Franck_Hertz_Versuch

May 3, 2024

1 Fakultät für Physik

1.1 Physikalisches Praktikum P2 für Studierende der Physik

Versuch P2-53, 54, 55 (Stand: März 2024)

Raum F1-13

2 Franck-Hertz-Versuch

Fadi Alhelo, Tony Ji

Gruppennummer: 14

Betreuer: ____________________________

Versuch durchgeführt am: 02.05.2024

Beanstandungen zu Protokoll Version _________:

Testiert am: ____________________________ Testat: ____________________________

3 Durchführung

Die Anleitung zu diesem Versuch finden Sie hier.

4 Datenauswerten mit Pandas

4.1 Aufgabe 1: Messanordnung

Hinweise zu Aufgabe 1 finden in der Datei Hinweise-Versuchsdurchfuehrung.md.

- Bauen Sie die Schaltung der Franck-Hertz-Hg-Röhre mit dem zugehörigen Betriebsgerät auf.
- Machen Sie sich mit dem Versuchsaufbau vertraut, indem Sie die folgenden Aufgaben bearbieten.

4.1.1 Aufgabe 1.1: Beschreibung der Messanordnung

- Beschreiben Sie die Messanordnung, die Sie für diesen Versuch vorfinden in eigenen Worten.

In einem Heizofen befindet sich eine Franck-Hertz-Tetrode, in der sich Quecksilber-Dampf befindet.

Aus einer Gluehkathode werden Elektronen emmittiert. In einem geringen Abstand (0.5mm) zur Kathode befindet sich ein Raumladungsgitter G_1, das die emmittierten Elektronen zur Anode hin lenkt. Zwischen Kathode und G_1 liegt eine Spannung U_1 an, die die Elektronen weg von der Kathode zu G_1 zieht und mit der sich primaer die Anzahl der Elektronen im Beschleunigungsfeld regulieren laesst.

In einem Abstand von etwa 6mm befindet sich das Beschleunugungsgitter G_2, das als Anode fungiert. Zwischen G_1 und G_2 liegt die Spannung U_2 an. Die Elektronen, die durch G_1 treten werden auf G_2 zu beschleunigt. Auf dieser Strecke kommt es zu elastischen und inelastischen

Stoessen mit den Hg-Atomen. Treffen die Elektronen auf auf G_2, so laesst sich dort ein Anodenstrom messen.

Hinter dem Beschleunigungsgitter befindet sich eine Auffaengerelektrode, zwischen denen eine Gegenspannung U_3 angelegt ist. Die Elektronen, die durch G_2 treten, werden durch dieses elektrische Feld abgebremst. Haben die Elektronen nach den Stoessen bis dahin noch genuegend Energie, so koennen sie das Feld ueberwinden und treffen auf die Auffaengerelektrode, wodurch sich ein Auffaengerstrom messen laesst. Da nur wenige Elektronen durch die engen Maschen von G_2 hindurchtreten ist der Auffaengerstrom sehr gering, sodass man einen Signalverstaerker benoetigt.

Die Beschleunigungsspannung setzt sich zusammen aus:

$$U_B = U_1 + U_2 + U_{th.}$$

mit einer unbekannten Thermospannung, die wir spaeter bestimmen.

4.1.2 Aufgabe 1.2: Effekt der Steuerparameter an der Röhre

- Beschreiben Sie in eigenen Worten die Effekte, die einzelne Variationen der Parameter ϑ, U_1, U_2 und U_3 auf I_A haben.
- Nehmen Sie für $\vartheta = 180, 160, 140, 120^\circ$ C jeweils einen Verlauf von I_A als Funktion von U_2, für entsprechend optimierte Werte von U_1 und U_3, auf und fügen Sie Ihrem Protokoll eine entsprechende Darstellungen bei. Notieren Sie zu jeder Darstellug die verwendeten Werte von U_1 und U_3.
- Beschrieben Sie den Kurvenverlauf und die entsprechenden Änderungen qualitativ.

Durch die Aenderung von U_1 laesst sich die Anzahl der Elektronen, die im Feld zwischen G_1 und G_2 stossen, regulieren.

Durch Aenderung von U_2 laesst sich die Beschleunigungsspannung und somit die kinetische Energie der Elektronen aendern.

Durch Aenderung von U_3 laesst sich die Staerke des Gegenfeldes zwischen G_2 und Auffaengerelektrode aendern und somit die Anzahl der auf die Elektrode treffenden Elektronen regulieren.

Durch Aenderung der Temperatur des Heizofens laesst sich die Teilchendichte der Hg-Atome des Quecksilber-Dampfes und damit die mittlere freie Weglaenge der Elektronen variieren.

Es gilt

$$\lambda = \frac{1}{n}\sigma$$

wobei n die Teilchenzahldichte und σ der Wirkungsquerschnitt der Hg-Atome ist.

Mithilfe der idealen Gasgleichung erhalten wir

$$\lambda = \frac{kT}{p\sigma}$$

mit Temperatur T, Boltzmann-Konstante k und und Druck p, wobei

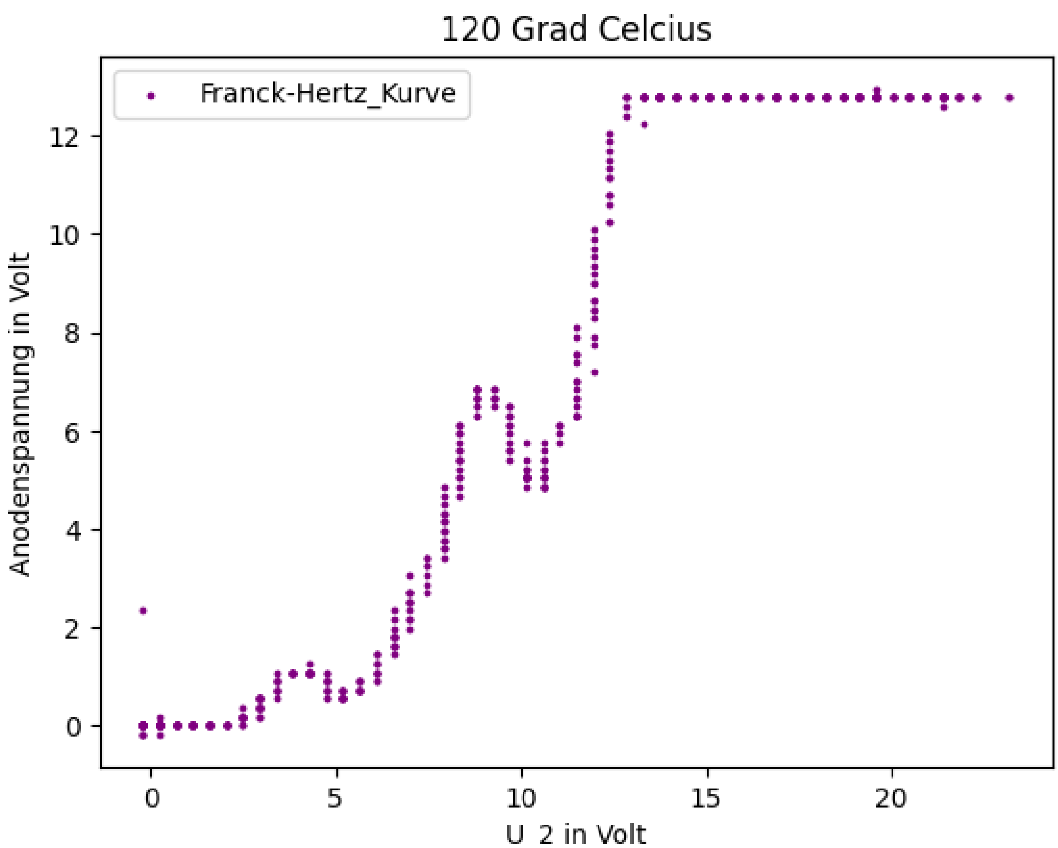
$$p = 1.324 \cdot 10^8 exp(\frac{-7345.25}{T})$$

Steigt die Temperatur, so wird die mittlere freie Weglaenge geringer, wodurch sich die Anzahl der Stoesse erhoeht.

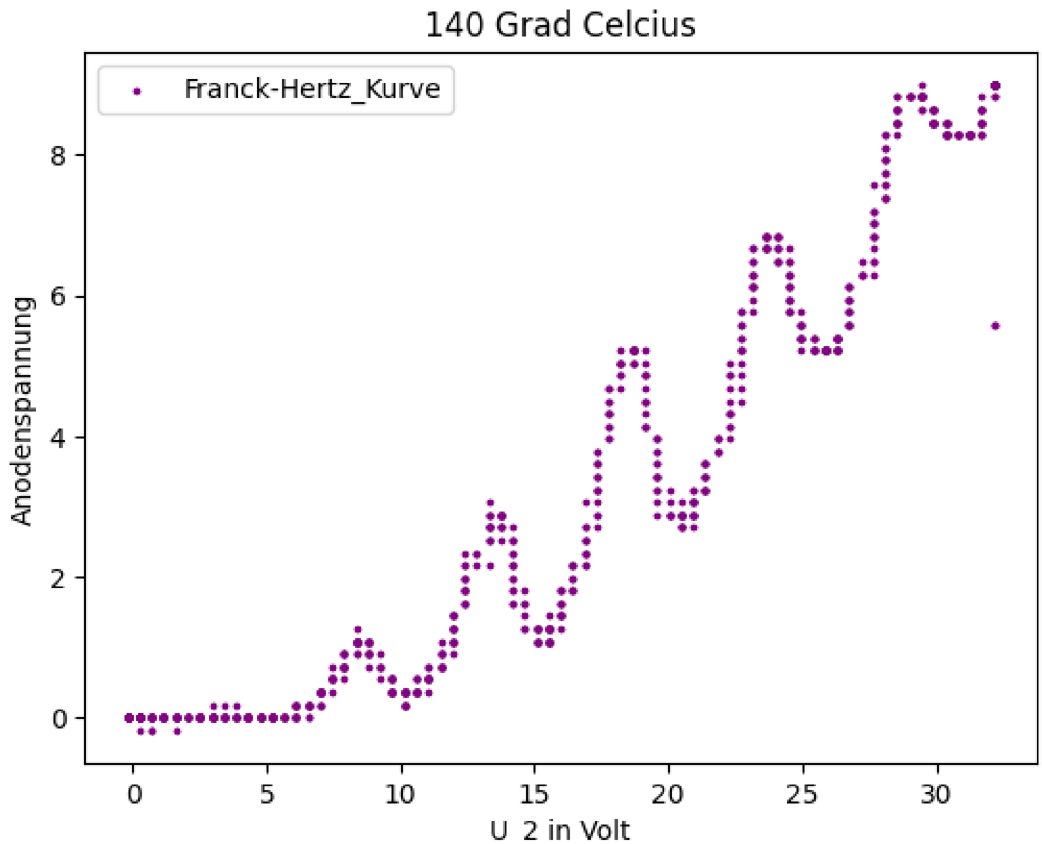
[2]:
```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd
import scipy

 #importiert die CSV und macht sie zu einem Dataframe
df = pd.read_csv('temp_120.csv', delimiter =';', dtype = 'float64')
print(df.keys()) #prints the keys (name of the colomns)

#Colomns can be treated like arrays
colomn1 = df['Frequenz(s)']
colomn2 = df['Kanal A(V)']
colomn3 = df['Kanal B(V)']


plt.scatter(colomn3,colomn2 ,  s=3,color='purple',label='Franck-Hertz_Kurve')
plt.title('120 Grad Celcius')                       # Plot Beschriftung
plt.xlabel('U_2 in Volt')                                  # Achsenbeschriftung
plt.ylabel('Anodenspannung in Volt')
plt.legend()
plt.show()


df = pd.read_csv('140°C_3,33U1.csv', delimiter =';', dtype = 'float64')
print(df.keys()) #prints the keys (name of the colomns)

#Colomns can be treated like arrays
colomn1 = df['Frequenz(s)']
colomn2 = df['Kanal A(V)']
colomn3 = df['Kanal B(V)']

print(colomn3[422])#[, 765]
scipy.signal.find_peaks(colomn2)
print(list(scipy.signal.find_peaks(colomn2, height = (0,10),distance = 300)))

plt.scatter(colomn3,colomn2 ,  s=3,color='purple',label='Franck-Hertz_Kurve')
plt.title('140 Grad Celcius')                       # Plot Beschriftung
plt.xlabel('U_2 in Volt')                                  # Achsenbeschriftung
plt.ylabel('Anodenspannung')
plt.legend()
```

```
plt.show()

df = pd.read_csv('160°C_4,49U1.csv', delimiter =';', dtype = 'float64')
print(df.keys()) #prints the keys (name of the colomns)

#Colomns can be treated like arrays
colomn1 = df['Frequenz(s)']
colomn2 = df['Kanal A(V)']
colomn3 = df['Kanal B(V)']



plt.scatter(colomn3,colomn2 ,  s=3,color='purple',label='Franck-Hertz_Kurve')
plt.title('159 Grad Celcius')                     # Plot Beschriftung
plt.xlabel('U_2 in Volt')                               # Achsenbeschriftung
plt.ylabel('Anodenspannung in Volt')
plt.legend()
plt.show()

df = pd.read_csv('180°C_4,93U1.csv', delimiter =';', dtype = 'float64')
print(df.keys()) #prints the keys (name of the colomns)

#Colomns can be treated like arrays
colomn1 = df['Frequenz(s)']
colomn2 = df['Kanal A(V)']
colomn3 = df['Kanal B(V)']



plt.scatter(colomn3,colomn2 ,  s=3,color='purple',label='Franck-Hertz_Kurve' )
plt.title('181 Grad Celcius')                     # Plot Beschriftung
plt.xlabel('U_2 in Volt')                               # Achsenbeschriftung
plt.ylabel('Anodenspannung in Volt')
plt.legend()
plt.show()
```

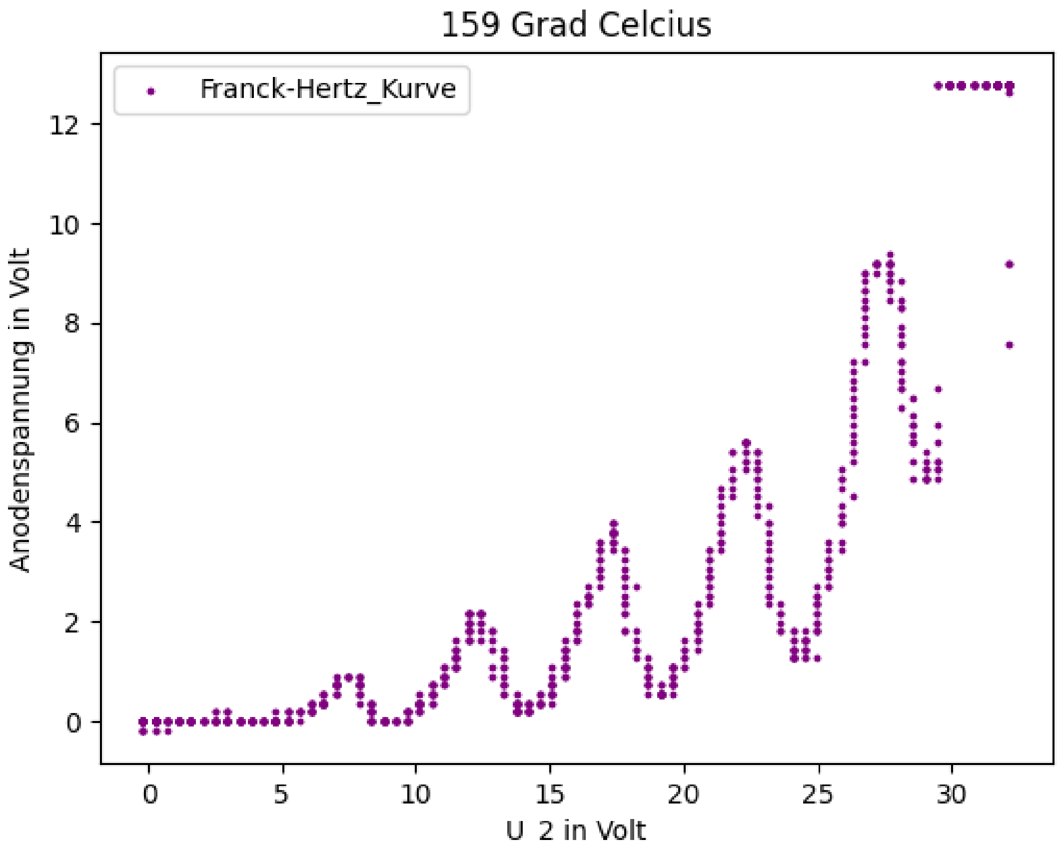
```
Index(['Frequenz(s)', 'Kanal A(V)', 'Kanal B(V)'], dtype='object')
```



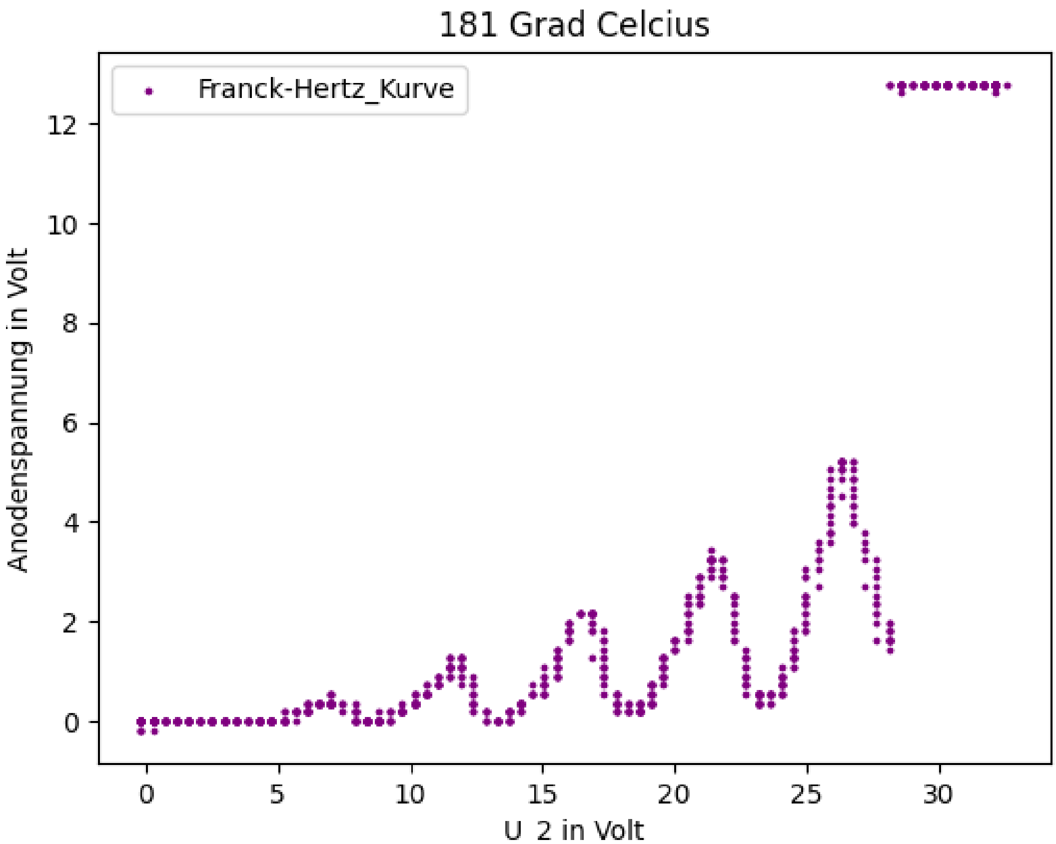

```
Index(['Frequenz(s)', 'Kanal A(V)', 'Kanal B(V)'], dtype='object')
13.28623
[array([115, 422, 825]), {'peak_heights': array([1.831110e-03, 3.059175e+00,
8.996246e+00])}]
```




```
Index(['Frequenz(s)', 'Kanal A(V)', 'Kanal B(V)'], dtype='object')
```




```
Index(['Frequenz(s)', 'Kanal A(V)', 'Kanal B(V)'], dtype='object')
```



[3]:
```
#U_err 0.01 V

fig, ax = plt.subplots()

table_data = [["Temperatur in Grad Celcius","Kathodenspannung in Volt","U_1 in␣
 ↪Volt","U_3 in Volt"],
              [120, 3.23, 3.20, 1.11,                          ],
              [140, 3.51, 3.34, 0.88,                          ],
              [159, 4.31, 4.43, 0.91,                             ],
              [181, 5.34, 4.93, 0.97,                            ]]


table = ax.table(cellText = table_data, loc='center')
table.set_fontsize(40)
table.scale(4,4)
ax.axis('off')
plt.show()
```

Temperatur in Grad Celcius	Kathodenspannung in Volt	U_1 in Volt	U_3 in Volt
120	3.23	3.2	1.11
140	3.51	3.34	0.88
159	4.31	4.43	0.91
181	5.34	4.93	0.97

Erhoehen wir die Beschleunigungsspannung, so steigt der Auffaengerstrom an. Durch die elastische Stoessen mit den Hg-Atomen verlieren die Elektronen nur wenig Energie und haben noch genug Energie um die Auffaengerelektrode zu erreichen.

Ab einer bestimmten Beschleunigungsspannung entspricht die Energie der Elektronen die niedrigste Anregungsenergie von Quecksilber (4.86 eV). Es kommt zu unelastischen Stoessen, wobei das Elektron diese Anregungsenergie an das Hg-Atom uebertraegt. Dadurch verliert das Elektron so viel Energie, dass es das Gegenfeld nicht mehr ueberwinden und die Auffaengerelektrode nicht mehr erreichen kann, wodurch der Auffaengerstrom sinkt.

Erhoeht man die Beschleunigungsspannug weiter, so steigt der Auffaengerstrom wieder an, bis die Energie der Elektroenen das Doppelte der Anregungsenergie entspricht, sodass die Elektronen zwei mal inelastisch Stossen koennen. Dieser Vorgang wiederholt sich.

Der Abstand zwischen den Maxima des Kurvenverkaufs entspricht der niedrigsten Anregungsenergie der Hg-Atome (ein Volt Spannung entspricht ein eV Energie bei Elektronen).

[ ]:

```

```

4.2 Aufgabe 2: Charakterisierung der Hg-Röhre

Hinweise zu Aufgabe 2 finden in der Datei Hinweise-Versuchsdurchfuehrung.md.

Charakterisieren Sie die Röhre, für die Einstellungen von ϑ, U_1 und U_3 aus **Aufgabe 1.2**, die Ihnen dafür am besten geeignet erscheinen. Bearbeiten Sie hierzu die folgenden Aufgaben.

4.2.1 Aufgabe 2.1: Bestimmung der Spannungsdifferenz ΔU_B und der effektiven Kontaktspannung $U_{\mathrm{th.}}$

- Bestimmen Sie die Spannungsdifferenz ΔU_B mit Hilfe der beobachteten Maxima und/oder Minima des Verlaufs von I_A.
- Bestimmen Sie die effektive Kontaktspannung $U_{\mathrm{th.}}$.
- Kalibrieren Sie für Ihre spätere Auswertung die x-Achse **aller aufgezeichneten Diagramme** entsprechend, so dass dort U_B angezeigt wird.

---

[4]:

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import PhyPraKit as ppk
```

```
fig, ax = plt.subplots()

table_data = [["Peak","U_2 in Volt"],
             [1,  8.35                    ],
              [2, 13.29  ],
              [3, 18.67     ],
              [ 4, 23.61     ],
              [ 5,  29.45   ]]


table = ax.table(cellText = table_data, loc='center')
table.set_fontsize(40)
table.scale(4,4)
ax.axis('off')
plt.show()
```

Peak	U_2 in Volt
1	8.35
2	13.29
3	18.67
4	23.61
5	29.45

Wir betrachten die Roehre bei 140 Grad Celcius.

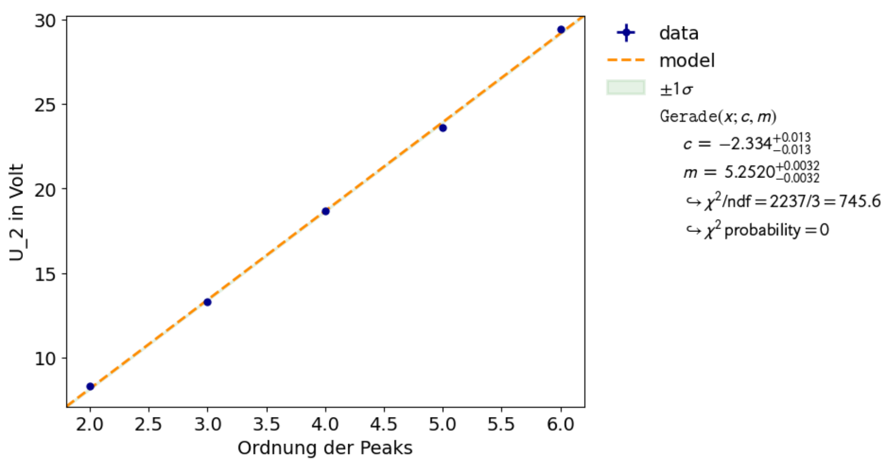
Die Spannungsdifferenzen zwischen den Maxima betragen:

[5]:
```
fig, ax = plt.subplots()

table_data = [["Temperatur in Grad Celcius","Differenz zw. Maximum 1, 2 in␣
 ↪Volt","Diff. zw. Maximum 2, 3 in Volt","Diff. zw. Maximum 3, 4 in␣
 ↪Volt","Diff. zw. Maximum 4, 5 in Volt","Mittelwert der Spannungsdifferenzen␣
 ↪in Volt"],
             [140,        4.94,  5.38,  4.94,  5.84, 5.28                          ␣
 ↪         ]]


table = ax.table(cellText = table_data, loc='center')
table.set_fontsize(40)
table.scale(4,4)
ax.axis('off')
plt.show()
```

Temperatur in Grad Celcius	Differenz zw. Maximum 1, 2 in Volt	Diff. zw. Maximum 2, 3 in Volt	Diff. zw. Maximum 3, 4 in Volt	Diff. zw. Maximum 4, 5 in Volt	Mittelwert der Spannungsdifferenzen in Volt
140	4.94	5.38	4.94	5.84	5.28

Wir plotten die Ordnung der Maxima gegen den Wert der Spannung beim jeweiligen Maximum:

[6]:
```
ordnung=np.array([2, 3, 4, 5, 6])

spannung=np.array([8.35, 13.29,18.67,23.61,29.45])

def Gerade(x,c,m):
    return m*x+c

ppk.phyTools.k2Fit(Gerade, ordnung, spannung , sy=0.01 , axis_labels =␣
 ↪['Ordnung der Peaks', 'U_2 in Volt'])
```



[6]:
```
(array([-2.334,  5.252]),
 array([[-0.01341641,  0.01341641],
        [-0.00316228,  0.00316228]]),
 array([[ 1.        , -0.94279738],
        [-0.94279738,  1.        ]]),
 2236.7999999999683)
```

Die effektive Kontaktspannung entspricht dem y-Achsenabschnitt:

$$U_{th.} = -2.334(\pm 0.013)V$$

[7]:
```
um = np.array([4.94,  5.38,  4.94,  5.84])


eerr = np.std(um)

print(eerr)
```

```
0.3723909236273084
```

Der Abstand zwischen den Maxima des Kurvenverkaufs entspricht der niedrigsten Anregungsenergie der Hg-Atome (ein Volt Spannung entspricht ein eV Energie bei Elektronen).

Damit koennen wir einen Mittelwert fuer die niedrigste Anregungsenergie der Hg-Atomen bestimmen:

$$\overline{E_A} = 5.28(\pm 0.37) eV$$

Dieser experimentell ermittelte Wert weicht um etwa 8.64% vom Literaturwert $E_{A,Lit.} = 4.86eV$ ab.

Moegliche Fehlerquellen sind Ungenauigkeiten bei der Bestimmung der Maxima und der Spannungen.

4.2.2 Aufgabe 2.2: Verlauf des Anodenstroms I_{G2}

- Bestimmen Sie den Anodenstrom I_{G2} als Funktion von U_2.
- Überprüfen Sie durch geeignete Auftragung die aus dem Raumladungsgesetz erwartete Abhängigkeit von U_2.

Mit einem Stromstaerkemessgeraet messen wir den Anodenstrom am Beschleunigungsgitter in Abhaengigkeit von U_2.

Wir ueberpruefen folgenden Zusammenhang des Raumladungsgesetzes:

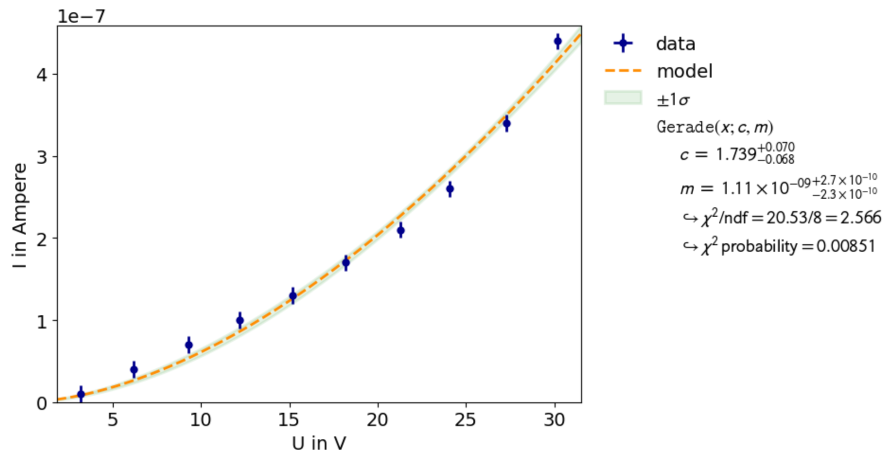
$$I_{G2} = \kappa (U_2 + U_1 - U_{th.})^{\frac{3}{2}}$$

mit der Raumladungskonstanten κ.

Ein Fit ergibt:

[8]:
```
I = np.array([  0.01  , 0.04 ,0.07, 0.10, 0.13 , 0.17  ,0.21,   0.26,   0.34,
 ↪0.44   ])*1/(10**6)#Ampere

U_2 = np.array([   3, 6   ,9.1 , 12.0, 15.0,18.0 ,21.1, 23.9, 27.1, 30.0]) #Volt


U_1 = 2.50

u=U_2+U_1-2.334
```

```python
def Gerade(x,c,m):
    return m*x**c

ppk.phyTools.k2Fit(Gerade, u, I, sx = 0.01, sy=0.01*(1/10**6) , axis_labels =␣
 ↪['U in V', 'I in Ampere'])
```




```
[8]: (array([1.73868478e+00, 1.11315645e-09]),
      array([[-6.75733728e-02,  7.02398852e-02],
             [-2.26609459e-10,  2.71696478e-10]]),
      array([[ 1.        , -0.99796508],
             [-0.99796508,  1.        ]]),
      20.52992853650023)
```

Wir erhalten

$$c = 1.739(\pm 0.069)$$

Dieser Wert weicht um etwa 15.87% vom erwarteten Wert 3/2 ab.

Beim Raumladungsgesetz geht man von einer evakuierten Diode aus, was bei uns nicht der Fall ist. Ausserdem wird durch die Tatsache, dass G_1 auf einem relativ zu K nicht verschwindenden Potential liegt, die Geometrie der elektrischen Feldlinien und der Röhre beeinflusst. Dadurch kommt es zu Abweichungen von der erwarteten Abhaengigkeit nach dem Raumladungsgesetz.

4.3 Aufgabe 3: Höhere Anregungen von Hg

Hinweise zu Aufgabe 3 finden in der Datei Hinweise-Versuchsdurchfuehrung.md.

Untersuchen Sie höhere Anregungen von Hg und schätzen Sie seine Ionisierungsenergie ab. Bearbeiten Sie hierzu die folgenden Aufgaben.

4.3.1 Aufgabe 3.1: Beobachtung höherer Anregungen von Hg

- Bestimmen Sie den Verlauf von I_A als Funktion von U_B unter Betriebsbedingungen, die für die Erzeugung höherer Anregungszustände in Hg geeignet sind.
- Versuchen Sie im Rahmen Ihrer Auswertung soviele Strukturen im Verlauf von I_A wie möglich zu identifizieren. Dieser wird im Wesentlichen durch Linearkombinationen der beiden niedrigsten Anregungsenergien bestimmt.

Damit unsere Elektronen Energien fuer hoehere Anregungen erreichen, muss das Elektron eine gewisse Zeit lang beschleunigt werden, ohne zu stossen. Um die Wahrscheinlichkeit fuer einen Stoss zu senken muss entsprechend die mittlere freie Weglaenge erhoeht werden, was sich durch eine Temperaturerniedrigung realisieren laesst.

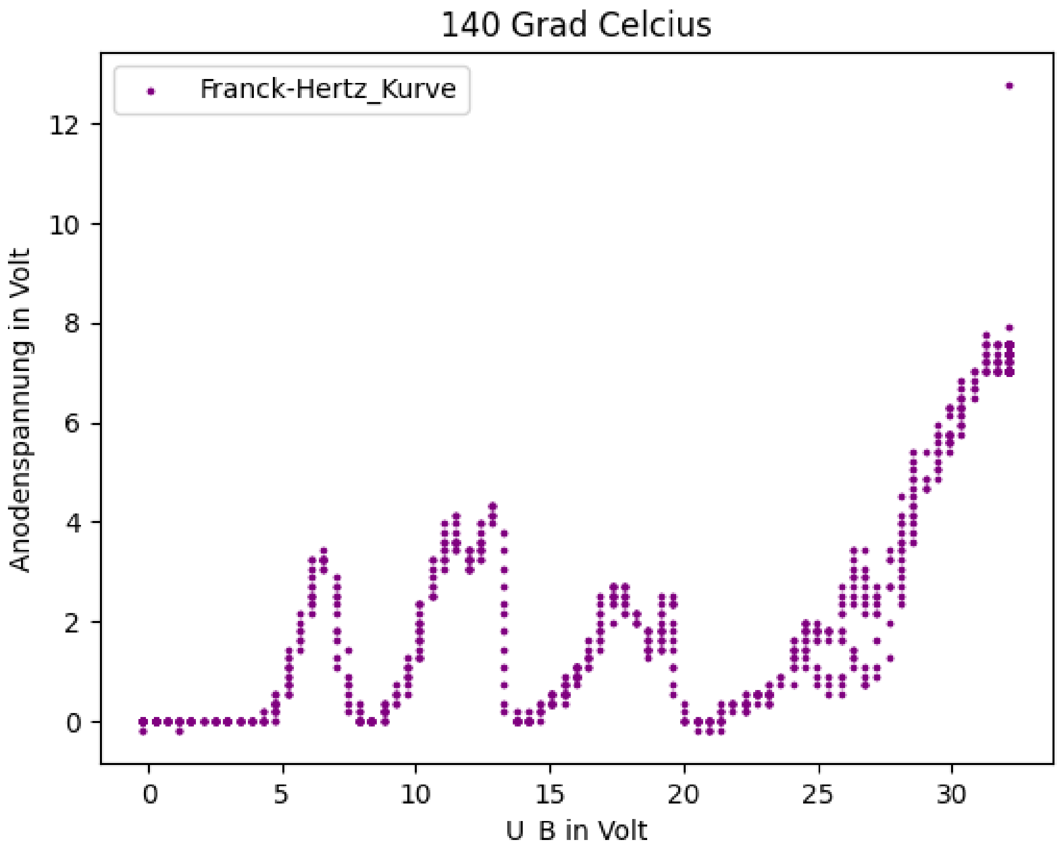
Die Stosswahrscheinlichkeit wird auch durch die Verringerung der Beschleunigungsstrecke gesenkt. Wir verwenden G_1 als Beschleunigungsgitter. Dazu wird U_1 und U_2 gleichgesetzt.

Um eine Gasentladung zu vermeiden wird die Kathodenspannung verringert.

Die Temperatur behalten wir bei 140 Grad Celcius.

[21]:
```python
df = pd.read_csv('hoere_anregungen.csv', delimiter =';', dtype = 'float64')

print(colomn3[389])#[, 765]
scipy.signal.find_peaks(colomn2)
print(list(scipy.signal.find_peaks(colomn2, height = (0,6),distance = 30)))

colomn1 = df['Frequenz(s)']
colomn2 = df['Kanal A(V)']
colomn3 = df['Kanal B(V)']

plt.scatter(colomn3,colomn2 ,  s=3,color='purple',label='Franck-Hertz_Kurve' )
plt.title('140 Grad Celcius')                     # Plot Beschriftung
plt.xlabel('U_B in Volt')                               # Achsenbeschriftung
plt.ylabel('Anodenspannung in Volt')
plt.legend()
plt.show()
```

```
12.83761
[array([ 79, 226, 283, 349, 389, 473, 510, 561, 621, 656, 695, 744, 789,
       819]), {'peak_heights': array([1.831110e-03, 3.419294e+00, 1.818903e-01,
4.138920e+00,
       4.318369e+00, 1.080355e+00, 2.699667e+00, 2.519608e+00,
       3.613392e-01, 5.413983e-01, 1.980041e+00, 3.419294e+00,
       4.498428e+00, 5.937681e+00])}]
```



Die Energien bei den Maxima entsprechen einer Linearkombination der beiden niedrigsten Anregungsenergien:

$$E = a \cdot E_1 + b \cdot E_2$$

wobei wir als Richtwerte die Literaturwerte

$E_1 = 4.86eV$ und $E_2 = 6.70eV$

verwenden.

Von der gemessenen Beschleunigungsspannung ziehen wir die zuvor bestimmte effektive Kontaktspannung ab.

[26]:
```
fig, ax = plt.subplots()

table_data = [["Peak Nummer","U_B gemessen in Volt","U_B korrigiert in Volt␣
↪(bzw. E in eV)","a","b","E_2 in eV"],
              [1,  6.55, 4.22,  1,0, "-"      ],
              [2  ,11.49   ,   9.16, 2, 0, "-"  ],
              [3,  12.84 , 10.50, 1, 1, 5.64  ],
```

```
              [4 , 17.33 , 14.99, 2, 1, 5.27],
              [5,  19.12 ,16.79,1, 2,  5.97]]


table = ax.table(cellText = table_data, loc='center')
table.set_fontsize(40)
table.scale(4,4)
ax.axis('off')
plt.show()

v = np.array([5.64, 5.27,2.97])
print(np.std(v))
```

Peak Nummer	U_B gemessen in Volt	U_B korrigiert in Volt (bzw. E in eV)	a	b	E_2 in eV
1	6.55	4.22	1	0	-
2	11.49	9.16	2	0	-
3	12.84	10.5	1	1	5.64
4	17.33	14.99	2	1	5.27
5	19.12	16.79	1	2	5.97

```
1.1811388101696128
```

Wir erhalten einen Mittelwert von

$\overline{E_2} = 5.63(\pm 1.18)eV$

Dieser experimentell ermittelte Wert weicht um etwa 16% vom Literaturwert $E_{2,Lit.} = 6.70eV$ ab, liegt jedoch im Fehlerintervall.

Die Peaks in der Franck-Hertz-Kurve sind nicht sonderlich gut ausgepraegt, sodass Ungenauigkeiten beim Bestimmen der Lage der Maxima enstehen. Auch hier ist die genaue Kontaktspannung unbekannt, sodass wir lediglich mit einer ungenauen effektiven Kontaktspannung korrigieren mussten.

Fuer hoehere Spannungen steigt die Anzahl der moeglichen Linearkombinationen, sodass diese sich immer mehr ueberlagerten und die einzelnen Peaks der Kurve nicht mehr zu unterscheiden sind.

4.3.2 Aufgabe 3.2: Ionisierungsenergie von Hg

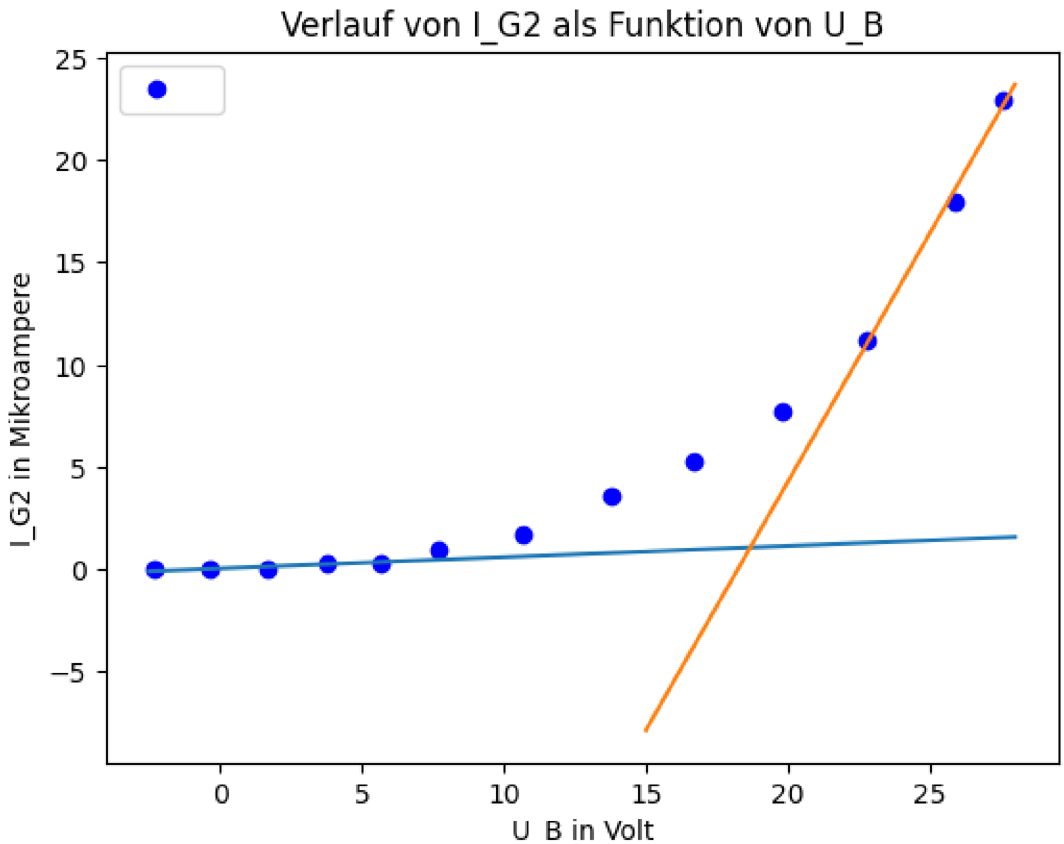
- Bestimmen Sie aus dem Verlauf von I_{G_2} als Funktion von U_B die Ionisierungsenergie von Hg.
- Beobachten Sie mit dem Taschenspektroskop die im Bereich des sichtbaren Lichts liegenden Emissionslinien bei brennender Gasentladung. Lassen Sie hierzu eine ständige Gasentladung zünden. Fügen Sie Ihrem Protokoll ein entsprechendes Bild zu.

Die Ionisierungsenergie ist die Energie die benoetigt wird, um ein Elektron aus dem Hg-Atom herauszuloesen. Diese betraegt 10.44 eV.

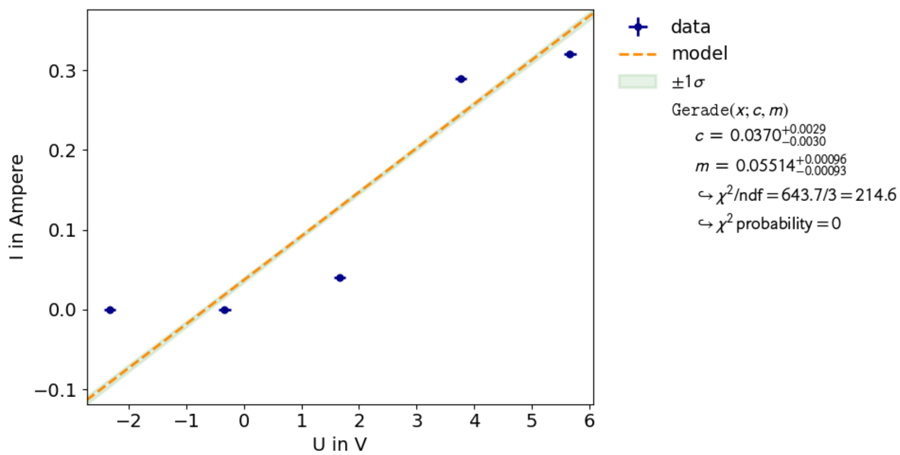
Auch hier muessen wir wie in 3.1 die Stosswahrscheinlichkeit verringern.

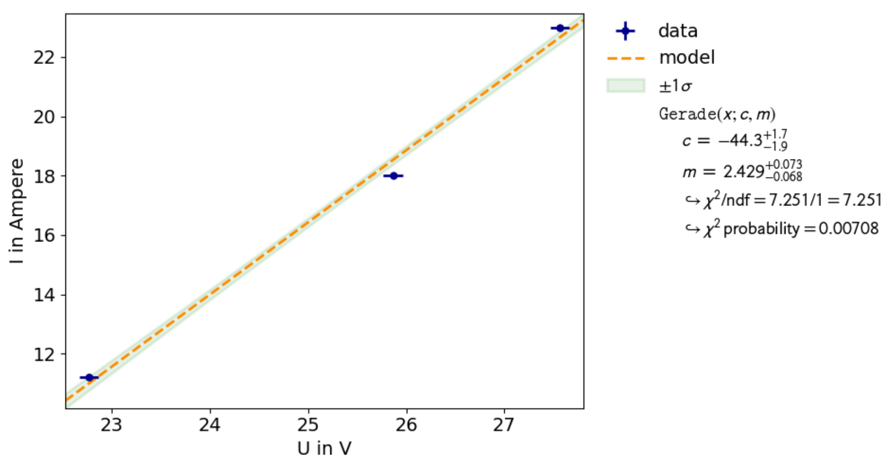
Wir messen den Anodestrom und tragen diese als Funktion von U_B auf.

[116]:
```
U_B = np.array([ 0,  2.0 ,4.0  ,6.1 , 8.0 ,10.0, 13.0 , 16.1,19.0,22.1,25.1, 28.
↪2,29.9 ])-2.334

Ig2 = np.array([0,0,0.04 , 0.29,0.32,0.92, 1.73,3.58, 5.31, 7.74,11.21,18.00,22.
↪98])

xa = np.array([0,  2.0 ,4.0  ,6.1 , 8.0])-2.334
ya = np.array([0,0,0.04 , 0.29,0.32])

xl = np.array([25.1, 28.2,29.9])-2.334
yl = np.array([11.21,18.00,22.98])

x = np.linspace(-2.5,28, 200)
x2 = np.linspace(15,28, 200)
def Gerade1(x):
    return 0.055*x+0.037

def Gerade2(x):
    return 2.429*x-44.3

plt.plot(U_B, Ig2, 'o',color='blue',label=' ')
plt.plot(x, Gerade1(x))
plt.plot(x2, Gerade2(x2))
plt.title('Verlauf von I_G2 als Funktion von U_B')
plt.xlabel('U_B in Volt')
plt.ylabel('I_G2 in Mikroampere')
plt.legend()
plt.show()
```



[110]:
```
xa = np.array([0,  2.0 ,4.0  ,6.1 , 8.0])-2.334
ya = np.array([0,0,0.04 , 0.29,0.32])

xl = np.array([25.1, 28.2,29.9])-2.334
yl = np.array([11.21,18.00,22.98])

def Gerade(x,c,m):
    return m*x+c

ppk.phyTools.k2Fit(Gerade, xa, ya, sx = 0.1, sy=0.01*(1/10**6) , axis_labels =
 ['U in V', 'I in Ampere'])
ppk.phyTools.k2Fit(Gerade, xl, yl, sx = 0.1, sy=0.01*(1/10**6) , axis_labels =
 ['U in V', 'I in Ampere'])
```





[110]:
```
(array([-44.2926256 ,   2.42877699]),
 array([[-1.85150921,  1.74450697],
        [-0.0684683 ,  0.07267921]]),
 array([[ 1.        , -0.99697276],
        [-0.99697276,  1.        ]]),
 7.251451282429592)
```

Wir bestimmen den Schnittpunkt der beiden Geraden

$$y = 0.055x + 0.037$$

und

$$y = 2.429x - 44.3$$

Der x-Wert des Schnittpunktes und damit die Ionisierungsenergie von Quecksilber-Atomen betraegt:

$$E_{ion} = 18.68(\pm 0.94)eV$$

Dieser experimentell ermittelte Wert weicht stark vom Literaturwert 10.44 eV ab.

Leider konnten wir mit unseren Messwerten im Plot keinen sprunghaften Anstieg des Anodenstroms erkennen, die infolge der Ionisation auftritt. Dadurch laesst sich die Ionisationsenergie nicht genau bestimmen, sodass der experimentell ermittelte Wert stark vom Literaturwert abweicht.

Bei der Gasentladung konnten wir mit dem Taschenspektroskop das zu erwartende Spektrum mit Linien im violetten, blauen, gruenen und gelben Bereich beobachten.

4.4 Aufgabe 4: Bestimmung der mittleren Energie für die Anregung von Ne durch Elektronenstoß

Hinweise zu Aufgabe 4 finden in der Datei Hinweise-Versuchsdurchfuehrung.md.

Bestimmen Sie die mittlere Energie für die vorherrschenden Anregungen von Ne durch Elektronenstoß. Gehen Sie dabei analog zu **Aufgabe 2.1** vor.

Analog zu 2.1 messen wir den Spannungsunterschied zwischen den Maxima im Kurvenverlauf.

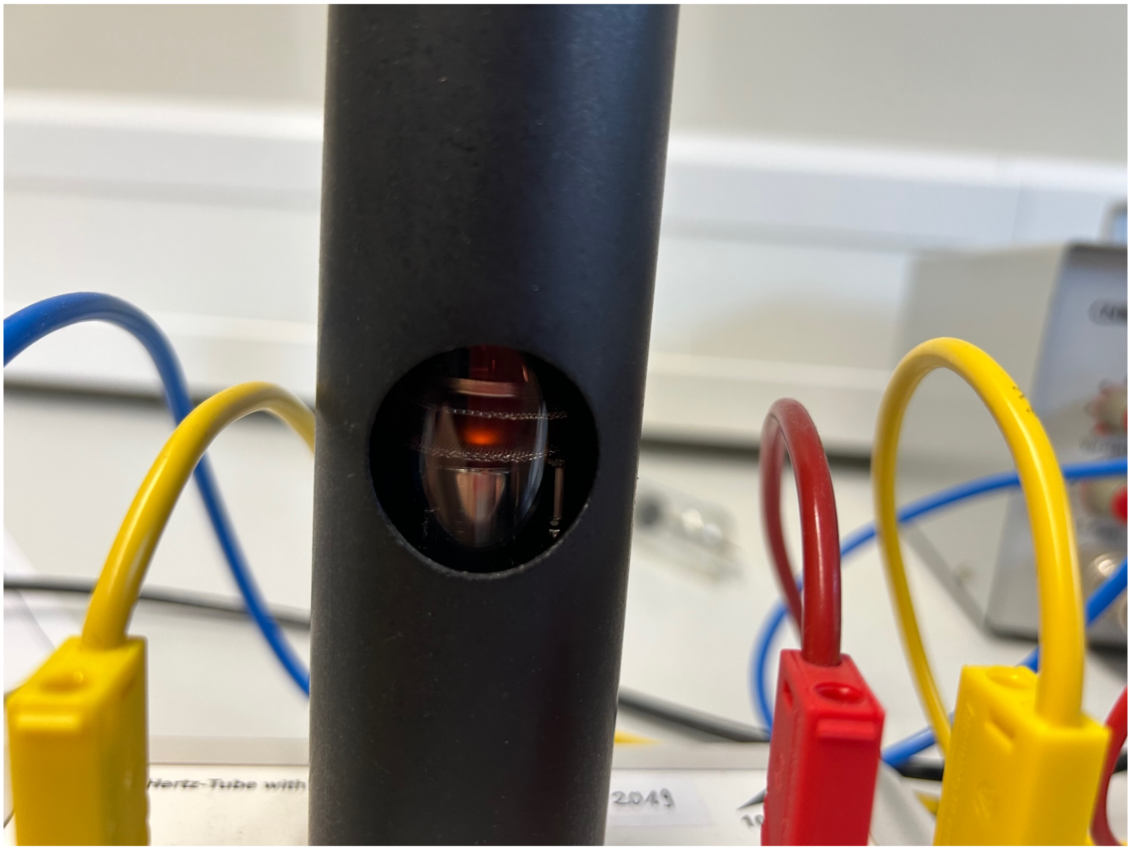
[40]:
```python
import numpy as np
Max1 = 15
Max2 = 32
Max3 = 57

diff1=Max2-Max1
diff2=Max3-Max2

ma = (17+ 25)/2

print(ma)
```

```
21.0
```

Durch Mittelwertbildung erhalten wir fuer die mittlere Anregungsenergie von Neon einen Wert von $E = 21.0eV$.

Dieser Wert weicht um etwa 10.52% vom Literaturwert $E_{Lit.} = 19.0eV$ ab.

Ursache fuer diese Abweichung sind Ablesefehler an der recht groben Skala des Oszilloskops.


Hertz-Tube with
2049

```
[ ]:
```