

# Praktikumsprotokoll

**vom**

**11.06.2002**

**Thema: Atomare Konstanten und Größen**

**Tutor: Arne Henning**

**Gruppe:**

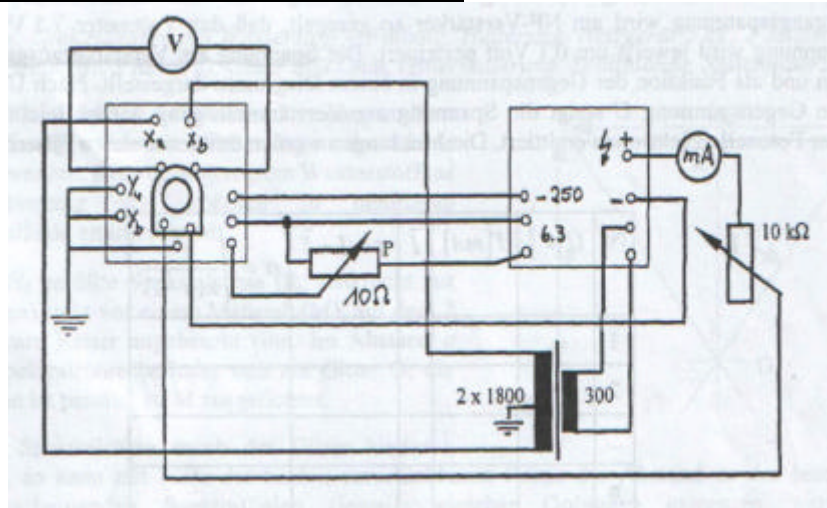
**Sven Siebler  
Martin Podszus**

# Versuch 1: Die spezifische Ladung des Elektrons

## 1.1 Geräte:

Netzgerät, Kathodenstrahlrohr DG 7 12C, Betriebsgerät mit Adapter, Trafo 300:2\*1800Wdg., Messgeräte(100mA und 2kV), Schiebewiderstände 10 kΩ, 10 Ω, Feldspule (effektive Windungszahl n=17400)

## 1.2 Versuchsaufbau und -durchführung:



Der Strom im Potentiometer wird auf Maximum gestellt. Danach wird die Spannung am Voltmeter abgelesen und konstant gehalten. Der Feldspulenstrom wird über einen regelbaren Widerstand 10mal so eingestellt, dass ein scharfer Punkt auf dem Schirm zu sehen ist. Nach fünf Durchgängen werden die Spuleneingänge umgepolt und es werden wieder fünf Durchgänge gemessen. Die erhaltenen Werte für U und I werden in eine Tabelle eingetragen. Es sollen jeweils die Fehler der Werte und die spez. Elementarladung e/m berechnet werden.

## 1.3 Messergebnisse:

| Messung            | U in [V] | I in [A]     | $\frac{U}{I^2}$ in $\left[\frac{V}{A^2}\right]$ | $e = \left(\frac{U}{I^2}\right) - \frac{U}{I^2}$ | $s = \sqrt{\frac{e^2}{n(n-1)}}$ |
|--------------------|----------|--------------|---|--|---------------------------------|
| 1                  | 1800     | 0,074        | 328707,085                                      | -4,55E-03  | 1017,281                        |
| 2                  | 1800     | 0,0745       | 324309,716                                      | -1,52E-04  | 33,999                          |
| 3                  | 1800     | 0,075        | 320000,000                                      | 4,16E-03   | 929,682                         |
| 4                  | 1800     | 0,0743       | 326058,013                                      | -1,90E-03  | 424,930                         |
| 5                  | 1800     | 0,0748       | 321713,518                                      | 2,44E-03   | 546,528                         |
| <b>Mittelwert:</b> |          |              | <b>324157,666</b>                               |  |                                 |
| 1                  | 1800     | 0,0737       | 331388,573                                      | -1,42E+03  | 1616,880                        |
| 2                  | 1800     | 0,0737       | 331388,573                                      | -1,42E+03  | 1616,880                        |
| 3                  | 1800     | 0,0742       | 326937,468                                      | 3,03E+03   | 621,582                         |
| 4                  | 1800     | 0,0741       | 327820,486                                      | 2,14E+03   | 819,031                         |
| 5                  | 1800     | 0,0736       | 332289,698                                      | -2,32E+03  | 1818,377                        |
| <b>Mittelwert:</b> |          | <b>0,074</b> | <b>329964,960</b>                               |  |                                 |

e gibt die Abweichung der jeweiligen Messwerte vom Mittelwert an, s bezeichnet den Standardfehler der Mittelwerte.

Die spezifische Elementarladung  $e/m$  errechnet sich durch folgende Gleichung (komplette Herleitung siehe Skript 11-2 bis 11-4):

$$\frac{e}{m} = \frac{8 \cdot p^2 \cdot L^2}{m_0^2 \cdot n^2 \cdot l^2} \cdot \frac{U}{I^2} \left[ \frac{As}{kg} \right]$$

$L$  bezeichnet die Länge der Feldspule,  $n$  die effektive Windungszahl der Spule,  $l$  den Abstand vom Kondensator zum Leuchtschirm,  $\mu_0$  die magnetische Feldkonstante und  $U$  bzw.  $I$  unsere Messergebnisse.

Für unsere Versuchsanordnung gelten folgende Werte:

$$L = 0,169\text{m}$$

$$l = 0,09\text{m}$$

$$n = 17400$$

$$\mu_0 = 4p \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$$

$$\frac{U}{I^2} = 327061 \frac{V}{A^2}$$

$$\frac{e}{m} = \frac{8 \cdot p^2 \cdot L^2}{m_0^2 \cdot n^2 \cdot l^2} \cdot \frac{U}{I^2} \left[ \frac{As}{kg} \right]$$

$$\frac{e}{m} = \frac{8 \cdot p \cdot (0,169\text{m})^2}{(4p \cdot 10^{-7} \frac{V \cdot s}{A \cdot m})^2 \cdot 17400^2 \cdot (0,09\text{m})^2} \cdot 327061 \frac{V}{A^2}$$

$$= 582317,5758 \frac{A^2 m^2}{V^2 s^2} \cdot 327061 \frac{V}{A^2}$$

$$\frac{e}{m} = 1,9045 \cdot 10^{11} \frac{As}{kg}$$

Die spezifische Ladung eines Elektrons beträgt also:

$$\underline{\underline{\frac{e}{m} = 1,9045 \cdot 10^{11} \frac{As}{kg}}}}$$

## **1.4 Fehlerrechnung und -betrachtung:**

Gerätefehler:

|                                       |                                |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Spannungsmesser:                      | $\pm 10\text{ V}$              |
| Amperemeter:                          | $\pm 1 \cdot 10^{-4}\text{ A}$ |
| Länge $L$ der Feldspule:              | $\pm 1 \cdot 10^{-3}\text{ m}$ |
| Abstand $l$ Kondensator-Leuchtschirm: | $\pm 1 \cdot 10^{-3}\text{ m}$ |

$$\Delta \frac{e}{m} = \sqrt{\left[ \frac{d \frac{e}{m}}{dL} \right]^2 \cdot s_L^2 + \left[ \frac{d \frac{e}{m}}{dl} \right]^2 \cdot s_l^2 + \left[ \frac{d \frac{e}{m}}{dU} \right]^2 \cdot s_U^2 + \left[ \frac{d \frac{e}{m}}{dl} \right]^2 \cdot s_l^2}$$

$$\frac{d \frac{e}{m}}{dL} = \frac{16 \cdot p^2 \cdot L \cdot U}{m_0^2 \cdot n^2 \cdot l^2 \cdot I^2}; \quad \frac{d \frac{e}{m}}{dl} = -\frac{16 \cdot p^2 \cdot L^2 \cdot U}{m_0^2 \cdot n^2 \cdot l^3 \cdot I^2}; \quad \frac{d \frac{e}{m}}{dU} = \frac{8 \cdot p^2 \cdot L^2 \cdot 1}{m_0^2 \cdot n^2 \cdot l^2 \cdot I^2}; \quad \frac{d \frac{e}{m}}{dl} = -\frac{16 \cdot p^2 \cdot L^2 \cdot U}{m_0^2 \cdot n^2 \cdot l^2 \cdot I^3}$$

$$\Delta \frac{e}{m} = \sqrt{\left[ \frac{16 \cdot p^2 \cdot L \cdot U}{m_0^2 \cdot n^2 \cdot l^2 \cdot I^2} \right]^2 \cdot s_L^2 + \left[ -\frac{16 \cdot p^2 \cdot L^2 \cdot U}{m_0^2 \cdot n^2 \cdot l^3 \cdot I^2} \right]^2 \cdot s_l^2 + \left[ \frac{8 \cdot p^2 \cdot L^2 \cdot 1}{m_0^2 \cdot n^2 \cdot l^2 \cdot I^2} \right]^2 \cdot s_U^2 + \left[ -\frac{16 \cdot p^2 \cdot L^2 \cdot U}{m_0^2 \cdot n^2 \cdot l^2 \cdot I^3} \right]^2 \cdot s_l^2}$$

$$\frac{\Delta \frac{e}{m}}{\frac{e}{m}} = \sqrt{\left( \frac{s_L}{L} \right)^2 + \left( \frac{s_l}{l} \right)^2 + \left( \frac{s_U}{U} \right)^2 + \left( \frac{s_l}{l} \right)^2} \quad \text{relativer Fehler}$$

$$\Delta \frac{e}{m} = \frac{e}{m} \cdot \sqrt{\left( \frac{s_L}{L} \right)^2 + \left( \frac{s_l}{l} \right)^2 + \left( \frac{s_U}{U} \right)^2 + \left( \frac{s_l}{l} \right)^2} \quad \text{Standardabweichung}$$

$$\Delta \frac{e}{m} = 1,9042 \cdot 10^{11} \frac{As}{kg} \cdot \sqrt{\left( \frac{0,001m}{0,169m} \right)^2 + \left( \frac{0,001m}{0,09m} \right)^2 + \left( \frac{10V}{1800V} \right)^2 + \left( \frac{0,0001A}{0,074A} \right)^2}$$

$$\Delta \frac{e}{m} = 1,9042 \cdot 10^{11} \frac{As}{kg} \cdot 0,01387$$

$$\Delta \frac{e}{m} = 2,6328 \cdot 10^9 \frac{As}{kg}$$

Die Standardabweichung unserer Messung beträgt also  $\Delta \frac{e}{m} = 2,6328 \cdot 10^9 \frac{As}{kg}$ .

Dies entspricht einem prozentualen Fehler von 1,387%.

In diesem Experiment wurde die spezifische Elementarladung erstaunlich genau gemessen.

Sie weicht nur ca. 8,2% vom Literaturwert  $1,758819617 \cdot 10^{11} \frac{As}{kg}$  ab. Diese Abweichung lässt

sich sehr wahrscheinlich darauf zurückführen, dass das Voltmeter nur auf eine Genauigkeit von ca. 10V genau einstellbar war. Außerdem war der Punkt auch nur in einem bestimmten Intervall scharf.

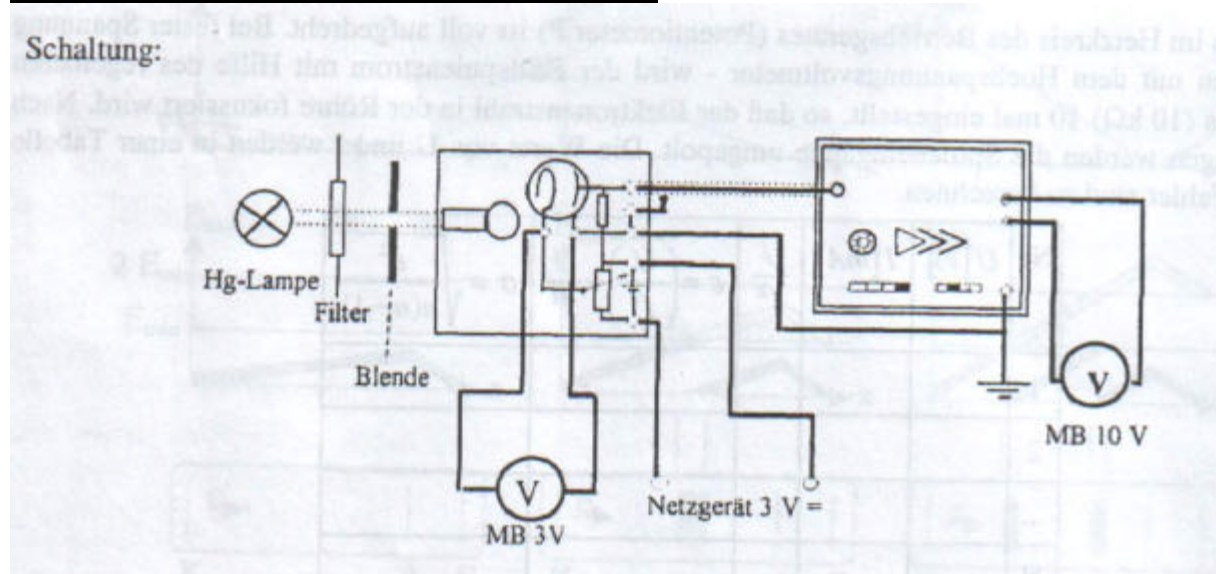
Im Großen und Ganzen ist dieser Versuchsaufbau aber durchaus geeignet um die spez. Ladung eines Elektrons zu bestimmen.

## Versuch 2: Photoeffekt – Bestimmung der Planckschen Konstanten $h$

### 2.1 Geräte:

opt. Bank, Reiter, Hg-Hochdrucklampe, Kondensator, Lichtverschluss, Linsenhalter, 3 Interferenzfilter, Fotozelle auf Schaltbrett, Netzgerät, NF-Verstärker, Vielfachmessgerät, Netzdrossel

### 2.2 Versuchsdurchführung und -aufbau:



Zu Beginn wird ein Filter in die Vorrichtung eingesetzt, damit die Fotozelle nur mit Licht einer bestimmten Wellenlänge bestrahlt wird. Die Gegenspannung wird auf Null und die Ausgangsspannung auf 7,5V geregelt. Nun wird die Gegenspannung in ca. 0,1V Schritten erhöht und die jeweilige Ausgangsspannung abgelesen und notiert.

Dies wird solange getan, bis nach Überschreiten einer bestimmten Gegenspannung, die fallende Ausgangsspannung wieder leicht ansteigt. Dieses Vorgehen wird für die übrigen Filter wiederholt.

### 2.3 Messergebnisse:

verwendete Filter:

$$l = 492\text{nm} \equiv n = 6,1 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

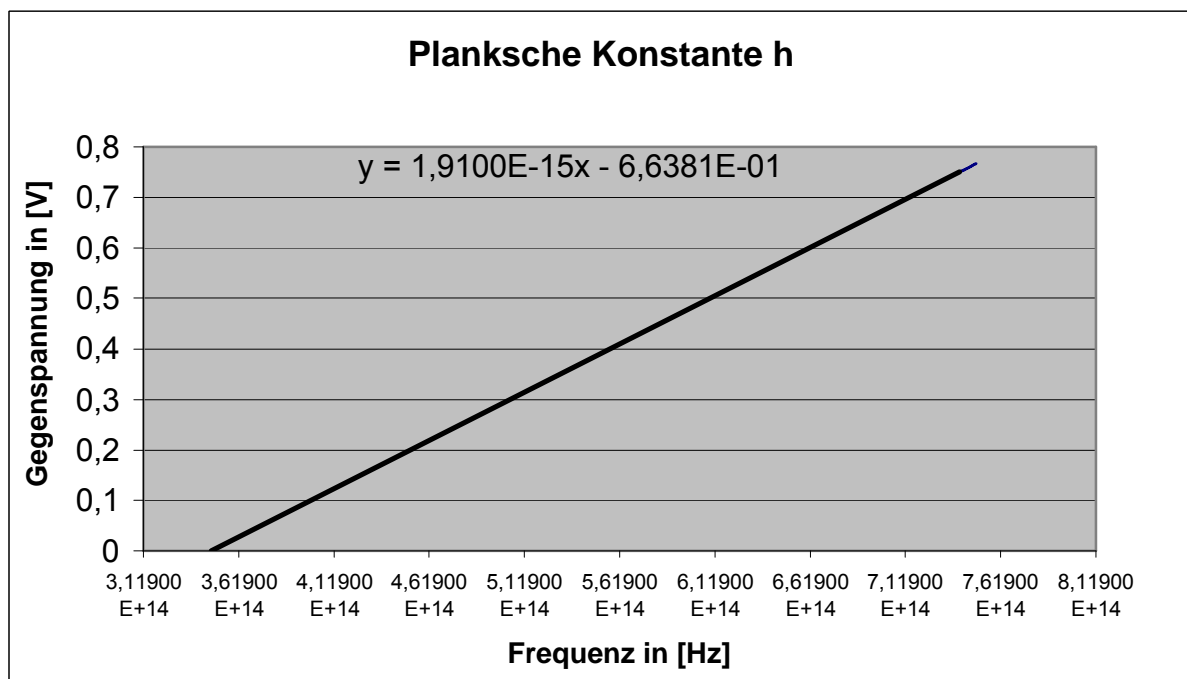
$$l = 405\text{nm} \equiv n = 7,4 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

| Gegenspannung<br>U <sub>2</sub> [V] | Verstärkerspannung<br>U <sub>1</sub> für 405nm [V] | Verstärkerspannung<br>U <sub>1</sub> für 492nm [V] |
|-------------------------------------|--|--|
| 0                                   | 7,45   | 7,5  |
| 0,05                                | 6,2  | 5,28   |
| 0,1                                 |  | 4,321  |
| 0,15                                | 5,24   | 3,294  |
| 0,2                                 |  | 2,319  |
| 0,25                                | 4,25   |  |
| 0,3                                 |  | 1,286  |
| 0,35                                | 3,25   |  |
| 0,4                                 |  | 0,789  |
| 0,45                                | 2,22   | 0,6  |
| 0,55                                | 1,2  | 0,636  |
| 0,6                                 | 0,7  |  |
| 0,65                                | 0,47   |  |
| 0,7                                 | 0,32   |  |
| 0,75                                | 0,279  | 0,65   |
| 0,85                                | 0,315  |  |
| 1,05                                | 0,467  |  |
| 1,45                                | 0,532  | 0,68   |

Tab. 2.2

Aus diesen Werten wird der Graph 2.1 erstellt (siehe Anhang).  
 Hieraus kann nun durch Ablesen der Minima die Gegenspannung  $U_0$  bestimmt werden.  
 Sie beträgt für den 492nm Filter ungefähr 0,5V, für 405nm ungefähr 0,75V.

Diese ermittelten Gegenspannungen werden nun in ein weiteres Diagramm eingetragen,  
 indem sie als Funktion der Frequenz des verwendeten Lichtes dargestellt werden (siehe Graph  
 2.2).



Graph 2.2

Die so erhaltene Gerade besitzt die Steigung  $m = \frac{h}{e}$ .

Diese beträgt laut Geradengleichung  $1,91 \cdot 10^{-15} \frac{V}{Hz}$

Den Wert für die Planksche Konstante h erhält man also durch:

$$m = \frac{h}{e} \Rightarrow h = m \cdot e,$$

wobei e die elektrische Elementarladung ist:  $e = 1,60217733 \cdot 10^{-19} A \cdot s$

Es gilt also:

$$h = 1,91 \cdot 10^{-15} \frac{V}{Hz} \cdot 1,60217733 \cdot 10^{-19} A \cdot s$$

$$\underline{\underline{h = 3,0601587 \cdot 10^{-34} J \cdot s}}$$

Die Grenzfrequenz, unter der keine Fotoemissionen mehr stattfinden, kann man ebenfalls aus dem Diagramm ablesen. Dieser Punkt befindet sich beim Schnittpunkt mit der X-Achse, dieser beträgt:

$$y = 1,91 \cdot 10^{-15} x - 0,66381$$

$$x = \frac{0,66381}{1,91 \cdot 10^{-15}}, \text{ für } y = 0$$

$$x = 3,475 \cdot 10^{14} Hz$$

Die Grenzfrequenz liegt also bei  $\underline{\underline{n_k = 3,475 \cdot 10^{14} Hz}}$ , dies entspricht einer Wellenlänge von 862,7nm.

Die Austrittsarbeit der Elektronen lässt sich durch folgende Formel berechnen:

$$h \cdot n = e \cdot U_0 + W_a$$

$$W_a = h \cdot n_k, \text{ da } U_0 = 0$$

Zur Minimierung von Fehlern wird der Literaturwert für h verwendet:

$$h = 6,626176 \cdot 10^{-34} J \cdot s$$

Für die Austrittsarbeit gilt also:

$$W_a = 6,626176 \cdot 10^{-34} Js \cdot 3,475 \cdot 10^{14} Hz = 2,30259616 \cdot 10^{-19} J$$

Die Austrittsarbeit der Elektronen beträgt also ungefähr

$$\underline{\underline{W_a = 2,303 \cdot 10^{-19} J \equiv 0,2303 aJ}}$$

## **2.4 Fehlerbetrachtung:**

Dieser Versuch ist gleich mit einer großen Menge an Fehlerquellen behaftet.

Zum einen konnte die Gegenspannung nicht sehr genau eingestellt werden, zum anderen konnten nur zwei der drei zur Verfügung stehenden Filter verwendet werden, da der dritte keine korrekten Ergebnisse lieferte. So konnte die Gerade zur Bestimmung der Plankschen Konstante h leider nur aus zwei Messpunkten konstruiert werden. Das diese Gerade dann einem sehr großen Fehler unterliegt ist offensichtlich. Dies erklärt auch die große Abweichung unserer Werte vom Literaturwert. Auch die Ergebnisse für  $W_a$  und  $n_k$  sind natürlich aufgrund der wenigen Messpunkte sehr ungenau.

Falls dieser Versuch wiederholt werden sollte, wären bessere Ergebnisse zu erzielen, wenn anstatt der drei Filter, die im Skript angegebene Zahl von sechs Filtern verwendet werden würde. Dies würde zu weitaus genaueren Ergebnissen führen.

## Versuch 3: Emission von Energiequanten: Die Balmer-Serie des Wasserstoffatoms

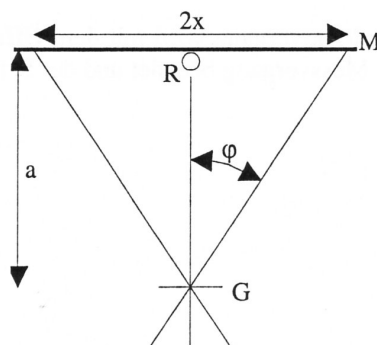
### 3.1 Theorie:

In diesem Versuch sollen die Wellenlängen des Lichtes von Wasserstoff bestimmt werden, das emittiert wird, während der Wasserstoff vom angeregten in einen niedrigeren Zustand übergeht.

### 3.2 Geräte:

Spektralröhre mit Wasserstoff- Füllung, Halterung, Netzgerät 5kV, 2 Maßstäbe, Gitter ( 1/600 mm ), Gitterhalterung, Spaltblende, Stativmaterial

### 3.3 Aufbau:



### 3.4 Durchführung:

Um die Energien des H-Atoms für verschiedene Zustände ausrechnen zu können, benötigen folgende Formel:

$$E_n = -R_H \cdot \frac{1}{n^2}$$

Die Energiedifferenz berechnet sich demnach als:  $\Delta E_n = R_H \cdot \left( \frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)$

Aus  $n = \frac{\Delta E}{h}$  und  $\mathbf{l} = \frac{c}{n}$  werde die Wellenlängen der emittierten Photonen berechnet.

In unserem Versuchsaufbau berechnen wir den Winkel über die Formel

$$\sin \mathbf{j} = \frac{x}{\sqrt{x^2 + a^2}} \text{ und mit } \sin \mathbf{j} = \frac{k \cdot \mathbf{l}}{g} \text{ mit } k=1 \text{ die Wellenlänge.}$$

### 3.5 Messergebnisse:

| n | v         | λ [nm] |
|---|-----------|--------|
| 1 | -2,47E+15 | -0,12  |
| 2 | -4,57E+14 | -0,66  |

Tabelle 1: Errechenbare Wellenlängen

| Spektrum | $\sin \phi$ | X    | a  | 1/g [mm] | $\lambda$ [nm] |
|----------|-------------|------|----|----------|----------------|
| rot      | 0,38274033  | 20,3 | 49 | 600      | 637,90         |
| blau     | 0,28375517  | 14,5 | 49 | 600      | 472,93         |

Tabelle 2: Experimentell ermittelte Wellenlängen

### **3.6 Fazit:**

Die von uns experimentell erhaltenen Werte liegen innerhalb des menschlichen Sichtspektrums. Die errechneten Wellenlängen liegen jedoch weit außerhalb des Sichtspektrums. Dies kann entweder an einem Rechenfehler oder an einem Fehler des Skriptes liegen, da wir für die Rydberg-Konstante auch einen anderen Wert gefunden haben ( $1,0967758 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ ). Die errechneten Wellenlängen und die experimentell ermittelten sind daher nicht miteinander zu vergleichen. Laut Literatur soll die errechenbare Wellenlänge  $n_1$  bei 656 nm und  $n_2$  bei 486 nm liegen. Dies würde dann mit den von uns ermittelten Werten weitgehend übereinstimmen. Die Abweichungen liegen dann an Ableseungenauigkeiten, da wir Augenfehler haben (Sven trägt eine Brille, ich brauche vermutlich auch eine ☺). Dadurch lässt sich auch erklären, dass wir nur zwei Spektrallinien sehen konnten, statt der vom Skript geforderten vier.

Es liegt nur die blaue Spektrallinie im VIS. Dies ist sowohl bei unseren experimentell ermittelten, als auch bei den errechneten Werten so.

## **Versuch 4: Absorption von Energiequanten:** **Der Franck-Hertz-Versuch**

### **4.1 Theorie:**

In diesem Versuch sollen Atome zur Lichtemission angeregt werden. Dieses geschieht mittels der Franck-Hertz-Röhre.

### **4.2 Geräte:**

Franck-Hertz-Rohr mit Heizofen, Thermometer bis 523,15 K, Netzgerät (Phywe), Schaltbox für Spannungsregelung, XY-Schreiber, BNC-Kabel, Ein-/Ausschalter (eigentlich nur ein lumpiger Stecker)

### 4.3 Graph:

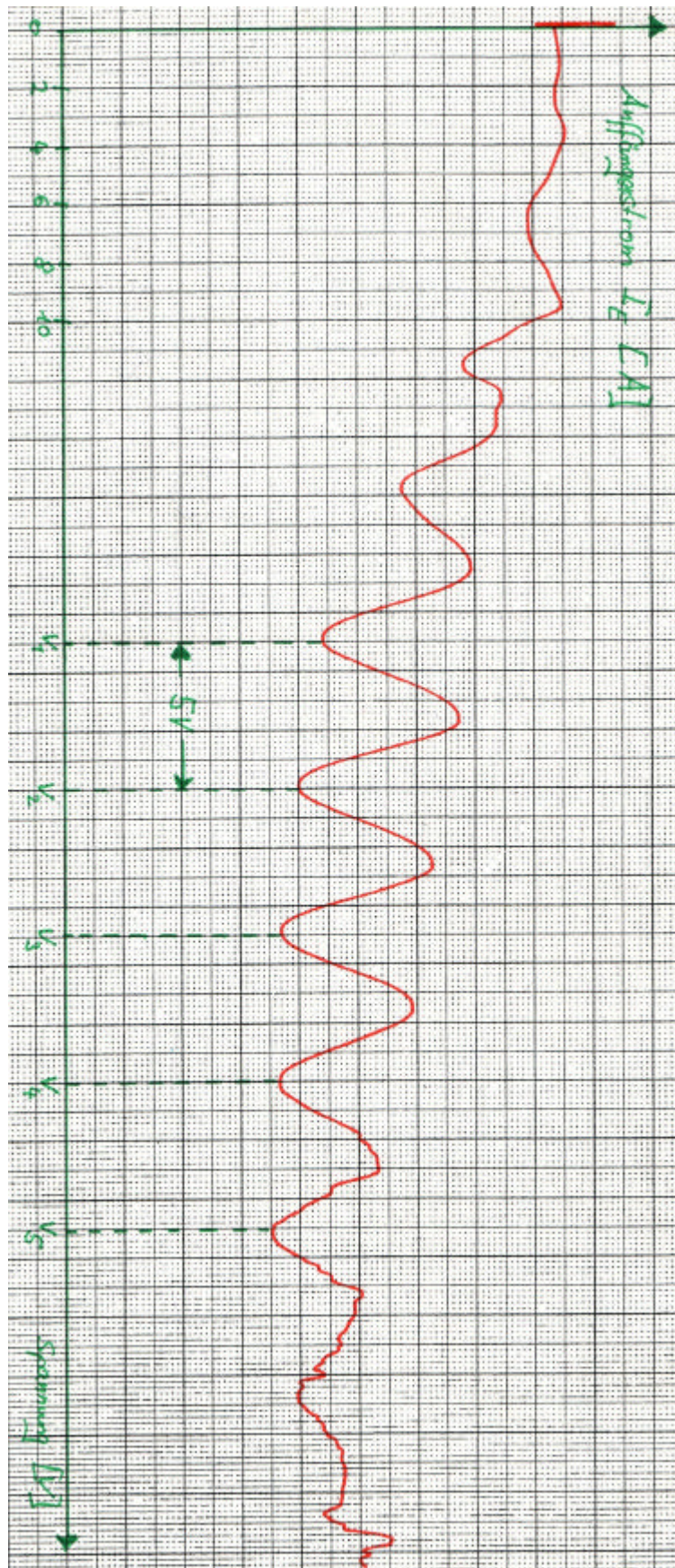


Abb. 1: Stromstärke gegen Beschleunigungsspannung

#### **4.4 Auswertung:**

Aus dem Graphen (Abb. 1) kann man ablesen, daß ein Elektron eine Potentialdifferenz von 5 V überwinden muß, um ein Quecksilberatom anzuregen. Die Anregungsenergie lässt sich über folgende Gleichung berechnen:

$$E_{\text{Minima}} = e \cdot U_{\text{Auffängerstrom}}$$

$$E_{\text{Minima}} = 1,60217733 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 5\text{V} \approx 8,01089\text{E} - 19 \text{ J}$$

Einem Elektronenvolt entsprechen  $1,60217733 \cdot 10^{-19}$  J. Damit entsprechen unsere  $8,01089\text{E} - 19$  J etwa 5eV.

Es muß also eine Energie von 5eV aufgewendet werden, um ein Quecksilberatom anzuregen.

Die Frequenz und die Wellenlänge des durch die Anregung entstandenen Lichtes lässt sich durch die Formeln aus Versuch 11.2.3 berechnen.

$$\nu = \frac{E_{\text{Minima}}}{h} = \frac{5\text{eV}}{6,62608 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}} = \frac{8,01089 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{6,62608 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}} = 1,020899 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \approx 294\text{nm}$$

#### **4.5 Fazit:**

Mit 294 nm liegt die Wellenlänge nicht mehr im sichtbaren Bereich, sondern im ultravioletten. Daher ist das Licht auch nicht mit dem menschlichen Auge zu beobachten. Eine weiterführende Fehlerbetrachtung ist nicht durchführbar, da die einzige Fehlerquelle der XY-Schreiber ist und dessen Fehler ausgeglichen sein sollte. Eine mögliche Fehlerquelle ist noch in Ableseungenauigkeiten im Diagramm zu sehen, da wir auf kopiertem Millimeterpapier gearbeitet haben.