

Исследование акустооптического модулятора светового потока.

1.Цель работы.

Целью работы является исследование характеристик акустооптического модулятора (АОМ), осуществляющего пространственную и временную модуляцию светового потока в соответствии с управляющим ВЧ – сигналом.

2.Задание на лабораторную работу.

Перед выполнением работы должны быть изучены основные принципы модуляции света акустическими волнами и особенности дифракции света на объемных фазовых решетках [1, с.200-214; 2, с.5-13].

Перед включением аппаратуры необходимо изучить описание лабораторной установки. **Включение аппаратуры под напряжение производится с разрешения преподавателя.**

Лабораторная работа состоит из двух этапов:

1. Исследование процессов дифракции света на ультразвуке в режиме Рамана-Ната.
2. Исследование процессов дифракции света на ультразвуке в режиме Брэгга.

В процессе выполнения работы производится:

- изучение принципов работы АОМ светового потока;
- изучение состава лабораторного оборудования;
- измерение углов дифракции света в режиме Рамана-Ната;
- исследование зависимости эффективности дифракции от мощности акустического сигнала в режиме Рамана-Ната;
- исследование зависимости эффективности дифракции от угла падения световой волны на звукопровод модулятора в режиме Рамана-Ната;
- определение оптимального угла падения света на звукопровод модулятора в режиме Брэгга;
- исследование зависимости дифракционной эффективности от мощности акустического сигнала в режиме Брэгга при оптимальном угле падения света;
- исследование зависимости эффективности дифракции от угла падения света на звукопровод в режиме Брэгга.

3.Описание лабораторной установки.

Структурная схема лабораторной установки изображена на рис.1. Источником монохроматического света служит газовый гелий-неоновый лазер ЛГН-208Б с длиной волны излучения $\lambda = 0,6328$ мкм (1). Лазерный луч, отраженный поворотным зеркалом (2), падает на прозрачный звукопровод акустооптического модулятора (3), закрепленного на поворотном столике (4) таким образом, что можно изменять угол падения света на звукопровод модулятора вращением юстировочного винта. Пройдя через звукопровод АОМ и отразившись от поворотного зеркала (5), продифрагированный луч направляется на фотоприемник (6), закрепленный на подвижном столике (7). Высокочастотный электрический сигнал подается на АОМ от генератора ВЧ-колебаний Г4-143 (8). Пьезопреобразователь АОМ возбуждает в звукопроводе бегущую акустическую волну, на которой и происходит дифракция световой волны, падающей на звукопровод. Картина дифракции света на ультразвуковой волне наблюдается на экране, размещенном на лицевой поверхности измерительной головки фотоприемника.

Интенсивность света, прошедшего через АОМ, регистрируется с помощью фотоприемника и цифрового вольтметра (9), которым измеряется напряжение на выходе фотодиода, включенного в фотогальваническом режиме.

4. Методические указания к выполнению работы.

1. Изучить теоретические сведения по данной работе, изложенные в [1, с.200-214; 2, с.5-13].

При изучении явления дифракции света на акустических волнах следует обратить внимание на отличительные особенности дифракции света на фазовых решетках в режимах Рамана-Ната и Брэгга. Акустическая волна, распространяющаяся в прозрачном звукопроводе АОМ, вызывает периодическую модуляцию показателя преломления материала звукопровода. При этом в звукопроводе формируется фазовая дифракционная решетка, период которой равен длине акустической волны в материале звукопровода. При нормальном падении световой волны на АОМ и сравнительно невысокой частоте звуковой волны наблюдается симметричная картина дифракции Рамана-Ната. При наклонном падении световой волны и более высокой частоте звуковой волны симметрия дифракционных порядков нарушается, и при выполнении условия Брэгга

$$2 \sin \varphi_{\text{в}} = \frac{\lambda}{\Lambda} \quad (1)$$

где $\varphi_{\text{в}}$ - угол падения света на звукопровод, интенсивность света в первом порядке дифракции может превысить интенсивность света во всех остальных дифракционных порядках. Картина дифракции становится резко несимметричной, и при достаточно высокой частоте акустической волны f т.е. при малых значениях Λ , дифракционная картина содержит только два порядка: нулевой, т.е. свет, прошедший звукопровод без отклонения, и первый порядок – дифрагировавшую волну.

2. Ознакомиться с описанием лабораторной установки, расположением оптических элементов и юстировочных винтов.

3. Исследовать зависимость углов дифракции от частоты акустического сигнала в режиме Рамана-Ната. Для этого включить источник питания лазера, генератор ВЧ - сигнала и вольтметр. Установить АОМ так, чтобы луч лазера падал на звукопровод перпендикулярно к нему. Для этого необходимо, вращая винт поворотного столика (4), совместить отраженный от звукопровода луч с падающим лучом, контролируя совмещение лучей по положению пятна отраженного луча на миллиметровой сетке измерительной шкалы, размещенной на торцевой поверхности излучателя лазера.

Измерить интенсивность света $I_{\text{вх}}$, прошедшего через АОМ, в отсутствии на АОМ высокочастотного сигнала. Для этого с помощью винта подвижного столика (7) совместить риску на подвижной платформе столика с нулевым делением шкалы на столике. При этом луч света, прошедший через АОМ, должен точно попадать в центр апертуры фотоприемника. Произвести измерение напряжения на выходе фотоприемника с помощью милливольтметра. Записать измеренное значение интенсивности $I_{\text{вх}}$. Подать на АОМ высокочастотный сигнал от генератора (8). Для этого установить на генераторе частоту 50 МГц, включить клавишу «Выход 50» и вращением ручек «Уровень» установить максимальный уровень выходного сигнала, контролируя его по измерителю уровня. При этом на измерительном экране, размещенном на лицевой поверхности измерительной головки фотоприемника, будет наблюдаться картина дифракции света на ультразвуковой волне в режиме Рамана-Ната (рис.2).

Картина имеет вид яркого центрального пятна – нулевого порядка дифракции I_0 и расположенных симметрично относительно него менее ярких первого $I_{\pm 1}$ и минус первого I_{-1} , а также второго и минус второго $I_{\pm 2}$ порядков дифракции. Измерив по миллиметровой шкале расстояния a_1, a_{-1}, a_2, a_{-2} между центрами пятен нулевого порядка и соответствующими высшими порядками дифракции (рис.2), вычислить углы дифракции θ_m по формуле

$$\theta_m = \arctg \frac{a}{R} \quad m \quad (2)$$

где $m = \pm 1, \pm 2$; $R = 40$ см, расстояние от АОМ до экрана.

Рассчитать соответствующие теоретические значения углов дифракции по формуле

$$\theta_m = \arcsin \left(m \frac{\lambda}{\Lambda} \right) \quad (3)$$

где $\lambda = 0,6328$ мкм – длина волны света.

Λ - длина звуковой волны в звукопроводе АОМ, определяемая для данной частоты акустического сигнала по формуле

$$\Lambda = \frac{V}{f} \quad (4)$$

где V - скорость звуковой волны в материале звукопровода, для стекла ТФ-7 $V = 3,63 \cdot 10^5$ см / сек.

Сравнить величины углов дифракции, измеренные на опыте (формула 2) и вычисленные теоретически (формула 3).

4. Измерить зависимость эффективности дифракции в первом порядке дифракционной картины от мощности акустического сигнала. Для этого с помощью винта подвижного столика (7) переместить измерительную головку фотоприемника в область нахождения первого дифракционного порядка, совместив пятно первого порядка с центром апертуры фотоприемника. Точность попадания в фотоприемник контролировать по максимуму показаний измерителя фототока. Произвести калибровку шкалы индикатора уровня ВЧ - сигнала, для чего установить ручкой калибровки показания индикатора, равные 100 при крайнем правом положении ручек регулировки уровня. Используя ручку точной регулировки уровня, снять зависимость интенсивности света в первом порядке I_1 , от уровня мощности ВЧ – сигнала $P_{\text{вых}}$. Измерение $P_{\text{вых}}$ производится в делениях шкалы индикатора в относительных единицах (100 делений шкалы соответствует 1 Вт акустической мощности).

По результатам измерений построить график зависимости дифракционной эффективности $\eta = I_1 / I_{\text{вх}}$ от $P_{\text{вых}}$. (величина $I_{\text{вх}}$ измерена ранее и представляет собой интенсивность света, прошедшего через АОМ в отсутствие акустического сигнала).

5. Исследовать зависимость эффективности дифракции в первом порядке от угла падения света на звукопровод АОМ. Для этого, вращая юстировочный винт поворотного столика (4), изменять угол падения света на звукопровод АОМ в обе стороны от первоначального положения, при котором звукопровод перпендикулярен световому лучу, одновременно измеряя интенсивность света I_1 в первом дифракционном порядке.

Для определения угла падения света на звукопровод необходимо измерить отклонение а отраженного луча от падающего луча по миллиметровой сетке измерительной шкалы, расположенной на торце излучателя лазера (рис.3). Угол падения луча света на звукопровод АОМ при этом вычисляется по формуле:

$$\varphi_{\text{пад}} = \frac{1}{2} \arcsin \frac{a}{b} \quad (5)$$

где b - расстояние между торцом излучателя и АОМ, $b = 33$ см.

Построить график зависимости дифракционной эффективности $\eta = I_1 / I_{\text{вх}}$ от угла φ падения в режиме Рамана-Нага.

6. Произвести определение оптимального угла падения света на звукопровод АОМ в режиме Брэгга. Для этого необходимо установить частоту ВЧ – сигнала 80 МГц, переместить измерительную головку фотоприемника в область первого дифракционного максимума I_1 , введя дифракционное пятно в апертуру фотоприемника. Затем, изменяя угол падения света на звукопровод АОМ винтом поворотного столика, добиться максимальной величины I_1 .

Измерить угол падения $\varphi_{\text{опт}}$, соответствующий максимальной эффективности дифракции I_1 .

Для оптимального угла падения измерить по шкале на измерительной головке фотоприемника расстояние между центрами пятен нулевого и первого порядков дифракции a_1 . Рассчитать угол дифракции θ_1 первого порядка по формуле:

$$\theta_1 = \arctg(a_1/R) - \varphi_{\text{опт}}$$

Рассчитать период фазовой решетки Λ , образованной акустической волной в звукопроводе по формуле (4). Рассчитать угол Брэгга $\varphi_{\text{в}}$ для решетки с периодом Λ по формуле (1). Сравнить рассчитанные значения $\varphi_{\text{в}}$ с измеренными значениями $\varphi_{\text{опт}}$.

7. Исследовать зависимость эффективности дифракции в первом порядке от мощности акустической волны в режиме Брэгга при оптимальном угле падения света на звукопровод. Построить график зависимости $\eta = I_1 / I_{\text{вх}}$ от $P_{\text{вых}}$ при $\varphi_{\text{пад}} = \varphi_{\text{опт}}$.

8. Исследовать зависимость эффективности дифракции в первом порядке в режиме Брэгга от угла падения света на звукопровод. Для этого, установив оптимальный угол падения и измерив соответствующую ему интенсивность $I_{1\text{max}}$, вращением поворотного столика АОМ изменять угол падения света в обе стороны от оптимального, измеряя при этом углы падения и соответствующие им значения интенсивности дифрагированного света I_1 . Построить зависимость отношения $I_1 / I_{1\text{max}}$ от угла падения света на звукопровод.

9. Повторить измерения углов дифракции и оптимальных углов падения света на звукопровод при частотах акустического сигнала 110 МГц и 240 МГц.

5. Содержание отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Функциональную схему лабораторной установки (рис.1).
2. Результаты проведенных измерений в виде таблиц и графиков.
3. Результаты расчетов по формулам 1 – 6.
4. Выводы по работе и анализ полученных результатов.

Контрольные вопросы.

1. Поясните механизм образования фазовой решетки в звукопроводе модулятора.
2. Назовите отличительные особенности дифракции света на фазовых решетках в режимах Рамана-Ната и Брэгга.
3. Какова максимально достижимая эффективность дифракции АОМ в режимах Рамана-Ната и Брэгга?
4. Может ли используемый в работе АОМ применяться для анализа спектра ВЧ – сигнала?
5. Дайте определение понятия «дифракционная эффективность».
6. Каким образом в АОМ создается режим бегущей волны?
7. Почему в качестве источника излучения при работе с АОМ используется лазер?
8. Как изменится дифракционная эффективность АОМ в режиме Брэгга при увеличении толщины звукового столба?
9. Дайте качественное пояснение картины дифракции при подаче на вход АОМ двух гармонических сигналов близких частот, трех и т.д.
10. Какие параметры оптической волны может модулировать АОМ ?

Литература.

1. Мустель Е.Р., Парыгин В.Н. – Методы модуляции и сканирования света. – М.: Наука, 1970.
2. Магдич Л.Н., Молчанов В.М. – Акустооптические устройства и их применение.- М.: Сов.Радио, 1978.

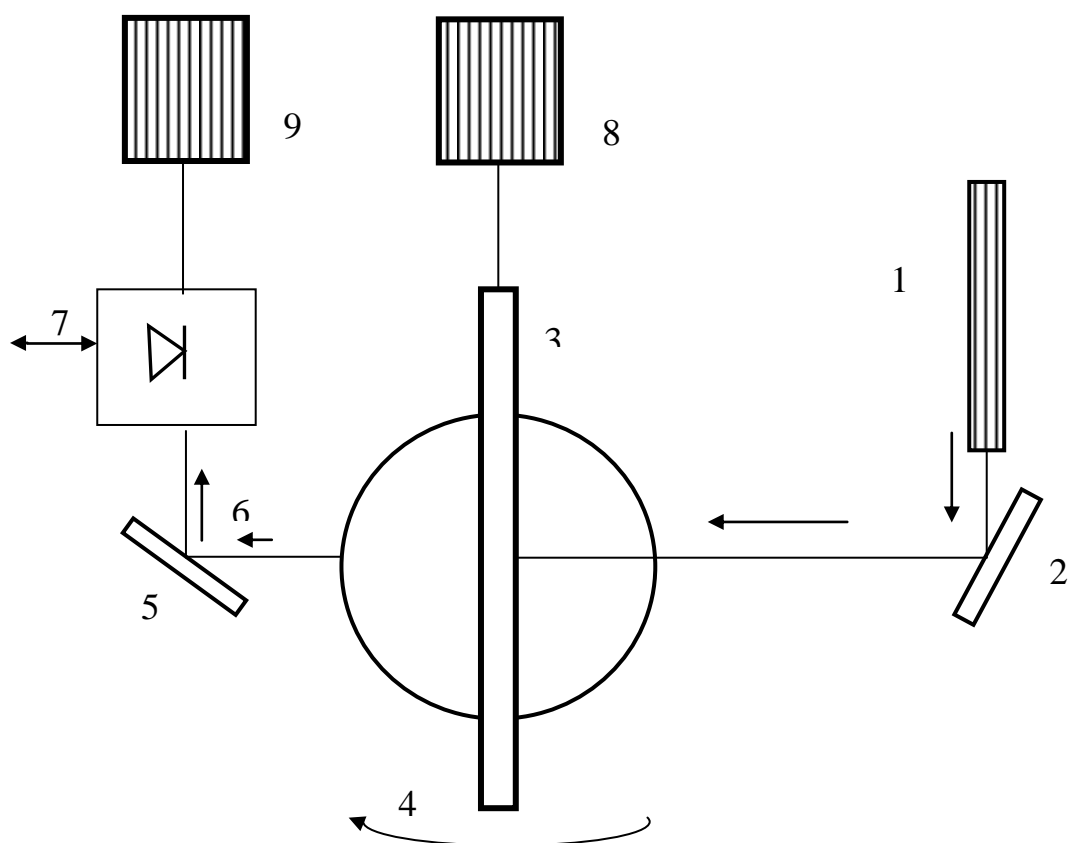


Рис.1

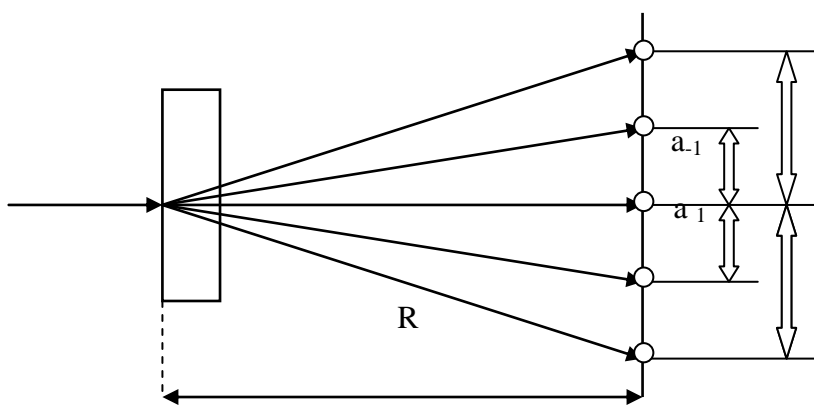


Рис.2

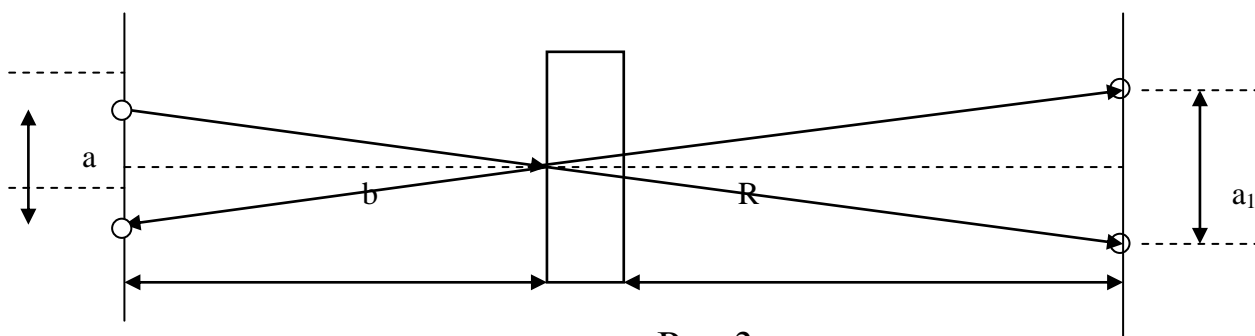


Рис.3