

Лабораторная работа

Определение энергии α -частиц по величине их пробега в воздухе

Теоретические сведения

Энергию альфа-частиц удобно определять по величине их пробега в веществе. Рассмотрим подробно взаимодействие заряженных частиц с веществом. Альфа-частицы при прохождении вещества чаще всего теряют энергию в результате неупругих столкновений с атомами. Этот процесс можно рассматривать как процесс непрерывного столкновения. Рассеиваемая энергия не превышает $4mE/M$. Атомные электроны можно считать свободными в силу того, что энергия налетающей частицы значительно превышает энергию связи электронов в атомах:

$$E_e = \frac{p^2}{2m} = \frac{1}{2m} \left(\frac{Ze^2}{y^2} \cdot \frac{2y}{v} \right) = \frac{2e^4 Z^2}{mv^2 y^2}$$

Если плотность электронов в среде $n = nZ$, то потеря энергии заряженной частицей на единице пути в результате взаимодействия с электронами в слое $2\pi y dy$ будет выражаться как:

$$dE(y) = \frac{4\pi n Z z^2 e^4}{mv^2} \frac{dy}{y}$$

Преобразуя выражение и вводя обозначение \bar{I} :

$$\ln \frac{E_{max}}{E_{min}} = \ln \frac{2mv^2}{\bar{I}}$$
$$\left(\frac{dE}{dx} \right) \simeq 2\pi \frac{e^4 z^2}{mv^2} nZ \ln \frac{2mv^2}{\bar{I}}$$

Величину $\frac{dE}{dx}$ называют тормозную способность вещества. Зависимость тормозной способности от пути называется кривой Брэгга. Две такие кривые для движения ^{210}Po и ^{214}Po показаны на рисунке. Характерный подъем называется пиком Брэгга (рис. 1)

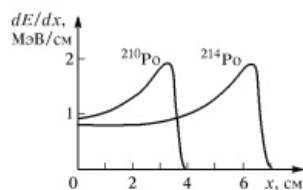


Рис. 1. Кривые Брэгга для α -частиц, испускаемых ^{210}Po и ^{214}Po

Экспериментальная установка

В работе длину пробега будем измерять тремя разными способами:

1. С помощью счетчика Гейгера
2. С помощью сцинтилляционного счетчика
3. С помощью ионизационной камеры

Схемы установок изображены на рисунках 3-5:



Рис. 3. Установка для измерения пробега α -частиц с помощью торцевого счетчика Гейгера



Рис. 4. Установка для измерения пробега α -частиц с помощью сцинтилляционного счетчика

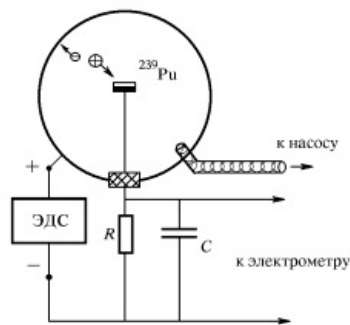


Рис. 5. Схема устройства ионизационной камеры

Ход работы

In [1]:

```
import numpy as np
import pandas as pd
from matplotlib import pyplot as plt
```

1. Исследование пробега α -частиц с помощью счетчика Гейгера

1. Подготавливаем установку. Проводим измерение зависимости скорости счета от расстояния между источником и счетчиком, записываем результаты в таблицу.

In [2]:

```
table1 = pd.read_csv('C:\\Users\\Nikeyson-PC\\Desktop\\Laba4_1\\exp1.csv', sep=';')
```

In [3]:

```
table1
```

Out[3]:

	height	N	time
0	2	430	30,266
1	2,5	425	30,263
2	3	418	30,137
3	3,5	463	30,332
4	4	451	31,121
5	4,5	467	31,579
6	5	481	31,341
7	5,5	460	30,414
8	6	427	30,93
9	6,5	462	31,898
10	7	364	30,166
11	7,5	366	31,854
12	8	240	30,443
13	8,5	126	31,955
14	9	63	30,447
15	9,5	12	31,74
16	10	9	30,997
17	0	433	29,872
18	0,5	459	30,234
19	1	494	30,026
20	1,5	446	29,916

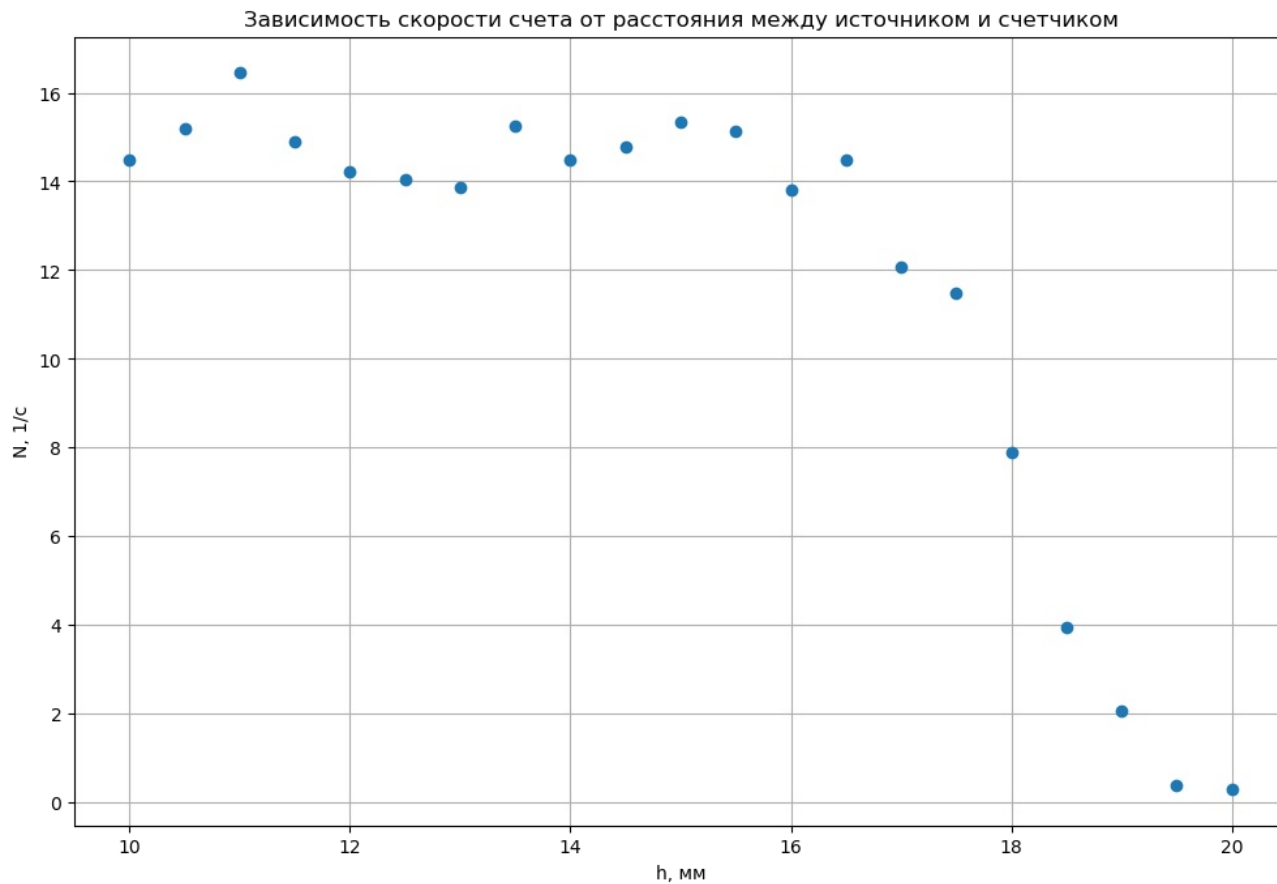
In [4]:

```
x1 = np.array(table1.iloc[:, 0].str.replace(',', '.').astype(float))
y1 = np.array(table1.iloc[:, 1])
z1 = np.array(table1.iloc[:, 2].str.replace(',', '.').astype(float))
#Нормируем по времени
y1 = y1/z1
#Положение ноль равно 10мм от источника
x1 = x1 + 10
```

2. Строим график, по нему определим среднюю и экстраполированную длину пробега

In [5]:

```
fig = plt.figure(figsize= (12, 8), dpi= 100)
ax1 = fig.add_subplot()
ax1.plot(x1, y1, 'o' ,label= "Бсċ")
ax1.grid(True)
plt.xlabel("h, мм")
plt.ylabel("N, 1/с")
plt.title("Зависимость скорости счета от расстояния между источником и счетчиком")
plt.show()
```

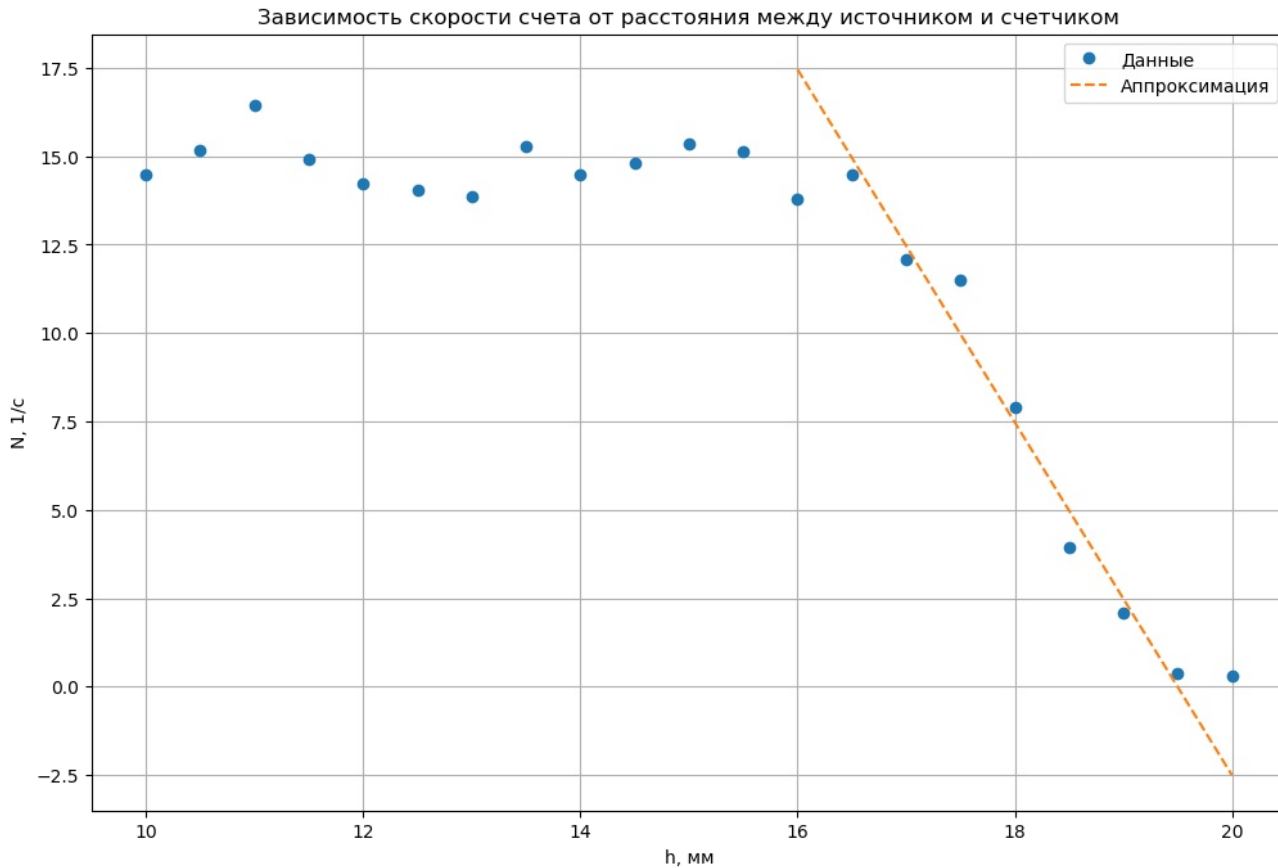


In [6]:

```
#Берем точки, где наблюдается спад, экстраполируем по ним.
x11 = x1[9:-5]
y11 = y1[9:-5]
a, b = np.polyfit(x11,y11,1)
s = 0
for i in range(len(y11)):
    s+= (abs(y11[i] - (a*x11[i]) - b))**2
s = (s/len(y11))**0.5
```

In [7]:

```
fig = plt.figure(figsize= (12, 8), dpi= 100)
ax1 = fig.add_subplot()
ax1.plot(x1, y1, 'o' ,label= "Данные")
ax1.grid(True)
ap = [i for i in range(16, 21, 1)]
p = [a*i + b for i in ap]
ax1.plot(ap, p, "--", label= "Аппроксимация")
ax1.legend()
plt.xlabel("h, мм")
plt.ylabel("N, 1/с")
plt.title("Зависимость скорости счета от расстояния между источником и счетчиком")
plt.show()
```



In [8]:

```
#Средний пробег
r1_av = ((x11[0]+x11[-1])/2)/10
r1_av1 = r1_av*0.001225
#Экстраполированный пробег
r1 = (-b/a)/10
r11 = r1*0.001225
err1 = ((0.5/10)**2 + (s/y11[0])**2)**0.5
r1_av_err1 = r1_av*err1
r1_av1_err1 = r1_av1*err1
r1_err1 = r1*err1
r11_err1 = r11*err1
```

In [9]:

```
print("Средний пробег: ", round(r1_av,3) , "+-", round(r1_av_err1,3) , "см")
print("Средний пробег: ", round(r1_av1,4), "+-", round(r1_av1_err1,4) , "г/см^2")
print("Экстраполированный пробег: ", round(r1,3) , "+-", round(r1_err1,3) , "см")
print("Экстраполированный пробег: ", round(r11,4) , "+-", round(r11_err1,4) , "г/см^2")
```

Средний пробег: 1.8 +- 0.132 см
Средний пробег: 0.0022 +- 0.0002 г/см^2
Экстраполированный пробег: 1.95 +- 0.143 см
Экстраполированный пробег: 0.0024 +- 0.0002 г/см^2

2. Определение пробега α -частиц с помощью сцинтилляционного счетчика

1. Подготовили установку к работе. Атмосферное давление: 100,6 кПа. При нем, скорость счета - 7 счетов за 100 секунд.

2. Измерим зависимость скорости счета от давления, занесем данные в таблицу

In [10]:

```
table2 = pd.read_csv(''C:\\Users\\Nikeyson-PC\\Desktop\\Laba4_1\\exp2.csv'', sep=';')
```

In [11]:

```
table2
```

Out[11]:

	Pressure	N
0	745	3674
1	745	3655
2	745	3718
3	720	3491
4	720	3509
5	720	3560
6	700	3418
7	700	3389
8	700	3423
9	675	3151
10	675	3222
11	675	3230
12	660	3053
13	660	3060
14	660	3151
15	640	2787
16	640	2852
17	640	2816
18	620	2555
19	620	2467
20	620	2461
21	600	2224
22	600	2241
23	600	2278
24	580	1984
25	580	1858
26	580	1929
27	560	1563
28	560	1569
29	560	1540
30	540	1198
31	540	1190
32	540	1180
33	520	786
34	520	782
35	520	804
36	500	404
37	500	441
38	500	417
39	480	155
40	480	143
41	480	132
42	460	20
43	460	26
44	460	29

45	440	3
46	440	3
47	440	1
48	420	2
49	420	2
50	420	3
51	400	1
52	400	2
53	400	1

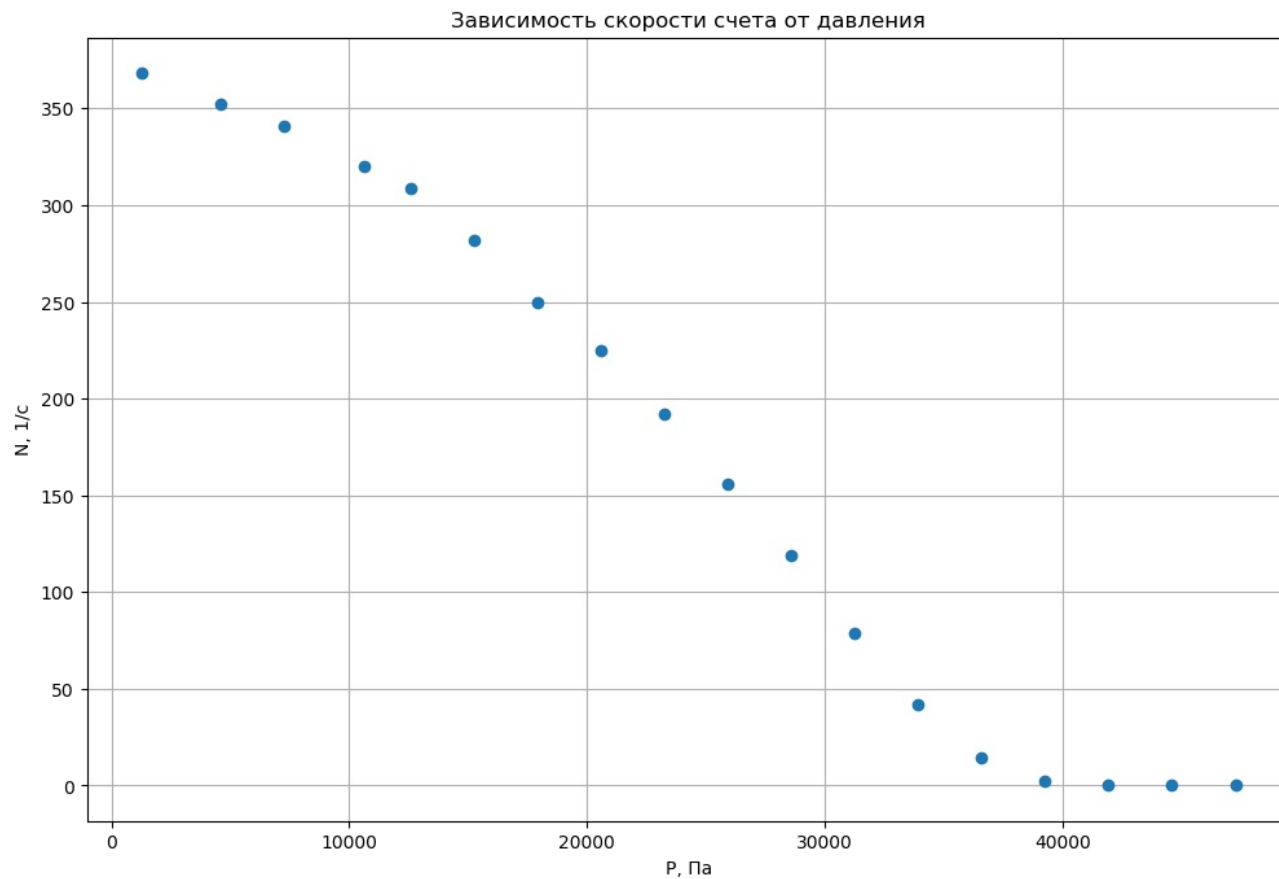
In [12]:

```
#Переводим давление из относительного к атмосфере в абсолютное, усредняем для одинаковых значений давления.
x2 = np.array(table2.iloc[:, 0])
y2 = np.array(table2.iloc[:, 1])
x21 = []
y21 = []
for i in range(0, len(x2), 3):
    x21.append(x2[i])
    y21.append((y2[i]+y2[i+1]+y2[i+2])/3)
x21 = np.array(x21)
y21 = np.array(y21)
x21 = 100600 - x21*133.322
y21 = y21/10
```

3. Строим график, по нему определим среднюю и экстраполированную длину пробега

In [13]:

```
fig = plt.figure(figsize= (12, 8), dpi= 100)
ax1 = fig.add_subplot()
ax1.plot(x21, y21, 'o' ,label= "Всё")
ax1.grid(True)
plt.xlabel("P, Па")
plt.ylabel("N, 1/с")
plt.title("Зависимость скорости счета от давления")
plt.show()
```



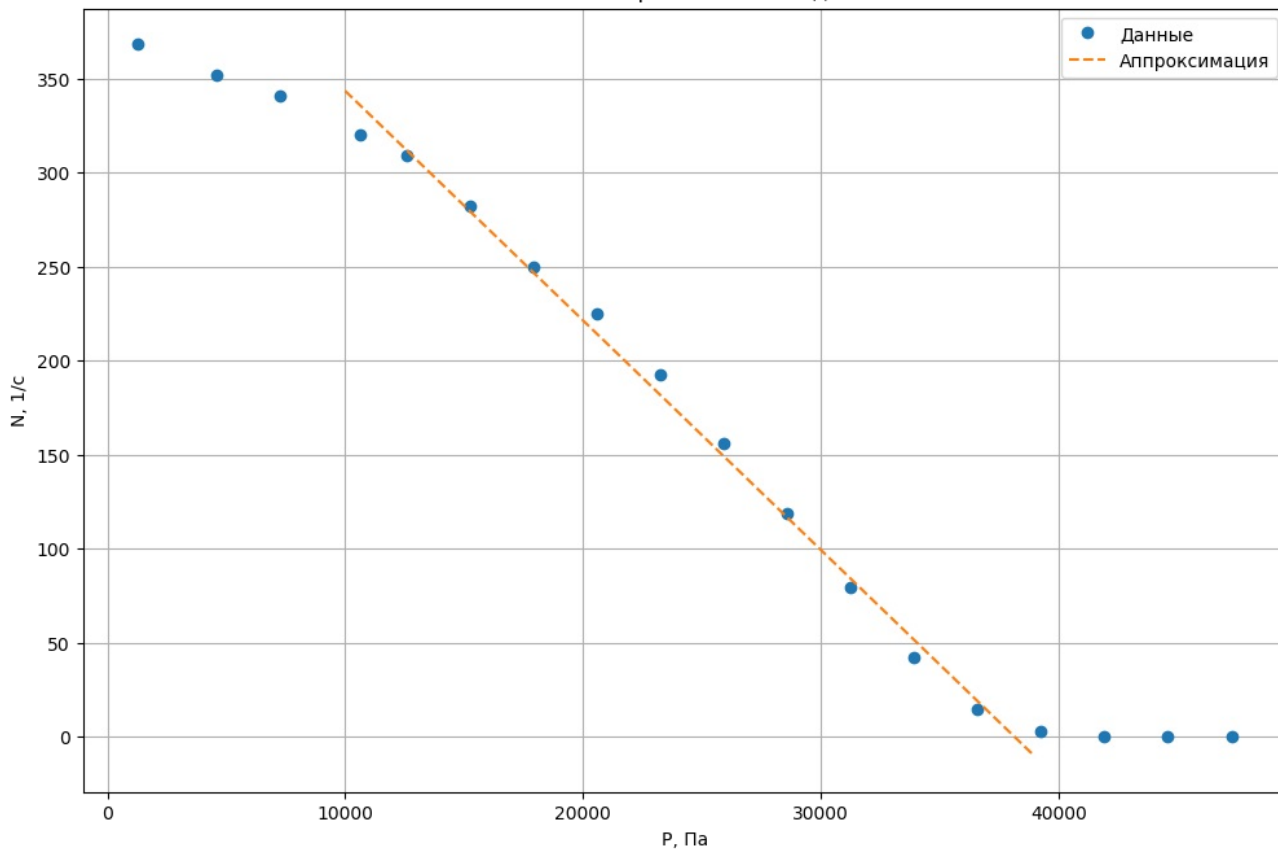
In [14]:

```
#Экстраполируем по точкам где наблюдается снижение.
x22 = x21[3:-4]
y22 = y21[3:-4]
a, b = np.polyfit(x22,y22,1)
s = 0
for i in range(len(y22)):
    s+= (abs(y22[i] - (a*x22[i]) - b))**2
s = (s/len(y22))**0.5
```

In [15]:

```
fig = plt.figure(figsize= (12, 8), dpi= 100)
ax1 = fig.add_subplot()
ax1.plot(x21, y21, 'o' ,label= "Данные")
ax1.grid(True)
ap = [i for i in range(10000, 40000, 1000)]
p = [a*i + b for i in ap]
ax1.plot(ap, p, "--", label= "Аппроксимация")
ax1.legend()
plt.xlabel("P, Па")
plt.ylabel("N, 1/c")
plt.title("Зависимость скорости счета от давления")
plt.show()
```

Зависимость скорости счета от давления



In [16]:

```
p_av =(x22[0] + x22[-1])/2
p2 = -b/a
r2_av = (p_av/101330)*9
r2_av1 = r2_av * 0.001225
r2 = (p2/101330)*9
r21 = r2*0.001225
err2 = ((5/400)**2 + (s/y22[0])**2)**0.5
r2_av_err = r2_av*err2
r2_av1_err = r2_av1*err2
r2_err = r2*err2
r21_err = r21*err2
```


In [17]:

```
print("Средний пробег: ", round(r2_av,3) , "+-", round(r2_av_err,3) , "см")
print("Средний пробег: ", round(r2_av1,4), "+-", round(r2_av1_err,4) , "г/см^2")
print("Экстраполированный пробег: ", round(r2,3) , "+-", round(r2_err,3) , "см")
print("Экстраполированный пробег: ", round(r21,4) , "+-", round(r21_err,4) , "г/см^2")
```

Средний пробег: 2.097 +- 0.058 см
Средний пробег: 0.0026 +- 0.0001 г/см^2
Экстраполированный пробег: 3.388 +- 0.094 см
Экстраполированный пробег: 0.0041 +- 0.0001 г/см^2

3. Используя результаты предыдущих экспериментов, определим толщину слюды

In [18]:

```
r = (r21 - r11)*1.2*1000
print("Пробег в слюде:", r, "мг/см^2")
```

Пробег в слюде: 2.1137639919748676 мг/см^2

4. Вычислим энергию α -частиц и кол-во вещества в препарате

$$R = 0.32E^{3/2}$$

In [19]:

```
E_a2 = (r2/0.32)**(2/3)
E_a2_err = E_a2*err2
print("Энергия а-частиц: ", round(E_a2,3) , "+-", round(E_a2_err,3) , "МэВ")
```

Энергия а-частиц: 4.821 +- 0.134 МэВ

Это близко к табличному значению 5.15 МэВ

In [20]:

```
N_a = 6.022*(10**23)
l = np.log(2)/(2.44*(10**4)*365*24*60*60)
N = y2[0]*((4*np.pi)/0.04)
N0 = N/(1-np.e**(-l))
V = N0/N_a
M = V*239*1000
print("Кол-во вещества: ", round(V,9), "моль")
print("Масса вещества: ", round(M,3) , "мг")
```

Кол-во вещества: 2.128e-06 моль
Масса вещества: 0.509 мг

3. Определение пробега α -частиц с помощью ионизационной камеры

1. Подготовили установку к работе. Измеряем зависимость силы тока через камеру от давления, заносим данные в таблицу.

In [21]:

```
table3 = pd.read_csv('C:\\Users\\Nikeyson-PC\\Desktop\\Laba4_1\\exp3.csv', sep=';')
```

In [22]:

```
table3
```

Out[22]:

	Pressure	l
0	740	8
1	720	34
2	700	61
3	680	88
4	660	113
5	640	142
6	620	167
7	600	200
8	580	229
9	560	257
10	540	289
11	520	319
12	500	350
13	480	383
14	460	414
15	440	447
16	420	482
17	400	514
18	380	546
19	360	585
20	340	622
21	320	661
22	300	698
23	280	737
24	260	776
25	240	818
26	220	860
27	200	889
28	180	906
29	160	916
30	140	918
31	120	918
32	100	918

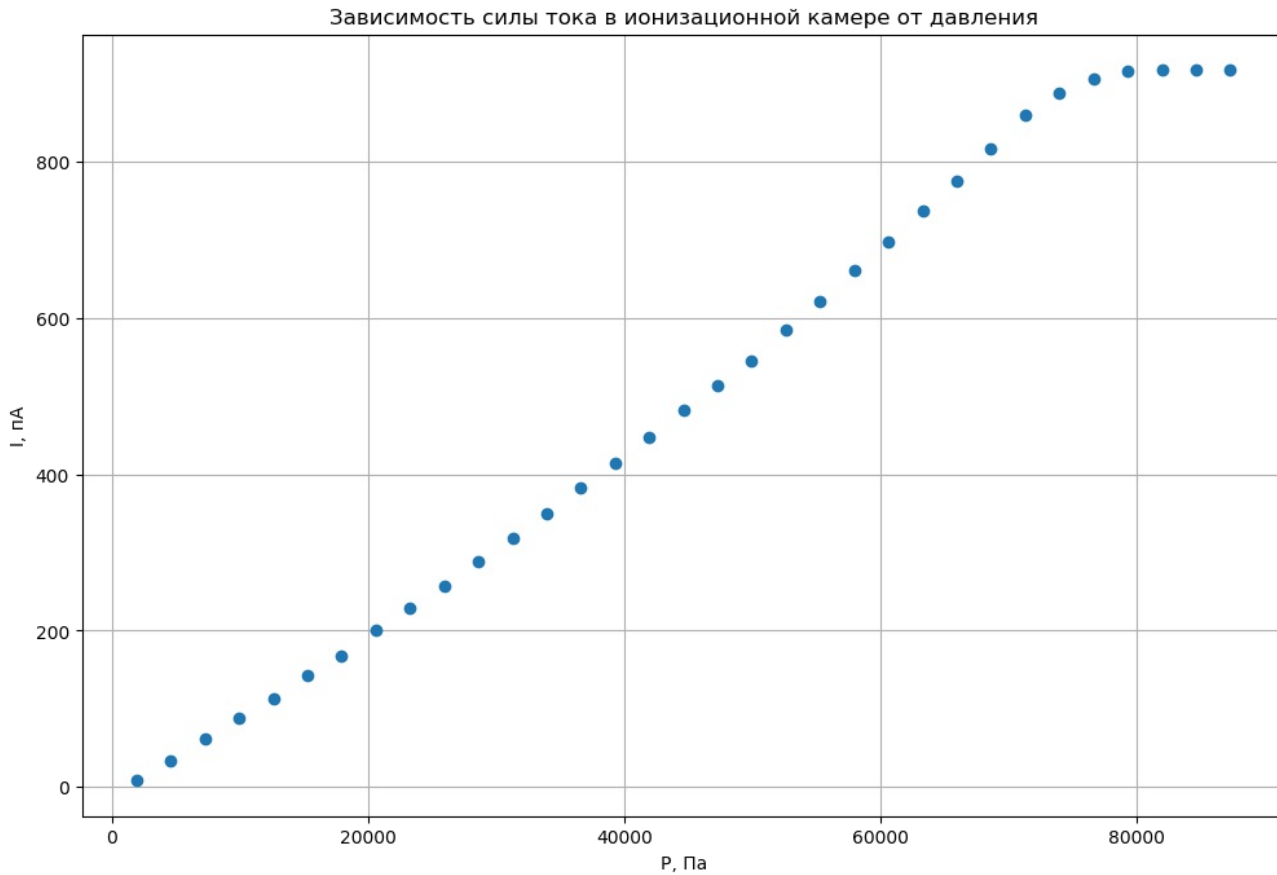
In [23]:

```
x3 = np.array(table3.iloc[:, 0])
y3 = np.array(table3.iloc[:, 1])
x3 = 100600 - x3*133.322
```

2. Строим график, по нему определим среднюю и экстраполированную длину пробега

In [24]:

```
fig = plt.figure(figsize= (12, 8), dpi= 100)
ax1 = fig.add_subplot()
ax1.plot(x3, y3, 'o' ,label= "Bcĉ")
ax1.grid(True)
plt.xlabel("P, Па")
plt.ylabel("I, нА")
plt.title("Зависимость силы тока в ионизационной камере от давления")
plt.show()
```

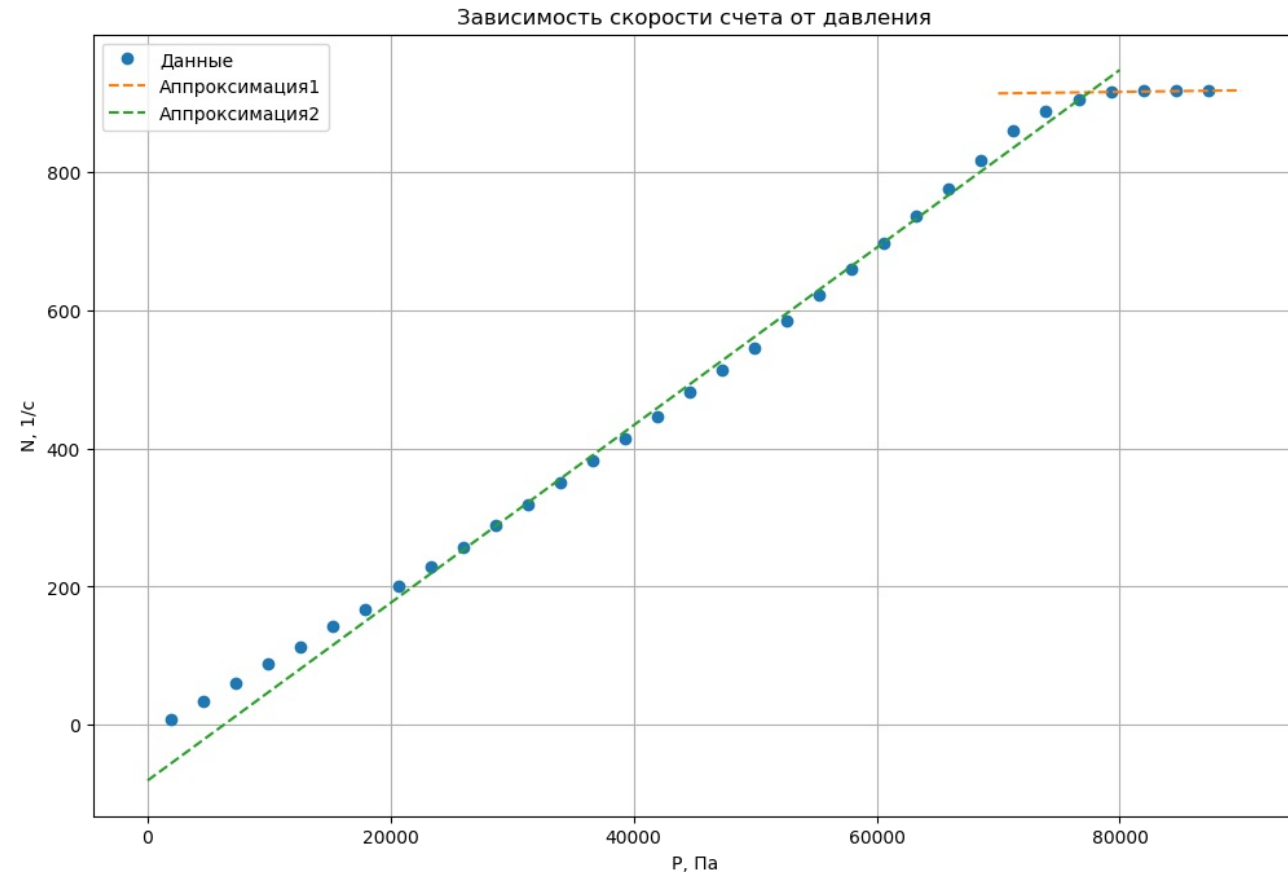


In [25]:

```
#Экстраполируем
x31 = x3[-4:]
y31 = y3[-4:]
x32 = x3[6:-6]
y32 = y3[6:-6]
a1, b1 = np.polyfit(x31,y31,1)
a2, b2 = np.polyfit(x32,y32,1)
s = 0
for i in range(len(y31)):
    s+= (abs(y31[i] - (a1*x31[i] - b1))**2
for i in range(len(y32)):
    s+= (abs(y32[i] - (a2*x32[i] - b2))**2
s = (s/(len(y31)+len(y32))**0.5
```

In [26]:

```
fig = plt.figure(figsize= (12, 8), dpi= 100)
ax1 = fig.add_subplot()
ax1.plot(x3, y3, 'o' ,label= "Данные")
ax1.grid(True)
ap1 = [i for i in range(70000, 100000, 10000)]
p1 = [a1*i + b1 for i in ap1]
ax1.plot(ap1, p1, "--", label= "Аппроксимация1")
ap2 = [i for i in range(0, 90000, 10000)]
p2 = [a2*i + b2 for i in ap2]
ax1.plot(ap2, p2, "--", label= "Аппроксимация2")
ax1.legend()
plt.xlabel("P, Па")
plt.ylabel("N, 1/с")
plt.title("Зависимость скорости счета от давления")
plt.show()
```



In [27]:

```
P0 = (b2-b1)/(a1-a2)
r3 = (P0/101330)*5
r31 = r3*0.001225
err3 = ((5/400)**2 + (s/y31[-1])**2)**0.5
r3_err = r3*err3
r31_err = r31*err3
print("Экстраполированный пробег: ", round(r3,3) , "+-", round(r3_err,3) , "см")
print("Экстраполированный пробег: ", round(r31,4) , "+-", round(r31_err,4) , "г/см^2")
```

Экстраполированный пробег: 3.824 +- 0.064 см
Экстраполированный пробег: 0.0047 +- 0.0001 г/см²

3. Вычислим энергию α -частиц

In [28]:

```
E_a3 = (r3/0.32)**(2/3)
E_a3_err = E_a3*err3
print("Энергия а-частиц: ", round(E_a3,3) , "+-", round(E_a3_err,3) , "МэВ")
```

Энергия а-частиц: 5.227 +- 0.088 МэВ

Это близко к табличному значению 5.15 МэВ

4. По полученным данным, рассчитаем, какой толщины должен быть листок бумаги, чтобы не пропустить данное α -излучение

In [29]:

```
#Плотность воздуха: 0.001225 г/см^3; плотность бумаги: 0.8 г/см^3, откуда:  
Rpap = ((r3+r2)/2)*(0.001225/0.8)*10  
print("Толщина бумаги:", round(Rpap,3), "мм")
```

Толщина бумаги: 0.055 мм

Обычная офисная бумага имеет толщину 0.1 мм - она не пропустит α -излучение

Вывод

Определили энергию α -частиц по величине их пробега в воздухе, самым точным методом измерений оказалась ионизационная камера