

4.3.2 (5.14Б). ДИФРАКЦИЯ СВЕТА НА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВОЛНЕ В ЖИДКОСТИ

Б. Установка с горизонтальной щелью

6-VI-2017 г.

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ

В работе используются: оптическая скамья, осветитель, светофильтры, конденсор, щель, два длиннофокусных объектива, кювета с водой, кварцевый излучатель с микрометрическим винтом, генератор УЗ-частоты, частотомер, линза, отсчётное устройство, микроскоп.

Экспериментальная установка. Источник света Л (рис. 4) с помощью конденсора К проецируется на входную (коллиматорную) щель S монохроматора. Входная щель ориентирована горизонтально и прикрыта красным светофильтром Φ . Коллиматорный объектив O_1 посылает параллельный пучок на кювету с водой C .

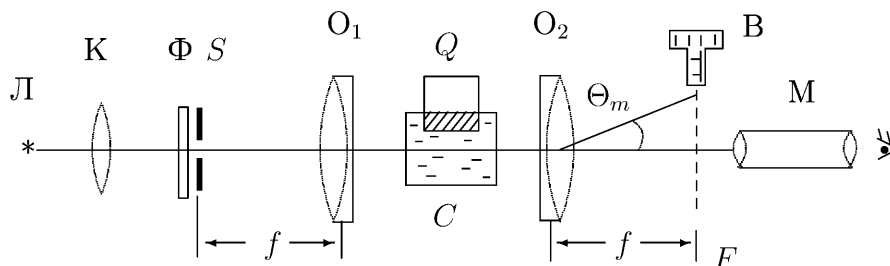


Рис. 4. Схема для наблюдения дифракции на акустической решетке

Излучатель Q , погруженный в кювету, создаёт УЗ-волну. Вертикальное перемещение излучателя осуществляется винтом I (рис. 5), тонкая подача — лимбом II . При определённых положениях излучателя волна становится стоячей.

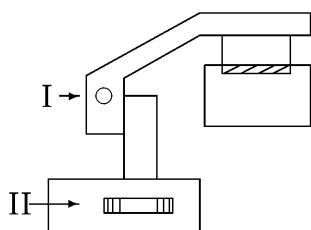


Рис. 5. Устройство для вертикального перемещения излучателя

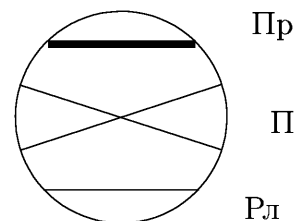


Рис. 6. Проволока $Пр$, перекрестие $П$ и реперная линия $Рл$ в фокальной плоскости объектива O_2

Параллельный пучок света, дифрагируя на стоячей звуковой волне, образует дифракционную картину в фокальной плоскости F (рис. 4) 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 стекло, расположенное в плоскости F (рис. 6), на котором размещены тонкая реперная линия $Рл$, перекрестие $П$ и толстая проволока $Пр$, (проволока используется только в методе тёмного поля).

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 (4):

$$\Lambda \sin \Theta_m = m\lambda; \quad (4)$$

в силу малости углов Θ_m окончательное выражение может быть представлено в виде

$$l_m = mf \frac{\lambda}{\Lambda}. \quad (6)$$

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

Скорость v распространения звука в воде можно рассчитать, если известна частота ν кварцевого излучателя:

$$v = \Lambda\nu. \quad (5)$$

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. 3).

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 акустическую решётку — УЗ-волну?

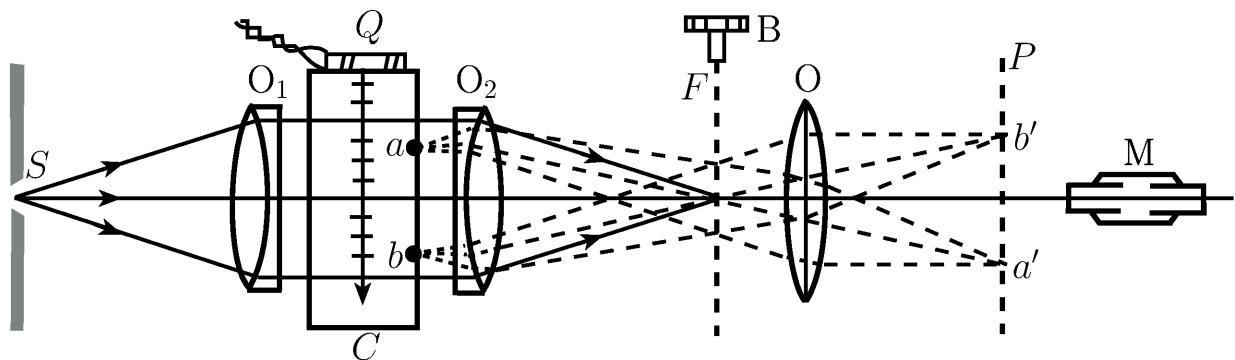


Рис. 3. Наблюдение акустической решётки методом тёмного поля

Для наблюдения акустической решётки в работе используется *метод тёмного поля*, основанный на устранении центрального дифракционного максимума с помощью специального экрана (проволоки). В поле зрения микроскопа наблюдаются чередующиеся светлые и тёмные полосы, причём расстояние между темными 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.

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.

I. Определение скорости ультразвука по дифракционной картине

1. а) Соберите схему согласно рис. 4. Включите осветитель. Максимально откройте входную щель.

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

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

Установите рабочую ширину щели 20–30 мкм (отсчёт ведётся от деления, соответствующего началу открытия щели, т.к. ноль может быть сбит).

2. Получите в поле зрения микроскопа дифракционную картину (см. ТО, п.5).

Перемещая излучатель с помощью лимба (рис. 5), оцените по порядку величины длину УЗ-волны как удвоенное расстояние между наиболее чёткими дифракционными картинками (картина видна наиболее чётко, когда в кювете образуется стоячая УЗ-волна).

Цена деления лимба — 10 мкм; один оборот — 50 делений; максимальное перемещение излучателя — 2 мм.

Определите рабочую частоту по показаниям частотомера.

По результатам измерений оцените на месте скорость звука в воде, используя формулу (5).

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

а) меняя частоту генератора вблизи одного МГц, найдите дифракционную картину;

б) вращением лимба II (рис. 5) добейтесь наилучшей картины: в поле зрения должно быть 8–10 дифракционных полос;

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

4. Повторите измерения п. 3 для четырёх–пяти частот, в интервале от одного до семи–восьми МГц. Отключите сигнал генератора, не выключая его из сети.

5. Для подготовки установки к следующему упражнению, глядя в окуляр, закройте проволочкой (Пр на рис. 6) 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 (6): $l_m = m f \lambda / \Lambda$.
Рассчитайте скорость звука для каждой частоты по формуле (5) ($v = \Lambda \nu$) и среднюю скорость.
7. Оцените погрешность эксперимента. Сравните результат с теоретическим.

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. 3).

Поднимите излучатель над кюветой, пластинку с калибровочной сеткой (сторона квадрата — 1 мм) опустите в воду и прижмите 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, определите координаты совпадающих штрихов окулярной шкалы и сетки¹.

Проведенная 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 от «нового нуля»). 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 проволочкой (см. упр. III, п. 5). Это можно сделать, глядя мимо микроскопа на стекло в фокальной плоскости объек-

¹ Вместо калибровки окулярной шкалы можно найти соответствие между делениями поперечного микрометрического винта и линейки в кювете.

тива O_2 . Если проволочка закрывает изображение щели, поле зрения микроскопа затемняется.

11. Меняя частоту, наблюдайте акустическую решётку. Убедитесь, что при удалении проволочки с главного максимума решётка не видна.
12. Перемещая излучатель, найдите наиболее чёткую картину звуковой решётки. Определите 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 шести–восьми частот в интервале от одного до семи–восьми МГц.
14. В заключение работы проделайте качественные эксперименты.
Закрывая проволокой последовательно 1-й, 2-й, –1-й, –2-й максимумы, наблюдайте за изменением картины звукового поля. Объясните явление.
Убрав проволоку из поля зрения, постепенно отодвигайте микроскоп от линзы, пока не увидите изображение звуковой решётки. 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.

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. *condencare* — сгущать) — линза или система линз, используемая для освещения объекта. (Сравните <конденсатор> в электричестве — накопитель зарядов.)

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

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

6. ТАУТОХРОНИЗМ (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.

10-III-2016 г.