

# 1.1

September 9, 2021

```
[1]: %matplotlib inline
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
from scipy.optimize import curve_fit
```

```
[18]: df = pd.read_excel('1.1_photoeffect.xlsx')
```

```
[3]: def chi_sq(x, y, err):
    function = lambda x, a, b: a * x + b
    popt, pcov = curve_fit(function, xdata=x, ydata=y, sigma=err)

    sigma_a = np.sqrt(pcov[0, 0])
    sigma_b = np.sqrt(pcov[1, 1])

    return popt[0], popt[1], sigma_a, sigma_b
```

```
[19]: df
```

```
[19]:
```

	color	value	mis	Unnamed: 3	green_voltage	v_s	v_eps	\
0	yellow	2192.0	1.0	0.000456	3.314	0.001	0.000302	
1	green	1928.0	1.0	0.000519	3.200	0.001	0.000313	
2	orange	2326.0	1.0	0.000430	2.640	0.001	0.000379	
3	red_1	2378.0	1.0	0.000421	2.280	0.001	0.000439	
4	red_2	2406.0	1.0	0.000416	1.500	0.001	0.000667	
5	red_3	2432.0	1.0	0.000411	1.000	0.001	0.001000	
6	NaN	NaN	NaN	NaN	0.839	0.001	0.001192	
7	NaN	NaN	NaN	NaN	0.779	0.001	0.001284	
8	NaN	NaN	NaN	NaN	0.705	0.001	0.001418	
9	NaN	NaN	NaN	NaN	0.586	0.001	0.001706	
10	NaN	NaN	NaN	NaN	0.251	0.001	0.003984	
11	NaN	NaN	NaN	NaN	0.097	0.001	0.010309	
12	NaN	NaN	NaN	NaN	0.007	0.001	0.142857	
13	NaN	NaN	NaN	NaN	-0.331	-0.001	0.003021	
14	NaN	NaN	NaN	NaN	-0.494	-0.001	0.002024	
15	NaN	NaN	NaN	NaN	-0.536	-0.001	0.001866	

16	NaN	NaN	NaN	NaN	-0.580	-0.001	0.001724
17	NaN	NaN	NaN	NaN	-0.597	-0.001	0.001675
18	NaN	NaN	NaN	NaN	-0.615	-0.001	0.001626
19	NaN	NaN	NaN	NaN	-0.634	-0.001	0.001577
20	NaN	NaN	NaN	NaN	-0.643	-0.001	0.001555
21	NaN	NaN	NaN	NaN	-0.660	-0.001	0.001515
22	NaN	NaN	NaN	NaN	-0.678	-0.001	0.001475
23	NaN	NaN	NaN	NaN	-0.695	-0.001	0.001439
24	NaN	NaN	NaN	NaN	-0.724	-0.001	0.001381
25	NaN	NaN	NaN	NaN	-0.732	-0.001	0.001366
26	NaN	NaN	NaN	NaN	-0.749	-0.001	0.001335
27	NaN	NaN	NaN	NaN	-0.757	-0.001	0.001321
28	NaN	NaN	NaN	NaN	-0.760	-0.001	0.001316
29	NaN	NaN	NaN	NaN	-0.892	-0.001	0.001121
30	NaN	NaN	NaN	NaN	-0.870	-0.001	0.001149
31	NaN	NaN	NaN	NaN	-0.907	-0.001	0.001103
32	NaN	NaN	NaN	NaN	-0.931	-0.001	0.001074
33	NaN	NaN	NaN	NaN	-0.989	-0.001	0.001011
34	NaN	NaN	NaN	NaN	-1.055	-0.001	0.000948
35	NaN	NaN	NaN	NaN	-1.095	-0.001	0.000913
36	NaN	NaN	NaN	NaN	-1.144	-0.001	0.000874

	green_current	1978_voltage	1978_current	...	1828_sq	1828_sigma	\
0	0.6480	-1.924	-0.061	...	0.225832	0.002214	
1	0.6480	-1.965	-0.061	...	0.161245	0.003101	
2	0.6480	-1.941	-0.060	...	0.109545	0.004564	
3	0.6480	-1.934	-0.059	...	0.031623	0.015811	
4	0.6480	-1.881	-0.058	...	-0.089443	-0.005590	
5	0.6480	-1.700	-0.056	...	-0.118322	-0.004226	
6	0.6460	-1.318	-0.054	...	-0.151658	-0.003297	
7	0.6420	-1.200	-0.053	...	-0.173205	-0.002887	
8	0.6370	-0.977	-0.050	...	-0.187083	-0.002673	
9	0.6300	-0.896	-0.047	...	-0.197484	-0.002532	
10	0.6010	-0.854	-0.044	...	-0.207364	-0.002411	
11	0.5850	-0.823	-0.040	...	-0.209762	-0.002384	
12	0.5720	-0.801	-0.037	...	-0.214476	-0.002331	
13	0.4950	-0.778	-0.033	...	-0.219089	-0.002282	
14	0.3340	-0.753	-0.027	...	-0.219089	-0.002282	
15	0.2450	-0.735	-0.021	...	-0.223607	-0.002236	
16	0.1640	-0.719	-0.015	...	NaN	NaN	
17	0.1400	-0.710	-0.011	...	NaN	NaN	
18	0.1150	-0.698	-0.005	...	NaN	NaN	
19	0.0093	-0.673	0.012	...	NaN	NaN	
20	0.0820	-0.632	0.042	...	NaN	NaN	
21	0.0660	-0.650	0.027	...	NaN	NaN	
22	0.0510	NaN	NaN	...	NaN	NaN	
23	0.0380	NaN	NaN	...	NaN	NaN	

24	0.0210	NaN	NaN	...	NaN	NaN
25	0.0160	NaN	NaN	...	NaN	NaN
26	0.0100	NaN	NaN	...	NaN	NaN
27	0.0060	NaN	NaN	...	NaN	NaN
28	0.0040	NaN	NaN	...	NaN	NaN
29	-0.0240	NaN	NaN	...	NaN	NaN
30	-0.0440	NaN	NaN	...	NaN	NaN
31	-0.0470	NaN	NaN	...	NaN	NaN
32	-0.0490	NaN	NaN	...	NaN	NaN
33	-0.0520	NaN	NaN	...	NaN	NaN
34	-0.0540	NaN	NaN	...	NaN	NaN
35	-0.0540	NaN	NaN	...	NaN	NaN
36	-0.0540	NaN	NaN	...	NaN	NaN

	1778_vol	1778_cur	1778_sq	1778_sigma	1728_vol	1728_cur	1728_sq	\
0	-1.363	-0.050	-0.223607	-0.002236	-0.696	0.066	0.256905	
1	-1.321	-0.050	-0.223607	-0.002236	-0.750	0.029	0.170294	
2	-1.269	-0.050	-0.223607	-0.002236	-0.782	0.011	0.104881	
3	-1.173	-0.048	-0.219089	-0.002282	-0.804	0.000	0.000000	
4	-1.121	-0.047	-0.216795	-0.002306	-0.824	-0.009	-0.094868	
5	-1.092	-0.046	-0.214476	-0.002331	-0.835	-0.013	-0.114018	
6	-1.048	-0.044	-0.209762	-0.002384	-0.860	-0.021	-0.144914	
7	-1.002	-0.042	-0.204939	-0.002440	-0.894	-0.030	-0.173205	
8	-0.974	-0.041	-0.202485	-0.002469	-0.911	-0.033	-0.181659	
9	-0.947	-0.038	-0.194936	-0.002565	-0.931	-0.036	-0.189737	
10	-0.916	-0.034	-0.184391	-0.002712	-0.950	-0.039	-0.197484	
11	-0.888	-0.030	-0.173205	-0.002887	-0.978	-0.042	-0.204939	
12	-0.849	-0.022	-0.148324	-0.003371	-1.008	-0.045	-0.212132	
13	-0.826	-0.016	-0.126491	-0.003953	-1.032	-0.047	-0.216795	
14	-0.799	-0.007	-0.083666	-0.005976	-1.054	-0.048	-0.219089	
15	-0.779	-0.003	-0.054772	-0.009129	-1.079	-0.050	-0.223607	
16	-0.745	0.020	0.141421	0.003536	-1.112	-0.050	-0.223607	
17	-0.730	0.028	0.167332	0.002988	NaN	NaN	NaN	
18	-0.719	0.036	0.189737	0.002635	NaN	NaN	NaN	
19	-0.696	0.052	0.228035	0.002193	NaN	NaN	NaN	
20	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
21	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
22	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
23	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
24	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
25	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
26	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
27	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
28	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
29	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
30	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
31	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	

32	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
33	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
34	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
35	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
36	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

	1728_sigma
0	0.001946
1	0.002936
2	0.004767
3	0.001000
4	-0.005270
5	-0.004385
6	-0.003450
7	-0.002887
8	-0.002752
9	-0.002635
10	-0.002532
11	-0.002440
12	-0.002357
13	-0.002306
14	-0.002282
15	-0.002236
16	-0.002236
17	NaN
18	NaN
19	NaN
20	NaN
21	NaN
22	NaN
23	NaN
24	NaN
25	NaN
26	NaN
27	NaN
28	NaN
29	NaN
30	NaN
31	NaN
32	NaN
33	NaN
34	NaN
35	NaN
36	NaN

[37 rows x 40 columns]

```
[ ]:
```

```
[5]: sns.set_theme()
```

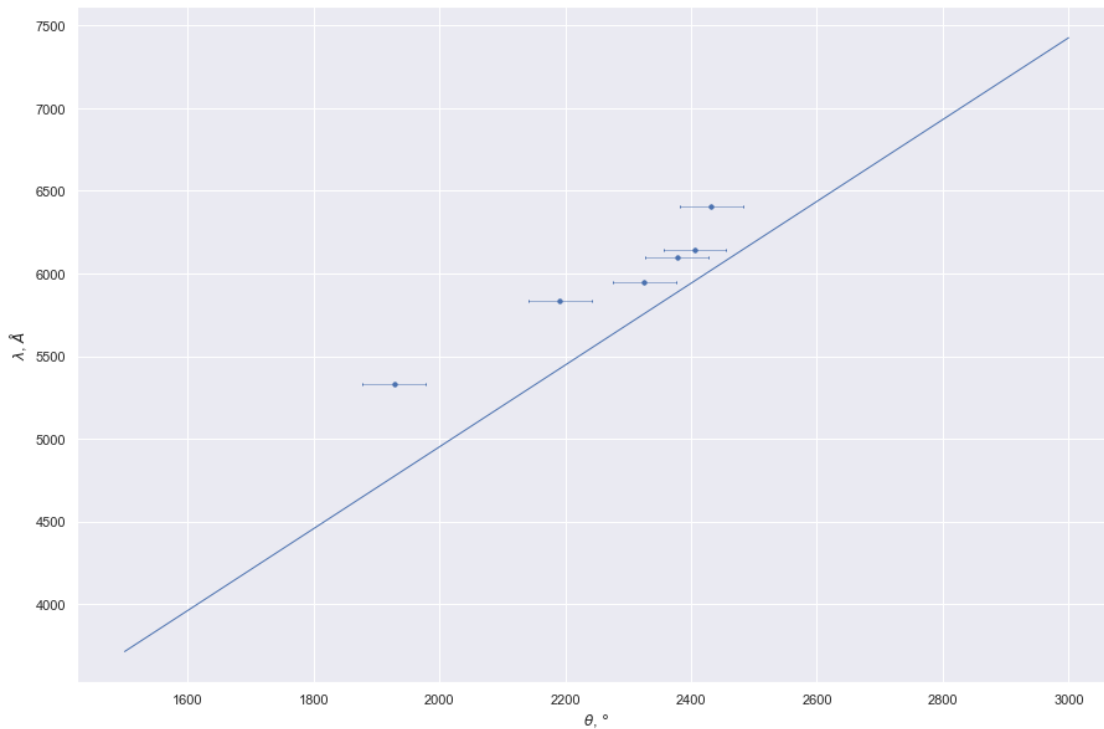
0.001 , , - 0.001

```
[166]: theta = np.array(df['value'][0:6])
lmbd = np.array([5835, 5330, 5945, 6096, 6143, 6402])
err = np.ones(6) * 50

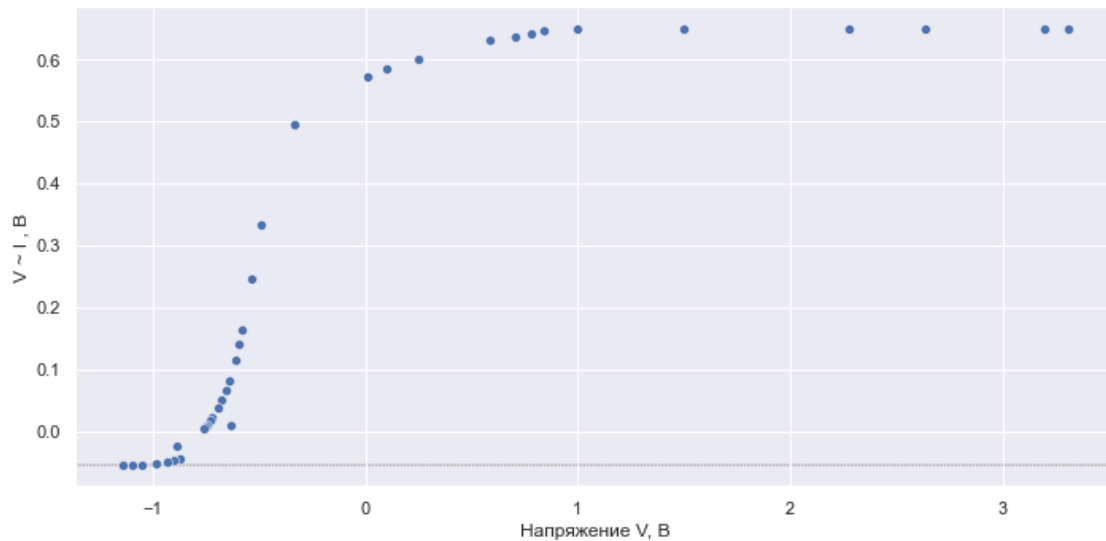
x = np.linspace(1500, 3000, 500)
a_,b_,s_,e_ = chi_sq(theta, lmbd, None)
y = a * x + b
plt.plot(x, y, lw = 1)

plt.errorbar(theta, lmbd, xerr = err, yerr= None, fmt='.',
             ↪',color='b',capthick=1,elinewidth=0.5,capsize=1,zorder=10 )
plt.scatter(theta, lmbd, marker = '.', color = 'b' )
plt.xlabel('$\\theta$, $\\text{degree}$ ')
plt.ylabel('$\\lambda$, $\\text{\\AA}$')
```

```
[166]: Text(0, 0.5, '$\\lambda$, $\\text{\\AA}$')
```



```
[6]: g = sns.relplot(
      data=df,
      x="green_voltage", y="green_current",
      height=5, aspect=2, kind="scatter"
    )
    (g.map(plt.axhline, y=-0.054, color=".7", dashes=(1, 0.5), zorder=0)
     .set_axis_labels("      V, ", "V ~ I , ")
     .tight_layout(w_pad=0))
```



-1

```
[20]: plt.rcParams["figure.figsize"] = (15,10)

plt.scatter(df['1978_voltage'], df['1978_current'], color = 'r', marker = '.',
            ↪label = '1978')
y = np.ones(df['1978_voltage'].size) * (-0.061)
plt.plot(df['1978_voltage'], y, color = 'r', lw = 0.5 )

plt.scatter(df['2028_voltage'], df['2028_current'], color = 'k', marker = '.',
            ↪label = '2028')
y = np.ones(df['1978_voltage'].size) * (-0.054)
plt.plot(df['1978_voltage'], y, color = 'k', lw = 0.5 )

x = np.sqrt(df['2078_vol'])
plt.scatter(df['2078_vol'], df['2078_cur'] , color = 'b', marker = '.', label =
            ↪'2078')
y = np.ones(df['1978_voltage'].size) * (-0.054)
plt.plot(df['1978_voltage'], y, color = 'b', lw = 0.5 )
```

```

x = np.sqrt(df['2128_vol'])
plt.scatter(df['2128_vol'], df['2128_cur'], color = 'm', marker = '.', label = '2128')

y = np.ones(df['1978_voltage'].size) * (-0.052)
plt.plot(df['1978_voltage'], y, color = 'm', lw = 0.5 )

x = np.sqrt(df['1878_vol'])
plt.scatter(df['1878_vol'], df['1878_cur'], color = 'brown', marker = 'x', label = '1878')

y = np.ones(df['1978_voltage'].size) * (-0.05)
plt.plot(df['1978_voltage'], y, color = 'brown', lw = 0.5 )

plt.scatter(df['1828_vol'], df['1828_cur'], color = 'g', marker = 'x', label = '1828')

y = np.ones(df['1978_voltage'].size) * (-0.048)
plt.plot(df['1978_voltage'], y, color = 'g', lw = 0.5 )

plt.scatter(df['1778_vol'], df['1778_cur'], color = 'c', marker = 'x', label = '1778')

y = np.ones(df['1978_voltage'].size) * (-0.05)
plt.plot(df['1978_voltage'], y, color = 'c', lw = 0.5 )

plt.scatter(df['1728_vol'], df['1728_cur'], color = 'y', marker = 'x', label = '1728')

y = np.ones(df['1978_voltage'].size) * (-0.05)
plt.plot(df['1978_voltage'], y, color = 'y', lw = 0.5 )

plt.xlabel('V, ')
plt.legend()
plt.ylabel('V ~ I, ')

```

C:\Users\Olga\anaconda3\lib\site-packages\pandas\core\series.py:726:

RuntimeWarning: invalid value encountered in sqrt

result = getattr(ufunc, method)(\*inputs, \*\*kwargs)

C:\Users\Olga\anaconda3\lib\site-packages\pandas\core\series.py:726:

RuntimeWarning: invalid value encountered in sqrt

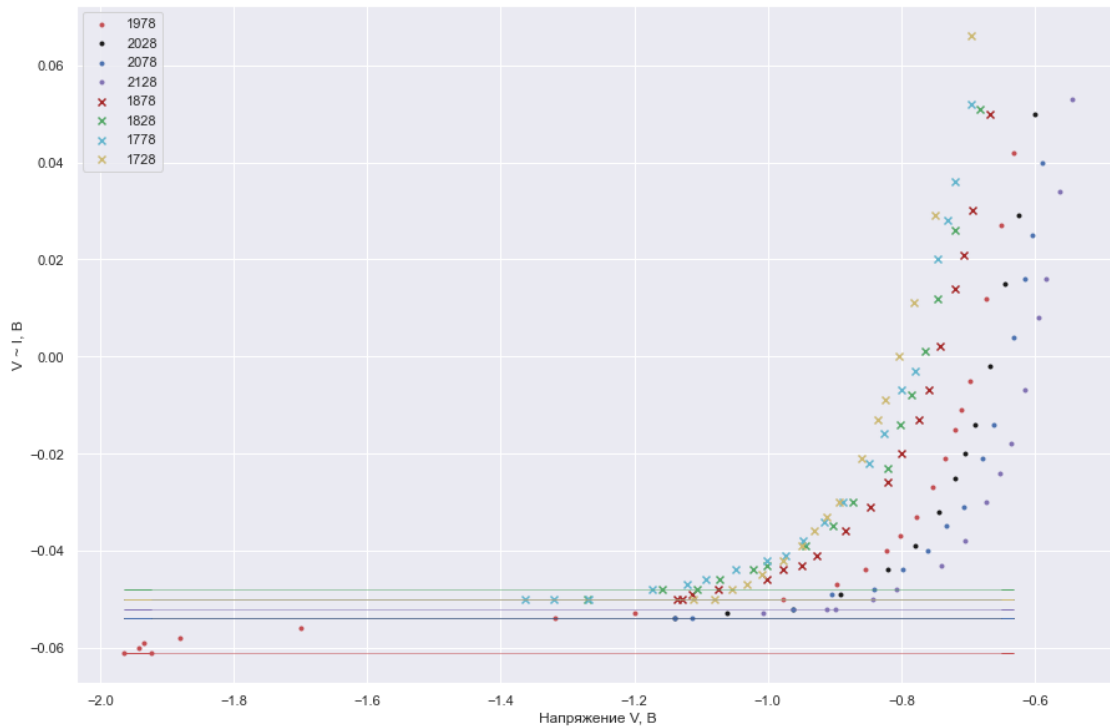
result = getattr(ufunc, method)(\*inputs, \*\*kwargs)

C:\Users\Olga\anaconda3\lib\site-packages\pandas\core\series.py:726:

RuntimeWarning: invalid value encountered in sqrt

result = getattr(ufunc, method)(\*inputs, \*\*kwargs)

[20]: Text(0, 0.5, 'V ~ I, ')



```
[139]: plt.rcParams["figure.figsize"] = (15,10)
v_0 = []
v_0_mis = []

plt.scatter(df['1978_voltage'], df['1978_sq'], color = 'r', marker = '.', label_
    ↳ '1978')
a, b, s, e = chi_sq(df['1978_voltage'][12:21], df['1978_sq'][12:21], None)
    ↳ #df['1978_sigma'][12:21])
x = np.array(df['1978_voltage'][12:21])
y = a * x + b
plt.plot(x, y, color = 'r', lw = 0.5)
v = (-0.2191 - b)/a
v_mis = v * np.sqrt((0.001/(-0.2191))**2 + (s/a)**2 + (e/b)**2)
v_0.append(v)
v_0_mis.append(v_mis)

plt.scatter(df['2028_voltage'], df['2028_sq'], color = 'k', marker = '.', label_
    ↳ '2028')
a, b, s, e = chi_sq(df['2028_voltage'][1:8], df['2028_sq'][1:8],
    ↳ None) #df['2028_sigma'][1:8])
x = np.array(df['2028_voltage'][1:8])
y = a * x + b
plt.plot(x, y, color = 'k', lw = 0.5)
```



```

v = (-0.2191 - b)/a
v_mis = v * np.sqrt((0.001/(-0.2191))**2 + (s/a)**2 + (e/b)**2)
v_0.append(v)
v_0_mis.append(v_mis)

plt.scatter(df['2078_vol'], df['2078_sq'], color = 'b', marker = '.', label =
↳ '2078')
a, b, s, e = chi_sq(df['2078_vol'][8:14],df['2078_sq'][8:14],None)#
↳ df['2078_sigma'][8:14])
x = np.array(df['2078_vol'][8:14])
y = a * x + b
plt.plot(x, y, color = 'b', lw = 0.5)
v = (-0.2191 - b)/a
v_mis = v * np.sqrt((0.001/(-0.2191))**2 + (s/a)**2 + (e/b)**2)
v_0.append(v)
v_0_mis.append(v_mis)

plt.scatter(df['2128_vol'], df['2128_sq'], color = 'm', marker = '.', label =
↳ '2128')
a, b, s, e = chi_sq(df['2128_vol'][0:8],df['2128_sq'][0:8],
↳ None)#df['2128_sigma'][0:8])
x = np.array(df['2128_vol'][0:8])
y = a * x + b
plt.plot(x, y, color = 'm', lw = 0.5)
v = (-0.2191 - b)/a
v_mis = v * np.sqrt((0.001/(-0.2191))**2 + (s/a)**2 + (e/b)**2)
v_0.append(v)
v_0_mis.append(v_mis)

plt.scatter(df['1878_vol'], df['1878_sq'], color = 'maroon', marker = 'x',
↳ label = '1878')
a, b, s, e = chi_sq(df['1878_vol'][9:19],df['1878_sq'][9:19],None)#
↳ df['1878_sigma'][9:19])
x = np.array(df['1878_vol'][9:19])
y = a * x + b
plt.plot(x, y, color = 'maroon', lw = 0.5)
v = (-0.2191 - b)/a
v_mis = v * np.sqrt((0.001/(-0.2191))**2 + (s/a)**2 + (e/b)**2)
v_0.append(v)
v_0_mis.append(v_mis)

plt.scatter(df['1828_vol'], df['1828_sq'], color = 'g', marker = 'x', label =
↳ '1828')
a, b, s, e = chi_sq(df['1828_vol'][0:7],df['1828_sq'][0:7],
↳ None)#df['1828_sigma'][0:7])
x = np.array(df['1828_vol'][0:7])

```

```

y = a * x + b
plt.plot(x, y, color = 'g', lw = 0.5)
v = (-0.2191 - b)/a
v_mis = v * np.sqrt((0.001/(-0.2191))**2 + (s/a)**2 + (e/b)**2)
v_0.append(v)
v_0_mis.append(v_mis)

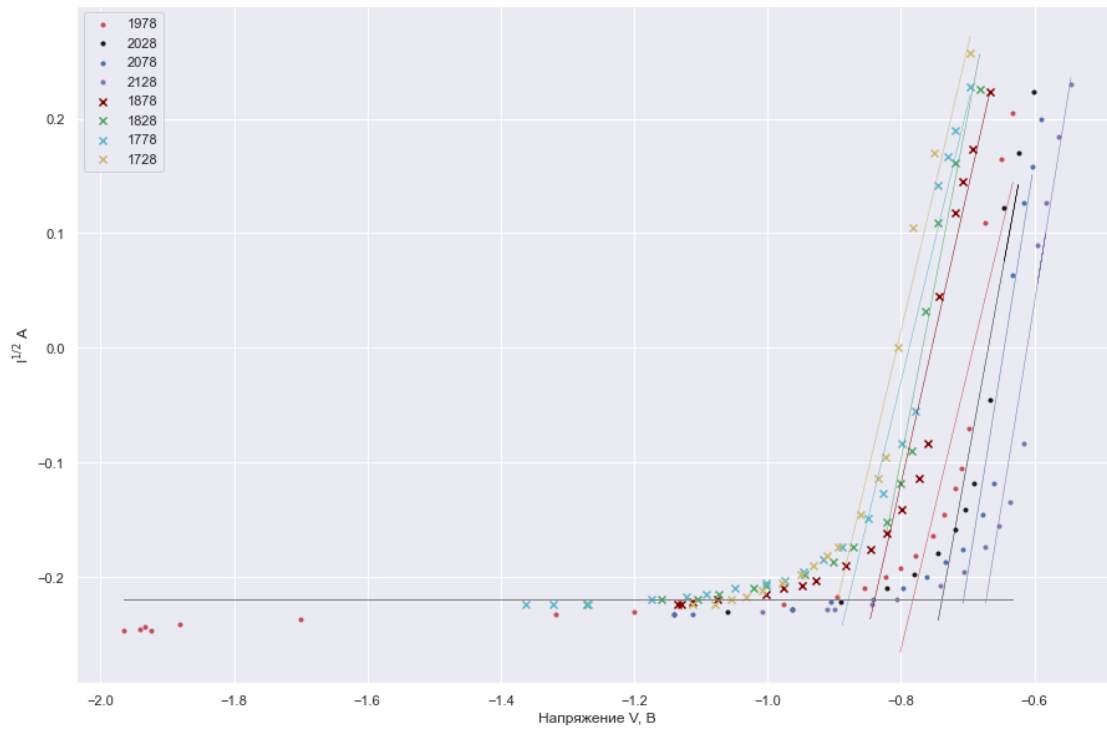
plt.scatter(df['1778_vol'], df['1778_sq'], color = 'c', marker = 'x', label = '1778')
a, b, s, e = chi_sq(df['1778_vol'][11:20], df['1778_sq'][11:20], None) # df['1778_sigma'][11:20])
x = np.array(df['1778_vol'][11:20])
y = a * x + b
plt.plot(x, y, color = 'c', lw = 0.5)
v = (-0.2191 - b)/a
v_mis = v * np.sqrt((0.001/(-0.2191))**2 + (s/a)**2 + (e/b)**2)
v_0.append(v)
v_0_mis.append(v_mis)

plt.scatter(df['1728_vol'], df['1728_sq'], color = 'y', marker = 'x', label = '1728')
a, b, s, e = chi_sq(df['1728_vol'][0:8], df['1728_sq'][0:8], None) # df['1728_sigma'][0:8])
x = np.array(df['1728_vol'][0:8])
y = a * x + b
plt.plot(x, y, color = 'y', lw = 0.5)
v = (-0.2191 - b)/a
v_mis = v * np.sqrt((0.001/(-0.2191))**2 + (s/a)**2 + (e/b)**2)
v_0.append(v)
v_0_mis.append(v_mis)

y = np.ones(df['1978_voltage'].size) * (-0.219089023)
plt.plot(df['1978_voltage'], y, color = 'grey', lw = 1)
plt.xlabel('V, ')
plt.legend()
plt.ylabel('I$^{1/2}$ A')

```

[139]: Text(0, 0.5, 'I\$^{1/2}\$ A')



[140]: v\_0

[140]: [-0.7818520473685202,  
-0.7381571919001547,  
-0.7060016300506716,  
-0.6719909052592061,  
-0.8392093363575084,  
-0.8405979915879467,  
-0.8785483010639872,  
-0.894427260282262]

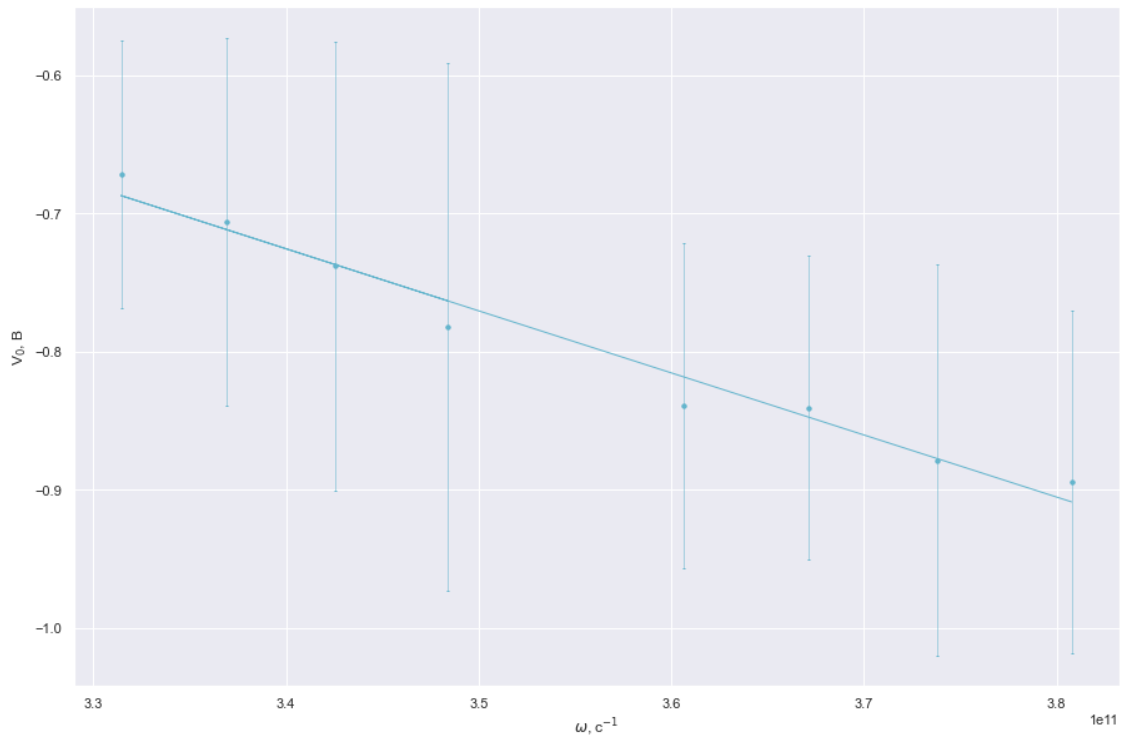
[141]: v\_0\_mis

[141]: [-0.19100550782887135,  
-0.1622137042767762,  
-0.1334415392392529,  
-0.09688611786651209,  
-0.11755322858382483,  
-0.10978029068835234,  
-0.14149834184311413,  
-0.1242522203155482]

```
[155]: c = 3 * 10 ** 15 #
th = np.array([1978, 2028, 2078, 2128, 1878, 1828, 1778, 1728])
th_err = np.ones(th.size) * 10
lmbds = a_*th + b_
omegas = 2 * 3.14 * c * 0.1 / lmbds
omegas_err = omegas * np.sqrt((s_/a_)**2 + (e_/b_)**2 + (th_err/th)**2)
```

```
[156]: n,m,p,q = chi_sq(omegas, v_0, None)
y = n * omegas + m
plt.plot(omegas, y, lw = 1, color = 'c')
plt.scatter(omegas, v_0, marker = '.', color = 'c')
plt.errorbar(omegas, v_0, xerr = omega_err, yerr= v_0_mis, fmt='.',
    ↪',color='c',capthick=1,elinewidth=0.5,capsize=1,zorder=10 )
plt.xlabel('$\omega$, c$^{-1}$')
plt.ylabel('V$_0$ B, ')
```

```
[156]: Text(0, 0.5, 'V$_0$ B, ')
```



```
[157]: n #dv/d_omega
```

```
[157]: -4.495121638935071e-12
```

```
[162]: plank = abs(n * 1.6 * 10 ** (-19))
```

[163]: `plank #`

[163]: 7.192194622296114e-31

[159]: `h = 1.5 * 10**(-34)`

[160]: `(plank - h)/h #`

[160]: 4793.796414864076

[161]: `p #`

[161]: 3.083774984397771e-13

[ ]:

[ ]:

[ ]:

[ ]:

[ ]:

[ ]:

[ ]:

[ ]:

[ ]:

[ ]:

[ ]:

[ ]:

[ ]:

[ ]:

[ ]:

[ ]:

[ ]:





[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	



```
[ ]:
```

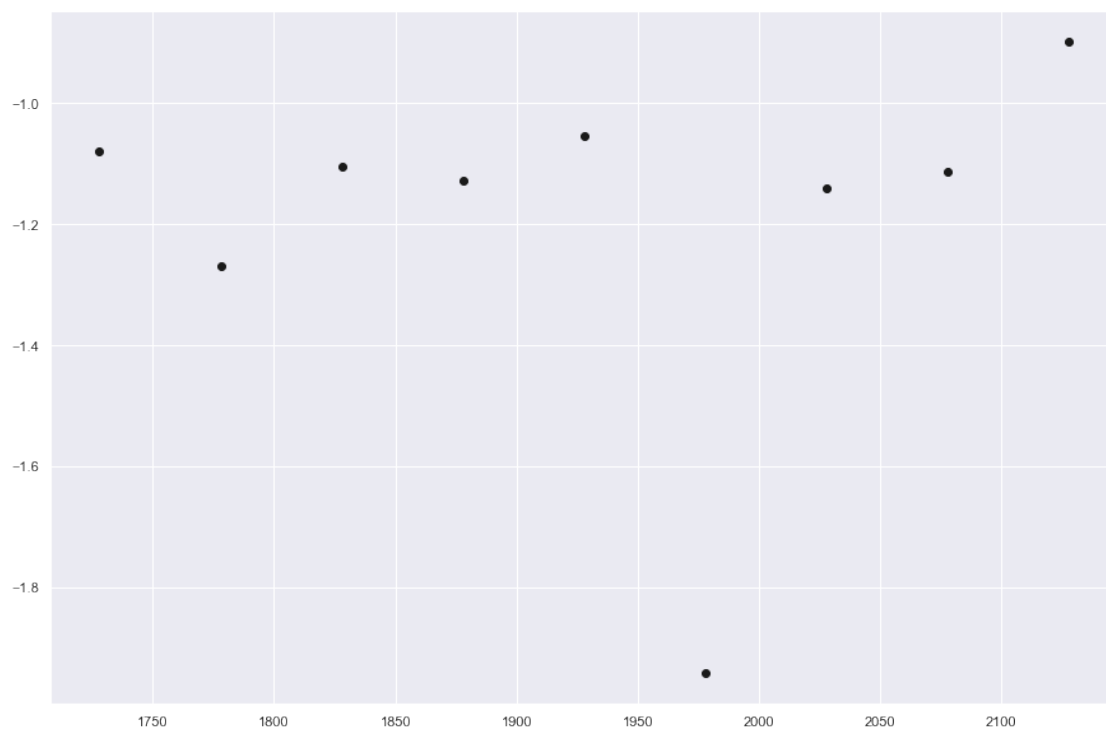
```
[ ]:
```

```
[ ]:
```

```
[ ]:
```

```
[78]: block_vol = np.array([-1.055, -1.941, -1.14, -1.113, -0.899, -1.129, -1.105, -1.  
    ↪269, -1.079])  
    omegas = np.array([1928, 1978, 2028, 2078, 2128, 1878, 1828, 1778, 1728])  
    plt.scatter(omegas, block_vol, color = 'k')
```

```
[78]: <matplotlib.collections.PathCollection at 0x1f01a3c7eb0>
```



```
[ ]:
```

```
[ ]:
```

```
[ ]:
```

```
[ ]:
```







[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	
[ ]:	