

# Дифракция света на УЗВ

Гончаров Марк

14 мая 2021 г.

## 1 Теория

При прохождении ультразвуковой волны через жидкость в ней возникают периодические оптические неоднородности, обусловленные разницей значений коэффициента преломления в областях сжатия и разрежения. В жидкостях при небольших амплитудах показатель преломления меняется, как

$$n = n_0(1 + a \cos Kx),$$

где  $K$  - волновое число для УЗ-волны,  $a$  - глубина модуляции показателя преломления, определяемая интенсивностью ультразвуковой волны.

Тогда на задней поверхности жидкости фаза

$$\varphi = knL = \varphi_0(1 + a \cos Kx),$$

где  $L$  - толщина слоя жидкости в кювете.

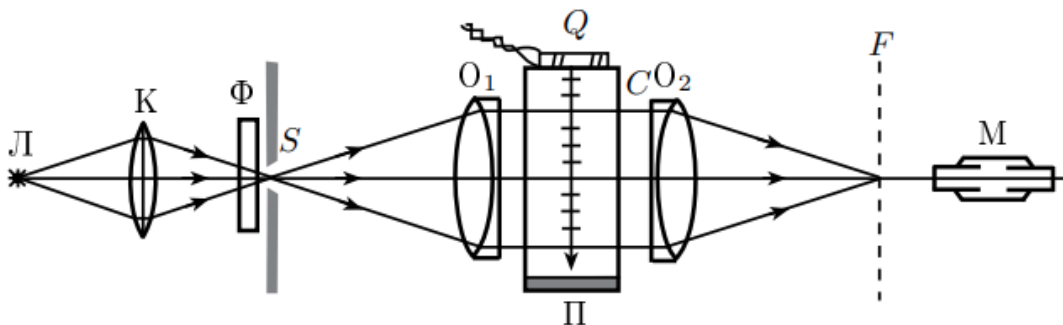


Рис. 1: Экспериментальная установка

Как мы знаем, максимумы интерференции мы будем наблюдать на расстояниях

$$\Lambda = \frac{m\lambda}{\sin \psi_m}.$$

Мы работаем на установке с объективом, имеющим фокусное расстояние  $f$ , поэтому

$$l_m = mf \frac{\lambda}{\Lambda},$$

где  $l_m$  - измеренное на опыте линейное расстояние между  $m$ -ым и нулевым максимумами.

Для наблюдения оптических неоднородностей, создаваемых УЗ волнами в жидкости, будем использовать метод тёмного поля на установке ниже:

Достигать цели мы будем с помощью линзы  $O$ , которую расположим на оптической скамье за фокальной плоскостью объектива  $O_2$ .

Метод тёмного поля же основан на устранении центрального дифракционного максимума с помощью специального экрана. Результирующее колебание будет только двух векторов  $\vec{E}_1$  и  $\vec{E}_{-1}$ .

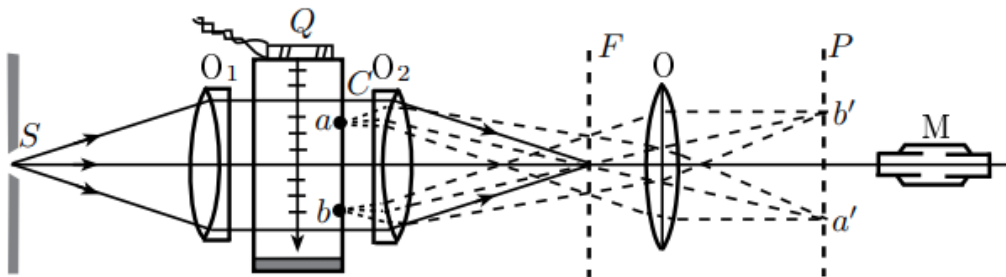


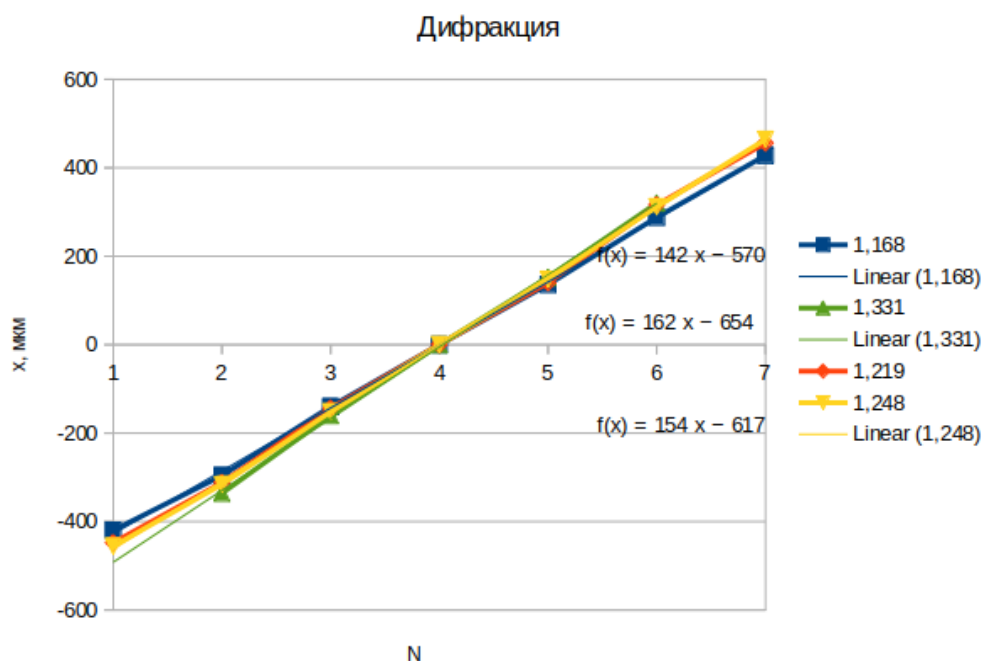
Рис. 2: Наблюдение оптических неоднородностей

## 2 Выполнение

Запишем показатели установки, на которой мы работали:  $\lambda_{red} = 640 \pm 20\text{нм}$ , фокусное расстояние объектива  $F = 30\text{см}$ .

Для возможных частот запишем показания. Перевод в мкм осуществлялся домножением на 4 количества делений.

|                 | х 1, дел | х 1, мкм | х 2, дел | х 2, мкм | х 3, дел | х 3, мкм | х 4, дел | х 4, мкм |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| -3              | -105     | -420     | -112     | -448     | -114     | -456     |          |          |
| -2              | -74      | -296     | -78      | -312     | -79      | -316     | -84      | -336     |
| -1              | -35      | -140     | -36      | -144     | -38      | -152     | -40      | -160     |
| 0               | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| 1               | 34       | 136      | 35       | 140      | 37       | 148      | 38       | 152      |
| 2               | 72       | 288      | 79       | 316      | 78       | 312      | 80       | 320      |
| 3               | 107      | 428      | 114      | 456      | 116      | 464      |          |          |
| $\nu$ , МГц     | 1,168    |          | 1,219    |          | 1,248    |          | 1,331    |          |
| $\tan$          | 142      |          | 151      |          | 154      |          | 162      |          |
| $\Lambda$ , мкм | 1352     |          | 1272     |          | 1247     |          | 1185     |          |
| $v$ , м/с       | 1579     |          | 1550     |          | 1556     |          | 1577     |          |



Для нахождения скорости распространения волны в воде сначала определим длину ультразвуковой волны

$$\Lambda = \frac{m\lambda f}{l_m} = \frac{f\lambda}{\tan \alpha},$$

где  $\tan \alpha$  будем определять по углу наклона прямой.

Итоговая скорость распространения волны:

$$v = \Lambda \nu$$

Основная погрешность набегает при измерении делений шкалы. Считаем её  $\delta = 0.02$ , поэтому, учитывая погрешность по МНК имеем абсолютную погрешность измерения скорости  $\sigma_v \approx 40 \text{ м/с}$ .

Теперь посчитаем скорость звука с помощью метода тёмного поля - устраним нулевой максимум в Фурье-плоскости тонкой проволокой.

Сначала нам следует определить цену деления окулярной шкалы микроскопа. Для этого мы приставили к задней стенке кюветы стеклянную пластинку с миллиметровыми делениями. Увидели, что в 6-ти делениях шкалы помещается 100 делений окулярной шкалы. Поэтому цена деления в нашем случае  $C = 0.06 \text{ мм}$ .

| $\nu$ , МГц | Тёмные $n$ | Шкала $N$ | $\Lambda$ , мм | $v$ , м/с |
|-------------|------------|-----------|----------------|-----------|
| 1,22        | 15         | 150       | 1,29           | 1569      |
| 1,259       | 17         | 160       | 1,20           | 1511      |
| 1,271       | 18         | 175       | 1,24           | 1570      |

В методе тёмного поля получившаяся интенсивность

$$I(x) = m^2 \frac{1 + \cos^2(2\Omega x)}{2}.$$

Главный вывод отсюда - мы удвоили период дифракционной картины увеличив видность картины. Поэтому теперь у нас расстояние между тёмными полосами  $\Lambda/2$ . С другой стороны, между ними  $C \frac{N}{n-1}$ . Отсюда искомая длина волны

$$\Lambda = 2C \frac{N}{n-1}.$$

Саму скорость звука также считаем по формуле  $v = \Lambda \nu$ .

Здесь основная погрешность набегала из-за  $\delta_N = 0.03$ , поэтому абсолютная погрешность измерения скорости звука  $\sigma_v = 50 \text{ м/с}$ .

### 3 Вывод

Если не учитывать непонятную кривость рук во втором эксперименте с тёмным полем, то результаты получились очень неплохие.

Научились мы... Вроде всё и так знали)))