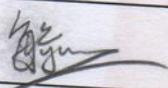


Fakultät für Physik der  
Ludwig-Maximilians-Universität München  
Fortgeschrittenenpraktikum I in Experimentalphysik - Kurs P3B  
Blockpraktikum vom 02. August bis 31. August 2021

Name:	<i>Yudong Sun</i>	Gruppe:	L8
-------	-------------------	---------	----

Datum	Versuch	Punkte	Testat
26.08.21	1/2 ROE - Röntgenstrahlung: Bragg-Reflexion & Röntgenfluoreszenzanalyse		
	3A ESR - Elektronenspinresonanz		
	3B NMR-A - Kernspinresonanz (Variante A)		
	3C NMR-B - Kernspinresonanz (Variante B)		
18.08.21	3E ZEE-B - Zeeman-Effekt (Variante B)	10/10	✓
20.08.21	4A/4B FHV - Franck-Hertz-Versuch		
	4C SPL - Spektrallinien		
	4E BAS - Balmer-Serie		
	5B PLP - Plasmaphysik		
	5C PLW - Plancksches Wirkungsquantum		
24.08.21	5D QAL - Quantum Analogs		
	5E MIL - Millikan-Versuch		

Unterschrift der/des  
Studierenden:



Bitte bewahren Sie Ihre Hefte nach dem Praktikum auf.

8  
D

kariert  
oppelrand

• 1./2.- Townsend-Koeffizienten (nef: unipolare Townsend Discharge)

$$\textcircled{1} \quad \frac{I}{I_0} = e^{\alpha d} \rightarrow \text{Abstand zw. Platte.}$$

Strom  
Photoelektron  
Strom am  
Kathode

A. Townsend  
Koeffizient  $\Rightarrow$  Anzahl der ionenpaare pro Längeneinheit zw. einer Anion, die von Kathode zu Anode läuft.

$$\textcircled{2} \quad \frac{I}{I_0} = \frac{e^{\alpha d}}{1 - e^{\alpha d} (e^{\alpha d} - 1)}$$

2. Townsend  
Koeffizient  $\Rightarrow$  mittlere Anzahl an Elektronen, die von einer Okettion ausgelöst ist zw. einer positive Ion.

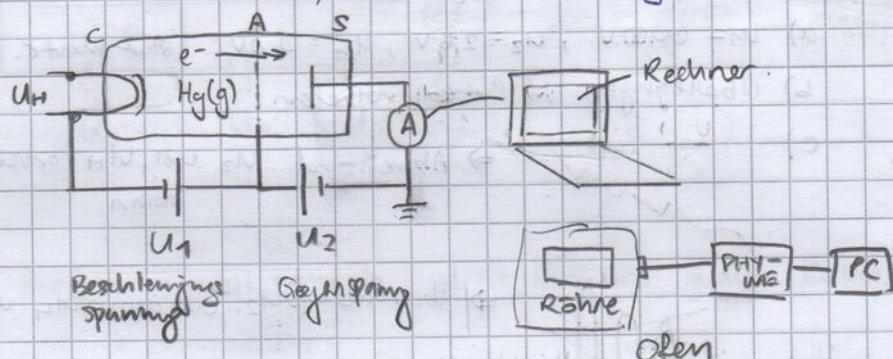
(Vorprotokoll) Name: Ludong Sun,  
Datum: 25.08.2021.

1. Versuchschritt: Messung des Elektronenstroms als Funktion der Anodespannung für Quecksilber.

Versuchsziel: Originale Franck-Hertz-Versuch nachzumachen.

Messmethode: PHYNÉ FHV-Röhre, Elektronenstrommessung.

Geräte:



Richtlinie:

- ① (JA-Anschluss an der Franck-Hertz-Quecksilber-Röhre) über das BNC-Kabel mit (Anschluss auf PHYNÉ - Gerät) verbinden.
- ② Schalt ① mit 5-poligem Verbindungsstecker. (Dabei Beachtung beachten)
- ③ Sicherstellen, dass Betriebsgerät und Rechner sind über PC-Kabel verbunden.
- ④ Grüne Menüebenent in das Betriebsgerät einstellen.  
Schwefelkohle abnehmen und dann im den dafür vorgesehenen Messgang am Heizofen einstellen,
- ⑤ Betriebsgerät: Function  $\rightarrow$  man (manuelle Einstellung)
- ⑥ Schmelz-Stecker des Heizofens an der Steckdoose auf der Rückseite des Betriebsgeräts einstellen.
- ⑦  $T_{\text{Nominal}} = 175^\circ\text{C}$  einstellen. Auf Taktur II umschalten.

- ⑧ offen anstellen (am auf/abfaste drücken)
- ⑨ PC hochfahren. Als student + einloggen
- ⑩ Wenn Taktzeit = Tvermessen = 175°C, dann Programm messen auf PC starten.  
Datei  $\rightarrow$  Neue Messung erstellen.

⑪ Einstellung / notieren:  
+ Schaltungs Skizze

$$U_1 \in [0, 60] \text{ V}$$

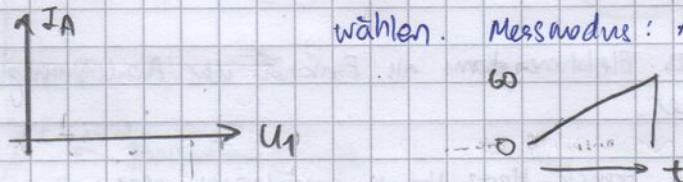
$$U_2 \in [0, 3] \text{ V}$$

$$U_H \in [0, 7] \text{ V}$$

$$\text{Temp} \in [170, 190]^\circ\text{C}$$

- ⑫ Schaltung zum Betruer rütteln lassen.

- ⑬ wählen. Messmodus: Automatische Rampe

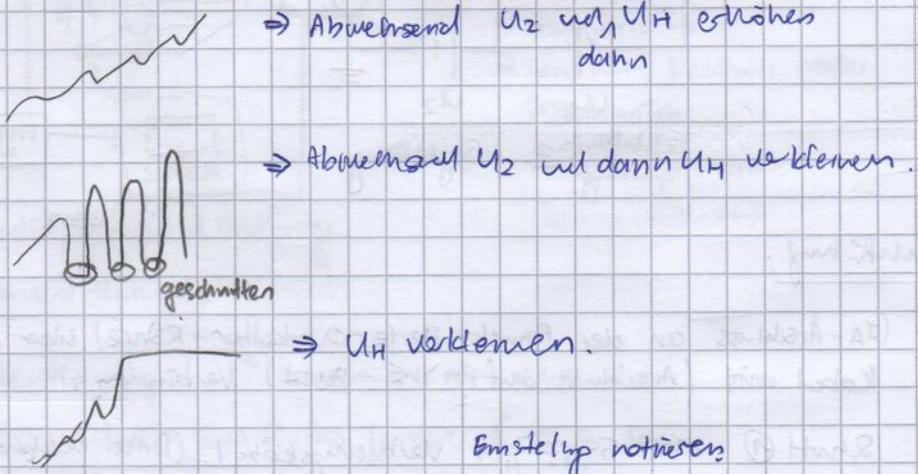


- ⑭ Messkurve gemäß Anleitung optimieren.

a)  $U_1 = 60,00 \text{ V}$ ,  $U_2 = 2,5 \text{ V}$ ,  $U_H = 4,0 \text{ V}$ . Start warten.

b) Überlegungen im Protokoll notieren

c)  $\Rightarrow$  Abwechselnd  $U_2$  und  $U_H$  erhöhen dann



- ⑮ Nach Beendigung der Messung: Funktion: Moment  
Dann offen ausschalten. Messung ausdrucken mit abspeichern

- ⑯ Wenn der austauschende abgekühlt ist, alter Verbindungs kabel entfernen.

### Geplante Auswertung

- ① Messung einen Titel und Achsenbeschriftung geben.
- ② Erklären: wie und warum Änderungen der Spannung  $U_2$  und  $U_H$  die Messkurve in der oben gezeichnete Weise verändert.
- ③ Erklären: Ab einer bestimmte Ordnung liegen die Minima nicht mehr bei verschwindendem Strom. Warum?

- ④ Anregungsenergie von Quecksilber im eV berechnen + Fehlerintervall  
Fehlerintervallnachrechnung erläutern.

Vergleichen mit  $E_{Hg,Lit} = 4,9 \text{ eV}$ . und  $\lambda_{Hg} = \frac{hc}{E} = 253,7 \text{ nm}$ .

Lichtwellenlänge berechnen. In welchen Spektralbereich liegt sie?  
+ Erklärung.

- ⑤ Übergang im Termschema identifizieren:

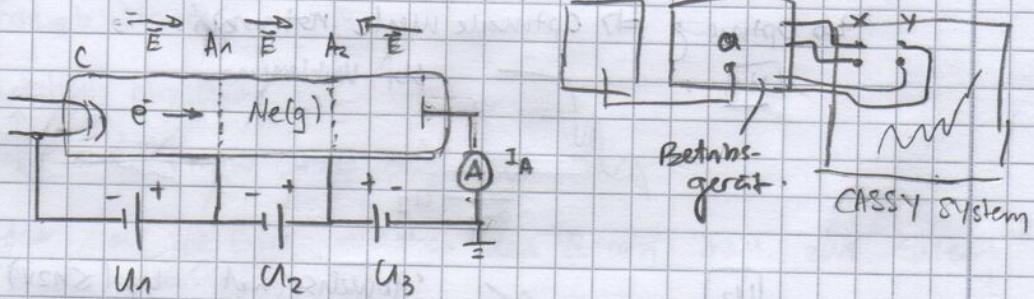
Wert: 253,7 nm;  $6p^3P_1 \rightarrow 6s^1S_0$ .

Teilversuch 2: Messung des Elektronenstroms als Funktion der Anodenspannung des Neon.

Versuchsaufbau: FHV für Neon nachmachen.

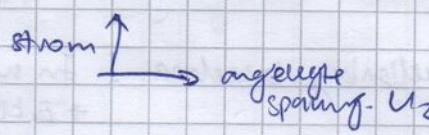
Messmethode: CASSY - System, Elektronenstrommessung.

Skizze:



Durchführung

- ① FH - Neon - Röhre mit Leybold - Betriebsgerät über grauen Kabel mit 6-Pol - Stecker verbinden.
- ② Rechner mit dem Messwandlerfassungssystem Sensor - CASSY über USB - Kabel verbinden.
- ③ Betriebsgerät auf das CASSY - System gemäß obige Skizze und Abbildung der Anleitung verbinden. X - Y Schalter = CASSY System
- ④ CASSY - System mit ~~Netzwerkurstrommesser~~, ~~Netzkette~~ verbinden. ~~Netzsteckdose~~ über Netzteile verbinden.
- ⑤ Schaltung von Bohrner prüfen lassen.
- ⑥ Betriebsgerät mit ~~Netzsteckdose~~ verbinden. Modus: RESET einstellen. Alle Spannungsregler ganz nach links drehen.
- ⑦ Bohrgerät einschalten.
- ⑧ Übernehmen erlaubte Werte von FH - Röhre und Schaltungsskizze im Protokoll

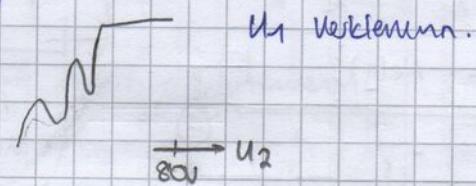
- ⑨  ~~$\frac{U_2}{U_1}$~~  CASSY Lab 2 starten. Kamerafenster schließen.
- ⑩ Messparameter einstellen. (rechts)  
Nullpunkt einstellen (links)
- ⑪ Achselbelastung anpassen:  Strom  $\uparrow$  angelegte Spannung  $U_2$

- ⑫ Messkurve aufnehmen und optimieren.

- $U_1 \geq 0,5V$   $U_2 \in [5, 12]V$  Start Werte
- Aufnehmen mittels Stopp-Uhrsymbol.  
Danach sofort ins Rampen-Modus umschalten.
- Nach Beendigung (maximale Spannung)
  - 1) Stopp-Uhr klicken
  - 2) RESET Modus.
- Beobachtungen protokollieren, Optimierung protokollieren

$\Rightarrow$  Optierung  $\Rightarrow$  Optimalen Werte notieren.

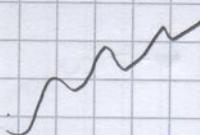
$U_1$ :



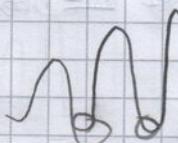
$U_1$  verkleinern.

$U_1$  vergroßern  
 $\uparrow$  5nA

$U_3$ :



Abwechselnd  $U_3 (\leq 12V)$  und dann  $U_1$  erhöhen



Abwechselnd  $U_3 (\leq 12V)$  und dann  $U_1$  verkleinern.

- ⑬ Messung ausdauen! Angeschritten  
Geplante Ausnutzung

- ① Messung einen Titel und Achselbeschriftung geben.
- ② • Wie und warum Abhängigkeit der Spannungen  $U_1$  und  $U_3$  die Messkurve so verändert? (Gegenspannung?) (Gegenspannung?)  
• Phänomen während der Anstiegs der Beschleunigungsspannung erklären.
- ③ • Energie des Übergangs berechnen.  
• Übergang in Tiefenschichten identifizieren. In welchen Schichten liegt sie?

④ Unterstruktur beim dritten Minimum mithilfe der Atomphysik erklären.

⑤ Welche der im [RSB06] genannte Phänomene trifft auf? Brüten hin.

VERSUCH 3: Aufnahme des Spektrums der Neon-Glimmentladung.

Versuchsziel: Neon-Glimmentladungsspektrum aufnehmen.

Messmethode: Red-Tube-Kompaktspektrometer.

Blitzze: TV② mit zusätzlichem Kompaktspektrometer.

Aufbau:

- ① Kompaktspektrometer über das USB-Kabel an den Rechner schließen.
- ② Spektalab starten
- ③ Schutzkappe abnehmen.
- ④ Glastrober auf Stativ ~~fest~~ befestigen.
- ⑤ Gläserfase auf die Zone zwischen den Gittern bzw. zw. Gitter und Anode aus.
- ⑥ Beschleunigungsspannung erhöhen und eine Glimentladung kurzzeitig erzeugen. Sofort "Pause"-Taste drücken. Dann sofort Beschleunigungs- spannung runterregeln.
- ⑦ Erhaltene Spektren speichern / ausdrucken.

Geplante Auswertung:

- ① Titel anfertigen. Starkaten Linen - im Neon-tem selben.
- ② In welchem Spektralbereich liegen diese Linen?  
Warum war das zu erwarten?

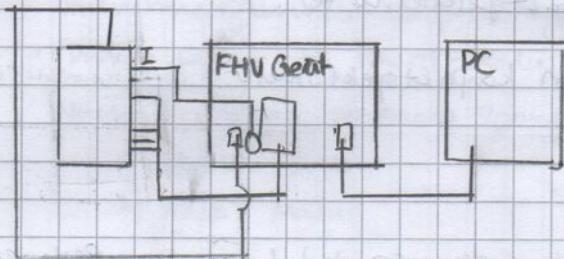
Teilversuch 1:

\*) \* Thermocouple soll angespannt sein, muss auf oben liegen

\* ThermoJ =  $175^{\circ}\text{C}$ , Anfang Temperatur:  $27^{\circ}\text{C}$

\* Ofen Drehkopf auf Null (10) einstellen!

(take a look later to see if there are any Hg droplets)



Messmedium:

• Automatische Röhre

x-Datensatz: Spannung  $U_1$

Messkanäle: Spannung  $U_1$   
Strom  $I_A$

Röhre: Glühkathode

Grade: 1.3.7-1

Versuchsparameter:

Basisspannung  $U_1$ : 60,00V

Spannung  $U_2$ : 2,5 V

$U_H$ : 4,0V

Temp  $T_{\text{Röhre}}$ :  $175^{\circ}\text{C}$

Anzeige  $U_1$ ,  $I_A$

→ Wertes

Anfang: Background Strom  $I_A / \text{nA} \approx 0,16 - 0,25$

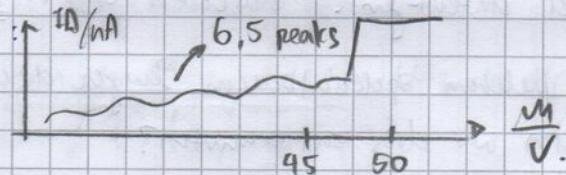
[Messung 1] Sehr nur Berührch.

↪  $U_H$  nicht hoch genug? (nicht genug e<sup>-</sup>)

→ Messup:  
Messungen  
spontan  
get

[Messung 2]  $U_1 = 60,00\text{V}$ ,  $U_2 = 2,5\text{V}$ ,  $U_H = 6,0\text{V}$

↪ Glimmentladung:



[Messung 3]  $U_1 = 45,00\text{V}$ ,  $U_2 = 4,0\text{V}$ ,  $U_H = 6,0\text{V}$

Sieht gut aus, aber sehr viel Geräusch. ( $\max I_A = 1,4\text{nA}$ )

[Messung 4]  $U_1 = 45,00\text{V}$ ,  $U_2 = 4,0\text{V}$ ,  $U_H = 6,5\text{V}$

Beobachtung: Cathode glüht,

Kathode ist schöner geworden. Es gibt aber immer noch  
geringen Geräusch

( $\Rightarrow$   $U_H$  höher  $\Rightarrow$  bessere Kurve? ) (max  $I_A = 3$ )

[Messung 5]  $U_1 = 45,00V$ ,  $U_2 = 4,5V$ ,  $U_H = 6,5V$

Max  $I_A$  wieder auf  $1,5 \text{ mA}$ .

Mehr besser geworden.

[Messung 6]  $U_1 = 45,00V$ ,  $U_2 = 4,0V$ ,  $U_H = 7,0V$

Kurve ist deutlich besser geworden.

[Messung 7]  $U_1 = 60,00V$ ,  $U_2 = 4,0V$ ,  $U_H = 7,0V$

Sättigung bei  $U_2 \approx 7V$   $\xrightarrow{*}$  ZU HOCH?

[Messung 8]  $U_1 = 60,00V$ ,  $U_2 = 3,0V$ ,  $U_H = 7,0V$

Sättigung bei  $U_2 \approx 5V$ , einzelne Peaks sind höher.

( $\Rightarrow U_2 \downarrow \Rightarrow \uparrow$  Maxima.)

[Messung 9]  $U_1 = 60,00V$ ,  $U_2 = 3,0V$ ,  $U_H = 6,5V$

Sättigung bei  $U_2 \approx 5V$ , einzelne Peaks weniger.

(Vielleicht ist  $\frac{U_2}{U_H}$  wichtig?)

[Messung 10]  $U_1 = 60V$ ,  $U_2 = 3,0V$ ,  $U_H = 6,0V$ .

~~⇒~~ Ähnlich wie bei Messung 1.  $\rightarrow$  Glümentladung.

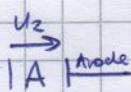
[Messung 11]  $U_1 = 60V$ ,  $U_2 = 3,0V$ ,  $U_H = 5,5V$

$\Rightarrow$  Ähnlich wie bei Messung 10, aber Maxima viel schwächer

Vielleicht ist  $U_2$  zu hoch gegenüber  $U_H$

[Messung 12]  $U_1 = 60,00V$ ,  $U_2 = 4,0V$ ,  $U_H = 6,5V$

$\Rightarrow$  Sättigung + Glümentladung ( $U_2$  zu groß  $\Rightarrow e^-$  kann Abstand A nicht überqueren  $\Rightarrow$  nur wenn Glümentladung kommt  $\rightarrow$  Durchbruch.



[Messung 13]  $U_1 = 60,00V$ ,  $U_2 = 4,0V$ ,  $U_H = 5,5V$

$\Rightarrow$  Sättigung

[Messung 14]  $U_1 = 60,00V$ ,  $U_2 = 4,0V$ ,  $U_H = 6,5V$

$\Rightarrow$  Sättigung bei  $\approx 52V$ , Peaks höher geworden

~~⇒ wenn  $e^-$  genug ~~Zeit~~ haben,~~

$\Rightarrow$  wenn  $e^-$  genug Energie haben, dann kommt die

( $U_2$  ~~ist~~ klein genug, dass Elektronen noch zu Anode kommen.)  
Jetzt gibt es zu viel  $e^-$

[Messung 15]  $U_1 = 60,00 \text{ V}$ ,  $U_2 = 2,0 \text{ V}$ ,  $U_H = 6,0 \text{ V}$  (wir nutzten die  $e^-$ )

Glimmentladung.

[Messung 16]  $U_1 = 60,00 \text{ V}$ ,  $U_2 = 2,0 \text{ V}$ ,  $U_H = 6,5 \text{ V}$

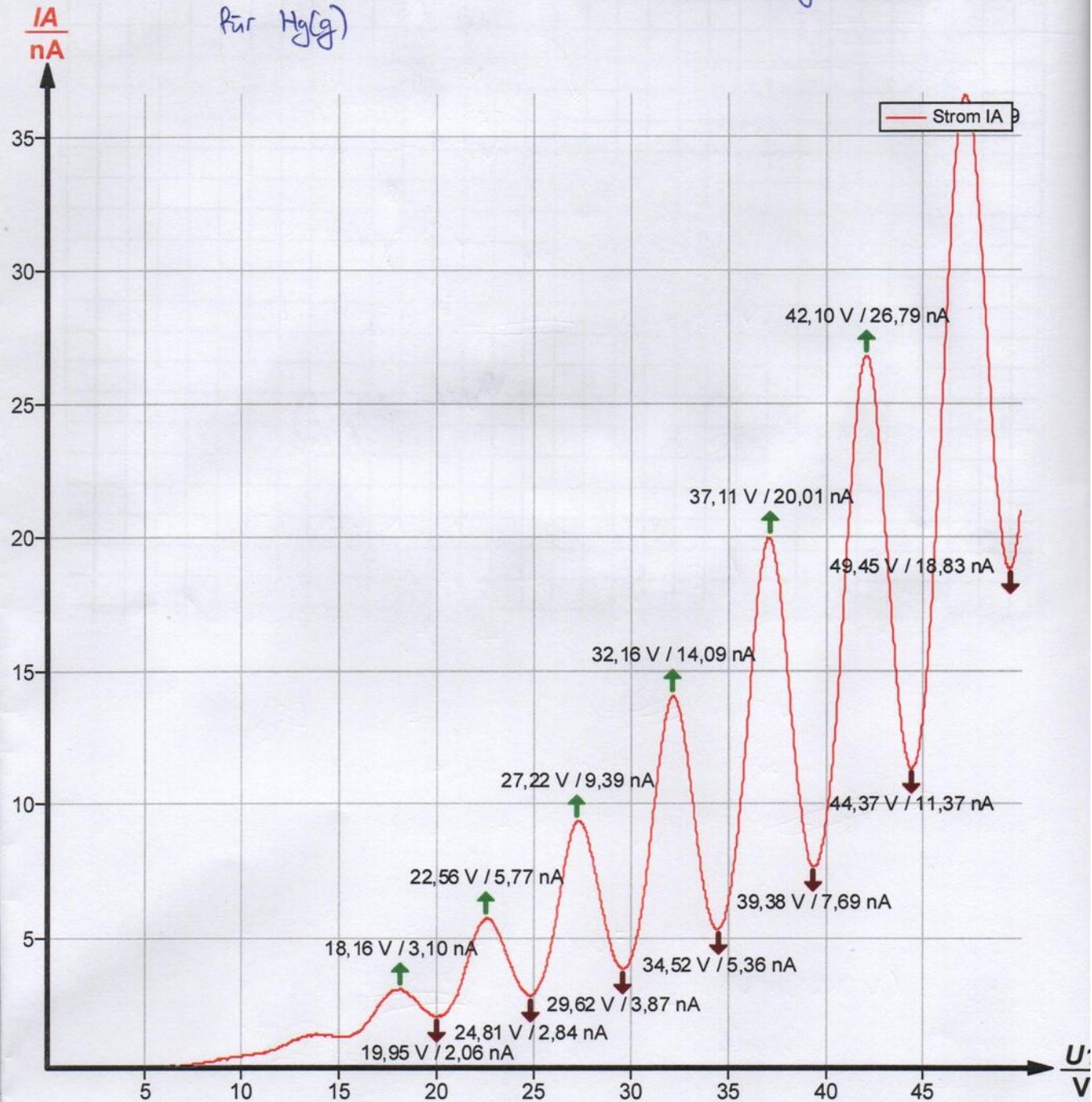
Ab 52 V

Beste Werte bisher

sättig.

Sieht gut aus.

Elektronenstrom als Funktion der Anodespannung  
für  $\text{Hg(g)}$



## Ausnutzung

②  $U_2$ : Gegenspannung. Wenn es mehr g Gegenspannung gibt, dann werden die Elektronen stärker gebremst.

Wenn  $U_2$  zu groß ist, dann erreicht die Elektronen die Anode nicht mehr.

Wir verkleinen  $U_2$ , damit mehr Elektronen (= mehr Strom) die Anode erreicht  $\Rightarrow$  Maxima steigt sich.

$U_H$ : Heizspannung. Sorgt für die Verdampfung von Elektronen aus der Kathode. Je größer die Heizspannung, desto mehr Elektronen durch das Gas schießt.

$\Rightarrow$  Insgesamt mehr Strom, wenn  $U_H$  vergrößert ist.

③ Die Stöße zwischen Elektronen und Hg(g) Atomen sind immer probabilistisch. Wenn  $U_1$  erhöht ist, dann gibt es mehr Elektronen, die durch die Gas ~~wand~~ läuft. ~~Somit~~ steigt die Maxima. Bei der geringeren Stoßwahrscheinlichkeit gibt es somit mehr Elektronen, die mit einem Hg Atom stoßen. Der Anteil der Elektronen, die nicht mit einem Hg Atom stoßen, steigt aber auch.

$\Rightarrow$  Die Minima liegen nicht mehr bei verschiedenem Strom ab einer bestimmten Ordnung.

④/⑤ Erfolgt zu Hause.

Zusätzliche Beobachtung: Man sieht, nach Abkühlung der Röhre, silber Sediment im Röhre

## Teilversuch 2:

Beobachtung: Wenn Kabel eingesteckt ist, Licht vom Hg zu (Ne: 0..80)

0..30V

Schaltung gemäß Abbildung 6 des Anleitungs.

↳ CASSY: Input A: Strom ( $U_A$ ) ( $I_A \sim U_A$ )

B: Spannung ( $\frac{U_2}{10}$ )

Stromverarbeitung

Einstellung:

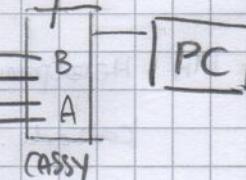
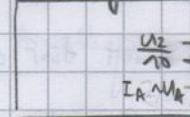
A<sub>1</sub>: Spannung  $U_{A1}$

B<sub>1</sub>: Spannung  $U_{B1}$

Multipunkt: links

Bereich: 0 - 10V

Betriebsart



Multipunkt: linker Bereich: automatisch

Achsebelegung: x:  $U_{B1}$  → y:  $U_{A1}$

[Messung 1]  $U_1 = 0,52V$ ,  ~~$U_2 = 5V$~~   $U_3 = 5,27V$

An: Bereich 0 - 3V (max  $\sim 1,5V$ )

Beobachtung: Steigung keine mit viel zu Geräusch

[messung 2]  $U_1 = 1,08V$ ,  $U_3 = 5,27V$

An: Bereich 0 - 10V. (max  $\sim 3V$ )

Keine steigt jetzt mehr ein, aber immer noch bei Frequenzschwankungen

[messung 3]  $U_1 = 2,02V$ ,  $U_3 = 8,69V$ .

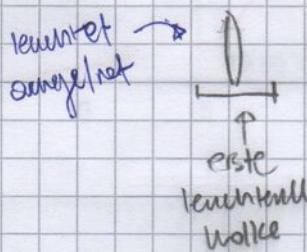
Nun sieht rote leuchtende Bereiche

Anschließend gibt es Sättigung bei  ~~$U_2 = 8V$~~   $U_2$  von 5 und 6V

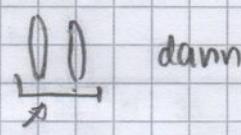
[messung 4]  $U_1 = 1,52V$ ,  $U_3 = 8,69V$

schönere Schwankung Kurve ( $U_2$  max  $\approx 81V$ )

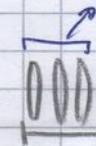
↳ Beobachtung: Manuell  $U_2$  erhöhen:



erste Wolke  
schiebt nach  
links



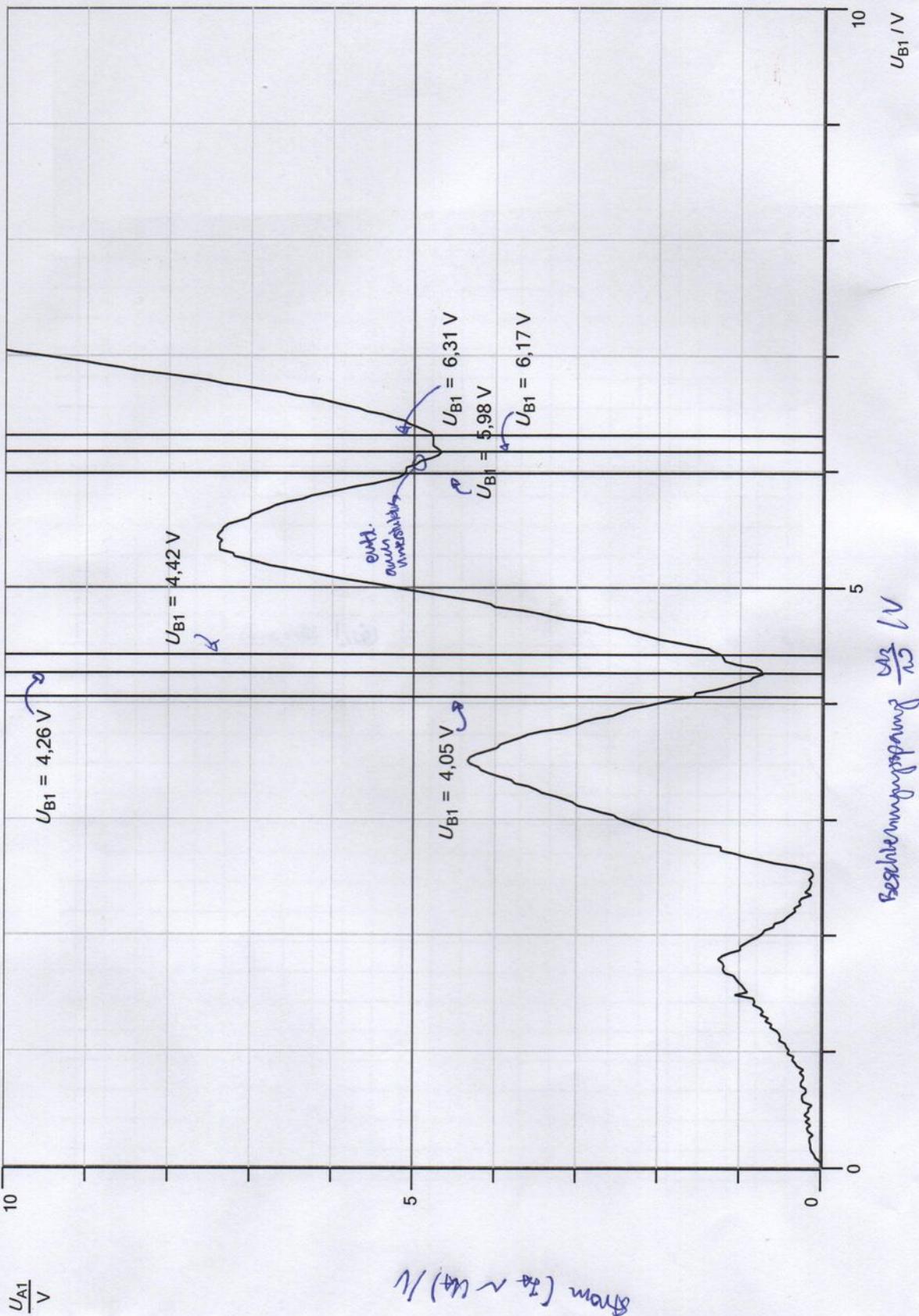
Breite jeder Wolke wird komprimiert



3 leuchtende Wolke

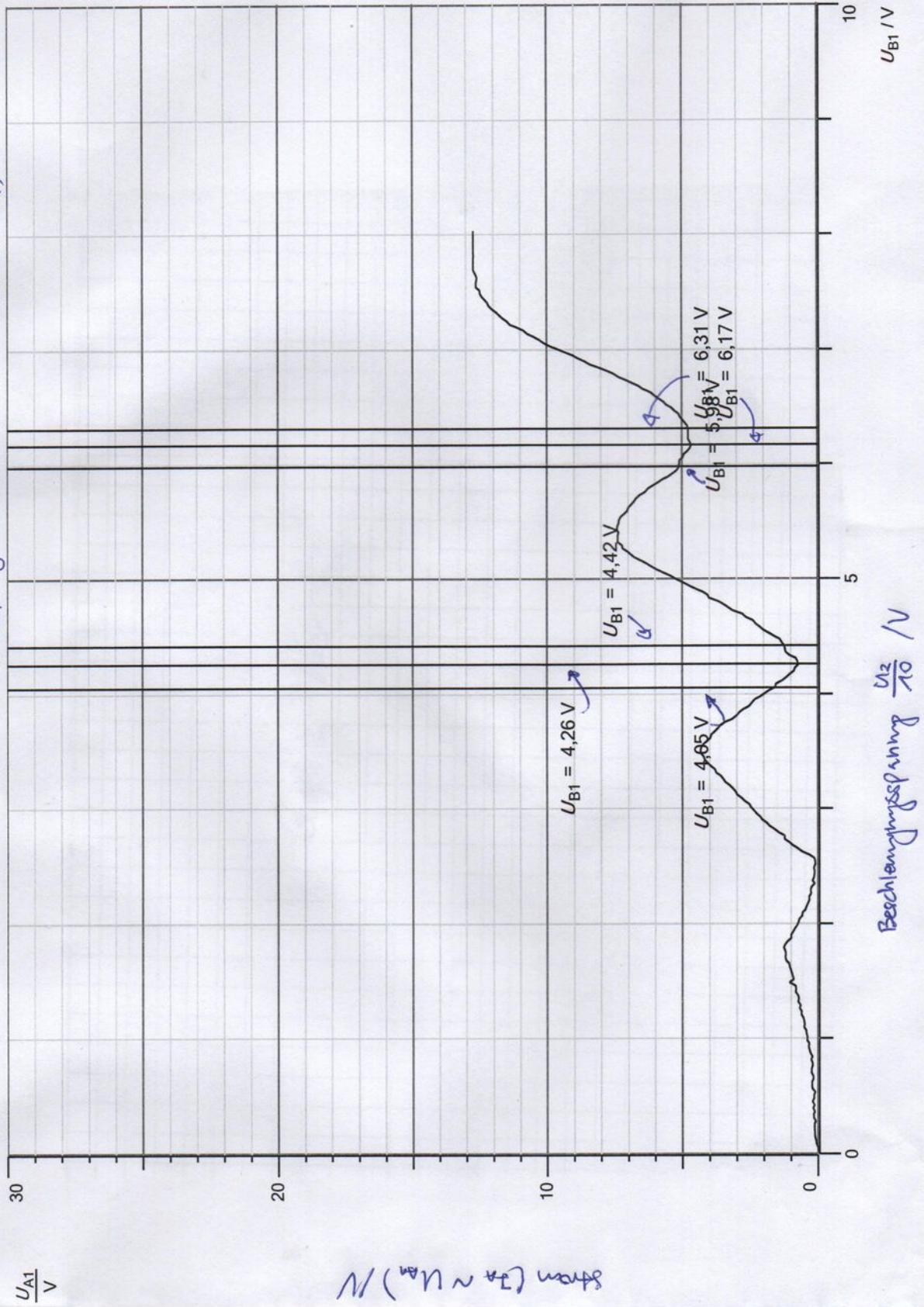
Standard - 4-marked-2 - CASSY Lab 2

$U_{A1}$  max ~ 13V (Anzeige: 0V - 30V)



Standard - 4-marked-2 - CASSY Lab 2

Elektroanom als Funktion der Anodenspannung für Neon ( $U_A = 0 \dots 30$  Volt für  $U_B = 0$ )



Ausnutzg.

- ②  $U_1$  : besagt wie viel Elektronen ausgelöst wird.

$$\uparrow U_1 \Rightarrow \uparrow \# e^- \Rightarrow \uparrow I_A \Rightarrow \uparrow U_A$$

$U_3$  : Bremsspannung

$\uparrow U_3 \Rightarrow$  Elektronen brauchen mehr Energie, das E-Feld zu überqueren

$\Rightarrow$  Stoß ist statischer Prozess.

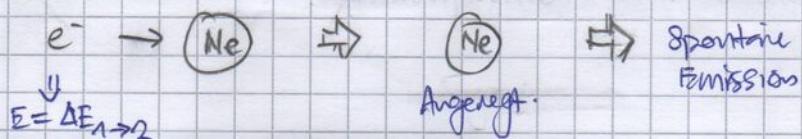
$\Rightarrow U_3$  veranlasst ~~entsteht~~ "Energie-Threshold" für Elektronen

$\Rightarrow$  starke Ausprägung.

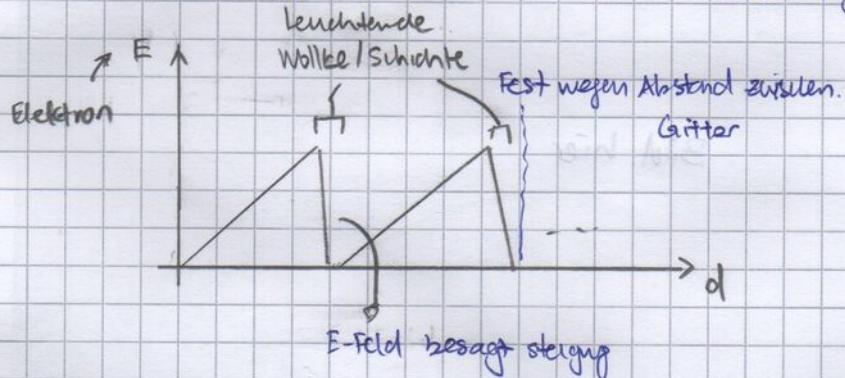
orange / rote  $\rightarrow$  Schichten.

- ③ Leuchtende "Wolke", die nach links schieben.

a)



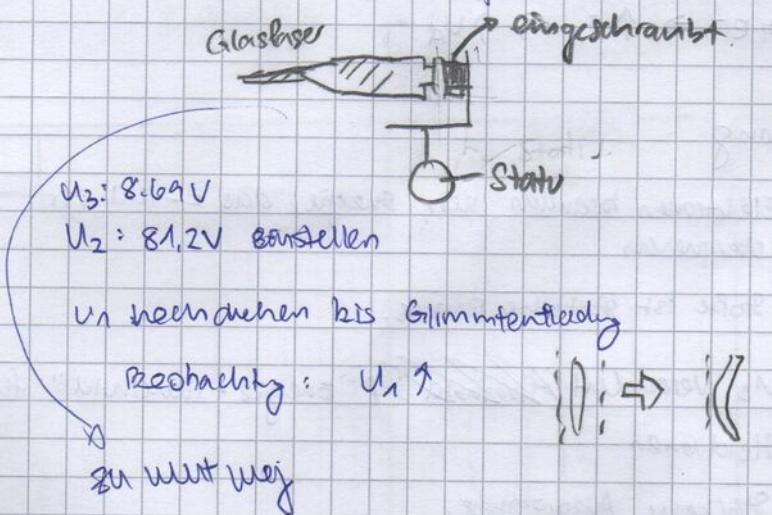
- b) schiebt nach links, weil E-Feld  $e^-$  beschleunigt.



④/⑤/⑥ zu Hause

### Teilversuch 3

~~Glasrohr~~ Glasrohr in stativ eingestellt.



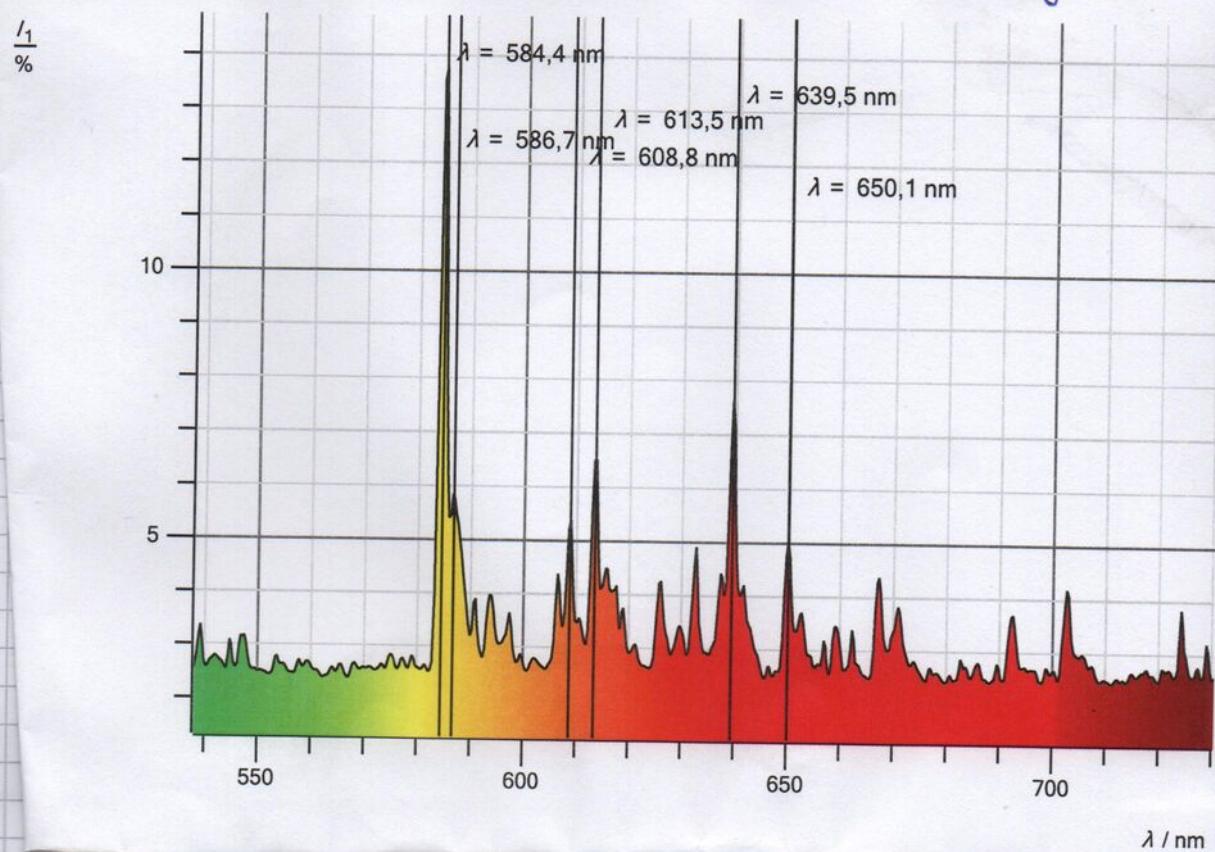
⇒ stativ Weitnahm

immer noch kein Spektrum (sehr gering)

↳ Spektralunter vom Röhrn genommen.

Intensität I<sub>1</sub> = I - I<sub>0</sub> - specNe-marked - SpectraLab

Spektrum von Neon Glimmintensität.



LWII München
Physikalische Praktika
Versuch: F14V
Datum: 20.8.27
Betreuer: OP

# FHV – Franck-Hertz Versuch

## Auswertung

Yudong Sun  
Gruppe L8

23. August 2021

### Teilversuch 1: Messung des Elektronenstrom als Funktion der Anodenspannung für Quecksilber

Die optimale Messkurve und Einstellungen sowie die Erklärungen zu Fragen 2 und 3 der Auswertung finden Sie im Laborprotokoll.

Um die Energieniveau zu finden, wir verwenden die Abstände  $d$  zwischen den einzelnen Minima/Maxima (Minimum  $\leftrightarrow$  Minimum bzw. Maximum  $\leftrightarrow$  Maximum:

Abstand $d$ (Max) / V	4,40	4,66	4,94	4,95	4,99	5,05
Abstand $d$ (Min) / V	4,86	4,81	4,90	4,86	4,99	5,08

Tabelle 1.1: Teilversuch 1 Messreihe

Der Fehler des einzelnen Datenpunktes ist hier vernachlässigt, denn diese irrelevant ist. Die Anzahl der Datenpunkten ( $N = 12$ ) ist groß genug, dass es sinnvoll ist, direkt der Mittelwert und die Standardabweichung zu bilden, anstatt irgendwelche Fehlerfortpflanzung durchzuführen. Hier betrachten wir somit die Typ A Unsicherheit<sup>1</sup>.

Dazu nehmen wir ein Normalverteilung der Daten aus:

$$\bar{d} = \frac{\sum_i d_i}{N} = 4,874\,17\text{ V} \quad (6 \text{ sig. Zif.}) \quad (1.1)$$

$$\Delta d = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (d_i - \bar{d})^2} = 0,187\,348\text{ V} \quad (6 \text{ sig. Zif.}) \quad (1.2)$$

Die obige Rechnungen erfolgte im LibreOffice Calc mittels der Funktionen AVERAGE und STDEV.S.

Somit erhalten wir  $d = (4,87 \pm 0,19)$  V, also ist  $E_{\text{Hg, exp}} = (4,87 \pm 0,19)$  eV. Dieser Wert stimmt mit dem Literaturwert  $E_{\text{Hg, lit}} = 4,9$  eV überein.

---

<sup>1</sup><https://www.isobudgets.com/type-a-and-type-b-uncertainty/>, 23. August 2021

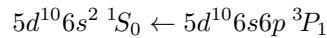
Ein Photon mit der Energie  $E = (4,87 \pm 0,19)$  eV hat die Wellenlänge:

$$\lambda = \frac{hc}{E} = 254,588 \text{ nm} \quad (6 \text{ sig. Zif.}) \quad (1.3)$$

$$\Delta\lambda = \left| -\frac{hc}{E^2} \Delta E \right| = 9,932\,58 \text{ nm} \quad (6 \text{ sig. Zif.}) \quad (1.4)$$

oder  $\lambda = (255 \pm 10)$  nm. Als Literaturwert haben wir aus  $E = 4,9$  eV eine Wellenlänge von  $\lambda_{\text{lit}} = 253$  nm. Ein Photon dieser Wellenlänge liegt in der ultravioletten Spektralbereich und ist somit nicht sichtbar (ca. 380 bis 750nm) [Starr, 2006].

Aus dem NIST Datenbank [A. Kramida u. a., 2020] für [Hg I] ( $= \text{Hg}^{0+}$ ) ist



mit einer Wellenlänge von 253,65 nm die nächste Emissionslinie. Da diese gut im Fehlerbereich unseres experimentellen Wertes liegt, ist diese der Übergang, der der gerade berechnete Linie entspricht.

## Teilversuch 2: Messung des Elektronenstrom als Funktion der Anodenspannung für Neon

Die optimale Messkurve und die entsprechende Einstellungen finden Sie im Laborprotokoll.

### Zur Frage 2

$U_1$  ist die Spannung zwischen der Kathode und dem Gitter  $A1$ , ist also die „Saugspannung“. Sie besagt wie viel Elektronen im Stoßbereich ( $A1 \cdots A2$ ) ausgelöst wird. Je höher die Anzahl der Elektronen, desto höher der Strom  $I_A$  im Allgemein. Wegen der linearen Anstieg der Spannung  $U_{B1}$ , kann man die horizontale Achse auch als Zeit betrachten. Die Fläche unter der Kurve kann man somit als die Gesamtanzahl an Elektronen, die bei der Anode ankommen. Somit:

$$\uparrow U_1 \Rightarrow \uparrow \text{Anzahl } e^- \Rightarrow \uparrow \text{Kurvesteigung} \quad (2.1)$$

Deswegen kann man durch erhöhen (bzw. verkleinern) der Spannung  $U_1$  steuern, wie steil die Kurve ist.

$U_3$  ist die Spannung zwischen dem Gitter  $A2$  und der Anode, ist also die „Gegenspannung“. Sie ist mit dem elektrischen Feld zwischen  $A1$  und  $A2$  entgegengesetzt, und deswegen bremst die Elektronen, die durch das Gitter  $A2$  durchkommen. Elektronen, die nicht genug Energie haben, um diese Gegenspannung  $U_3$  zu überwinden, können somit die Anode nicht erreichen. Sie funktioniert somit als Energieschwelle.

Da die Stoße ein statistischer Prozess ist, kann man eine gaußförmige Verteilung der Elektronenergie vorstellen. Somit sieht die Anzahl der Elektronen, die die Anode erreichen, wie die Kurve in Abbildung 2.1, wobei horizontale Achse die Spannung

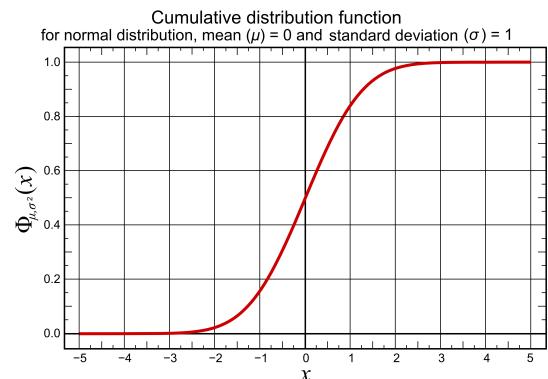


Abbildung 2.1: Gaußsche kumulierte Verteilungsfunktion, ©Wikimedia User:Mikael Häggström

$U_3$  zugeordnet werden kann. Allerdings ist die Kurve gespiegelt: mit einer höheren Spannung  $U_3$  gibt es weniger Elektronen und bei einer niedrigen Spannung  $U_3$  mehr.

Da die Strom  $I_A$  bei der Minima genau die Anzahl die Elektronen besagt, die bei einer bestimmten Beschleunigungsspannung  $U_2$  durchkommen, kann man die Spannung  $U_3$  erhöhen, um die Minima-werten zu reduzieren (oder auch umgekehrt). Dadurch kann man dann die Ausprägung von Minima und Maxima steuern.

### Zur Frage 3

Während des Anstiegs der Beschleunigungsspannung  $U_2$  sieht man leuchtende Wolke/Schichten, die Richtung Gitter A1 bewegen. Ab einer bestimmten Punkt entsteht noch eine Wolke, was wiederum Richtung Gitter A1 bewegen. Am Ende gab es im Rohr 3 leuchtende Wolken. Siehe Laborprotokoll für die genauere Zeichnung.

Dazu kann man das Effekt in zwei Teile unterscheiden:

1. Das Leuchten

Wenn es Elektronen gibt, welche Energie genau die Energieunterschied  $\Delta E_{1 \rightarrow 2}$  entsprechen, dann werden Ne-Atome nach einem Stoß angeregt. Da der angeregte Zustand nicht stabil ist, zerfällt das Atom sofort und ein Photon wird dann durch spontane Emission gestrahlt. Diese Photonen sehen wir dann als Leuchten.

2. Bewegung Richtung Gitter A1

Siehe Laborprotokoll für eine Zeichnung. Die Spannung  $U_1$  regelt die E-Feldstärke entlang der A1 ··· A2 Achse. Je größer der E-Feldstärke, je kurzer die Strecke, die ein Elektron braucht, um auf die benötigte Energie zu beschleunigen. Somit schiebt sich der Punkt, wobei ein Elektron ein Ne-Atom anregen kann, in Richtung Gitter A1, wenn  $U_1$  erhöht ist.

Wenn  $U_1$  groß genug ist, kann Elektronen mehrmals in der Flugstrecke die benötigte Energie vom E-Feld gewinnen, somit entstehen mehrere leuchtende Wolken.

### Zur Frage 4

Da es nur zwei Minima in der Graphik gibt, gibt es nur einen Abstand, den man für die Berechnung der Energieniveaus verwenden kann. Wir schätzen nun der Fehler der Spannung bei den Minima als  $\Delta U_{B1} = 0,03$  V, da diese die Auflösung der Tabelle im Programm war.

Der Abstand  $d$  zwischen der zwei Minima ist somit:

$$d = 6,17 \text{ V} - 4,26 \text{ V} = 1,91 \text{ V} \quad (2.2)$$

$$\Delta d = \sqrt{(\Delta 0,03 \text{ V})^2 + (\Delta 0,03 \text{ V})^2} = 0,04243 \text{ V} \quad (4 \text{ sig. Zif.}) \quad (2.3)$$

Also erhalten wir mit  $U_{B1} = U_2/10$ :  $d' = (19,1 \pm 0,5) \text{ V}$ . Das entspricht ein Energieunterschied  $\Delta E = (19,1 \pm 0,5) \text{ eV}$ , was ein Photon mit der Wellenlänge:

$$\lambda = \frac{hc}{E} = 64,9132 \text{ nm} \quad (6 \text{ sig. Zif.}) \quad (2.4)$$

$$\Delta \lambda = \left| -\frac{hc}{E^2} \Delta E \right| = 1,6993 \text{ nm} \quad (5 \text{ sig. Zif.}) \quad (2.5)$$

oder  $\lambda = (64,9 \pm 1,7) \text{ nm}$ .

Aus dem NIST Datenbank [A. Kramida u. a., 2020] für  $[Ne\ I]$  ( $= Ne^{0+}$ ) haben wir die folgende Emissionslinie im dreifachen Fehlerintervall zur Auswahl:

- 59,870 56 nm
- 59,888 97 nm
- 60,003 65 nm
- 60,272 63 nm
- 61,562 83 nm
- 61,867 16 nm
- 61,910 23 nm
- 62,682 32 nm
- 62,973 88 nm

Dabei hat der Übergang mit  $\lambda = 62,973\ 88\ nm$  ein Wellenlänge, die im Vergleich zu unserem experimentelle Wert am nächsten ist. Das Unterschied kommt vielleicht aus der ungenaue Bestimmung der Energieunterschied mit was ist effektiv nur einen Datenpunkt. Diese Übergang ist mit:

$$2s^22p^6\ ^1S_0 \leftarrow 2s^22p^5\left(^2P_{3/2}\right) 4s\ ^2[3/2]_1$$

assoziiert.

Diese Wellenlänge (ultraviolet) liegt weit außerhalb dem sichtbaren Bereich. Es besteht hier also ein Widerspruch, weil wir im Versuch rote/orange Wolken erkennen konnten:



Abbildung 2.2: Die leuchtende Wolken

Diese rote/orange Wolken besagt eine Wellenlänge, die etwa 10-Fach größer ist. Ich habe am Anfang  $U_2 = U_{B1}$  anstatt  $U_2 = 10 \times U_{B1}$  gerechnet und die Wellenlänge hat gut gepasst, was interessant ist.

Was mir hier auch auffällt ist die etwa ungewöhnliche  $L = 3/2$  Zustand. Zu diesem Thema habe ich leider nicht viel im Internet gefunden. Ich würde mich freuen, wenn wir das im Nachgespräch klären können.

## Zur Frage 5

Die Unterstruktur, die man beim dritten Minima erkennen kann, lässt sich vermutlich mit der Feinstrukturaufspaltung erklären. Aus der Termschema von Ne sehen wir viele Energieniveaus, die zwar unterhalb unserer  $\Delta E = (19,1 \pm 0,5)\ V$  sind, aber kein Grundzustand ( $2s^22p^6\ ^1S_0$ ) ist. Die angeregte Elektronen

können dann erst in diesem Energieniveau zerfallen, bevor sie im Grundzustand landen, was Photonen im sichtbaren Bereich (weniger Energie) erzeugt. Diese Energieniveaus erscheinen in unserem Versuch dann als diese Unterstruktur.

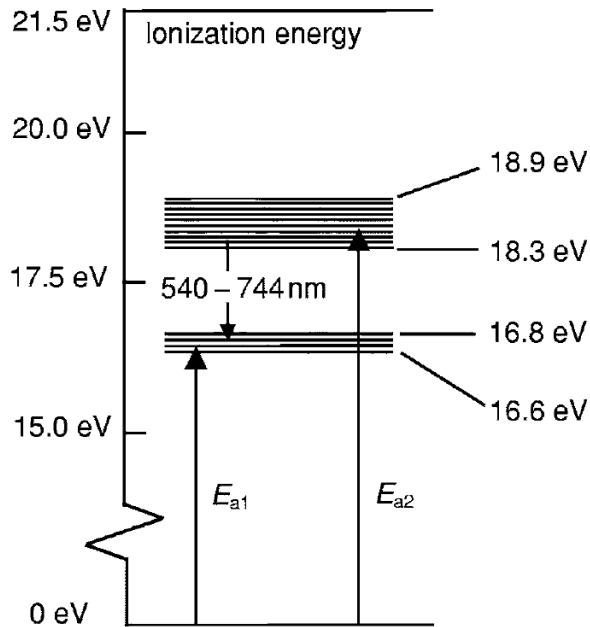


Abbildung 2.3: Ausgewählte Ne Niveau [Rapior u. a., 2006]

Wenn wir die Energieunterschied zwischen die Unterstruktur berechnen, finden wir auch genau das erwartete Energieunterschied. Beispielsweise:

$$61,7 \text{ V} - 59,8 \text{ V} = 1,9 \text{ V} \implies \lambda = 653 \text{ nm} \quad (3 \text{ sig. Zif.}) \quad (2.6)$$

Hier wird keine Fehlerrechnung durchgeführt, da diese Rechnung nur zur Anschauung des Effekts dient.

## Zur Frage 6

Aus [Rapior u. a., 2006] werden folgenden Phänomeren beschrieben, was ich auch Versuch beobachtet habe:

- Abstände zwischen nacheinander folgende Minima bzw. Maxima steigt an und bleibt nicht konstant. Siehe Tabelle 1.1.
- Die Anzahl der Dips steigt an mit steigende Minimum-Nummer. (Unterstruktur deutlich bei dritten Maxima im Vergleich zu zweiten. Es liegen sogar mehr Unterstruktur, siehe Teilversuch 2 Laborprotokoll)

Der Versuchsaufbau im [Rapior u. a., 2006] ist etwa der gleicher als unserer Aufbau. Es ist also zu erwarten, dass wir ähnliche Phänomeren beobachten können. Der Haupteffekt ist im Paper beschrieben:

... We will show that this increase is due to the additional acceleration of electrons over the mean free path after the excitation energy has been reached, but before inelastic collisions with atoms occur...

Sie haben dann mithilfe unterschiedliche Temperatur diese Phänomene untersucht. Die Erklärung war anschaulich und interessant. Wir haben zwar nur ein Temperatur untersucht, aber die Ergebnisse sind auch in unserem Versuch erkannt und infolgedessen reproduzierbar.

### **Teilversuch 3: Aufnahme des Spektrums der Neon-Glimmentladung**

Diese Linien liegen alle innerhalb des sichtbaren Bereichs (ca. 380 bis 750nm) [Starr, 2006] und sogar im orangen/roten Bereich. Es gibt auch sehr viele Spektrallinien. Genau weiß ich eigentlich nicht, warum das zu erwarten ist:

- Warum orangen/roten Bereich?
- Warum so viele Spektrallinien?

Ich kann mich aber mithilfe des Termschemas erwarten, dass die Spektrallinien genau die Energieunterschiede zwischen den Energieniveaus sind. Bei einer Glimmentladung wird sehr viele Atome angeregt. Sie zerfallen und produzieren wegen des genauen Unterschieds zwischen den Energieniveaus auch entsprechend Photonen von bestimmten Wellenlängen. Da die Energieunterschiede im Bereich orange/rot liegen, erhalten wir auch durch die Glimmentladung diese Linien.

Ich würde mich jedoch freuen, wenn wir diese Aufgabe auch im Nachgespräch diskutieren können.

### **Literatur**

- A. KRAMIDA; YU. RALCHENKO; J. READER; AND NIST ASD TEAM, 2020 [NIST Atomic Spectra Database (ver. 5.8), [Online]. Available: <https://physics.nist.gov/asd> [2021, August 22]. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.].
- RAPIOR, Gerald; SENGSTOCK, Klaus; BAEV, Valery, 2006. New features of the Franck-Hertz experiment. *American Journal of Physics* onlineJg. 74, Nr. 5, S. 423–428 [besucht am 2021-08-23]. ISSN 0002-9505, ISSN 1943-2909. Abger. unter DOI: 10.1119/1.2174033.
- STARR, Cecie, 2006. *Biology concepts and applications*. 6th ed. Thomson Brooks/Cole. ISBN 978-0-534-46226-0. OCLC: 819453794.