Интерференция электромагнитных волн миллиметрового диапазона

Обработка результатов

In [30]:
```
import numpy as np
import scipy as ps
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
%matplotlib inline
```

I. Интерференция в плоскопараллельной пластине

1. Убедимся в справедливости закона Малюса

Для этого будем поворачивать приемник вокруг оси z и измерять интенсивность волны.

In [10]:
```
data = pd.read_excel('lab-461.xlsx', 'table1')
data.head(len(data))
```

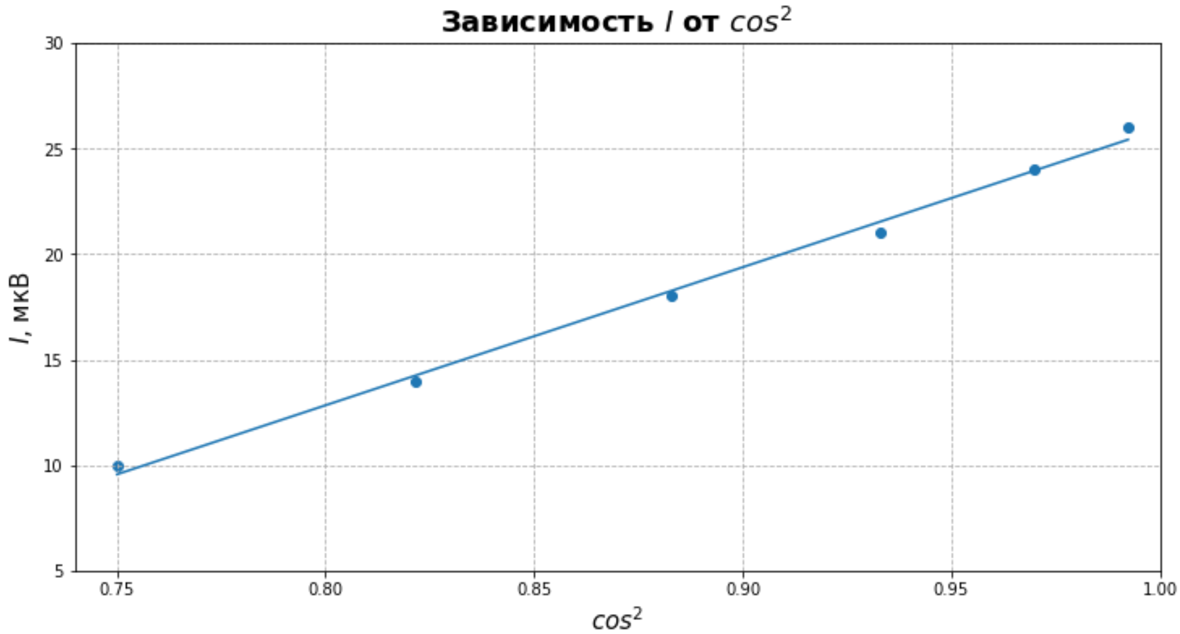
Out[10]:

	I, мкВ	alpha	(cos(alpha))**2
0	26	5	0.992404
1	24	10	0.969846
2	21	15	0.933013
3	18	20	0.883022
4	14	25	0.821394
5	10	30	0.750000

Закон Малюса: $I = I_0 cos^2\alpha$.

In [11]:
```
x = data.values[:, 2]
y = data.values[:, 0]

x = np.array(x, dtype=float)
y = np.array(y, dtype=float)

k, b = np.polyfit(x, y, deg=1)
```

In [20]:
```
plt.figure(figsize=(12, 6))
plt.grid(linestyle='--')

plt.title('Зависимость $I$ от $cos^2\alpha$', fontweight='bold', fo
ntsize=18)
plt.ylabel('$I$, мкВ', fontsize=15)
plt.xlabel('$cos^2\alpha$', fontsize=15)

plt.scatter(x, y)

plt.plot(x, k * x + b)

plt.xlim((0.74, 1))
plt.ylim((5, 30))

plt.legend()
plt.show()
```



In [18]:
```
k
```

Out[18]: 65.356040328983184

Видно, что закон Малюса выполняется, при этом $I_0 = 65.356$ мкВ.

2. Определим длину волны λ

Снимем зависимость интенсивности I от координаты x подвижного зеркала.

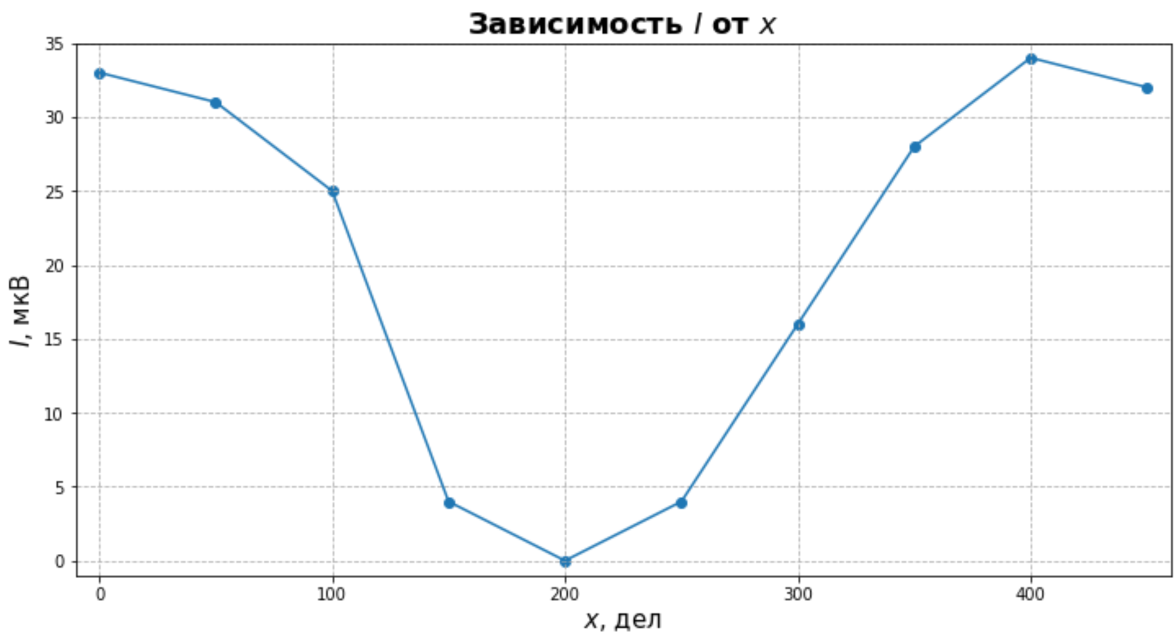
In [19]:
```
data = pd.read_excel('lab-461.xlsx', 'table2')
data.head(len(data))
```

Out[19]:

	I, мкВ	x, дел
0	33	0
1	31	50
2	25	100
3	4	150
4	0	200
5	4	250
6	16	300
7	28	350
8	34	400
9	32	450

100 дел = 1 мм

In [28]:
```
x = data.values[:, 1]
y = data.values[:, 0]

x = np.array(x, dtype=float)
y = np.array(y, dtype=float)

plt.figure(figsize=(12, 6))
plt.grid(linestyle='--')

plt.title('Зависимость $I$ от $x$', fontweight='bold', fontsize=18)
plt.ylabel('$I$, мкВ', fontsize=15)
plt.xlabel('$x$, дел', fontsize=15)

plt.scatter(x, y)
plt.plot(x, y)

plt.xlim((-10, 460))
plt.ylim((-1, 35))

plt.legend()
plt.show()
```



Из графика находим расстояние Δx между двумя соседними максимумами.
$\Delta x = 400$ дел = 4 мм

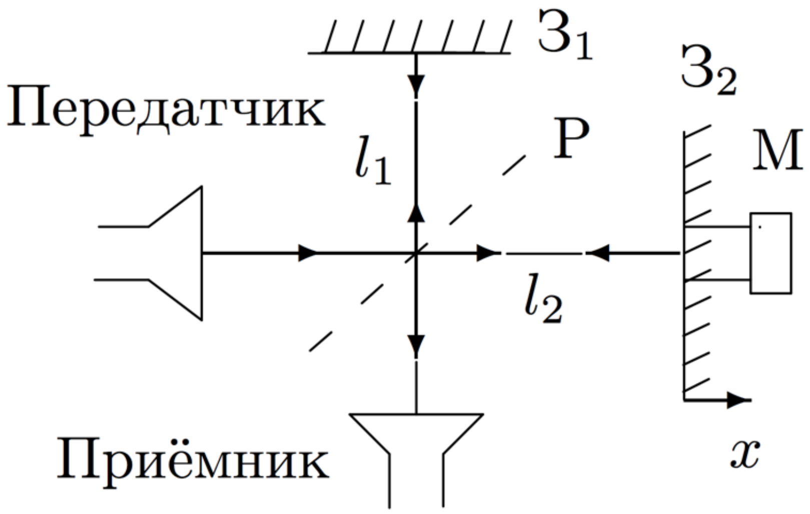
Рассчитаем λ исходя из экспериментальных данных

Разность хода: $\Delta = \dfrac{2d}{cos\theta}, cos\theta \to 1$
$\Delta = 2d, d = \Delta x$
$\lambda = 2\Delta x = 8$ мм

Рассчитаем теоретическое значение λ

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \cdot 10^8}{37 \cdot 10^9} = 8.1 \text{ мм}$$

II. Интерферометр Майкельсона



Перемещая подвижное зеркало, снимем зависимость координаты x зеркала от номера максимума.

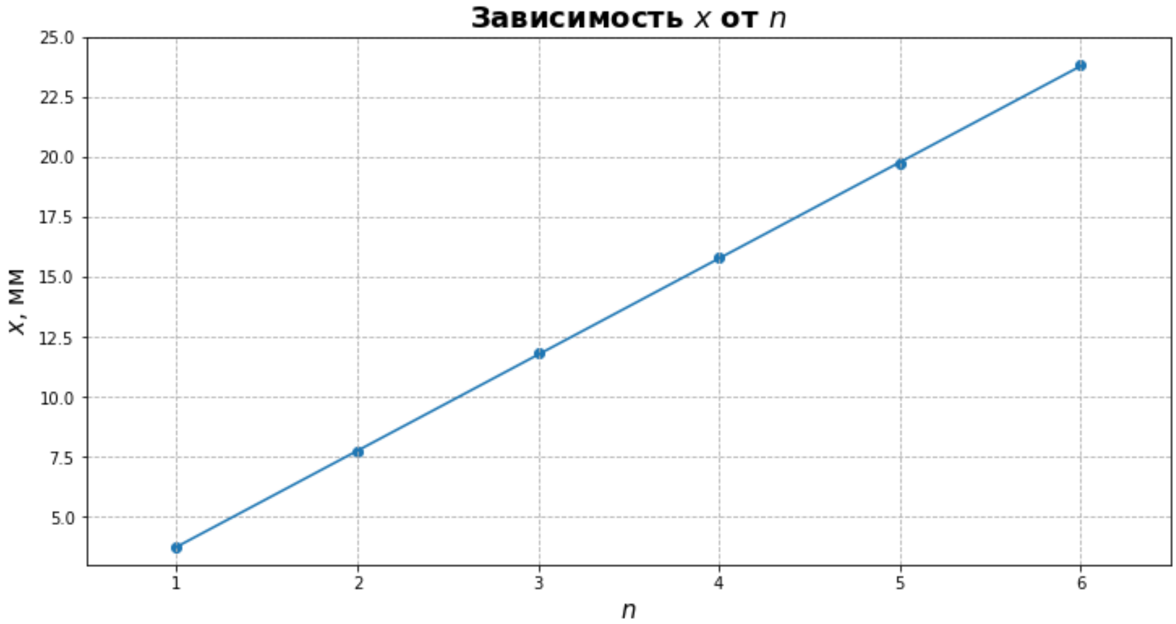
In [33]:
```
data = pd.read_excel('lab-461.xlsx', 'table3')
data.head(len(data))
```

Out[33]:

	x, мм	n
0	3.75	1
1	7.69	2
2	11.80	3
3	15.78	4
4	19.70	5
5	23.80	6

In [35]:
```
x = data.values[:, 1]
y = data.values[:, 0]

x = np.array(x, dtype=float)
y = np.array(y, dtype=float)

k, b = np.polyfit(x, y, deg=1)
```

In [40]:
```
plt.figure(figsize=(12, 6))
plt.grid(linestyle='--')

plt.title('Зависимость $x$ от $n$', fontweight='bold', fontsize=18)
plt.ylabel('$x$, мм', fontsize=15)
plt.xlabel('$n$', fontsize=15)

plt.scatter(x, y)

plt.plot(x, k * x + b)

plt.xlim((0.5, 6.5))
plt.ylim((3, 25))

plt.legend()
plt.show()
```



In [41]:
```
k
```

Out[41]: 4.0074285714285702

1. По графику определим длину волны λ

$$2\pi n = \frac{2\pi\Delta}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{\Delta}{n} = k \cdot 2 = 8 \text{ мм}$$

2. Найдем зависимость $I = f(\Delta)$

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\phi$$
$$\phi = k\Delta,\, k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Снимем зависимость интенсивности сигнала I от координаты x подвижного зеркала в пределах 1-ой длины волны.

In [47]:
```
data_th = pd.read_excel('lab-461.xlsx', 'table4')
data_th.head(len(data))
```

Out[47]:

	I, мкВ	x, мм
0	45.0	0.0
1	38.0	0.5
2	23.0	1.0
3	9.0	1.5
4	5.0	2.0
5	9.5	2.5
6	24.0	3.0
7	35.0	3.5
8	42.0	4.0

Убирая поочередно зеркала З_1 и З_2, измерим интенсивности каждого из интерферирующих лучей.
$I_1 = 5$ мкВ, $I_2 = 20$ мкВ

Найдем теоретическую зависимость $I = f(\Delta)$
$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos{(2\pi\frac{\Delta}{\lambda})}$$
$$I = 25 + 20\cos{(2\pi\frac{\Delta}{\lambda})}$$

In [48]:
```
data_exp = pd.read_excel('lab-461.xlsx', 'table5')
data_exp.head(len(data))
```

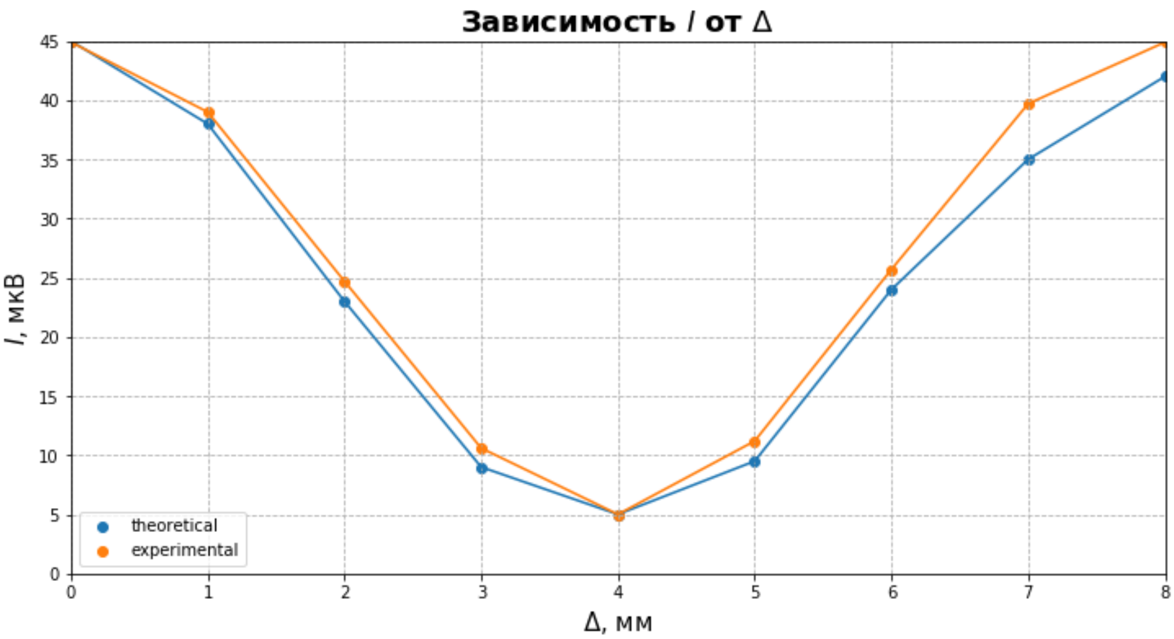
Out[48]:

	delta, мм	I, мкВ
0	0	44.9
1	1	39.0
2	2	24.7
3	3	10.6
4	4	5.0
5	5	11.2
6	6	25.7
7	7	39.7
8	8	44.9

Построим на одном графике экспериментальную (table4) и теоретическую (table5) зависимости $I = f(\Delta)$.

In [55]:

```
x_th = data_th.values[:, 1]
y_th = data_th.values[:, 0]
x_exp = data_exp.values[:, 0]
y_exp = data_exp.values[:, 1]

x_th = np.array(x_th, dtype=float)
y_th = np.array(y_th, dtype=float)
x_exp = np.array(x_exp, dtype=float)
y_exp = np.array(y_exp, dtype=float)

plt.figure(figsize=(12, 6))
plt.grid(linestyle='--')

plt.title('Зависимость $I$ от $\Delta$', fontweight='bold', fontsiz
e=18)
plt.ylabel('$I$, мкВ', fontsize=15)
plt.xlabel('$\Delta$, мм', fontsize=15)

plt.scatter(x_th * 2, y_th, label = 'theoretical')
plt.scatter(x_exp, y_exp, label = 'experimental')

plt.plot(x_th * 2, y_th)
plt.plot(x_exp, y_exp)

plt.xlim((0, 8))
plt.ylim((0, 45))

plt.legend()
plt.show()
```



Из графика видно, что теоретическая и экспериментальная зависимости почти совпадают.

3. Рассчитаем показатель преломления тефлона

Если на пути одного из лучей поставить пластинку толщиной d_0 с диэлектрической проницаемостью ε, то разность хода изменится на величину $2d_0(n-1)$, $n = \sqrt{\varepsilon}$.

Пусть в точке приема до внесения пластины наблюдается интерференционный максимум. Для того, чтобы получить тот же максимум при наличии пластинки, нужно зеркало свободного плеча интерферометра (плеча, в котором нет пластинки) отодвинуть на расстояние $\Delta x_0 = d_0(n-1)$.

Определим Δx_0:
$\Delta x_0 = 1$ мм
$n = 1 + \dfrac{\Delta x_0}{d_0}$, $d_0 = 3.2$ мм
$n = 1 + \dfrac{1}{3.2} = 1.31$

Табличное значение: $n = 1.4$