

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	9,5	OP
	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:	<i>[Signature]</i>
------------------------------------	--------------------

Bitte bewahren Sie Ihre Hefte nach dem Praktikum auf.

8
D

kariert
oppelrand

✓ Voorbereitung anschließen

- 1./2.- Townsend-Koeffizienten (neutrale spezifische Townsend Discharge)
 - ① $\frac{I}{I_0} = e^{\alpha d}$ and \rightarrow 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.

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

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

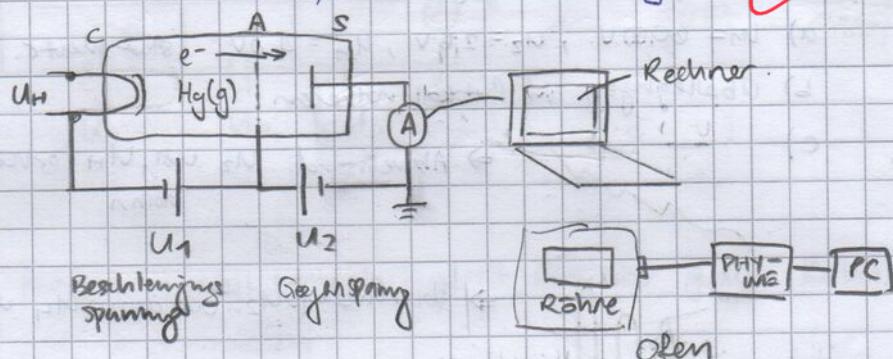
(Vorprotokoll) Name: Ludong Sun,
Datum: 25.08.2021.

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

Versuchsziel: Originale Franck-Hertz-Versuch nachzu machen.

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 Schritt 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 Steckdose auf der Rückseite des Betriebsgeräts einstellen.
- ⑦ $T_{Nominal} = 175^\circ\text{C}$ einstellen. Auf Taktur 1 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 → Neue Messung erstellen.

⑪ Einstellung notieren:
+ Schaltungszeichnung

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

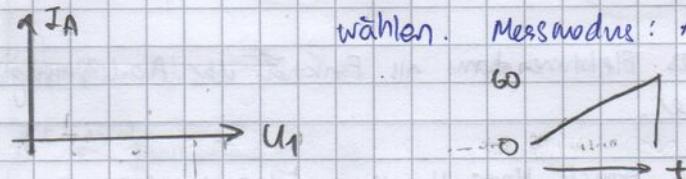
$$U_2 \in [0, 3] \text{ V}$$

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

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

⑫ Schaltung zum Betruer rütteln lassen.

⑬ wählen. Messmodus: Automatische Rampe

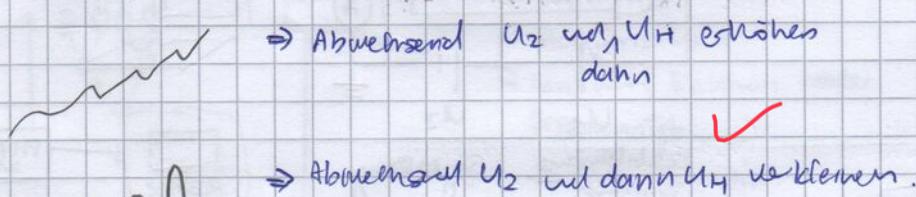


⑭ Messkurve gemäß Anleitung optimieren.

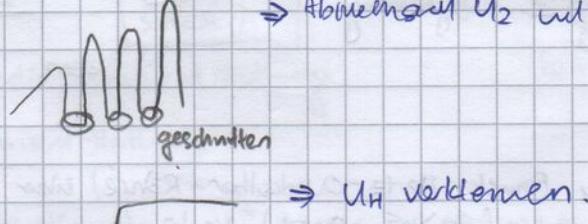
a) $U_1 = 60,00 \text{ V}$, $U_2 = 2,5 \text{ V}$, $U_H = 4,0 \text{ V}$. Starten mit c.

b) Überlegungen im Protokoll notieren

c) ⇒ Abwechselnd U_2 und U_H erhöhen dann



⇒ Abwechselnd U_2 und dann U_H verkleinern.



⇒ U_H verkleinern.

Einstellung notieren ✓

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

⑯ Wenn der austauschende abgekühlt ist, alter Verbindungsstab entfernen. ✓

Geplante Auswertung

- ① Messung einen Titel und Achsenbeschriftung geben.
- ② Erklären: wie und warum Änderungen der Spannungen U_2 und U_H die Messkurve in der oben gezeichneten Weise verändert.
- ③ Erklären: Ab einer bestimmten 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:

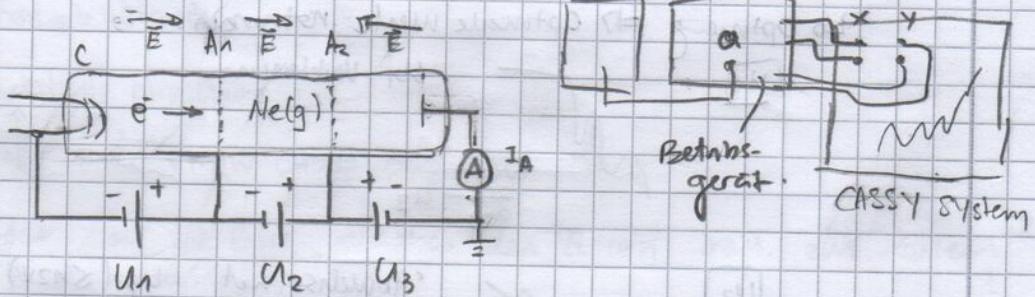
Wert: 253,7 nm; $6p^3P_1 \rightarrow 6s^1S_0$.

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

Versuchsaufbau: FHV für Neon nachmachen.

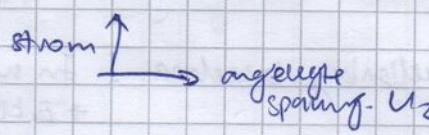
Messmethode: CASSY-System, Elektronenstrommessung.

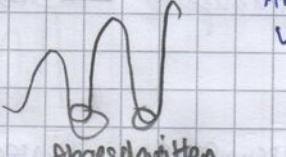
Skizze:



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 ~~Netzwerkurstrom~~, ~~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 Bohrnergerät 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 : 

- ⑫ Messkurve aufnehmen und optimieren.
 - $U_1 \geq 0,5V$ $U_2 \in [5, 12]V$ Start Werte
 - Aufnehmen mittels Stopp-Uhr-Symbol.
Danach sofort ins Rampen-Modus umschalten.
 - Nach Beendigung (maximale Spannung)
 - 1) Stopp-Uhr klicken
 - 2) RESET Modus.
 - Beobachtungen protokollieren, Optimalausrichtung protokollieren
 ↳ Optimal \Rightarrow Optimale Werte notieren.
- U_1 :  U_1 verkleinern. ✓ U_1 vergroßern
 \uparrow I_A \uparrow $5nA$
- U_2 :  Abwechselnd $U_2 (\leq 12V)$ und dann U_2 erhöhen ✓
- U_3 :  Abwechselnd $U_3 (\leq 12V)$ und dann U_3 verkleinern.

- ⑬ Messung ausdauen! Angeschritten
Geplante Ausnutzung

- ① Messung einem Titel und Achselbeschriftung geben. ✓
- ② • Wie und warum Abhängigkeit der Spannungen U_1 und U_2 die Messkurve so verändert? (Saugspannung?) (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 in [RSB06] genannte Phänomene trifft auf? ✓

VERSUCH 3: Aufnahme des Spektrums der Neon-Glimmentladung.

Versuchsziel: Neon-Glimmentladungsspektrum aufnehmen.

Messmethode: Red-Tiefe-Kompaktspektrometer.

Blitzze: TV② mit zusätzlichem Kompaktspektrometer.

Aufbau:



① Kompaktspektrometer über das USB-Kabel an den Rechner schließen.

② Spektalab starten

③ Schutzkappe abnehmen.

④ Glaskügel auf Stativ ~~fest~~ befestigen. ✓

⑤ Glaskügel 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 runterfahren. ✓

⑦ Erhaltene Spektren speichern / ausdrucken.

Geplante Auswertung:

① Titel anfertigen. Starkaten Linen - im Neon-tem selben.

② In welchem Spektralbereich liegen diese Linien?
Warum war das zu erwarten?

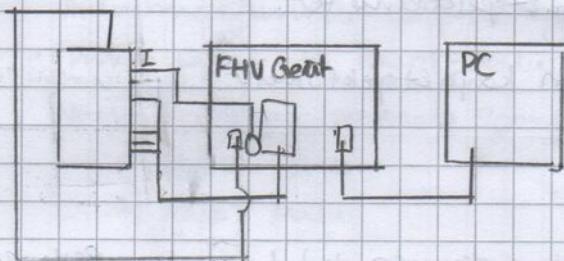
Teilversuch 1:

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

* ThermoJ = 175°C , Anfang Temperatur: 27°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_{Raum} : 175°C

Anzeige U_1 , I_A

→ Wertes

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

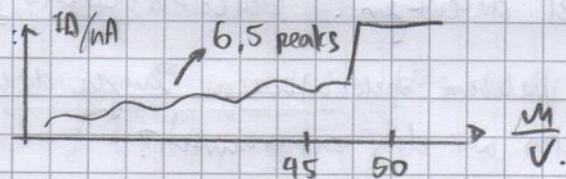
[Messung 1] Sehr nur Berührch.

↪ U_H nicht hoch genug? (nicht genug e⁻)

→ 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] $U_1 = 60V$, $U_2 = 3,0V$, $U_H = 6,0V$.

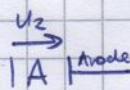
~~⇒~~ Ähnlich wie bei Messung 1. \rightarrow Glümentladung.

[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 ~~zu~~ 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

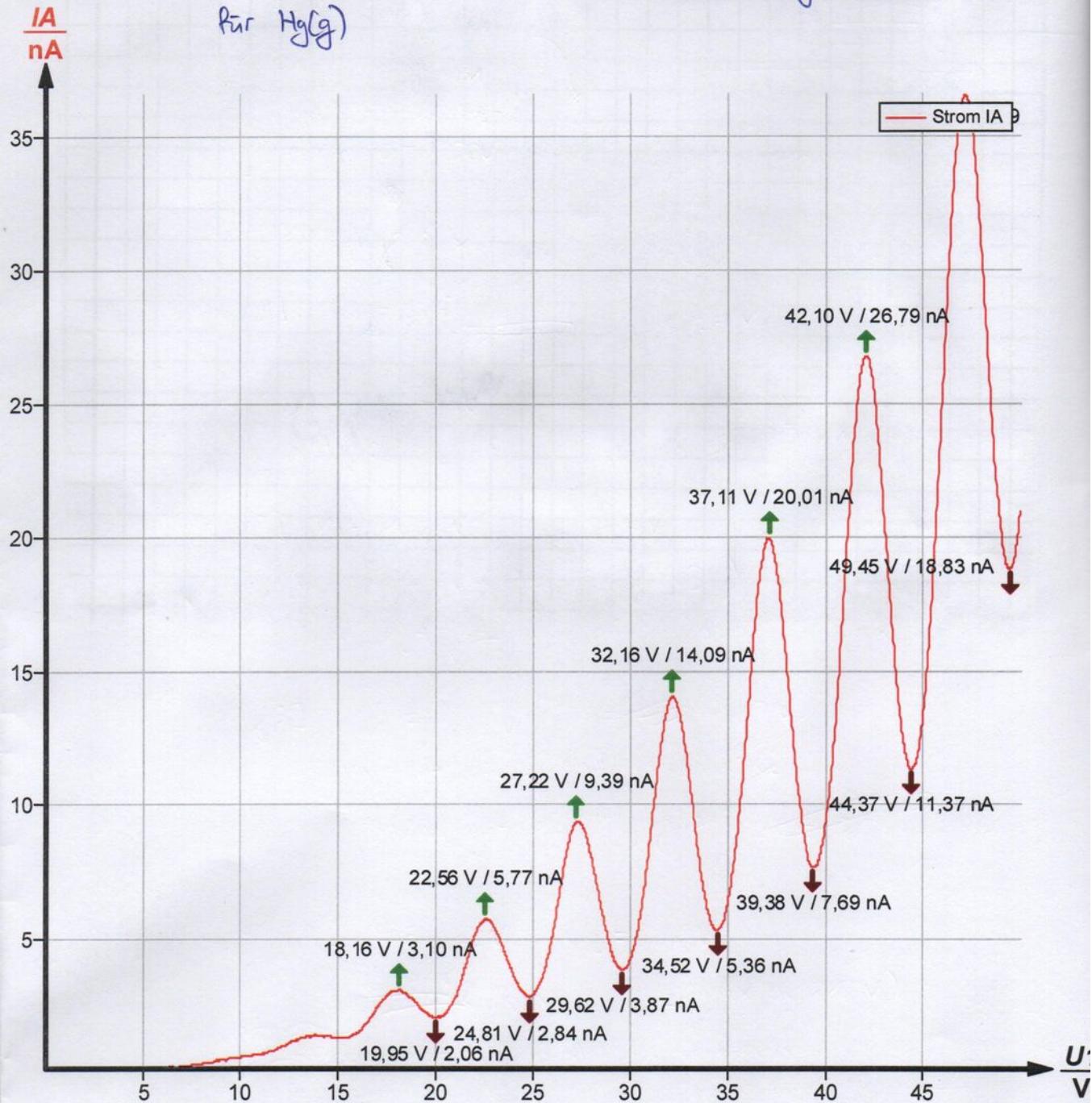
sättig.

Beste Werte bisher

Sieht gut aus.



Elektronenstrom als Funktion der Anodespannung
für Hg(g)



Ausnutzung

✓

- ② U_2 : Gegenspannung. Wenn es mehr \downarrow 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 rückt 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~~ 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:

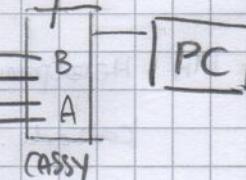
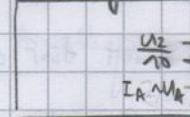
A₁: Spannung U_{A1}

B₁: 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] $U_1 = 2,02V$, $U_3 = 8,69V$.

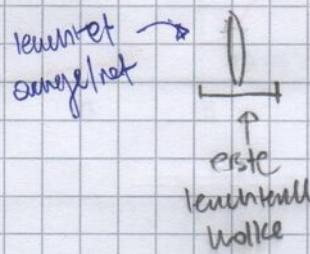
Nun sieht rote leuchtende Bereiche

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

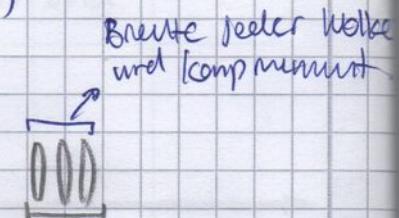
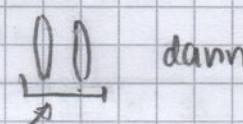
[messung 4] $U_1 = 1,52V$, $U_3 = 8,69V$

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

↳ Beobachtung: Manuell U_2 erhöhen:



erste Wolke
schiebt nach
links

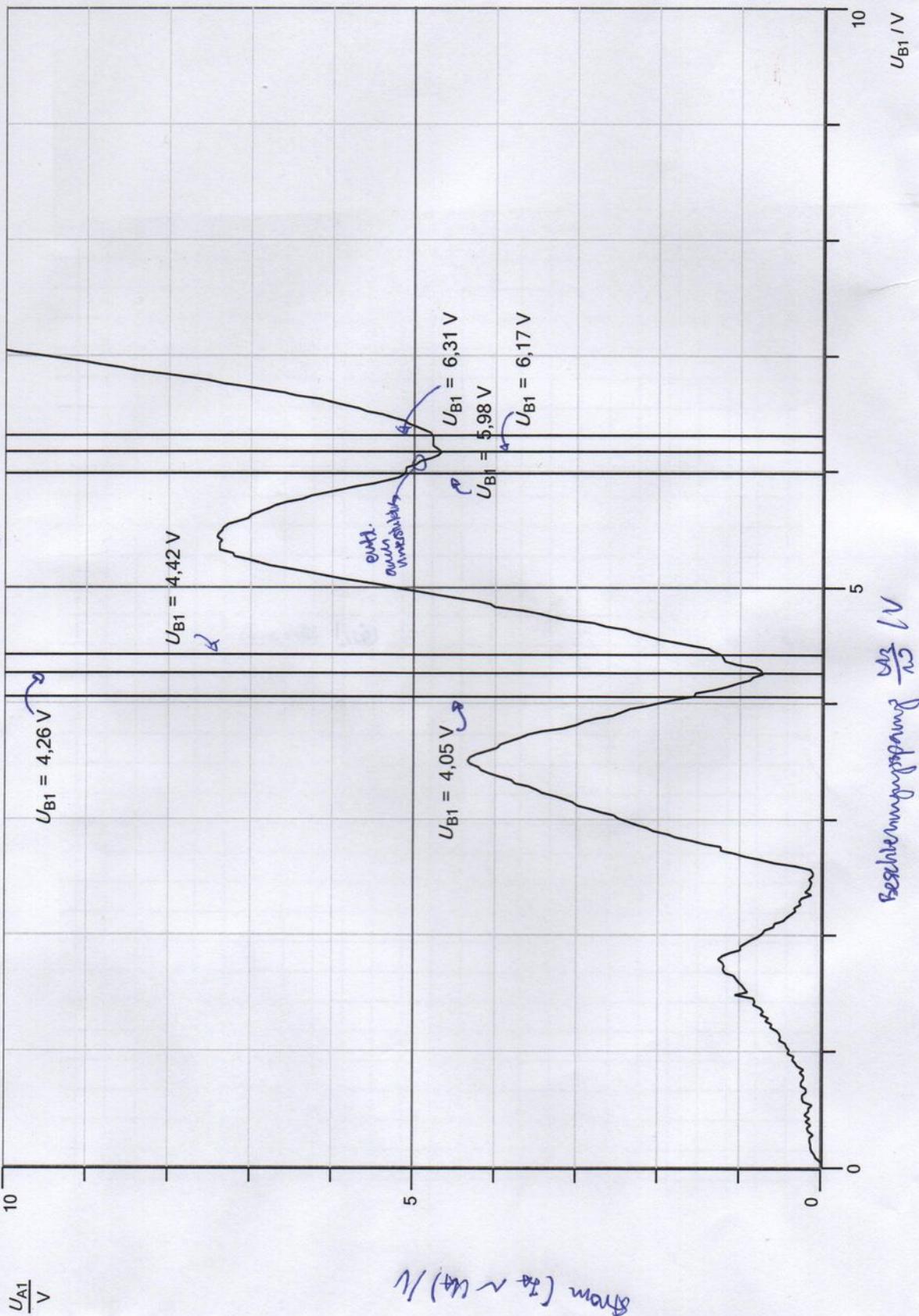


3 leuchtende
Wolke

Breite jeder Wolke wird komprimiert

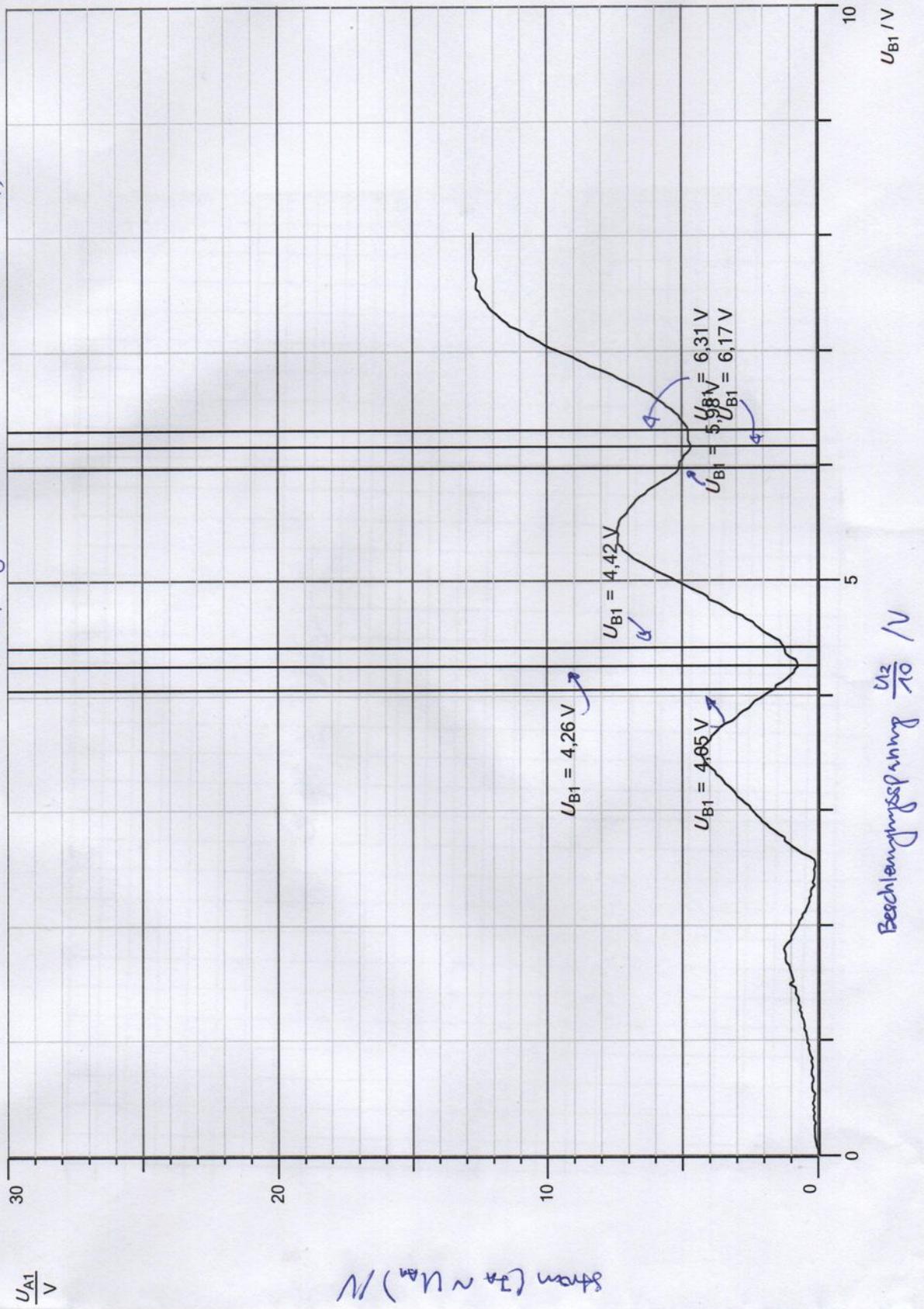
Standard - 4-marked-2 - CASSY Lab 2

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.

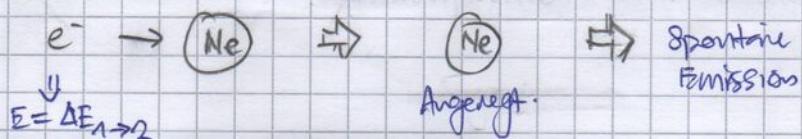
$\Rightarrow U_3$ veranlasst ~~entsteht~~ "Energie-Threshold" für Elektronen

\Rightarrow starke Ausprägung.

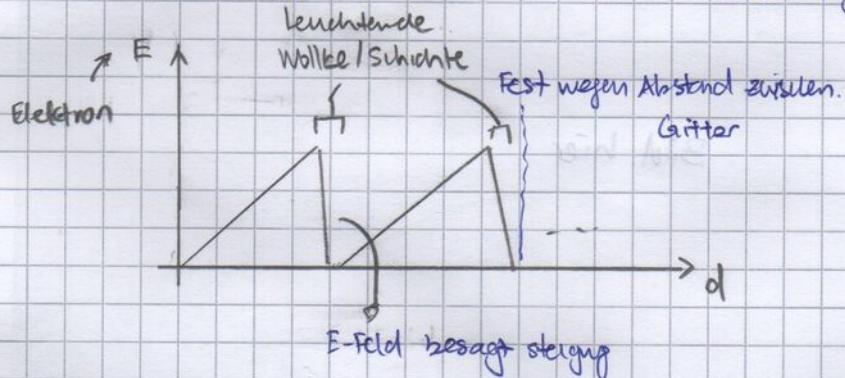
orange / rote \rightarrow Schichten.

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

a)



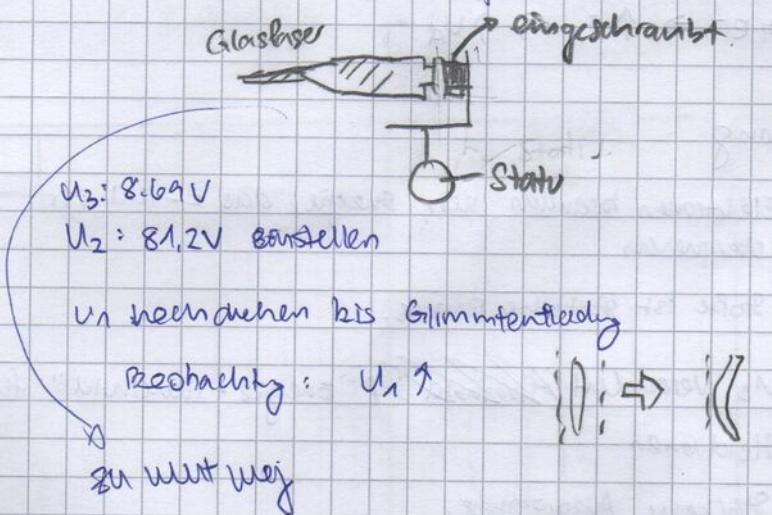
- b) schiebt nach links, weil E-Feld e^- beschleunigt.



④/⑤/⑥ zu Hause

Teilversuch 3

~~Glasrohr~~ Glasrohr in stativ eingestellt.



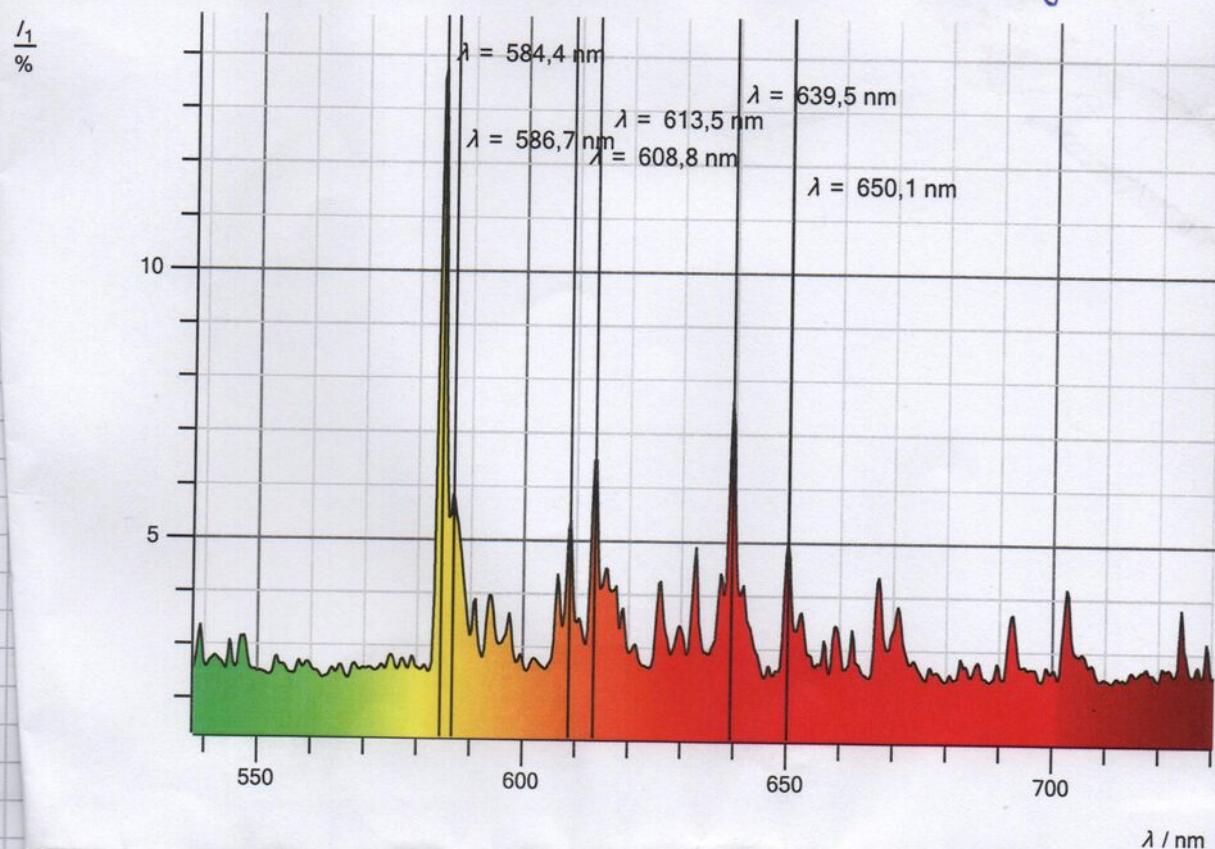
⇒ stativ Weitwach

immer noch kein Spektrum (sehr gering)

↳ Spektralunter vom Röhrn genommen.

Intensität $I_1 = I - I_0$ - specNe-marked - SpectraLab

Spektrum von Neon Glimmertentladg.



LWII München
Physikalische Praktika
Versuch: FITV
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 Unsicherheit¹.

Dazu nehmen wir ein Normalverteilung der Daten aus:

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

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

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

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

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

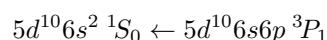
Ein Photon mit der Energie $E = (4,87 \pm 0,19)$ eV hat die Wellenlänge:

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

$$\Delta\lambda = \left| -\frac{hc}{E^2} \Delta E \right| = 9,93258 \text{ nm} \quad (6 \text{ sig. Zif.}) \quad (1.4)$$

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 750 nm) [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 ($A_1 \cdots A_2$) 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

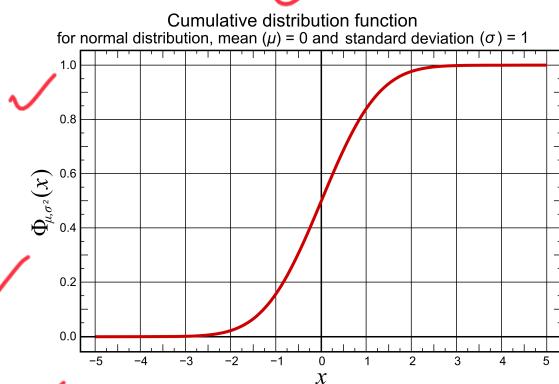


Abbildung 2.1: Gaußsche kumulierte Verteilungsfunktion, ©Wikimedia User:Mikael_Häggström

*Saug'sche Verteilung?
der Elektronen*

⇒ ev. Maxwell-Boltzmann Verteilung

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 $A1 \dots A2$ 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 den beiden 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 $\lambda = 62,973 88 \text{ nm}$ ein Wellenlänge, die im Vergleich zu unserem experimentellen Wert am nächsten ist. Das Unterschied kommt vielleicht aus der ungenauen Bestimmung der Energieunterschied mit was ist effektiv nur einen Datenpunkt. Diese Übergang ist mit:

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

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 $\Delta E = (19,1 \pm 0,5) \text{ V}$ sind, aber kein Grundzustand ($2s^2 2p^6 \ ^1S_0$) 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.

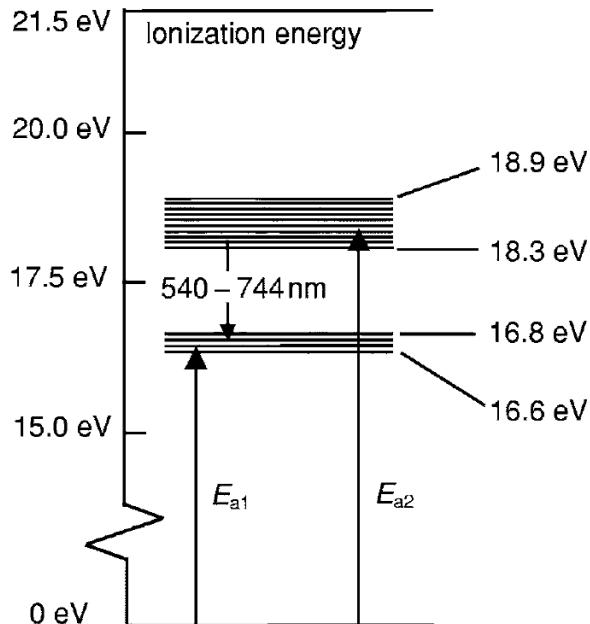


Abbildung 2.3: Ausgewählte Ne Niveau [Rapior u. a., 2006]

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 Phänomene 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 Unterstrukturen, 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 Phänomene 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...

Nachweis

A hand-drawn graph on a page. It features a green line sloping upwards from left to right. Along this line, there are several vertical tick marks of increasing height, starting from a small tick on the left and ending with a large tick on the right. This visualizes the concept of electrons accelerating over a mean free path.

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.

$$\frac{3}{3} + \frac{4}{4} + \frac{2,5}{3} = \frac{9,5}{10}$$