

УДК 548.0

ДИФРАКЦИОННАЯ НЕВЗАИМНОСТЬ В ДИФРАКЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ НА ЩЕЛИ

А.А. Лалаян^{1*}, О.С. Ерицян^{1,2}, О.М. Аракелян³, Ш.К. Ерицян²

¹Ереванский государственный университет, Ереван, Армения

²Институт прикладных проблем физики НАН Армении, Ереван, Армения

³Армянский национальный аграрный университет, Ереван, Армения

*e-mail: alalayan@ysu.am

(Поступила в редакцию 29 июня 2017 г.)

Экспериментально исследована дифракция на щели в металлическом экране, расположенном между двумя средами, отличающимися своими показателями преломления. Показано, что интенсивность дифрагирующей волны, будучи зависящей от длины волны, зависит от показателя преломления среды, в которую проникает электромагнитное излучение.

1. Введение

Существуют разные возможности создания оптических систем, у которых имеется неэквивалентность взаимно-противоположных направлений прохождения электромагнитных волн [1, 2]. Неэквивалентность взаимно-противоположных направлений имеет место также в средах, обладающих свойством необратимости волн – в магнитоэлектрических средах и в естественно гиротропных средах в присутствии магнитного поля, а также в средах с надмолекулярной спиральной структурой, какими являются холестерические жидкие кристаллы, в присутствии магнитного поля [3]. Однако эффект невязимности, обусловленный необратимостью волн, мал.

Как показано в работах [4, 5], в спиральных периодических структурах с наличием градиента шага спирали также имеет место невязимность: дифракционное прохождение через такую систему неодинаково для взаимно-противоположных направлений, параллельных оси спиральности, совпадающих с направлением градиента шага спирали.

В настоящей работе продолжены исследования, начатые в работе [5] с применением численных расчетов, а также осуществлен эксперимент по исследованию дифракции на прямоугольной щели в металлическом экране, по обе стороны которой диэлектрические среды с разными значениями показателя преломления.

2. Интенсивность электромагнитной волны, дифрагированной из воздуха в диэлектрическую среду через щель в экране

Рассмотрим нормальное падение электромагнитной волны на непрозрачный экран с щелью шириной a (рис.1). Обозначим интенсивность падающей волны через I_0 , угол отклонения от направления нормали к экрану дифрагированной волны обозначим через θ . Тогда интенсивность волны в интервале $\theta - (\theta + d\theta)$ определяется формулой [6]

$$dI = \frac{I_0}{2\pi} \times \frac{\sin^2(ka\theta)}{(ka\theta)^2} d(ka\theta), \quad (1)$$

где $k = (\omega/c)n$. Полная интенсивность I дифрагированной волны задается выражением

$$I = \frac{I_0}{2\pi} \times \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{\sin^2(ka\theta)}{(ka\theta)^2} d(ka\theta), \quad (2)$$

где $-\pi/2$ и $\pi/2$ – границы θ (а не $ka\theta$).

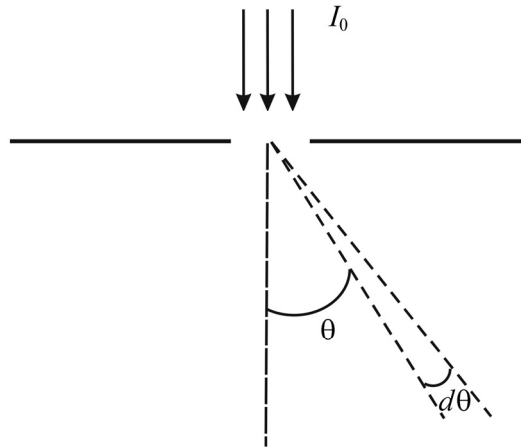


Рис.1. Схема дифракции электромагнитной волны на щели.

В выражении (2) интеграл аналитически не решается. На рис.2 представлена зависимость I от k , полученная численными методами и показывающая, что с ростом k интенсивность волны за щелью также растет.

Рост интенсивности с увеличением показателя преломления объясняется тем, что чем меньше длина волны в среде, тем дифракционное прохождение через узкую щель (соразмерную величине λ) будет больше. Математически рост интенсивности I с увеличением показателя преломления можно объяснить как результат уширения интервала интегрирования в формуле (2) с ростом значения показателя преломления.

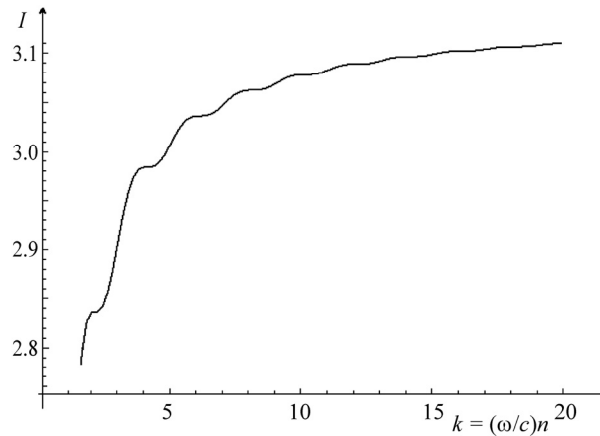


Рис.2. Зависимость интеграла (2) от k при фиксированной частоте ω .

Действительно, на рис.3 показана зависимость функции $\sin^2 \theta / \theta^2$. Значение интеграла по θ данной функции равно заштрихованной площади. С увеличением показателя преломления пределы интегрирования равные $-\pi/2$ и $\pi/2$, становятся уже $\pi \omega n a / (2c)$ и $-\pi \omega n a / (2c)$, то есть с увеличением n область интегрирования растет по обе стороны от начала координат, что ведет к изменению значения интеграла.

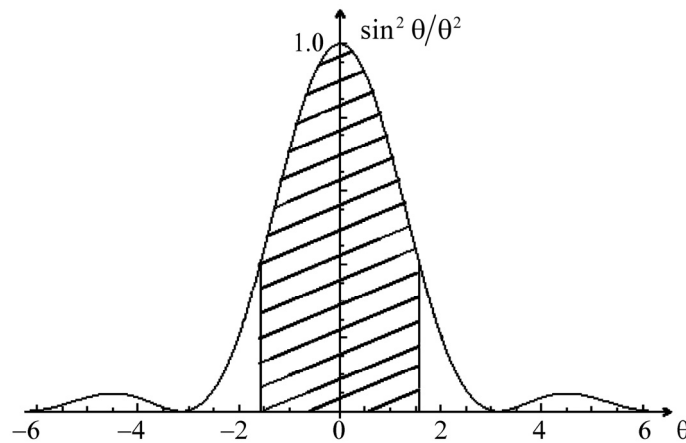


Рис.3. Зависимость подынтегральной функции $\sin^2 \theta / \theta^2$.

3. Экспериментальная часть

Нами было экспериментально исследовано дифракционное прохождение электромагнитной волны сквозь узкую щель, вырезанную в металлической пластине, установленной между двумя диэлектрическими пластинами из двух

разных материалов с различным показателем преломления. Для удобства проведения измерений был использован источник электромагнитного излучения в диапазоне 40–50 ГГц. Схема эксперимента приведена на рис.4.

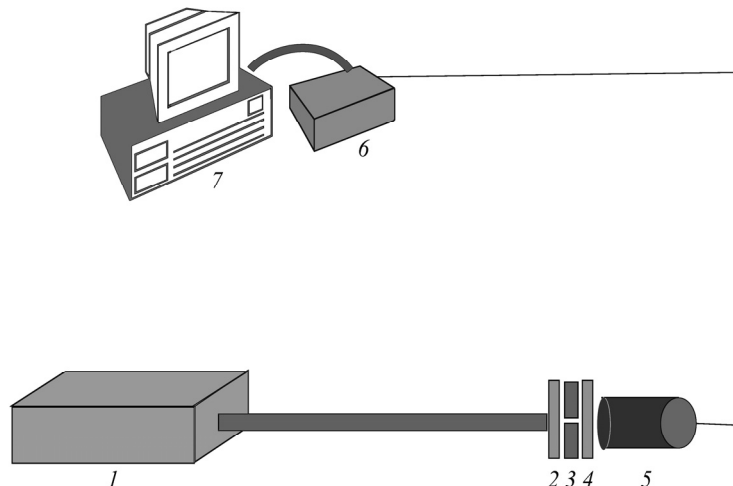


Рис.4. Схема экспериментальной установки: 1 – генератор электромагнитного излучения, 2 и 4 – пластины из диэлектрического материала, 3 – металлическая пластина с прямоугольной щелью, 5 – датчик излучения, 6 – АЦП и 7 – компьютер.

Металлическая щель 3 шириной 5 мм была изготовлена из металлической (латунной) пластины толщиной 1 мм, на данную металлическую пластину с разных сторон были прикреплены пластины 2 и 4 из тефлона (политетрафторэтилен) и оргстекла (полиметилметакрилат) одинаковой толщины, равной 3.5 мм, и разными значениями показателя преломления. Непосредственно на выходе из такой трехслойной структуры был размещен датчик излучения 5. Далее аналоговый сигнал от датчика посредством АЦП 6 преобразовывался в цифровой и вводился в компьютер.

Отметим, что диапазон значений показателя преломления аморфных полимеров гораздо меньше, чем традиционных оптических стекол, и доходит вплоть до $n = 1.70$ [7]. Соответственно значение n для полиметилметакрилата составляет 1.51. Для полимерных материалов возможно значительное уменьшение показателя преломления введением в молекулу исходного мономера атомов фтора. Фторированные полимеры имеют самые низкие показатели преломления ($n \leq 1.4$) [8]. В случае использованного в эксперименте тефлона $n \sim 1.35\text{--}1.38$ [9].

Для щели шириной 5 мм измерения показали наличие разницы амплитуды прошедшего сигнала в зависимости от последовательности расположения пластин из тефлона и оргстекла (рис.5). Как видно из рисунка, для случая

прохождения излучения в последовательности тефлон–щель–оргстекло амплитуда регистрируемого сигнала в 2.5 раза отличается от амплитуды при обратной последовательности расположения тех же диэлектрических пластин, что экспериментально подтверждает невзаимность прохождения электромагнитной волны через щель в описанной оптической системе.

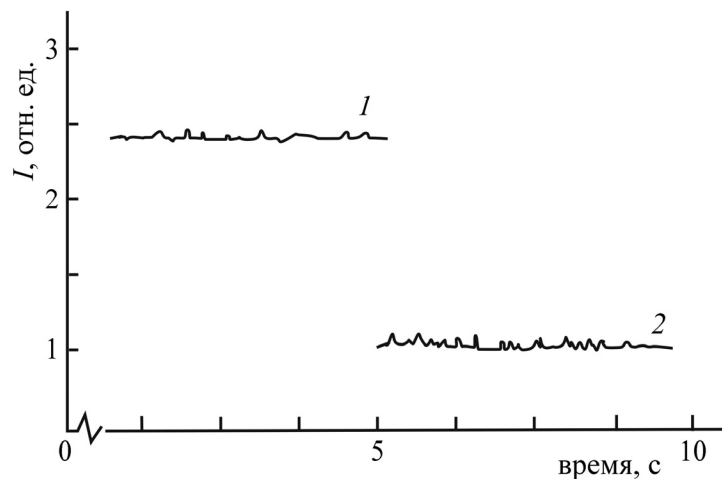


Рис.5. Зависимость амплитуды прошедшего сигнала от изменения последовательности расположения пластин из тефлона и оргстекла относительно щели: 1 – оргстекло–щель–тефлон, 2 – тефлон–щель–оргстекло; частота генератора СВЧ излучения 41 ГГц и ширина щели 5мм.

4. Заключение

Экспериментально подтверждено предположение о невзаимности дифракции электромагнитной волны на щели в бесконечном экране между двумя средами с разными показателями преломления. При этом эксперимент проведен для электромагнитного излучения миллиметрового диапазона; в качестве диэлектрических сред по разные стороны от щели были использованы тефлон (политетрафторэтилен) и полиметилметакрилат (оргстекло). Численные расчеты также подтверждают наличие невзаимности в такой оптической системе. Рассмотренное в настоящей работе явление оптической невзаимности может быть использовано для разработки невзаимных оптических элементов, а также накопителей электромагнитной энергии.

Авторы выражают благодарность А. Макаряню за предоставление СВЧ генератора и полезные обсуждения, А. Мкртчяну, Р. Костяняну и Р. Акопяну за внимание к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. **И.А. Андропова, Г.Б. Малыкин.** УФН, **172**, 849, 2002.
2. **С.И. Назаров.** Наука и образование (МГТУ им. Н.Э. Баумана). Электронный научно-технический журнал, № 9, 479 (2013).
3. **О.С. Ерицян.** Оптика гиротропных сред и холестерических жидких кристаллов. Ереван, Айастан, 1988.
4. **О.С. Ерицян.** Изв. НАН Армении, Физика, **37**, 244 (2002).
5. **О.С. Ерицян, О.М. Аракелян.** Изв. НАН Армении, Физика, **39**, 301 (2004).
6. **Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.** Теория поля. Москва, Наука, 1967.
7. **В.Ф. Куренков, Л.А. Бударина, А.Е. Заикин.** Практикум по химии полимеров: учебное пособие. Москва, Колос, 2008.
8. **Т.А. Сперанская, Л.И. Тарутин.** Оптические свойства полимеров. Ленинград, Химия, 1976.
9. **В.Н. Серова.** Вестник Казанского технологического университета, **15**, 91 (2012).

ԴԻՖՐԱԿՑԻՈՆ ԱՆՓՈԽԱԴԱՐՁՈՒԹՅՈՒՆԸ՝ ՃԵՂՔԻ ՄԻՋՈՎ
ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԱԼԻՔԻ ԴԻՖՐԱԿՑԻՈՆ ԱՆՑՄԱՆ ԴԵՊՖՈՒՄ
Ա.Ա. ԼԱԼԱՅԱՆ, Հ.Ս. ԵՐԻՑՅԱՆ, Հ.Մ. ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ, Շ.Կ. ԵՐԻՑՅԱՆ

Հետազոտվել է դիֆրակցիան ճեղքի վրա՝ այնպիսի միջավայրում, որի բեկման ցուցիչը տարբերվում է օդի բեկման ցուցիչից: Ցույց է տրված, որ դիֆրակցված ալիքի ինտենսիվությունը, կախված լինելով ալիքի երկարությունից, կախված է այն միջավայրի բեկման ցուցիչից, ուր մտնում է էլեկտրամագնիսական ճառագայթումը: Փորձնականորեն հետազոտված է դիֆրակցիան տարբեր բեկման ցուցիչներով միջավայրերի միջև տեղադրված ճեղքի վրա:

DIFFRACTION NONRECIPROCITY IN ELECTROMAGNETIC WAVE DIFFRACTION ON THE SLIT

A.A. LALAYAN, H.S. ERITSYAN, H.M. ARAKELYAN, SH.K. ERITSYAN

The diffraction on the slit in a metal screen located between two media with differing refractive indices was experimentally investigated. It is shown that the intensity of the diffracting wave, depending on the wavelength, depends on the refractive index of the medium into which electromagnetic radiation penetrates.