

# hydro

October 31, 2021

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

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

```
[10]: 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
```

```
[11]: df = pd.read_excel('      .xlsx')
```

```
[12]: df
```

```
[12]:
```

	Unnamed: 0	1	2	3	4	5	t1	chi1	\
0	,	6.25	6.25	7.50	8.75	11.25	60.0	64.0	
1	,	18.75	18.75	17.50	16.25	13.75	90.0	88.3	
2	,	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	120.0	103.1	
3	,	0.04	0.06	0.04	0.04	0.04	150.0	113.6	
4		NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	180.0	122.1
5		NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	210.0	127.8
6		NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	240.0	132.3
7		NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	270.0	135.4
8		NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	300.0	137.9
9		NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	330.0	139.8
10		NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	360.0	141.2
11		NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	390.0	142.4
12		NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	420.0	143.2
13		NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	450.0	144.0

14	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	480.0	144.9
15	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	510.0	145.9
16	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	540.0	146.8
17	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	570.0	147.5
18	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	600.0	148.3
19	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	630.0	149.1
20	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	660.0	150.1
21	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	690.0	151.1
22	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	720.0	151.9
23	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	750.0	152.7
24	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	780.0	153.7
25	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	810.0	154.4
26	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	840.0	155.2
27	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	870.0	155.7
28	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	900.0	156.1
29	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	930.0	156.7
30	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	960.0	156.9
31	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	990.0	157.2
32	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1020.0	157.5
33	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1050.0	157.8
34	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1080.0	158.0
35	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1110.0	158.2
36	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1140.0	158.2
37	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1170.0	158.2
38	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1200.0	158.3
39	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1230.0	158.3
40	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
41	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
42	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
43	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
44	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
45	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
46	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
47	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
48	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
49	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
50	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
51	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
52	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
53	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
54	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

	Unnamed: 8	t2	chi2	Unnamed: 11	t3	chi3	Unnamed: 14	t4	\
0	NaN	30	60.9	NaN	35.0	22.14	NaN	30.0	
1	NaN	60	125.6	NaN	60.0	102.20	NaN	60.0	
2	NaN	90	168.8	NaN	90.0	153.90	NaN	90.0	
3	NaN	120	204.1	NaN	120.0	195.50	NaN	120.0	

4	NaN	150	229.0	NaN	150.0	230.20	NaN	150.0
5	NaN	180	247.2	NaN	180.0	260.70	NaN	180.0
6	NaN	210	263.1	NaN	210.0	283.10	NaN	210.0
7	NaN	240	273.3	NaN	240.0	300.00	NaN	240.0
8	NaN	270	282.4	NaN	270.0	318.00	NaN	270.0
9	NaN	300	287.2	NaN	300.0	327.00	NaN	300.0
10	NaN	330	293.7	NaN	330.0	336.00	NaN	330.0
11	NaN	360	297.4	NaN	360.0	345.00	NaN	360.0
12	NaN	390	301.0	NaN	390.0	352.00	NaN	390.0
13	NaN	420	304.0	NaN	420.0	358.00	NaN	420.0
14	NaN	450	309.0	NaN	450.0	364.00	NaN	450.0
15	NaN	480	313.0	NaN	480.0	370.00	NaN	480.0
16	NaN	510	317.0	NaN	510.0	375.00	NaN	510.0
17	NaN	540	321.0	NaN	540.0	379.00	NaN	540.0
18	NaN	570	324.0	NaN	570.0	384.00	NaN	570.0
19	NaN	600	327.0	NaN	600.0	389.00	NaN	600.0
20	NaN	630	332.0	NaN	630.0	394.00	NaN	630.0
21	NaN	660	336.0	NaN	660.0	399.00	NaN	660.0
22	NaN	690	341.0	NaN	690.0	405.00	NaN	690.0
23	NaN	720	346.0	NaN	720.0	410.00	NaN	720.0
24	NaN	750	350.0	NaN	750.0	416.00	NaN	750.0
25	NaN	780	355.0	NaN	780.0	421.00	NaN	780.0
26	NaN	810	360.0	NaN	810.0	426.00	NaN	810.0
27	NaN	840	364.0	NaN	840.0	432.00	NaN	840.0
28	NaN	870	370.0	NaN	870.0	437.00	NaN	870.0
29	NaN	900	375.0	NaN	900.0	443.00	NaN	900.0
30	NaN	930	379.0	NaN	930.0	448.00	NaN	930.0
31	NaN	960	382.0	NaN	960.0	454.00	NaN	960.0
32	NaN	990	386.0	NaN	990.0	458.00	NaN	990.0
33	NaN	1020	389.0	NaN	1020.0	461.00	NaN	1020.0
34	NaN	1050	394.0	NaN	1050.0	466.00	NaN	1050.0
35	NaN	1080	398.0	NaN	1080.0	472.00	NaN	1080.0
36	NaN	1110	401.0	NaN	1110.0	476.00	NaN	1110.0
37	NaN	1140	406.0	NaN	1140.0	481.00	NaN	1140.0
38	NaN	1170	410.0	NaN	1170.0	486.00	NaN	1170.0
39	NaN	1200	416.0	NaN	1200.0	490.00	NaN	1200.0
40	NaN	1230	418.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
41	NaN	1260	422.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
42	NaN	1290	426.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
43	NaN	1320	429.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
44	NaN	1350	432.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
45	NaN	1380	435.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
46	NaN	1410	438.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
47	NaN	1440	441.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
48	NaN	1470	443.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
49	NaN	1500	445.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
50	NaN	1530	446.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

51	NaN	1560	447.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
52	NaN	1590	448.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
53	NaN	1620	449.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
54	NaN	1650	450.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

	chi4	Unnamed: 17	t5	chi5
0	6.81	NaN	30.0	11.12
1	9.87	NaN	60.0	34.80
2	15.00	NaN	90.0	78.60
3	19.71	NaN	120.0	114.00
4	24.29	NaN	150.0	146.70
5	27.95	NaN	180.0	168.60
6	31.60	NaN	210.0	193.10
7	34.10	NaN	240.0	216.30
8	36.30	NaN	270.0	239.50
9	51.70	NaN	300.0	259.30
10	54.10	NaN	330.0	279.60
11	56.10	NaN	360.0	297.00
12	57.90	NaN	390.0	313.00
13	59.60	NaN	420.0	328.00
14	60.90	NaN	450.0	344.00
15	62.00	NaN	480.0	358.00
16	63.10	NaN	510.0	372.00
17	63.80	NaN	540.0	384.00
18	64.60	NaN	570.0	394.00
19	65.20	NaN	600.0	405.00
20	65.70	NaN	630.0	424.00
21	66.20	NaN	660.0	433.00
22	66.70	NaN	690.0	441.00
23	67.00	NaN	720.0	449.00
24	67.40	NaN	750.0	457.00
25	67.60	NaN	780.0	463.00
26	67.90	NaN	810.0	470.00
27	68.30	14.3	840.0	479.00
28	68.70	NaN	870.0	483.00
29	68.80	NaN	900.0	487.00
30	69.00	NaN	930.0	493.00
31	69.10	NaN	960.0	498.00
32	69.20	NaN	990.0	503.00
33	69.30	NaN	1020.0	506.00
34	69.40	NaN	1050.0	510.00
35	69.50	NaN	1080.0	514.00
36	69.60	NaN	1110.0	518.00
37	69.60	NaN	1140.0	521.00
38	NaN	NaN	1170.0	524.00
39	NaN	NaN	1200.0	526.00
40	NaN	NaN	NaN	NaN

```

41    NaN          NaN    NaN    NaN
42    NaN          NaN    NaN    NaN
43    NaN          NaN    NaN    NaN
44    NaN          NaN    NaN    NaN
45    NaN          NaN    NaN    NaN
46    NaN          NaN    NaN    NaN
47    NaN          NaN    NaN    NaN
48    NaN          NaN    NaN    NaN
49    NaN          NaN    NaN    NaN
50    NaN          NaN    NaN    NaN
51    NaN          NaN    NaN    NaN
52    NaN          NaN    NaN    NaN
53    NaN          NaN    NaN    NaN
54    NaN          NaN    NaN    NaN

```

```

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

t1 = np.array(df['t1'])
chi1 = np.array(df['chi1'])
plt.xlabel('t, ')
plt.ylabel('$\chi$, / ')
plt.scatter(t1, chi1, marker = '.',color = 'k')

chi_inf1 = 158

y = chi_inf1*(1 - np.exp())

#x = np.linspace(0,4.5,50)
#a,b,s,e = chi_sq(cur,p, None)
#y = a*x + b

#plt.plot(x,y, lw = 0.5, color = 'k')

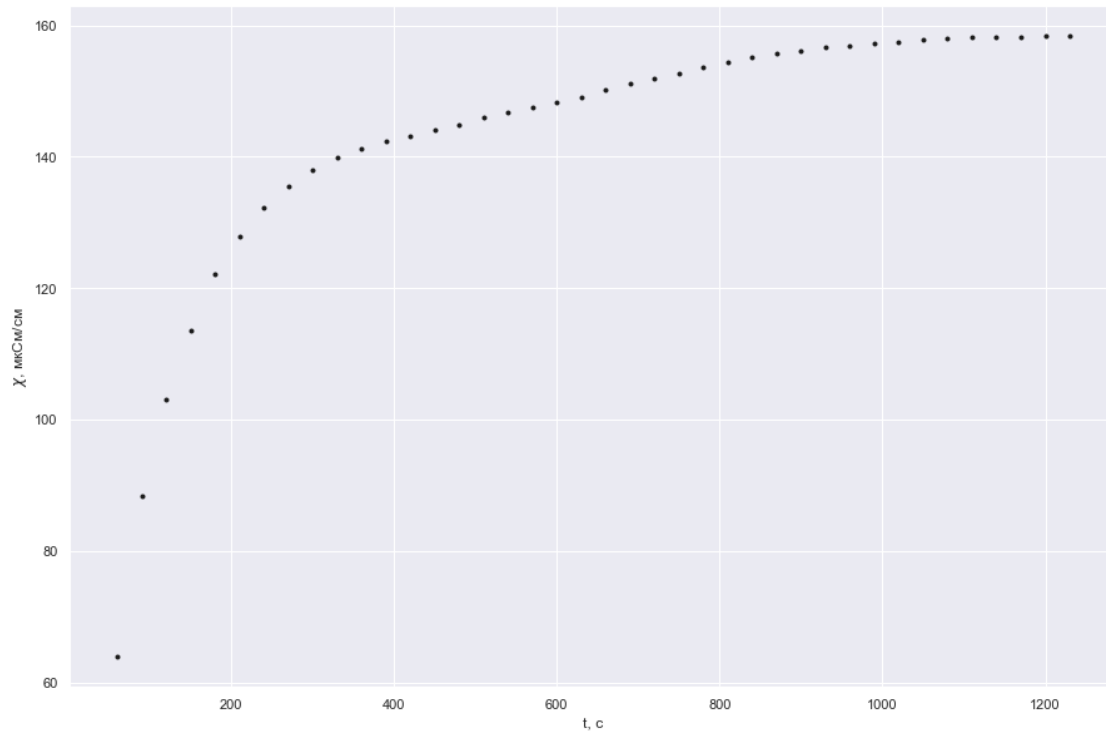
```

```

-----
ValueError                                Traceback (most recent call last)
<ipython-input-13-de331ab540c1> in <module>
      9 chi_inf1 = 158
     10
----> 11 y = chi_inf1*(1 - np.exp())
     12
     13 #x = np.linspace(0,4.5,50)

ValueError: invalid number of arguments

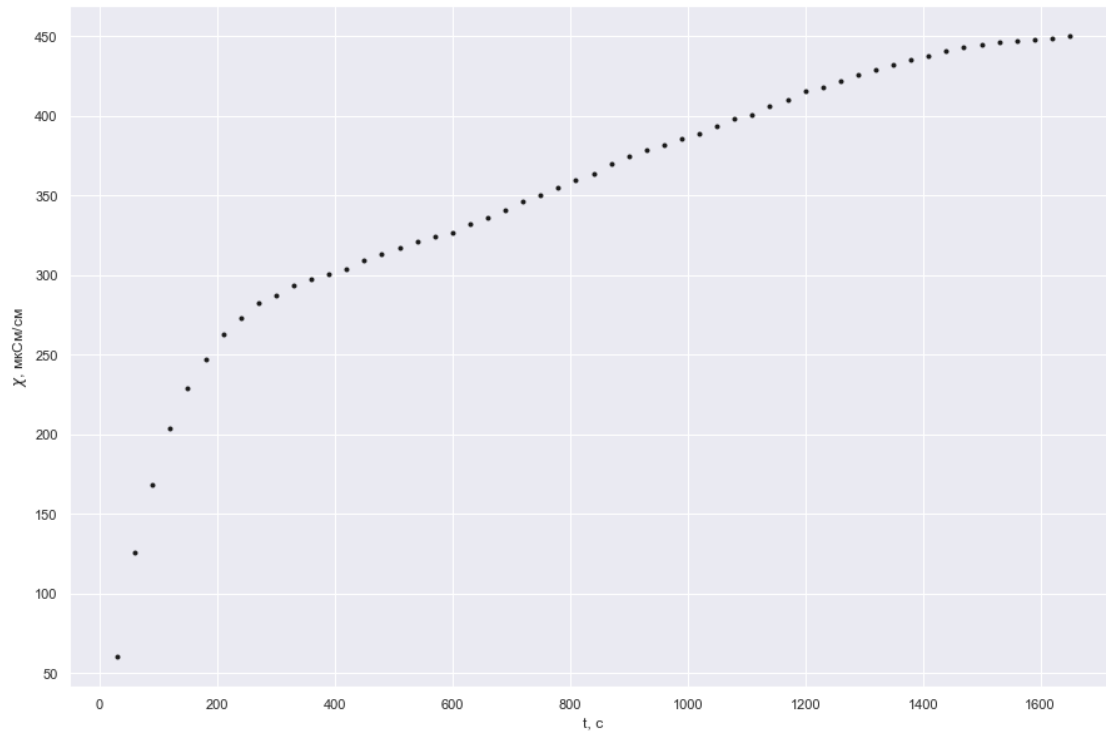
```



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

t2 = np.array(df['t2'])
chi2 = np.array(df['chi2'])
plt.xlabel('t, ')
plt.ylabel('$\chi$, / ')
plt.scatter(t2, chi2, marker = '.',color = 'k')
```

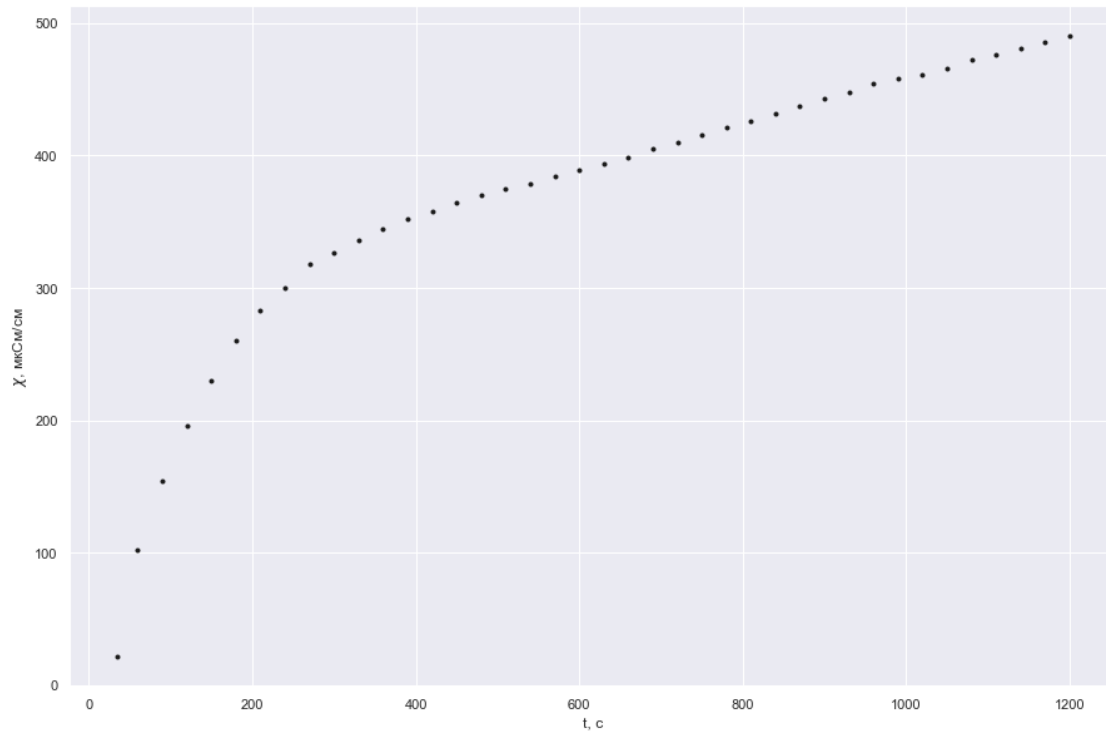
```
[14]: <matplotlib.collections.PathCollection at 0x14c394620d0>
```



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

t3 = np.array(df['t3'])
chi3 = np.array(df['chi3'])
plt.xlabel('t, ')
plt.ylabel('$\chi$, / ')
plt.scatter(t3, chi3, marker = '.',color = 'k')
```

```
[15]: <matplotlib.collections.PathCollection at 0x14c394c1310>
```

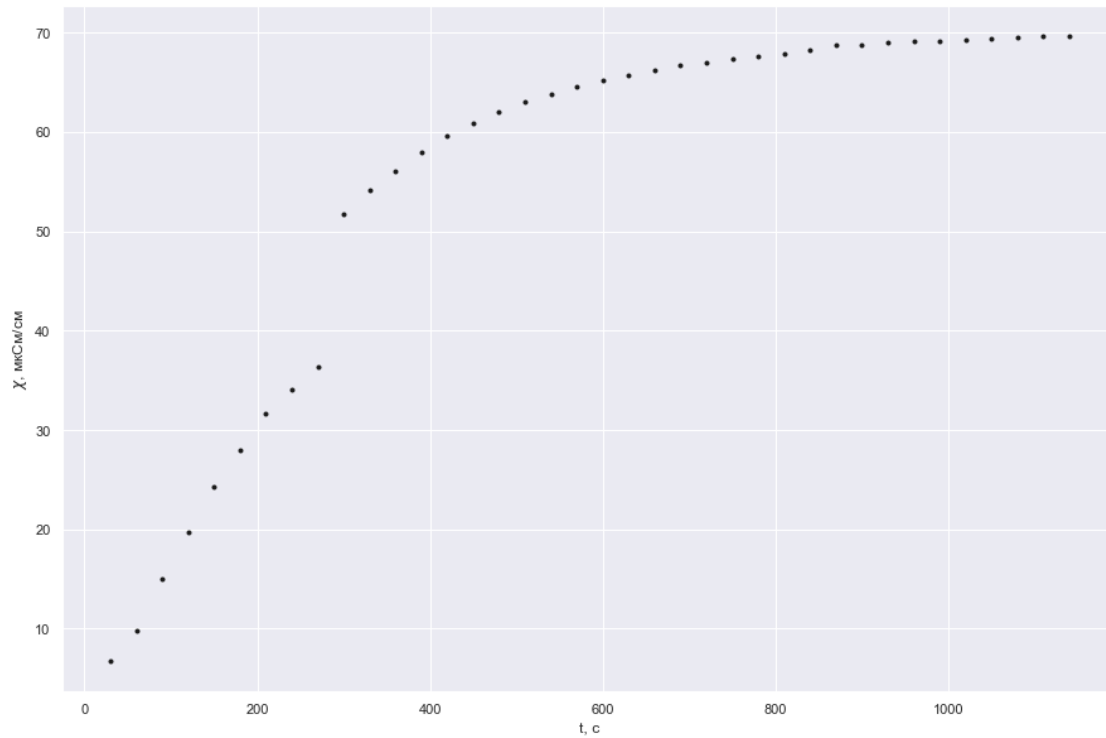


```
[16]: plt.rcParams["figure.figsize"] = (15,10)

t4 = np.array(df['t4'])
chi4 = np.array(df['chi4'])
plt.xlabel('t, ')
plt.ylabel('$\chi$, / ')
plt.scatter(t4, chi4, marker = '.',color = 'k')
```

```
[16]: <matplotlib.collections.PathCollection at 0x14c39a11310>
```

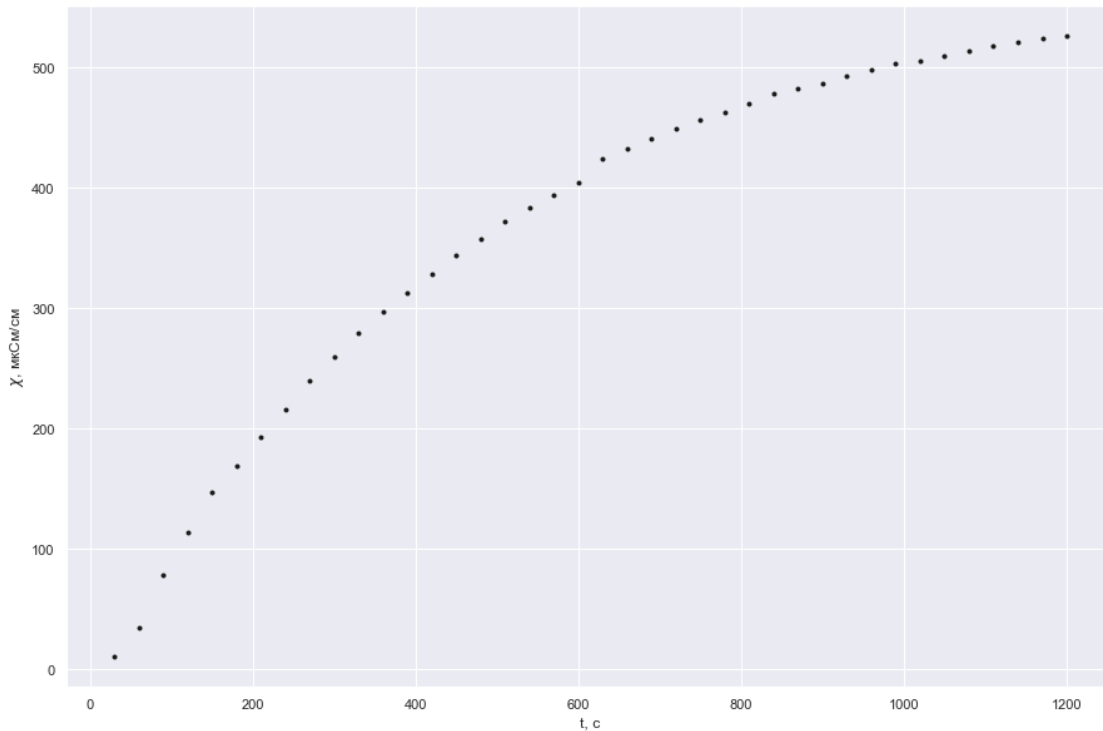




```
[17]: plt.rcParams["figure.figsize"] = (15,10)

t5 = np.array(df['t5'])
chi5 = np.array(df['chi5'])
plt.xlabel('t, ')
plt.ylabel('$\chi$, / ')
plt.scatter(t5, chi5, marker = '.',color = 'k')
```

```
[17]: <matplotlib.collections.PathCollection at 0x14c39c79880>
```



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

chi_inf1 = 158.5
chi_inf2 = 450.1
chi_inf3 = 495.1
chi_inf4 = 69.7
chi_inf5 = 540.1

y1 = np.log(chi_inf1/(chi_inf1 - chi1))
y2 = np.log(chi_inf2/(chi_inf2 - chi2))
y3 = np.log(chi_inf3/(chi_inf3 - chi3))
y4 = np.log(chi_inf4/(chi_inf4 - chi4))
y5 = np.log(chi_inf5/(chi_inf5 - chi5))

plt.scatter(t1,y1, marker= '.', color = 'k', label = ' 1')
plt.scatter(t2,y2,marker= '.', color = 'b', label = ' 2')
plt.scatter(t3,y3, marker= '.', color = 'g', label = ' 3')
plt.scatter(t4,y4, marker= '.', color = 'r', label = ' 4')
plt.scatter(t5,y5, marker= '.', color = 'm', label = ' 5')

x = np.linspace(0,1600,2000)
a1,b1,s1,e1 = chi_sq(t1[0:39],y1[0:39],None)
a2,b2,s2,e2 = chi_sq(t2[:,54],y2[:,54],None)
```

```

a3,b3,s3,e3 = chi_sq(t3[:,39],y3[:,39],None)
a4,b4,s4,e4 = chi_sq(t4[:,37],y4[:,37],None)
a5,b5,s5,e5 = chi_sq(t5[:,39],y5[:,39],None)

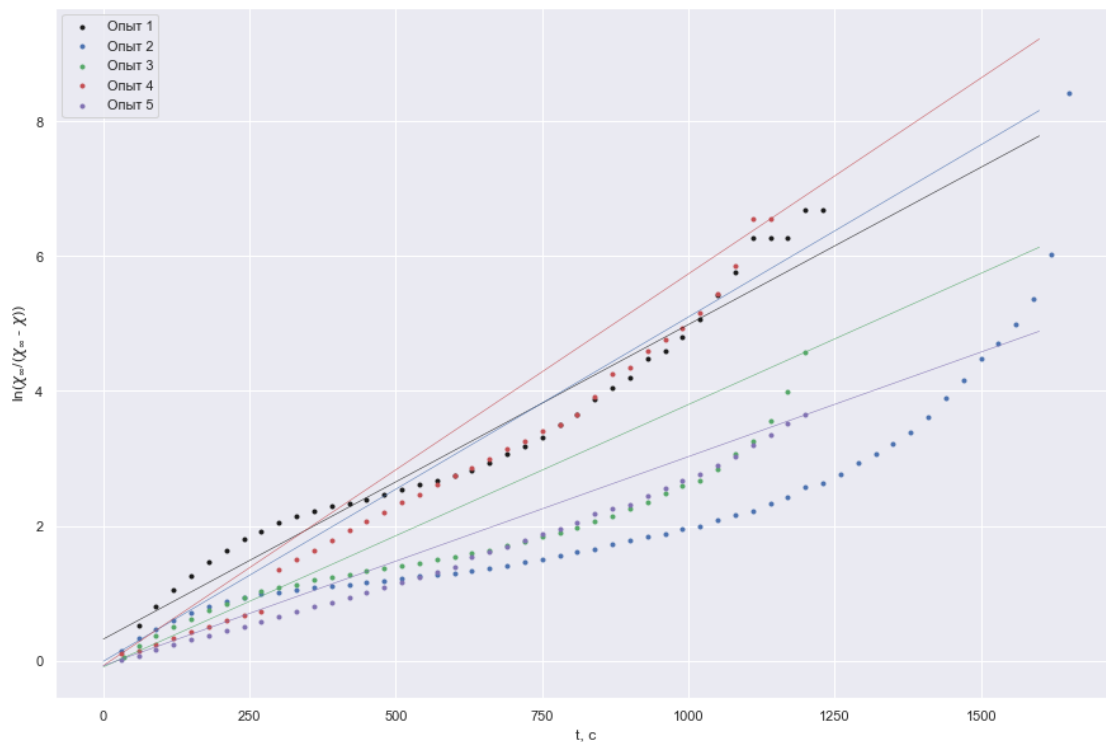
h1 = a1 * x + b1
h2 = a2 * x + b2
h3 = a3 * x + b3
h4 = a4 * x + b4
h5 = a5 * x + b5

plt.plot(x,h1,lw =0.5, color = 'k')
plt.plot(x,h2, lw =0.5,color = 'b')
plt.plot(x,h3, lw =0.5,color = 'g')
plt.plot(x,h4,lw =0.5, color = 'r')
plt.plot(x,h5,lw =0.5, color = 'm')
plt.legend()
plt.xlabel('t, c')
plt.ylabel('ln( $\chi_{\infty}/(\chi_{\infty} - \chi)$ )')

```

C:\Users\Olga\anaconda3\lib\site-packages\scipy\optimize\minpack.py:828:  
OptimizeWarning: Covariance of the parameters could not be estimated  
warnings.warn('Covariance of the parameters could not be estimated',

[18]: Text(0, 0.5, 'ln( $\chi_{\infty}/(\chi_{\infty} - \chi)$ )')



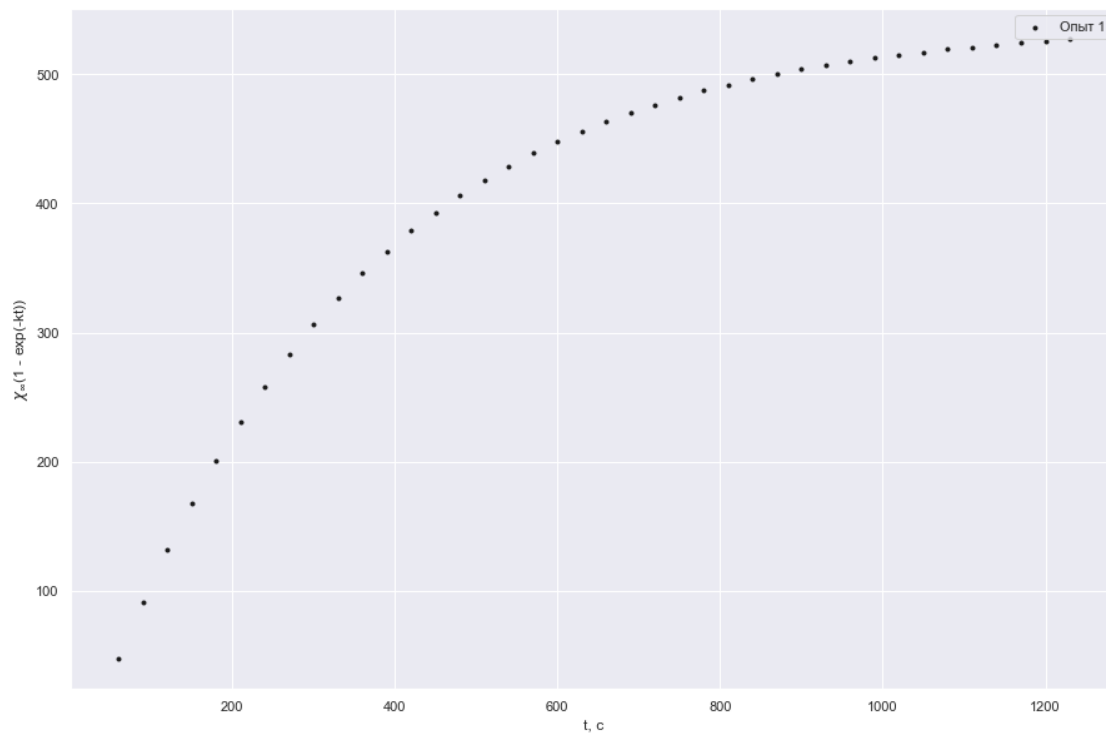
```
[19]: a1, a2, a3, a4, a5
```

```
[19]: (0.004661941541646897,  
      0.005102887927966462,  
      0.0038882148314072947,  
      0.005805380415810245,  
      0.0030980989970735904)
```

```
[20]: plt.rcParams["figure.figsize"] = (15,10)  
  
chi_inf1 = 158.5  
chi_inf2 = 450.1  
chi_inf3 = 495.1  
chi_inf4 = 69.7  
chi_inf5 = 540.1  
  
y1 = chi_inf1*(1 - np.exp(-t1))  
y1 = chi_inf2*(1 - np.exp(-a2*t2))  
y1 = chi_inf3*(1 - np.exp(-a3*t3))  
y1 = chi_inf4*(1 - np.exp(-a4*t4))  
y1 = chi_inf5*(1 - np.exp(-a5*t5))  
  
plt.scatter(t1,y1, marker= '.', color = 'k', label = ' 1')  
#plt.scatter(t2,y2,marker= '.', color = 'b', label = ' 2')  
#plt.scatter(t3,y3, marker= '.', color = 'g', label = ' 3')  
#plt.scatter(t4,y4, marker= '.', color = 'r', label = ' 4')  
#plt.scatter(t5,y5, marker= '.', color = 'm', label = ' 5')  
  
#x = np.linspace(0,1600,2000)  
#a1,b1,s1,e1 = chi_sq(t1[0:39],y1[0:39],None)  
#a2,b2,s2,e2 = chi_sq(t2[:54],y2[:54],None)  
#a3,b3,s3,e3 = chi_sq(t3[:39],y3[:39],None)  
#a4,b4,s4,e4 = chi_sq(t4[:37],y4[:37],None)  
#a5,b5,s5,e5 = chi_sq(t5[:39],y5[:39],None)  
  
#h1 = a1 * x + b1  
#h2 = a2 * x + b2  
#h3 = a3 * x + b3  
#h4 = a4 * x + b4  
#h5 = a5 * x + b5  
  
#plt.plot(x,h1,lw =0.5, color = 'k')  
#plt.plot(x,h2, lw =0.5,color = 'b')  
#plt.plot(x,h3, lw =0.5,color = 'g')  
#plt.plot(x,h4,lw =0.5, color = 'r')  
#plt.plot(x,h5,lw =0.5, color = 'm')
```

```
plt.legend()
plt.xlabel('t, c')
plt.ylabel('$\chi_{\infty}(1 - \exp(-kt))$')
```

[20]: Text(0, 0.5, '\$\chi\_{\infty}(1 - \exp(-kt))\$')



[ ]: