

НОВЫЕ ЛЕКЦИОННЫЕ ДЕМОНСТРАЦИИ ПО ФИЗИКЕ

1. «ПРОСВЕТЛЕНИЕ ОПТИКИ» НА САНТИМЕТРОВЫХ ВОЛНАХ

Как известно, для уменьшения отражения света от поверхности оптических стекол последние покрываются слоем диэлектрика, толщина покрытия делается равной нечетному числу четвертей длины волны света в диэлектрике, а относительная электрическая проницаемость последнего равна (см. ¹⁾ $\epsilon_1 = \sqrt{\epsilon}$, где ϵ — относительная проницаемость стекла, окруженного воздухом ($\epsilon_2 = 1$).

В области длин волн видимого света трудно показать влияние толщины слоя диэлектрика на степень просветления, на сантиметровых волнах опыт осуществляется без труда.

Рупорные антенны генератора (I) и приемника (II) сантиметровых волн устанавливаются вертикально на расстоянии 2—3 м друг от друга (рис. 1, а).

Над рупорной антенной приемника устанавливается стеклянная пластина (C), полностью перекрывающая отверстие рупора и имеющая толщину в несколько см ($\epsilon \approx 6$). Четвертьволновый просветляющий слой создается с помощью жидкости, в нашем случае бензола ($\epsilon_1 = 2,28$), который вливается в тонкостенную стеклянную кювету, установленную на пластине. Перед началом опыта отмечают (при пустой кювете) интенсивность проходящего сквозь нее сигнала. Затем медленно заполняют кювету бензолом. При этом коэффициент пропускания системы изменяется и проходит через максимум, когда толщина слоя бензола делается равной нечетному числу четвертей длины волны света в бензоле:

$$h = (2k + 1) \frac{\lambda}{4}, \quad k = 0, 1, \dots$$

На рис. 2 показана зависимость интенсивности I проходящего сигнала от толщины слоя бензола h (кривая 1).

Одновременно изменяется и коэффициент отражения (имея минимум при указанных выше толщинах): можно убедиться в этом, поместив приемный рупор вблизи передающего и слегка наклонив оси обоих рупоров относительно вертикали (рис. 1, б, где угол наклона α преувеличен).

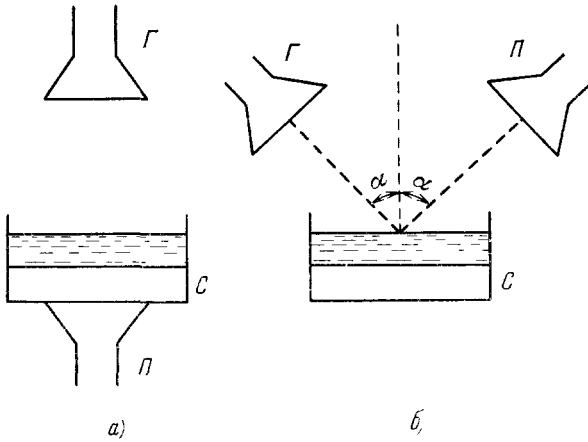


Рис. 1.

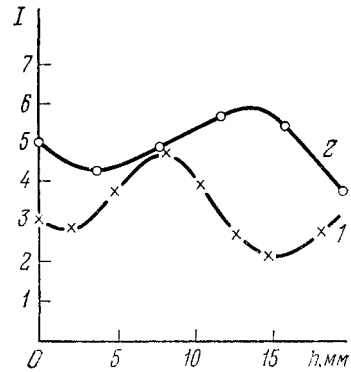


Рис. 2.

Опыт удастся и при замене бензола листами картона, накладываемыми друг на друга.

Кривая 2 (рис. 2) определяет зависимость отраженного сигнала от полной толщины слоя картона. Так как поглощение в картоне больше, чем в бензоле, то влияние h выражено менее отчетливо; кроме того, в такой постановке опыта толщину диэлектрика, конечно, приходится менять скачками, что также ухудшает условия демонстрации.

2. ДЕМОНСТРАЦИЯ ОПТИЧЕСКОГО КАНАЛА СВЯЗИ

В предлагаемой демонстрации канала связи на оптическом луче, кроме принципа оптической связи, иллюстрируется работа ОКГ как генератора несущей волны в оптическом диапазоне, действие современного малоинерционного модулятора света и приемника света типа ФЭУ²⁻⁴.

Схема демонстрационной установки приведена на рис. 3. Источником света в опыте служил газовый ОКГ типа ОКГ-11. Модуляция света по интенсивности в соответствии с передаваемым сообщением осуществлялась при помощи модулятора света ОМ

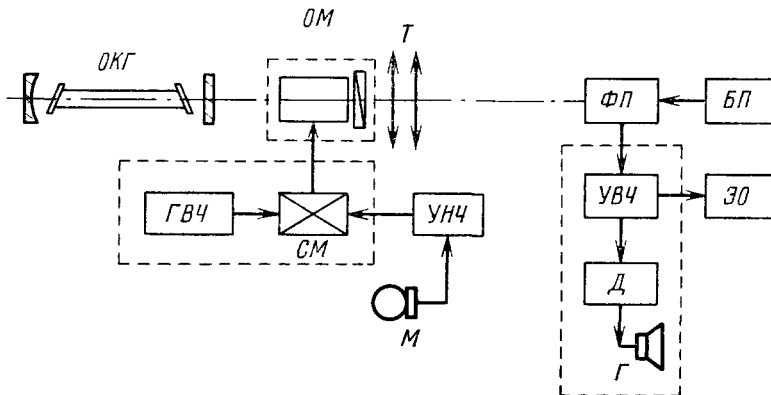


Рис. 3.

(типа ОЛМШ-100), принцип действия которого основан на эффекте Поккельса. Напряжение поднесущей частоты задавалось генератором ГВЧ (тип ГЗ-12). По каналу внешней модуляции в смесителе СМ осуществлялась модуляция амплитуды поднесущей

в соответствии с передаваемым сообщением. В эксперименте таким сообщением являлась человеческая речь, воздействующая на смеситель через микрофон M и усилитель низкой частоты УНЧ.

Модулированный луч ОКГ с помощью телескопической системы T фокусировался на входной диафрагме оптического приемника $\Phi\Pi$. Оптическим детектором являлся фотоэлектронный умножитель типа ФЭУ-28, питаемый блоком питания $БП$. Являясь, как и все приемники света, детектором интенсивности света, фотоумножитель позволяет регистрировать изменения интенсивности светового потока.

С выхода оптического приемника сигнал на частоте поднесущей поступает на вход усилителя высокой частоты УВЧ (селективного вольтметра типа В6-1). Электронный осциллограф (ЭО) на выходе усилителя позволяет визуально наблюдать изменения амплитуды поднесущей в соответствии с законом модуляции, а низкочастотный детектор D с громкоговорителем G прибора В6-1 воспроизводит передаваемую речь.

Передающая и приемная части демонстрационной установки при эксперименте были разнесены на расстояние ~ 10 м.

Описанная выше установка позволяет демонстрировать высокую степень направленности сигнала ОКГ, помехозащищенность канала связи (демонстрация производится при дневном освещении) и возможность связи при разных значениях поднесущей частоты. Если одновременно использовать два (или несколько) генератора поднесущей, то можно показать и многоканальность оптической связи.

3. РАЗЛОЖЕНИЕ ФУРЬЕ ЗАТУХАЮЩИХ КОЛЕБАНИЙ

В лекционных демонстрациях для экспериментального осуществления разложения Фурье могут быть использованы анализаторы спектра типа АСЧХ-1 или СЧ-8.

Демонстрации разложения в ряд Фурье уже описывались в методической литературе ^{5, 6}. Но представляется интересным показать с помощью указанных выше

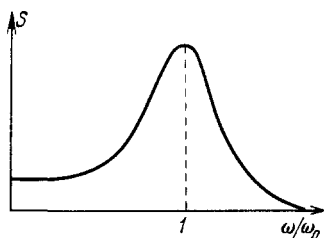


Рис. 4.

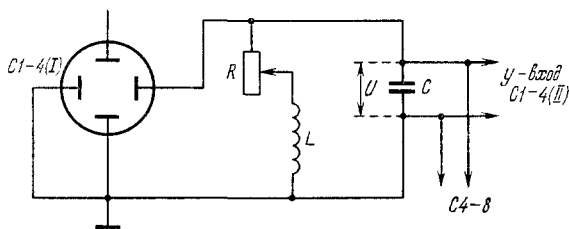


Рис. 5.

спектральных приборов спектральное разложение в интеграл Фурье функции, описывающей затухающие колебания:

$$f(t) = e^{-\alpha t} \sin \omega_1 t.$$

Для однократного процесса функция распределения $S(\omega)$ имеет вид, изображенный на рис. 4, причем максимум функции⁷ получается при $\omega = \omega_0$, где ω_0 — частота свободных колебаний контура с коэффициентом затухания α :

$$\omega_0^2 = \omega_1^2 - \alpha^2.$$

Однако на спектроанализаторах указанных выше типов регистрация однократного процесса невозможна. Если же процесс такого рода периодически повторяется, то разложение представляет линейчатый спектр, вписанный в кривую $S(\omega)$. Интервалы между спектральными составляющими определяются частотой повторения импульсов $\Omega = 2\pi/T$.

Экспериментальное подтверждение теоремы Фурье может быть осуществлено при ударном возбуждении колебательного контура. В демонстрации, схема которой изображена на рис. 5, ударное возбуждение контура LCR осуществляется пилообразным напряжением, снятым с X-пластин осциллографа С1-4 (I). В контуре LCR возникают затухающие электромагнитные колебания (рис. 6). Напряжение U подается на вход вертикального усилителя электронного осциллографа С1-4 (II) и высокочастотного анализатора спектра С4-8. Разрешающая способность такого типа анализатора спектра 8 $\mu\text{гц}$. Собственная частота контура — около 500 $\mu\text{гц}$. Если частота повторения импульсов будет достаточно большой (20 $\mu\text{гц}$), спектр имеет линейчатый характер (рис. 7), причем огибающая линейчатого спектра совпадает с огибающей сплошного спектра.

Здесь же можно показать, что максимум разложения определяется собственной частотой контура, а ширина спектра определяется затуханием в контуре: чем больше затухание в контуре, тем шире спектр.

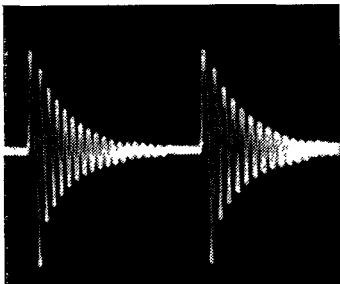


Рис. 6.

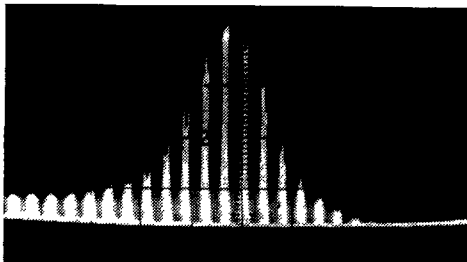


Рис. 7.

При малой частоте повторения импульсов (150 гц) на экране анализатора спектра вследствие неразрешимости соседних гармоник получаем практически сплошной спектр (рис. 8). Огибающая спектра соответствует кривой, показанной на рис. 4.

Таким образом, наглядно показывается, что разрешающая способность прибора определяет характер получаемого спектра: если отдельные спектральные составляющие неразрешимы, то для наблюдателя спектр является сплошным.

С другой стороны, совпадение реальной огибающей с теоретической кривой рис. 4 позволяет заключить, что при переходе к более редким процессам (вплоть до однократного) разложение должно совпасть с теоретическим.

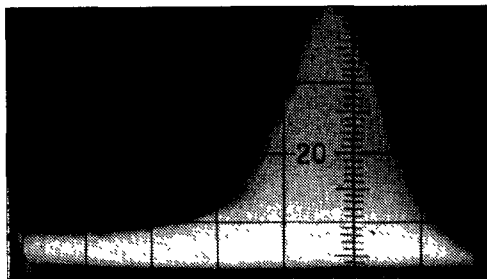


Рис. 8.

4. ОТКРЫТЫЙ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ РЕЗОНАТОР С ПОЛУПРОЗРАЧНЫМИ СТЕНКАМИ ДЛЯ САНТИМЕТРОВЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ($\lambda = 3,2$ см)

Резонатор представляет систему, где волна многократно отражается между двумя параллельными полупрозрачными металлическими пленками, напыленными на диэлектрическую основу, натянутую на кольца диаметром 20 см.

Энергетические коэффициенты отражения R , пропускания T , поглощения A , связанные соотношением $R + T + A = 1$, были промерены и составляли: для отражения $R = 0,58$, пропускания $T = 0,07$, поглощения $A = 0,35$. Пленки установлены параллельно на верньерном устройстве, позволяющем перемещать одно «зеркало» S относительно другого (рис. 9); тем самым можно было изменять разность хода между интерферирующими пучками.

Максимум интенсивности проходящей волны возникает при выполнении условия

$$2l \cos \varphi = m\lambda, \text{ где } m = 0, 1, 2, \dots$$

φ — угол луча с нормалью к пленке. Минимум интенсивности наступает при

$$m = \frac{1}{2}; \frac{3}{2}.$$

Наибольший порядок интерференции для нашего интерферометра при нормальном падении луча ($\cos \varphi = 1$) есть

$$m = 2 \frac{l}{\lambda} = 7.$$

Источником волн служит стандартный клистронный генератор, питающий прямоугольный излучающий рупор. Такой же приемный рупор соединен через детектор с усилителем и электронным осциллографом, на котором наблюдается осциллограмма модулирующего напряжения.

На рис. 10 показана зависимость интенсивности проходящей волны от расстояния между пластинами: острые пики максимумов сменяются широкими минимумами.

Эта особенность, характерная, в частности, для интерферометра Фабри — Перо⁸, позволяет использовать эту демонстрацию при изучении интерферометров в курсе общей физики в дополнение к ранее описанному интерферометру Майкельсона⁹.

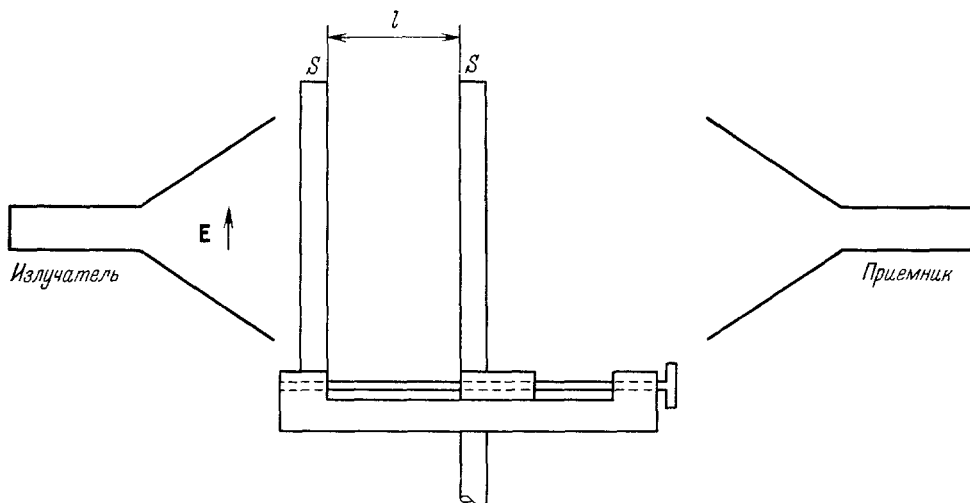


Рис. 9.

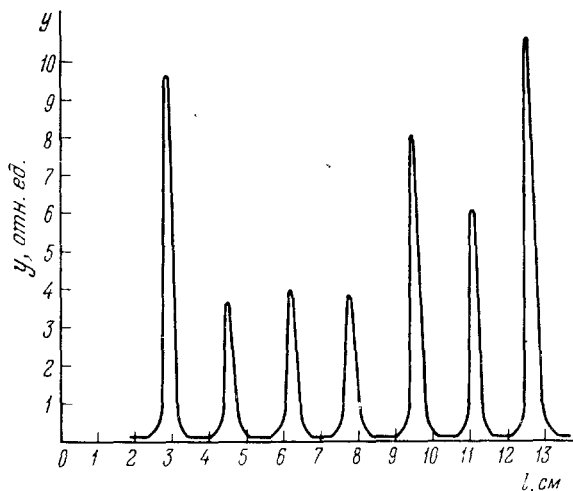


Рис. 10.

Примечание. Разная амплитуда пиков на рис. 10 объясняется незначительным нарушением параллельности зеркал при их перемещении.

5. МЕТАЛЛОПЛАСТИНЧАТАЯ ЛИНЗА КОКА ДЛЯ АКУСТИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Предложенная Коком¹⁰ линза позволяет фокусировать волну за счет задержки ее центральной частью линзы. Линза представляет систему металлических тонких пластин, образующих с оптической осью линзы угол θ' . Вид линзы сбоку и в плане дан на рис. 11.

Профиль системы скошенных пластин описывается уравнением гиперболы

$$r = \frac{(n-1)E}{n \cos \theta - 1}, \quad \text{где} \quad n = \frac{1}{\cos \theta'}.$$

В нашем случае линза имеет следующие параметры: $\theta' = 45^\circ$, $F = 30$ см — фокусное расстояние, $d = 7$ см — наибольшая толщина линзы, $a = 15$ см — радиус линзы. Расстояние между пластинами должно быть меньше половины длины используемой волны (это важно для случая электромагнитных волн.)

Используя данную линзу, можно поставить ряд опытов со звуковыми и электромагнитными волнами ($\lambda \approx 3$ см).

а) Генератор звуковых волн ЗГ-10 возбуждается на частоте $f \approx 10^4$ гц; звуковые волны излучаются динамическим громкоговорителем ГД-05, установленным на одной прямой с микрофоном МД-45 на расстоянии ~ 120 см. По амплитуде осциллограмм

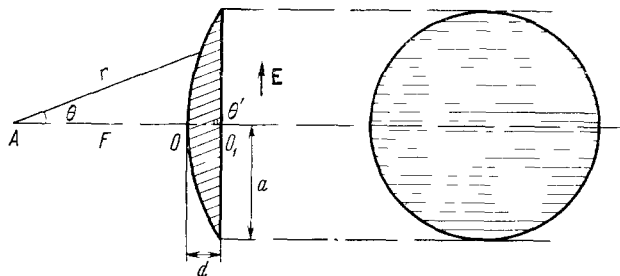


Рис. 11.

усиленного приемного сигнала (осциллограф С1-1) судят о величине сигнала. Помещая между микрофоном и динамиком линзу и перемещая ее вдоль луча, можно подобрать такое ее положение, при котором амплитуда принимаемого сигнала увеличивается в 3—5 раз.

Двигая микрофон вдоль луча и перпендикулярно ему, можно показать, что «фокальное пятно» линзы простирается в обоих направлениях примерно на четверть волны. Поворачивая линзу вокруг оптической оси, замечаем, что это практически не влияет на интенсивность принимаемого сигнала, так как звуковые волны продольны.

б) Рупорные антенны генератора и приемника трехсантиметровых электромагнитных волн ставятся вместо микрофона и динамика. Отмечается интенсивность приема при отсутствии линзы. Затем вносится линза, причем расположение ее пластин и ориентация электрического вектора E падающей волны соответствуют рис. 11. При этом можно получить увеличение амплитуды принимаемого сигнала в $3 \div 6$ раз. Если перекрыть половину поверхности линзы полуволновой пластиной, прием исчезает; если же полуволновая пластина перекрывает всю поверхность линзы, прием восстанавливается.

Наконец, поворачивая линзу вокруг оптической оси на 90° , можно наблюдать полное исчезновение приемного сигнала, что объясняется линейной поляризацией волны и непрозрачностью каналов линзы для определенной поляризации.

Таким образом, линза Кока не только позволяет показать общие черты волновых процессов разной природы, но и выявить имеющиеся у этих процессов различия.

Московский государственный педагогический институт им. В. И. Ленина

А. Н. Козлова, Н. Н. Малов,
А. Н. Мансуров, Г. В. Оглоблин, А. Г. Островский

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. И. В. Гребенщиков, Просветление оптики, М., Гостехиздат, 1946.
2. Квантовая электроника. Маленькая энциклопедия, М., 1969.
3. Л. Н. Мадвич, В. М. Панкратов, И. П. Пономарева, Приб. и техн. эксп., № 1, 166 (1968).
4. W. K. Pratt, Laser Communication Systems, John Wiley and Sons, L.—N.Y., 1969.
5. А. Ф. Харвей, Техника сверхвысоких частот, т. 1, М., «Мир», 1965.
6. Е. М. Гершензон и др., Радиотехника, М., «Просвещение», 1971.
7. А. А. Харкевич, Спектры и анализ, М., «Физматгиз», 1962.
8. Н. И. Калитеевский, Волновая оптика, М., «Наука», 1971.
9. А. Н. Козлова, Н. Н. Малов, УФН 95, 702 (1968).
10. У. Кок, Звуковые и световые волны, М., «Мир», 1966.