

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
"НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. КОФ

А. М. Лидер

« 19 »

02

2016 г.

**ЭФФЕКТ ДЕБАЯ-СИРСА.  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В  
ЖИДКОСТЯХ**

**Методические указания к выполнению  
лабораторной работы № 2-30  
по курсу «Общая физика» для студентов всех специальностей.**

Томск 2016

УДК

Эффект Дебая-Сирса. Определение скорости ультразвуковых волн в жидкостях. Методические указания к выполнению лабораторной работы № 2 - 30 по курсу «Общая физика» по теме «Колебания» для студентов всех специальностей.

Составитель: Пак В.В.

Рецензент: Т.Н Мельникова

Методические указания рассмотрены и рекомендованы методическим семинаром кафедры общей физики .16.02.....2016 г.

Зав. кафедрой ОФ, проф. А. М. Лидер.



## **ЭФФЕКТ ДЕБАЯ-СИРСА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В ЖИДКОСТЯХ**

**Цель работы:** Наблюдение картины дифракции при фиксированной частоте ультразвука для двух различных длин волн света. Наблюдение картины дифракции при различных частотах ультразвука в диапазоне между 1 МГц и 12 МГц. Определение соответствующих длин волн звука и скорости звука.

**Приборы и принадлежности:** Генератор ультразвуковых непрерывных колебаний. Испытательный сосуд. Красный и зеленый лазерные диоды для демонстрации эффекта Дебая - Сирса.



Рис.1. Экспериментальная установка

### **КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ**

**Дифракция света** – в узком, но наиболее употребительном смысле – огибание лучами света границы непрозрачных тел (экранов); проникновение света в область геометрической тени. В широком смысле дифракция света – проявление волновых свойств света в предельных условиях перехода от волновой оптики к геометрической. Как волновое явление дифракция света зависит от длины волны света. Красный свет сильнее дифрагирует (сильнее отклоняется границами тел), чем фиолетовый.

*Т.е. (разложение белого света в спектр, вызванное дифракцией, имеет обратную последовательность цветов по сравнению с получающейся при разложении света в призме).*

**Ультразвук** – упругие волны с частотами приблизительно от  $(1,5 - 2,0) \cdot 10^4$  Гц до  $10^9$  Гц. По физической природе ультразвук не отличается от звука, поэтому частотная граница между звуковыми и ультразвуковыми волнами условна. Однако благодаря более высоким частотам и, следовательно, малым длинам волн имеет место ряд особенностей распространения ультразвука. Ввиду малой длины волны характер распространения ультразвука определяется в первую очередь молекулярной структурой среды. Поэтому, измеряя скорость можно судить о молекулярных свойствах вещества.

Дифракция света на ультразвуковых волнах в жидкостях была предсказана *Бриллюэном* в 1922 г., а экспериментально это явление было подтверждено в 1932 г. *Дебаем* и *Сирсом*, а также *Люка* и *Бикаром*. Ее вызывают периодические изменения коэффициента преломления жидкости, которые

порождаются ультразвуковыми волнами. Если луч света проходит через жидкость перпендикулярно направлению распространения ультразвука, структура работает как фазовая дифракционная решетка, которая движется в зависимости от скорости звука. Постоянная этой дифракционной решетки соответствует длине волны ультразвука и, таким образом, зависит от его частоты и скорости звука в данной среде. Движением фазовой дифракционной решетки можно пренебречь, если наблюдать явление на экране с большого расстояния.

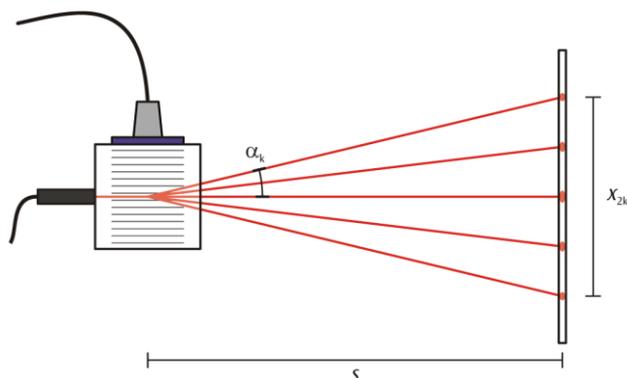


Рис.2. Схема, показывающая дифракцию света на фазовой дифракционной решетке, создаваемой ультразвуковыми волнами в жидкости.

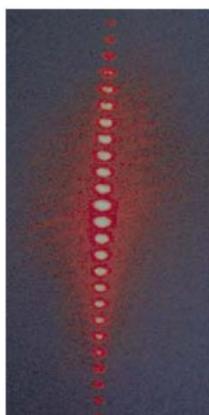


Рис. 3. Картина дифракции, вызванная дифракцией света на фазовой дифракционной решетке, создаваемой ультразвуковыми волнами в жидкости

В этом опыте вертикально ориентированный генератор создает в испытательной жидкости ультразвуковые волны на частотах между 1 МГц и 12 МГц. Монохроматический параллельный луч света проходит через жидкость в горизонтальном направлении и дифрагирует на этой фазовой дифракционной решетке (см. рис. 1).

Картина дифракции содержит несколько дифракционных максимумов, отстоящих друг от друга на равных расстояния (см. рис. 2).

Максимум  $k$ -ого порядка дифракционной картины находится под углом дифракции  $\alpha_k$ , который определяется выражением:

$$\operatorname{tg} \alpha_k = k \frac{\lambda_1}{\lambda_s} \quad (1)$$

где  $\lambda_1$  - длина волны света,  $\lambda_s$  - длина волны ультразвука.

Таким образом, длину ультразвуковой волны  $\lambda_s$  можно определить по расстоянию между дифракционными максимумами. Более того, принимая во внимание соотношение

$$v = f \cdot \lambda_s \quad (2)$$

можно рассчитать скорость звука  $v$  в жидкости, поскольку частота  $f$  ультразвуковых волн также известна.

### Порядок проведения опыта

1. Измерить расстояние  $s$  от лазерного диода до экрана.
2. Включить генератор ультразвуковых непрерывных колебаний.
3. Включить лазер и многочастотный зонд.
4. Установить частоту 1 МГц.
5. Установить требуемую амплитуду сигнала зонда и при помощи трех регулировочных винтов на держателе зонда отрегулировать положение многочастотного зонда таким образом, чтобы генерировались стоячие волны.
6. На экране измерить расстояние  $x_{2k}$  между  $-k$ -м и  $+k$ -м дифракционными максимумами.
7. С шагом 1 МГц увеличить частоту до 12 МГц, для каждой частоты измеряя расстояние  $x_{2k}$  и определяя порядок дифракции  $k$ .
8. Установить вместо красного лазерного диода зеленый и повторить измерения.
9. Результаты измерений занести в таблицы:

**Таблица 1**

#### Экспериментальные данные для света с длиной волны

$\lambda_1 = 625$  нм

$f$ , МГц	$k$	$x_{2k}$ , см	$\lambda_s$ , мкм
1			
...			
12			

## Экспериментальные данные для света с длиной волны

$\lambda_1 = 532 \text{ нм}$

$f$ , МГц	$k$	$x_{2k}$ , см	$\lambda_s$ , мкм
1			
...			
12			

## Оценочный расчет

В ходе работы необходимо измерить расстояние  $s$  между генератором ультразвуковых волн и экраном, используемым для наблюдения дифракционной картины, а также расстояние  $x_{2k}$  между  $-k$ -ым и  $+k$ -ым дифракционными максимумами. По этим двум расстояниям можно рассчитать угол дифракции  $\alpha_k$  для максимума  $k$ -ого порядка, который определяется выражением:

$$\operatorname{tg} \alpha_k = \frac{x_{2k}}{2s} \quad (3)$$

Учитывая уравнение (1) получаем следующее выражение для определения длины ультразвуковой волны  $\lambda_s$ :

$$\lambda_s = \frac{2 \cdot k \cdot s}{x_{2k}} \lambda_1 \quad (4)$$

По этому уравнению рассчитать длины звуковых волн в правом столбце обеих таблиц.

Принимая во внимание соотношение

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f, \quad (5)$$

построить график зависимости расчетной длины волны от  $\frac{1}{f}$ . По линейному участку построенной прямой определить скорость звука в жидкости:  $v = \operatorname{tg} \varphi$ , где  $\varphi$  – угол наклона прямой к оси ординат.

Сделайте выводы по работе.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение дифракции как физического явления.
2. Как соотносится дифракция Френеля и дифракция Фраунгофера?
3. Приведите примеры проявления дифракции Френеля и дифракции Фраунгофера.
4. Каковы условия наблюдения дифракции Френеля?
5. Какие параметры светового пучка, преграды и условия наблюдения необходимо указать при рассмотрении дифракции Френеля?
6. Какая величина называется параметром дифракции, и каков ее физический смысл?
7. Объясните, исходя из физического смысла параметра дифракции, в каких случаях, исследуя световой пучок за преградой, можно использовать законы

геометрической оптики, а когда необходимо учитывать волновые эффекты – дифракцию?

**8.** Объясните, исходя из физического смысла параметра дифракции, можно ли наблюдать дифракцию света на преграде, которая представляет собой диск диаметром 50 см или щель шириной 50 см?

**9.** Какие волны называют упругими?

**10.** В чем особенность распространения ультразвуковых волн?

**11.** Что лежит в основе акустооптического взаимодействия?

**12.** Что играет роль дифракционной решетки при акустооптическом взаимодействии?

**13.** От чего зависит показатель преломления вещества? Меняется ли он при прохождении ультразвуковой волны?

**14.** Как изменяется дифракционная картина с увеличением частоты ультразвука?

**15.** Нарисуйте вид дифракционной картины, получаемой от щели  $S_2$ , в случаях, когда щель  $S_2$  будет «широкой» и «узкой».

**16.** Изобразите графически вид кривой интенсивности света по ширине щели  $S_2$  в случае, когда щель  $S_2$  будет «широкой» и «узкой».

**17.** Изобразите на графике вид кривой интенсивности света по ширине щели  $S_2$  с точки зрения геометрической оптики.

**18.** Как объяснить наблюдаемые дифракционные картины с помощью спирали Корню?

**19.** Изобразите дифракционную картину, при дифракции света на нити.

**20.** Изобразите схематично установку для наблюдения эффекта Дебая-Сирса.

**21.** Можно ли дифракцию Фраунгофера наблюдать на установке, собранной для наблюдения дифракции Френеля? Если можно, то что для этого необходимо сделать?

**22.** Что общего и какие отличия между дифракционными картинами, наблюдаемые при дифракции на одиночной и двойной щелях?

**23.** Как будет изменяться дифракционная картина, если увеличивать число щелей  $S_2$  до бесконечности?

## ГЛОССАРИЙ

**Длина волны** — расстояние между двумя ближайшими друг к другу точками, колеблющимися в одинаковых фазах.

**Волновой фронт** — это поверхность, до которой дошли колебания к данному моменту времени.

**Высота звука** — свойство звука, определяемое человеком на слух и зависящее в основном от его частоты, т. е. от числа колебаний среды (обычно воздуха) в секунду, которые воздействуют на барабанную перепонку. С увеличением частоты колебаний растёт высота звука. Звук, обладающий определённой высотой, в музыке называется тоном.

**Громкость звука** — субъективное восприятие силы звука (абсолютная величина слухового ощущения). Громкость главным образом зависит от звукового давления и частоты звуковых колебаний. Единицей абсолютной шкалы громкости является сон. Громкость в 1 сон — это громкость непрерывного чистого синусоидального тона частотой 1 кГц, создающего звуковое давление 2 мПа.

**Звуковые волны** — это возмущения, распространяющиеся в материальной среде, и связанные с колебаниями частиц этой среды. Звуковые волны охватывают диапазон частот от 10—20 Гц (низкие звуки — басы) до 20 кГц (высокие звуки) и распространяются в воздухе со скоростью около 340 м/с.

**Дебая-Сирса эффект.** В 1932 г. Дебай и Сирс впервые продемонстрировали преломление света при прохождении через жидкость, в которой создана высокочастотная вибрация. В этом случае максимумы и минимумы плотности стоячей ультразвуковой волны работают как элементы оптической дифракционной решетки. Постоянная такой дифракционной решетки равна половине длины волны и поэтому зависит от частоты и скорости распространения ультразвуковых волн, проходящих через среду (например, воду, глицерин, масло).

**Ультразвук** — упругие колебания и волны с частотами приблизительно от  $1,5 \cdot 10^4$  —  $2 \cdot 10^4$  гц (15 — 20 кгц) и до  $10^9$  гц (1 Гц), область частот ультразвука от  $10^9$  до  $10^{12-13}$  гц принято называть гиперзвуком. Область частот ультразвука можно подразделить на три подобласти: ультразвук низких частот ( $1,5 \cdot 10^4$  —  $10^5$  гц) — УНЧ, ультразвук средних частот ( $10^5$  —  $10^7$  гц) — УСЧ и область высоких частот ультразвук ( $10^7$  —  $10^9$  гц) — УЗВЧ. Каждая из этих подобластей характеризуется своими специфическими особенностями генерации, приёма, распространения и применения.

**Фазовая дифракционная решетка** может иметь вид профилированной стеклянной пластины (пропускательная дифракционная решетка) или профилированного зеркала (отражательная дифракционная решетка). В современных приборах применяются главным образом отражательные фазовые дифракционные решетки.