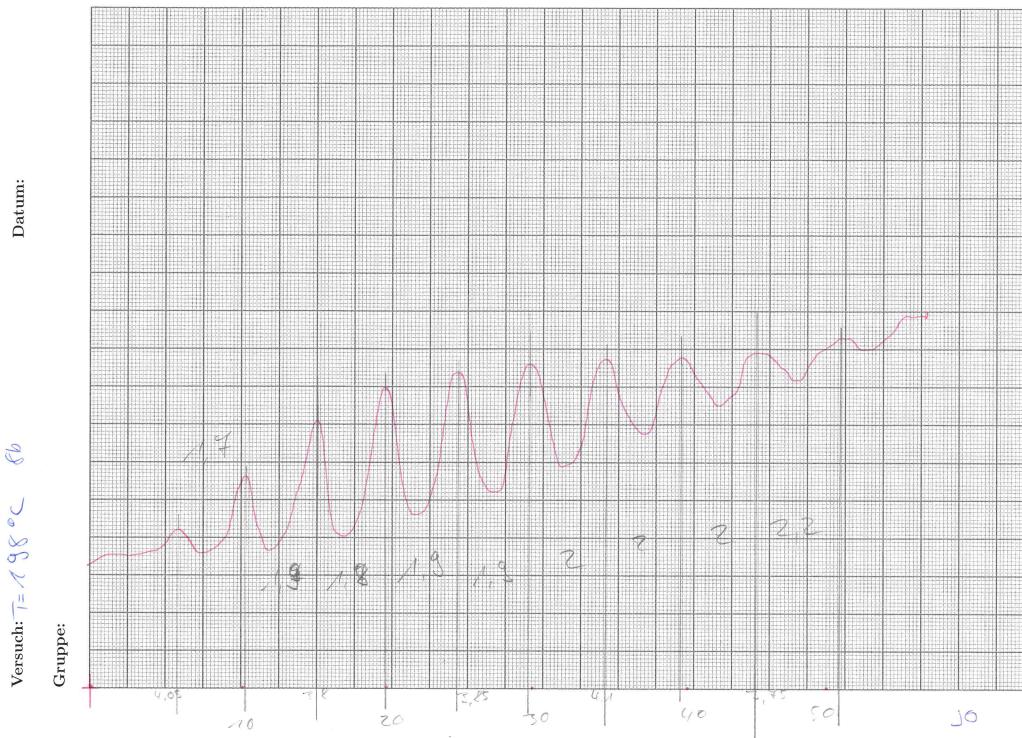
Abbildung 3: Differentielle Energieverteilung bei 296.35 K





4.4 Franck-Hertz Kurve

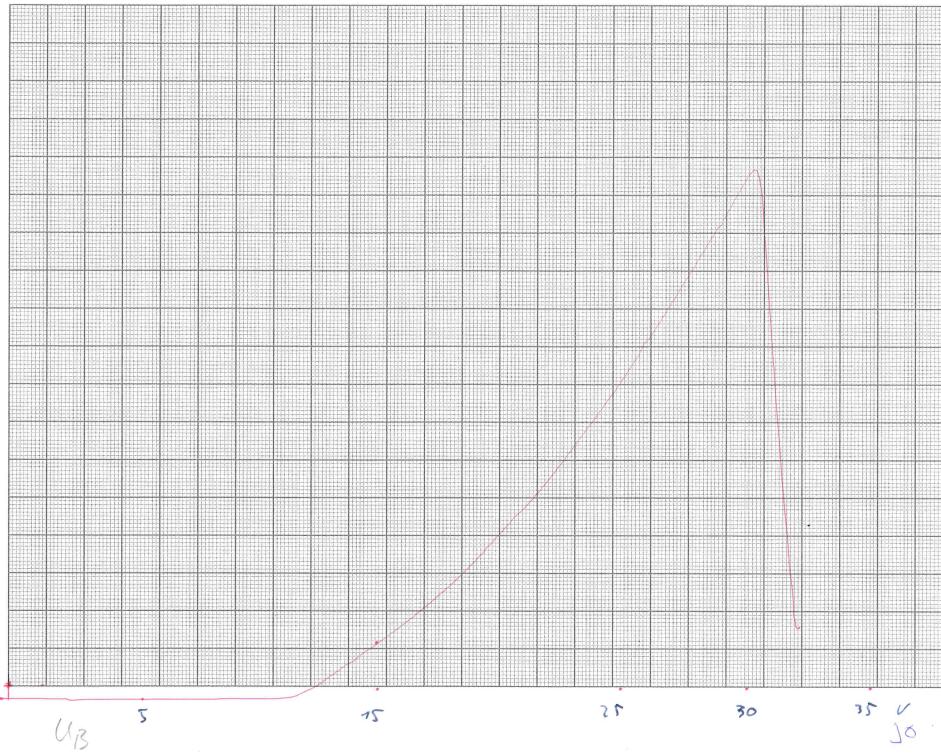
II



4.5 Ionisierung

13

Versuch: Torsionsverspannung ca. 10%
Datum: 10.10.2012
Gruppe:



5 Diskussion

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuch zum Literaturverzeichnis*. 2014.
- [2] Gene Mosca Paul A. Tipler. *Physik. Für Wissenschaftler und Ingenieure*. Springer Verlag, 2015.