

5.14. Дифракция света на ультразвуковой волне в жидкости

Цель работы: Изучение дифракции света на синусоидальной акустической решётке и наблюдение фазовой решётки методом тёмного поля.

В работе используются: оптическая скамья, осветитель, два длиннофокусных объектива, кювета с жидкостью, кварцевый излучатель с микрометрическим винтом, генератор ультразвуковой частоты, линза, вертикальная нить на рейтере, микроскоп.

В работе изучается дифракция света на фазовой решётке. Фазовая решётка создаётся в жидкости ультразвуковыми волнами и наблюдается методом тёмного поля.

При прохождении ультразвуковой (УЗ) волны через жидкость в ней возникают периодические оптические неоднородности, обусловленные разницей значений коэффициента преломления в областях сжатия и разрежения. Эти периодические неоднородности играют роль своеобразной дифракционной решётки для проходящего сквозь жидкость света. Общее рассмотрение задачи о дифракции света на ультразвуковой решётке приводит к существенным математическим трудностям. Поэтому мы ограничимся упрощённым рассмотрением.

Пусть УЗ-волна распространяется вдоль оси X (рис. 1) в жидкости, налитой в стеклянную кювету. В направлении оси Z сквозь жидкость проходит световая волна, испытывающая дифракцию на акустической решётке. Поскольку скорость света значительно больше скорости звука, акустическую решётку можно считать неподвижной. Вызванное ультразвуком возмущение показателя преломления жидкости в нашем случае очень мало. При этом естественно сделать предположение (справедливость которого мы потом исследуем теоретически и экспериментально), что лучи света при прохождении кюветы практически не искривляются.

При небольших амплитудах звуковой волны показатель преломления жидкости n меняется по закону

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

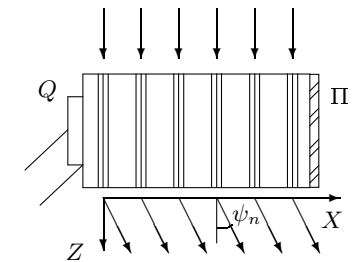


Рис. 1. Дифракция световых волн на акустической решётке

где K — волновое число для УЗ-волны ($K = 2\pi/\Lambda$), Λ — длина УЗ-волны, a — глубина модуляции показателя преломления, определяемая интенсивностью ультразвуковой волны ($a \ll 1$).

Пусть фаза световых колебаний на передней поверхности жидкости равна нулю. Тогда на задней поверхности (т.е. в плоскости $z = 0$) она равна

$$\varphi = knL = \varphi_0(1 + a \cos Kx), \quad (2)$$

где L — толщина слоя жидкости в кювете, k — волновое число для света ($k = 2\pi/\lambda$), λ — длина световой волны, $\varphi_0 = kn_0L$. Таким образом, в плоскости $z = 0$ фаза световых колебаний является периодической функцией координаты x , иными словами — УЗ-волна в жидкости создаёт фазовую дифракционную решётку.

Фронт прошедшей через кювету световой волны, т.е. поверхность постоянной фазы, определяется очевидной формулой

$$z = \frac{\varphi}{k}. \quad (3)$$

Угол $\theta(x)$ поворота волнового фронта зависит от координаты x :

$$\theta(x) = \frac{dz}{dx} = \frac{1}{k} \frac{d\varphi}{dx} = -\frac{K}{k} \varphi_0 a \sin Kx = -Kn_0L \cdot a \sin Kx. \quad (4)$$

Теперь мы можем сформулировать качественный критерий, при выполнении которого можно пренебречь искривлением световых лучей в кювете и, следовательно, считать акустическую решётку чисто фазовой:

$$|\theta(x)|_{\max} L \ll \Lambda. \quad (5)$$

Условие (5) означает, что световой луч (совпадающий с нормалью к волновому фронту) при прохождении кюветы смещается на величину, много меньшую Λ , даже если бы он везде внутри жидкости был наклонён под максимально возможным углом $|\theta(x)|_{\max}$. Это условие, конечно, является довольно грубым и содержит большой запас. Опуская несущественные числовые множители, его можно записать в виде

$$a \ll \left(\frac{\Lambda}{L}\right)^2. \quad (6)$$

Таким образом, чисто фазовая акустическая решётка реализуется лишь на достаточно слабой УЗ-волне. При повышении мощности ультразвука акустическая волна начинает работать как сложная амплитудно-фазовая решётка.

Дальнейшее рассмотрение будет проведено для случая синусоидальной фазовой решётки методом векторных диаграмм. Световую волну E , фаза которой в плоскости $z = 0$ является гармонической функцией координаты (формула (2)), можно приближённо представить в виде суперпозиции трёх плоских волн E_0 , E_1 , E_{-1} . При этом волна E_0 распространяется вдоль оси Z , а направления распространения волн E_1 и E_{-1} составляют с этой осью углы ψ_1 и ψ_{-1} . На рис. 2 изображены волновые векторы \mathbf{k}_0 , \mathbf{k}_1 , и \mathbf{k}_{-1} , указывающие направления распространения плоских волн E_0 , E_1 и E_{-1} .

Как следует из рис. 2, фаза волны E_0 в плоскости $z = 0$ не зависит от координаты x , а фазы волн E_1 и E_{-1} зависят от x по линейному закону. Изобразим теперь колебания E_0 , E_1 и E_{-1} в некоторой точке x плоскости $z = 0$ с помощью векторов \mathbf{E}_0 , \mathbf{E}_1 и \mathbf{E}_{-1} на векторной диаграмме. Тогда при движении вдоль оси X вектор \mathbf{E}_0 будет оставаться неподвижным, а векторы \mathbf{E}_1 и \mathbf{E}_{-1} будут равномерно поворачиваться на векторной диаграмме в разные стороны на углы $\gamma = \pm Kx$. Для того чтобы результирующее колебание \mathbf{E} , являющееся векторной суммой \mathbf{E}_0 , \mathbf{E}_1 и \mathbf{E}_{-1} , испытывало при этом периодическое изменение фазы и практически не изменялось по амплитуде, взаимная ориентация векторов \mathbf{E}_0 , \mathbf{E}_1 и \mathbf{E}_{-1} должна соответствовать рис. 3а при условии, что E_1 и $E_{-1} \ll E_0$.

Чтобы при смещении вдоль оси X на расстояние, равное длине звуковой волны Λ , фаза результирующего колебания \mathbf{E} возвращалась к прежнему значению, векторы \mathbf{E}_1 и \mathbf{E}_{-1} должны при этом поворачиваться на угол $\pm 2\pi$. Отсюда следует, что углы ψ_1 и ψ_{-1} (рис. 2) должны быть связаны соотношением

$$\psi_1 = \psi_{-1} = \frac{\lambda}{\Lambda}, \quad (7)$$

где λ — длина световой волны в воздухе. Геометрический смысл

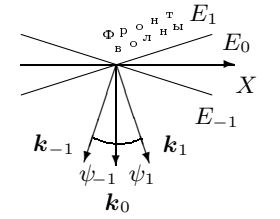


Рис. 2. Представление световой волны, фаза которой является гармонической функцией координаты x , в виде суммы трёх плоских волн

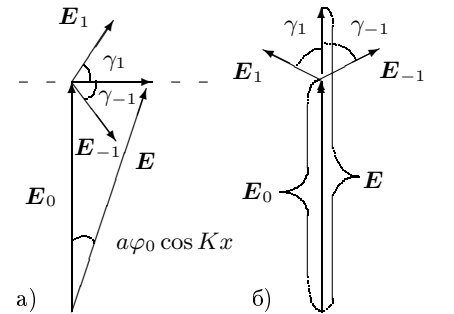


Рис. 3. Векторная диаграмма световых колебаний в случае фазовой (а) и амплитудной (б) дифракционной решётки

соотношения (7) поясняет рис. 4 (на примере волны E_1).

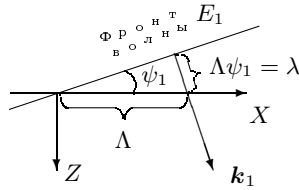


Рис. 4. Построение для волны E_1

правильно описывать световое поле во всём пространстве за кюветой (т.е. при $z > 0$). Описанная здесь процедура, называемая *разложением светового поля по плоским волнам* (метод Релея), широко используется в волновой физике.

Полезно провести сравнение фазовой и амплитудной акустических синусоидальных дифракционных решёток: для амплитудной решётки фаза световых колебаний при любом значении координаты x постоянна, а амплитуда меняется по гармоническому закону, аналогичному (2). Результирующее колебание E снова может быть представлено в виде суммы трёх колебаний E_0 , E_1 и E_{-1} (рис. 3б), однако теперь на векторной диаграмме сумма $E_1 + E_{-1}$ параллельна вектору E_0 , а не перпендикулярна ему, как это было в предыдущем случае. Таким образом, переход от фазовой решётки к амплитудной соответствует повороту вектора E_0 на векторной диаграмме на угол $\pi/2$.

При наблюдении дифракционной картины Фраунгофера три плоские волны E_0 , E_1 и E_{-1} соответствуют дифракционным максимумам нулевого и первого порядков.

Проведённое выше рассмотрение справедливо только в случае слабой фазовой модуляции. В общем случае после прохождения через кювету световое поле представляет совокупность не трёх, а большого числа плоских волн, распространяющихся под углами, определяемыми условием

$$\Lambda \sin \psi_m = m\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots). \quad (8)$$

Каждая из этих волн соответствует одному из максимумов в дифракционной картине Фраунгофера.

Определяя на опыте положение дифракционных максимумов различного порядка, можно по формуле (8) найти длину Λ УЗ-волны и вычислить скорость v распространения ультразвуковых волн в жидкости, если

известна частота ν колебаний кварцевого излучателя:

$$v = \Lambda \nu. \quad (9)$$

Изложенная теория применима как для бегущих, так и для стоячих ультразвуковых волн. Стоячие УЗ-волны образуются при наложении волны, идущей от излучателя, и волны, отражённой от задней стенки кюветы. Если же заднюю стенку кюветы покрыть слоем пористой резины (слой П на рис. 1), то волна от неё не отражается, и в кювете образуется практически чистая бегущая волна. Следует иметь в виду, что в стоячей волне амплитуда изменения давления (а следовательно, и коэффициента преломления) больше, чем в бегущей волне, создаваемой тем же излучателем. В связи с этим дифракционная картина в первом случае содержит большее число максимумов.

Экспериментальная установка. Для наблюдения дифракции света на УЗ-волнах на оптической скамье собирается установка, изображённая на рис. 5.

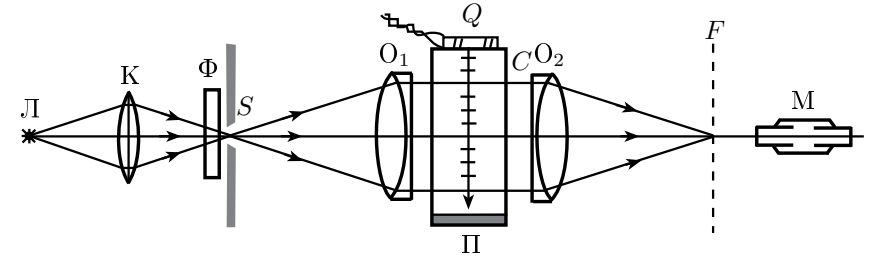


Рис. 5. Схема наблюдения дифракции на акустической решётке

Источник света Л через светодиффузор Ф и конденсор К освещает щель S, которая расположена в фокусе объектива O_1 . Выходящий из объектива параллельный пучок света проходит через кювету C перпендикулярно направлению распространения УЗ-волн. Эти волны возбуждаются в жидкости пьезокварцевой пластинкой Q, прикреплённой к стенке кюветы. На кварцевую пластинку подаётся напряжение ультразвуковой частоты от генератора (на рис. 5 не показан). В фокальной плоскости второго объектива O_2 образуется дифракционная картина, наблюдаемая при помощи микроскопа М. При этом обязательно применяют монохроматическое излучение (красный светодиффузор).

Чёткость дифракционных полос зависит от ряда факторов, например, от ширины щели S, от её наклона по отношению к вертикали, от угла наклона кюветы к падающему лучу и т.д.

Длина Λ ультразвуковой волны определяется с помощью (8); в силу малости углов ψ_m окончательное выражение может быть представлено в виде

$$l_m = mf \frac{\lambda}{\Lambda}, \quad (10)$$

где l_m — измеренное на опыте линейное расстояние между m -м и нулевым максимумами, а f — фокусное расстояние объектива O_2 .

Наблюдение оптических неоднородностей, создаваемых ультразвуковыми волнами в жидкости методом тёмного поля. Попробуем теперь получить видимое изображение фазовой акустической решётки. Для этого прежде всего необходимо получить в поле зрения микроскопа изображение задней плоскости (считая по ходу световых лучей) кюветы. Это достигается с помощью вспомогательной положительной линзы O , которую располагают на оптической скамье за фокальной плоскостью объектива O_2 (рис. 6).

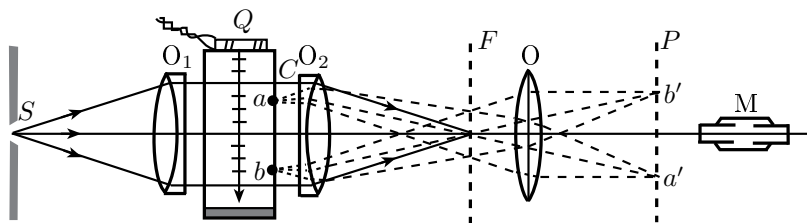


Рис. 6. Наблюдение акустической решётки методом тёмного поля

Перемещая микроскоп вдоль оптической скамьи, фокусируют его на плоскость P , где расположено чёткое изображение $a'b'$ какого-либо предмета ab , вплотную прижатого к стенке кюветы. Можно ли теперь увидеть в микроскоп УЗ-волну?

В силу *таутохронизма* линзы O_2 и O изображают кювету в плоскости P , не нарушая фазовых соотношений между колебаниями, изображаемыми на диаграмме векторами \mathbf{E}_0 , \mathbf{E}_1 и \mathbf{E}_1 (и векторами высших порядков, если они есть в картине). Диаграмма рис. 3 применима поэтому и к плоскости P . Освещённость отдельных точек этой плоскости, пропорциональная квадрату амплитуды результирующего светового колебания E , в первом приближении не зависит от координаты x . Акустическая решётка оказывается, следовательно, невидимой, если, конечно, выполнено условие (6), при котором решётка является чисто фазовой.

Сравнение векторных диаграмм фазовой и амплитудной решёток (см. рис. 3) показывает, что при изменении фазы колебаний в централь-

ном дифракционном максимуме на $\pm\pi/2$ фазовую структуру можно сделать видимой. Такой метод наблюдения носит название *метода фазового контраста*.

В настоящей работе используется другой способ получения видимого изображения решётки — *метод тёмного поля*, основанный на устранении центрального дифракционного максимума с помощью специального экрана. Результирующее колебание на векторной диаграмме представляется при этом суммой только двух векторов \mathbf{E}_1 и \mathbf{E}_{-1} . Как следует из рис. 3а, амплитуда результирующего колебания при этом максимальна при углах поворота векторов $\gamma_1 = \gamma_{-1} = 0, \pi$ и равна нулю при углах $\gamma_1 = \gamma_{-1} = \pi/2, 3\pi/2$. В поле зрения микроскопа наблюдаются чередующиеся светлые и тёмные полосы, причём расстояние между тёмными полосами соответствует смещению в плоскости кюветы на $\Lambda/2$. Таким образом, наблюдается характерное для метода тёмного поля удвоение числа деталей рассматриваемой структуры.

Этот опыт можно проводить только со стоячими волнами, т.к. в случае бегущей волны визуальное наблюдение оказывается невозможным: глаз не успевает следить за быстро перемещающейся волной.

А. Установка с вертикальной щелью

ЗАДАНИЕ

В работе предлагается измерить координаты дифракционных полос, образующихся при дифракции света на акустической решётке, а также определить период этой решётки методом тёмного поля. По результатам измерений рассчитывается скорость ультразвука в воде. Все измерения ведутся на стоячей волне.

1. Определение скорости ультразвука по дифракционной картине

1. Соберите схему согласно рис. 5. Для получения параллельного пучка установите щель S на фокусном расстоянии от главной плоскости объектива O_1 (положение главной плоскости и фокусное расстояние объектива указаны на установке).
2. Ярko осветите щель с помощью конденсора. Предварительную настройку можно вести с зелёным фильтром.

С помощью листа бумаги найдите резкое изображение щели S в фокальной плоскости F объектива O_2 . Перемещая микроскоп вдоль оптической скамьи, сфокусируйте его на резкое изображение щели. Предметная плоскость микроскопа расположена на расстоянии 2–4 см от его объектива.

Если окулярная шкала видна нерезко, следует вынуть окуляр из тубуса и, направив на любой освещённый объект, вращением глазной линзы подстроить его под свой глаз. Вернув окуляр на место, снова найдите резкое изображение щели.

3. Включите генератор УЗ-частоты и частотомер. Плавно изменяя частоту генератора в диапазоне 1–1,5 МГц, получите в поле зрения микроскопа систему дифракционных полос.
4. Замените широкополосный зелёный фильтр красным. Изменяя ширину щели S , её наклон и положение конденсора, добейтесь оптимальных условий наблюдения дифракционных полос.
5. Проследите, как изменяется число дифракционных полос при изменении мощности ультразвука.
6. Найдите чёткую дифракционную картину и, перемещая излучатель с помощью микрометрического винта, оцените по порядку величины длину УЗ-волны как удвоенное расстояние между наиболее чёткими дифракционными картинками.
7. Измерьте положения x_m шести-восьми дифракционных максимумов с помощью поперечного микрометрического винта микроскопа. Один оборот винта (100 дел.) соответствует перемещению в 1 мм.

Не рекомендуется использовать для этих измерений окулярную шкалу, т.к. цена деления её неизвестна, а калибровка шкалы с помощью винта поперечного смещения микроскопа даёт большую погрешность.

Определите рабочую частоту по показаниям частотомера.

8. Повторите измерения п. 7 для 3–4-х частот в одном из диапазонов: вблизи одного, 4-х или 6-ти МГц. Отключите сигнал генератора, не выключая его из сети.
9. Запишите фокусное расстояние объектива O_2 и полосу пропускания светофильтра, указанные на установке.
10. Для каждой частоты постройте график зависимости координаты x_m от порядка m и по наклону прямой определите расстояние между соседними полосами $l_m/m = \Delta x_m/\Delta m$. Рассчитайте длину Λ УЗ-волны по формуле (10).
11. Рассчитайте скорость ультразвука в воде по формуле (9). Оцените погрешность эксперимента и сравните результат с табличным.

II. Определение скорости ультразвука методом тёмного поля

12. Для перехода к методу тёмного поля (рис. 6), не смещая микроскоп, поставьте рейтер с вертикальной нитью в фокальной плоскости F объектива O_2 и, перемещая рейтер вдоль оптической скамьи, найдите резкое изображение нити. Оно должно совпадать с резким изображением щели.

Не смещая рейтер с нитью, отодвиньте микроскоп и поставьте дополнительную линзу между нитью и микроскопом.

13. К задней (по ходу луча) стенке кюветы прижмите стеклянную пластинку с миллиметровыми делениями. Откройте пошире входную щель. С помощью листа бумаги найдите плоскость, в которой располагается резкое изображение линейки, созданное двумя линзами. Передвигая микроскоп, сфокусируйте его на изображение пластинки.
14. Определите цену деления окулярной шкалы в условиях опыта. Для этого совместите самые дальние из хорошо видимых в поле зрения миллиметровых делений пластинки с делениями окулярной шкалы и запишите количество тех и других делений.

Вместо калибровки окулярной шкалы можно найти соответствие между делениями поперечного микрометрического винта и линейки в кювете.

Проведённая калибровка соответствует определённому положению микроскопа, поэтому не следует перемещать микроскоп вдоль скамьи до конца эксперимента.

15. Уберите пластинку из кюветы и уменьшите ширину входной щели. Включите генератор и попытайтесь увидеть звуковую решётку. Если решётка видна без применения метода тёмного поля (при открытом нулевом максимуме), значит, она не чисто фазовая, а сложная амплитудно-фазовая. В этом случае приведённая выше теория плохо применима. Уменьшая мощность излучателя, добейтесь исчезновения видимого изображения решётки в поле зрения микроскопа.
16. Закройте центральный дифракционный максимум вертикальной нитью. Удобно устанавливать нить в отсутствие УЗ-сигнала. В этом случае нет никаких максимумов, кроме нулевого (изображения щели), так что правильно установленная нить должна полностью затемнять поле зрения (отсюда название *метод тёмного поля*).
17. Включите генератор и найдите изображение акустической решётки.
18. Измерьте длину УЗ-волны в воде. Для этого с помощью окулярной шкалы (или микрометрического винта) измерьте расстояние между самыми дальними из хорошо видимых в поле зрения тёмных (или светлых) полос и просчитайте число промежутков между ними.
19. В заключение работы проделайте качественные эксперименты. Перемещая нить, закрывайте последовательно максимумы первого, второго и т.д. порядков и наблюдайте за изменениями картины звукового поля.

Убрав нить, постепенно закрывайте дифракционные максимумы с помощью края экрана (лезвия бритвы).

Объясните изменения в картине звукового поля.

20. Рассчитайте длину УЗ-волны Λ с учётом удвоения числа деталей, наблюдаемых методом тёмного поля. Определите скорость ультразвука в воде и оцените погрешность эксперимента.

Б. Установка с горизонтальной щелью

Источник света Л (рис. 7) с помощью конденсора К проецируется на входную (коллиматорную) щель S. Входная щель ориентирована горизонтально и прикрыта красным светофильтром Ф. Коллиматорный объектив O_1 посылает параллельный пучок на кювету с водой C.

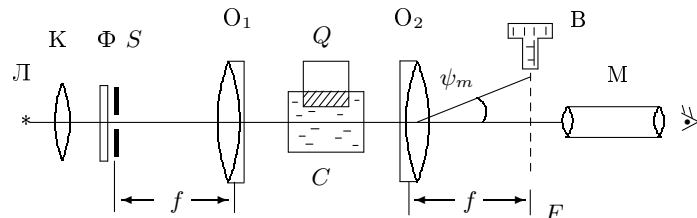


Рис. 7. Схема для наблюдения дифракции на акустической решётке

Излучатель Q, погружённый в кювету, создаёт УЗ-волну. Вертикальное перемещение излучателя осуществляется винтом I (рис. 8), тонкая подача — лимбом II. При определённых положениях излучателя волна становится стоячей.

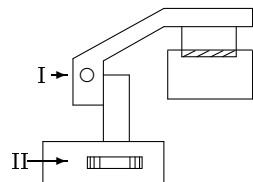


Рис. 8. Устройство для вертикального перемещения излучателя

Параллельный пучок света, дифрагируя на стоячей звуковой волне, образует дифракционную картину в фокальной плоскости F (рис. 7) камерного объектива O_2 . Картину можно наблюдать в микроскоп М.

Дифракционные полосы ориентированы горизонтально. Расстояние между ними можно измерить с помощью микрометрического винта В. Винт передвигает размещённые на стекле (рис. 9) в плоскости F перекрестие П, тонкую реперную линию Рл и толстую проволоку Пр, которая используется в методе тёмного поля.

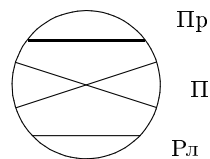


Рис. 9. Проволока Пр, перекрестие П и реперная линия Рл в фокальной плоскости объектива O_2

ЗАДАНИЕ

В работе предлагается измерить координаты полос, образующихся при дифракции света на акустической решётке, а также определить период этой решётки методом тёмного поля. По результатам измерений рассчитывается скорость ультразвука в воде. Все измерения ведутся на стоячей волне.

1. Определение скорости ультразвука по дифракционной картине

- а) Соберите схему согласно рис. 7. Включите осветитель. Максимально откройте входную щель.

б) Поместив лист бумаги между коллиматором и кюветой, убедитесь, что световое пятно равномерно освещено; затем проверьте освещённость пятна на выходе из прибора. В случае необходимости отцентрируйте источник света и конденсор (см. Техническое описание — ТО, «Юстировка», пп. 1 и 2).

в) Настройте микроскоп и отсчётное устройство (см. ТО, пп. 3 и 4).

Установите рабочую ширину щели 20–30 мкм.

- Получите дифракционную картину (см. ТО, п. 5). Картина видна наиболее чётко, когда в кювете образуется стоячая УЗ-волна.

Перемещая излучатель с помощью лимба (рис. 8), оцените по порядку величины длину УЗ-волны как удвоенное расстояние между наиболее чёткими дифракционными картинками. Цена деления лимба — 10 мкм, один оборот — 50 делений. Максимальное перемещение излучателя — 2 мм.

- Определите положения дифракционных полос. Это удобно делать в следующем порядке:

а) увидев дифракционную картину, установите частоту генератора на ближайшее фиксированное значение (например, 1,2; 1,3 МГц и т. д. — для удобства отсчёта);

б) вращением лимба II (рис. 8) добейтесь наилучшей картины: в поле зрения должно быть 8–10 дифракционных полос;

в) с помощью перекрестия П и микрометрического винта, установленного на выходе из прибора, определите координату Y (в делениях винта) каждой светлой полосы (окулярная шкала микроскопа в этом упражнении не используется). Запишите соответствующую частоту.

- Повторите измерения п. 3 для трёх–четырёх фиксированных частот, лежащих в одном из диапазонов (см. рис. 2-ТО).

- Для подготовки установки к следующему упражнению, глядя в окуляр, закройте проволочкой (Пр на рис. 9) центральный максимум (изображение щели) и запишите показания винта, перемещающего проволочку. Это облегчит Вам настройку методом тёмного поля.

6. Постройте на одном листе графики $Y = Y(m)$ (от $-m$ до $+m$). Для каждой частоты определите по наклону прямой расстояние между соседними полосами (цена деления микрометрического винта — 4 мкм). Зная фокусное расстояние объектива O_2 ($f = 28$ см) и полосу пропускания красного фильтра ($\lambda = 6400 \pm 200$ Å), рассчитайте длину УЗ-волны Λ по формуле (10). Рассчитайте скорость звука для каждой частоты по формуле (9) и среднюю скорость.
7. Оцените погрешность эксперимента. Сравните результат с табличным.

II. Определение скорости ультразвука методом тёмного поля

8. Для перехода к методу тёмного поля отодвиньте микроскоп от щели и разместите в промежутке между ними дополнительную линзу (рис. 6).

Поднимите излучатель над кюветой, опустите в воду квадратную сетку (сторона квадрата — 1 мм) и прижмите её к задней по ходу луча стенке кюветы.

Расширьте входную щель, чтобы увеличить освещённость поля зрения микроскопа. Найдите изображение сетки на листе бумаги (в плоскости P) и убедитесь, что свет попадает на объектив микроскопа. Передвигая микроскоп вдоль оптической оси, настройтесь на резкое изображение сетки в плоскости P . Центрируя линзу O по высоте и вокруг горизонтальной и вертикальной осей, добейтесь того, чтобы чётко были видны как горизонтальные, так и вертикальные штрихи сетки. Закрепите микроскоп.

Окулярная шкала микроскопа ориентирована вертикально. Используя как можно большую часть поля зрения микроскопа, зафиксируйте координаты совпадающих штрихов окулярной шкалы и сетки.

Проведённая калибровка соответствует определённому положению микроскопа, поэтому не следует перемещать микроскоп вдоль скамьи до конца эксперимента.

Рассчитайте цену малого деления окулярной шкалы в этом эксперименте.

9. Для наблюдения акустической решётки установите рабочую ширину щели (20–30 мкм). Уберите калибровочную сетку из кюветы, опустите туда излучатель и, варьируя частоту, постарайтесь увидеть звуковую решётку в микроскоп. Если решётка видна при открытом центральном максимуме, значит, она сложная амплитудно-фазовая. Уменьшая мощность ультразвука, добейтесь исчезновения видимого изображения решётки.
10. Закройте нулевой дифракционный максимум проволоочкой (см. упр. I, п. 5). Это можно сделать, глядя мимо микроскопа на стекло в фокальной плоскости объектива O_2 (рис. 6). При этом проволочка закрывает изображение щели, и поле зрения микроскопа затемняется.

11. Меняя частоту, наблюдайте акустическую решётку. Убедитесь, что при удалении проволочки с главного максимума решётка не видна.
12. Определение периода звуковой решётки удобно вести при фиксированных частотах, настраивая чёткую картину перемещением излучателя (см. упр. I, п. 3).

Зафиксируйте с помощью окулярной шкалы микроскопа координаты первой и последней из хорошо видимых в поле зрения тёмных полос и количество светлых промежутков между ними.

13. Повторите измерения п. 12 для 6–8-ми частот внутри одной из рабочих полос УЗ-излучателя (рис. 2-ТО).
14. Закрывая проволочкой последовательно 1-й, 2-й, -1 -й, -2 -й максимумы, наблюдайте за изменением картины. Объясните явление.
15. Для каждой частоты рассчитайте длину УЗ-волны Λ с учётом удвоения числа наблюдаемых полос.
16. Постройте график $\Lambda = F(1/\nu)$ и определите по наклону прямой скорость ультразвука в воде.

Оцените погрешность эксперимента, сравните результаты с теоретическими.

Контрольные вопросы

1. Покажите, что период акустической решётки совпадает с длиной бегущей ультразвуковой волны как в случае бегущих, так и в случае стоячих волн. Покажите, что формула (8) справедлива для любой периодической решетки, независимо от того, является ли она амплитудной или фазовой.
- 2.* Как изменяется во времени интенсивность света в дифракционных максимумах разного порядка при дифракции света на бегущих и на стоячих ультразвуковых волнах?
- 3.* В чём отличие метода тёмного поля от метода фазового контраста?
- 4.* Сформулируйте экспериментальный критерий того, что акустическая решётка является чисто фазовой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ландсберг Г.С. Оптика. — М.: Наука, 1976. Гл. X, § 56.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. — Т. IV. Оптика. — М.: Наука, 1980. Гл. IV, § 59.
3. Козел С.М., Локшин Г.З., Листвин В.Н. Введение в когерентную оптику и голографию: Учебно-методическое пособие. — М.: МФТИ, 2001.
4. Кингсеп А.С., Локшин Г.Р., Ольхов О.А. Основы Физики. — Т. I. Механика, электричество и магнетизм, колебания и волны, волновая оптика. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. § 8.8.

НЕКОТОРЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ТЕРМИНЫ

1. ЮСТИРÓВКА (лат. *justus* — правильный) — настройка системы: центрирование оптических элементов для получения высокого качества изображения.

2. ЁРИСОВАЯ (греч. *iris* — радуга) диафрагма — приспособление для регулирования освещённости объекта; состоит из заходящих друг за друга тонких серповидных пластинок, образующих круглое отверстие. (Сравните «ирис» в медицине — радужная оболочка глаза.)

3. КОНДЁНСОР (лат. *condensare* — сгущать) — линза или система линз, используемая для освещения объекта. (Сравните «конденсатор» в электричестве — накопитель зарядов.)

4. КОЛЛИМА́ТОР (*collimare* — искажённое лат. *collineare* — направлять по прямой линии) — оптическое устройство для получения пучка параллельных лучей. (Сравните «коллинеарный» в математике.)

5. КА́МЕРА (лат. *camera* — свод, комната) — часть прибора, где получается изображение. (Иногда так называют весь прибор: «кино-, фотокамера».)

6. ТА́УТОХРОНИ́ЗМ (лат. *tautos* — тот же самый, *chronos* — время) — свойство линз, заключающееся в том, что все лучи, выходящие из одной точки-предмета, после прохождения линзы придут в точку-изображение за одно время, т.е. линза не вносит дополнительной разности фаз между лучами, проходящими через разные участки линзы.