538.56

ЛЕКЦИОННЫЕ ДЕМОНСТРАЦИИ НЕКОТОРЫХ ВОЛНОВЫХ ЯВЛЕНИЙ В 3-*см* ДИАПАЗОНЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

I. ФАЗОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ КАРТИНОЙ

Как известно, волны, излученные когерентными источниками, могут интерферировать, причем интенсивность результирующего колебания в точке наблюдения определяется разностью фаз интерферирующих волн.

Картину интерференции различного рода волн (световых, электромагнитных, звуковых) можно наблюдать во многих лекционных демонстрациях. Но показать зависимость энергии результирующего колебания от разности фаз исходных колебаний в демонстрациях со световыми или звуковыми волнами чрезвычайно трудно. С электромагнитными же волнами, используя фазовращатель, представляется возможным осуществить фазовое управление интерференционной картиной, например в опыте Юнга.

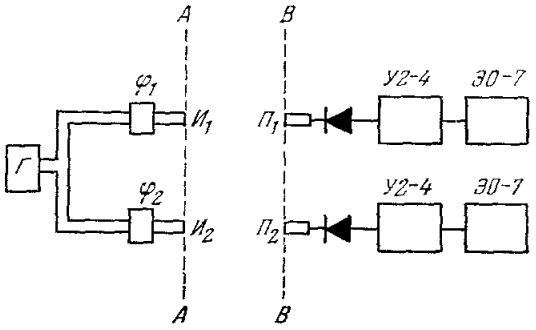

Рис. 1.

Схема демонстрации представлена на рис. 1. На волноводный выход генератора *Г* 3-*см* волн, модулированных по амплитуде низкой частотой (400 *гц*), крепится разветвленный волновод с симметричными плечами. Пространственно разнесенные выходы разветвителя $И_1$ и $И_2$ являются когерентными источниками электромагнитных волн. Чтобы можно было управлять начальными фазами колебаний на выходе того или иного источника, оба выхода разветвителя снабжаются диэлектрическими фазовращателями φ_1 и φ_2. Фазовращатель представляет собой отрезок волновода, в полость которого поворотом ручки фазовращателя вдвигается (или выдвигается) клинообразная диэлектрическая пластинка.

Интерференционную картину наблюдают, перемещая приемник с волноводным входом $П_1$ (или диполь) в плоскости *BB*, параллельной прямой *AA*, соединяющей источники. Приемник через детекторную секцию и усилитель низкой частоты У2-4 соединен с вертикальным входом осциллографа ЭО-7. Периодическое чередование максимумов и минимумов амплитуды сигнала на экране осциллографа при перемещении приемника свидетельствует о наличии интерференционной картины в плоскости *BB*.

Установив оба фазовращателя в нулевое положение, помещают один из приемников, например $П_1$, в месте, соответствующем некоторому максимуму интенсивности приема. С помощью одного из фазовращателей изменяют фазу колебания на выходе данного источника. Приемник $П_1$ регистрирует постепенное уменьшение амплитуды результирующего сигнала до минимума (когда вносимая разность фаз равна π). Вторым фазовращателем можно скомпенсировать возникшую разность фаз и вновь получить максимум интенсивности в точке наблюдения.

Можно также показать, что при изменении разности фаз интерферирующих волн в точке наблюдения происходит перераспределение энергии в пространстве. Для этого используют два приемника $П_1$ и $П_2$. Один из них помещается в положение, соответствующее некоторому максимуму интенсивности, второй — в положение, соответствующее минимуму. Если постепенно изменять фазу на выходе одного из источников, то приемник, ранее регистрировавший максимум интенсивности, покажет ее постепенное уменьшение до нуля, в то время как второй приемник, где ранее наблюдался минимум, отмечает постепенное увеличение сигнала до максимума. Произошла «перекачка» энергии из одной точки пространства в другую при помощи фазового управления.

II. РЕЗОНАНСНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Как известно, прохождение электромагнитных волн через диэлектрик всегда сопровождается более или менее сильным их поглощением.

Поглощение электромагнитных волн веществом можно в некоторой степени моделировать, демонстрируя прохождение сантиметровых волн через решетку

резонансных диполей (рис. 2). Размеры решетки 30 × 30 *см*². В демонстрации использовался свип-генератор типа XI 24, дающий на выходе напряжение качающейся частоты в диапазоне 8000—12 000 *Мгц*, имеющее практически постоянную амплитуду. Схема демонстрации приведена на рис. 3.

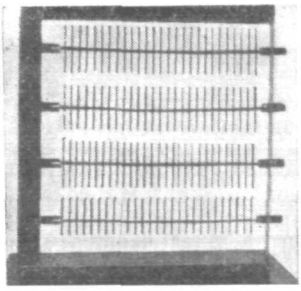

Рис. 2.

Свип-генератор *Г* через рупорный волновод *И* излучает в пространство линейно-поляризованную волну, частота которой периодически меняется с частотой 12,5 *гц* в диапазоне 8000—12 000 *Мгц*. Излученные волны дополнительно модулированы по амплитуде низкой частотой (10 *кгц*). Приемником (*П*) служит рупор, аналогичный излучающему, с широкополосной детекторной секцией.

Отдетектированный сигнал низкой частоты через усилитель У2-4 поступает на вертикальный вход осциллографа ЭО-7. Горизонтальная развертка луча осциллографа осуществляется пилообразным напряжением, управляющим частотой свип-генератора (12,5 *гц*). Таким образом, горизонтальное смещение луча на экране осциллографа линейно связано с частотой, излучаемой генератором, а по вертикали луч смещается соответственно амплитуде колебаний, поступающих в приемник на данной частоте.

Если между излучателем и приемником нет поглощающей среды, амплитуда принимаемых колебаний примерно одинакова во всем диапазоне излучаемых частот (рис. 4).

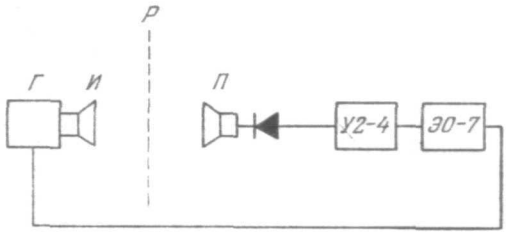

Рис. 3.

Поместим затем между излучателем и приемником решетку *Р* из металлических диполей так, чтобы диполи были параллельны электрическому вектору излученной электромагнитной волны. Длина диполей нашей решетки (6 *см*) кратна длине волны ($\lambda = 3$ *см*). Поэтому переменное электрическое поле падающей на решетку волны на частоте, соответствующей данной длине волны ($f = 10\,000$ *Мгц*), вызовет интенсивное возбуждение диполей. Вследствие этого произойдет заметная потеря энергии на частотах, близких к этой частоте.

Благодаря неодинаковому изменению амплитуды сигнала на разных частотах электронный луч вычертит на экране осциллографа кривую поглощения (рис. 5), наложенную на поднесущие колебания частоты 10 *кгц*.

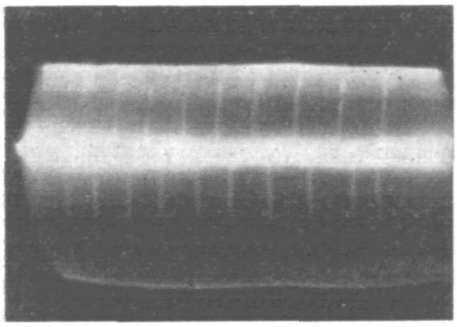

Рис. 4.

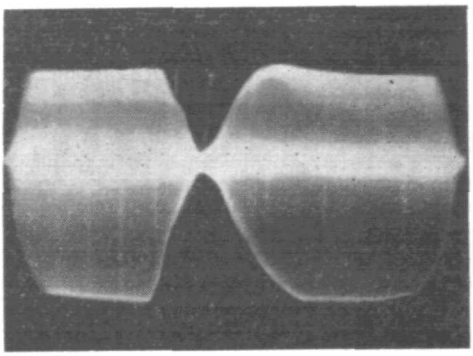

Рис. 5.

Наибольшее поглощение характерно для одной резонансной частоты. По мере удаления от этой частоты поглощение уменьшается, а для частот, далеких от резонансной, поглощение практически отсутствует. Меняя интервал изменения частоты, можно смещать экстремум кривой вправо или влево.

III. РЕЗОНАНС БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ

Согласно теории де Бройля движущемуся электрону можно поставить в соответствие волновой процесс с длиной волны λ. Тогда для отбора стационарных круговых орбит в простейшей модели атома Бора необходимо выполнение следующего условия: длина окружности стационарной орбиты должна быть равна целому числу волн де Бройля. Иначе говоря, для устойчивых орбит должен иметь место резонанс бегущей волны, распространяющейся по замкнутому контуру.

Этот вывод можно моделировать при помощи 3-*см* электромагнитных волн. Тот факт, что для бегущей волны, распространяющейся по замкнутому контуру, при соответствующем выборе длины контура действительно наблюдается явление резонанса, можно показать следующим образом (рис. 6).

Из отрезков 3-*см* волновода разной формы собирается волноводное кольцо, в которое включены направленный ответвитель *НО*, 3-*см* измерительная линия *ИЛ* и диэлектрический фазовращатель ф. 3-*см* электромагнитные волны, модулированные по амплитуде низкой частотой (400 *гц*), поступают в кольцо от генератора *Г*,

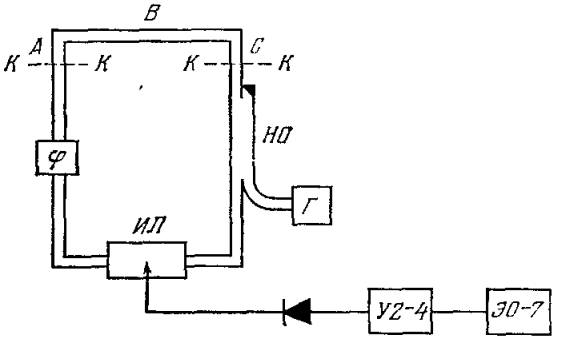

Рис. 6.

волноводный выход которого стыкован со входом направленного ответвителя. Диэлектрический фазовращатель, аналогичный описанному в демонстрации «Фазовое управление интерференционной картиной», позволяет менять электрическую длину контура. Детектор в зонде измерительной линии регистрирует амплитуду волны в данной точке контура. От зонда продетектированный сигнал через усилитель низкой частоты поступает на вход осциллографа ЭО-7.

Вначале фазовращатель стоит в нулевом положении. На экране осциллографа наблюдается сигнал небольшой амплитуды, так как при произвольной длине контура в нем не укладывается целое число волн и волны гасят друг друга. Вращая ручку фазовращателя, находят такое положение, что амплитуда сигнала проходит через максимальное значение. Это соответствует случаю, когда в кольце уложилось целое число волн. Можно убедиться, что в обоих случаях в контуре существует бегущая волна: при перемещении зонда вдоль линии изменения амплитуды сигнала незначительны. Они обусловлены неидеальной стыковкой деталей контура.

Итак, опыт показал, что при определенных условиях при бегущей волне имеет место резонанс.

Разомкнем волноводное кольцо, удалив его участок *АВС*, а открытые выходы волноводов замкнем металлическими пластинками *КК*. В линии устанавливается стоячая волна. При перемещении зонда вдоль линии сигнал на экране осциллографа периодически меняется от нуля (узлы стоячей волны электрического поля) до максимума (пучности стоячей волны).

Конечно, при показе этого опыта следует тщательно оговорить различие природы волн де Бройля и электромагнитных и разъяснить, что задача опыта — лишь моделировать идеи де Бройля.

Авторы выражают глубокую благодарность профессору Н. Н. Малову за ценные указания и помощь в работе над демонстрациями.

Московский Государственный педагогический институт им. В. И. Ленина

А. Н. Ковлова, В. С. Эткин