

УДК 535.41(07)

В. Р. Соболев¹, В. В. Дорофейчик¹, Р. Н. Рагимов², В. О. Неверовская¹
V. Sobol¹, V. Dorofeychik¹, R. Ragimov², V. Neverovskaya¹

¹УО «Белорусский государственный педагогический университет имени
Максима Танка» (Минск, Беларусь)

²Национальная академия наук Азербайджана, Институт физики
(Баку, Азербайджан)

ЦИФРОВОЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ИЗУЧЕНИЮ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ В ВЫСШЕЙ И СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ

DIGITAL EXPERIMENT TO STUDY DISTRIBUTED SOURCES IN HIGH AND SECONDARY SCHOOL

Предложен сценарий применения цифрового лабораторного комплекса типа “Радуга” для выявления характеристик протяженного источника света методом сканирования и регистрации освещенности горизонтальной поверхности.

A scenario is proposed for using a digital laboratory complex of the “Rainbow” type to identify the characteristics of an extended light source by scanning and recording the illumination of a horizontal surface.

Ключевые слова: световой поток; сила света; освещенность; яркость; Ламбертов источник.

Keywords: luminous flux; luminous intensity; illumination; brightness; Lambertian source.

Введение. Постановка корректного эксперимента по разделу “Геометрическая оптика” в части “Светотехника, “Освещенность”, “Закон обратных квадратов” в отличие от изучения закономерностей преломления лучей в положительных / отрицательных линзах, требует использования плоскопараллельного светового потока после прохождения света от точечного излучателя через коллиматор. В частности, применяемая в лабораторном эксперименте учреждений образования регистрация интенсивности света по показаниям фотоэлектрического преобразователя отображает ослабление светового потока при его прохождении через диафрагму. Привлечение установки из семейства цифровых комплексов типа “Радуга” дает возможность углубить эксперимент с исследованием действия не только точечного, но и протяженного излучателя [1; 2].

В сообщении представлены основные моменты постановки эксперимента по выявлению яркости протяженного источника, на примере анализа воздействия на освещенность поверхности письменного стола света из обыкновенного оконного проема в условиях рассеянного излучения Солнца.

Метод анализа, расчета, решения обратной задачи. Как известно, в комплект учебной лаборатории “Радуга” входит датчик-преобразователь, который коммутирует с USB-портом компьютера (планшета), в комплект интерфейса которого входит программа, обрабатывающая цифровые сигналы датчика, которые сам датчик, как чувствительный элемент, формирует из аналоговых сигналов фоточувствительного элемента-приемника. Сама освещенность, представленная на мониторе, отображается с хорошей степенью точности в люксах, то есть малый по площади чувствительного слоя аналоговый фотоприемник определяет конкретную локальную освещенность в заданной точке рассматриваемой поверхности.

Суть предлагаемого подхода заключается в экспериментальном выявлении уровня освещенности в различных точках плоской поверхности с последующим восстановлением

световых характеристик протяженного источника на примере действия оконного проема (рисунок 1). В данном случае из первых принципов требуется рассчитать ожидаемую освещенность, после чего нетрудно разрешить обратную задачу по выявлению свойств источника, например, яркости по итогам регистрации плотности потока световой энергии зафиксированной цифровым датчиком.

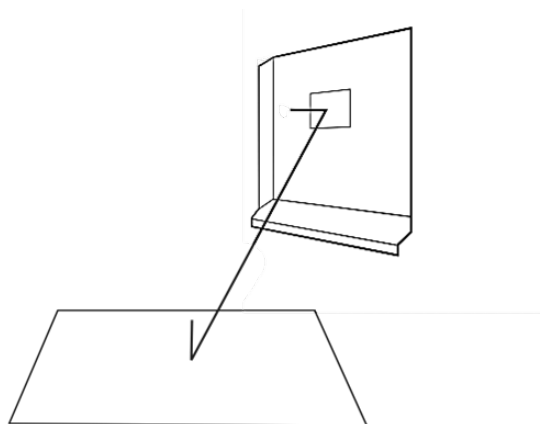


Рисунок 1 – Общая схема действия протяженного источника света в виде оконного проема, создающего определенный уровень освещенности в локальной точке плоской поверхности. По смыслу: длинная линия – расстояние до точки наблюдения от элементарного излучающего элемента, короткие линии – нормали к излучающему элементу и к поверхности в точке наблюдения

В рассматриваемом случае освещенность плоской поверхности, например, письменного стола в каждой точке определяется нормальной составляющей светового потока после суммирования вкладов от всех участков оконного проема. В решение входит яркость источника как величина светового потока с единицы видимой поверхности в единицу телесного угла вдоль заданного направления.

Для окна, расположенного справа (рисунок 1), световой поток падает на некоторую точку горизонтальной поверхности от различных элементарных участков. Схематически геометрию задачи можно представить в виде: точка наблюдения x_0 это начало системы XYZ , плоскость окна-источника – это плоскость xz на расстояние y (рисунок 2). Из рисунка 2 следует, что освещенность, как составляющая плотности светового потока вдоль направления оси z формируется так, что малые элементы внесут различный вклад в освещенность, поскольку и их наклон на направление наблюдения и расстояния до них в пределах проема не одинаковы.

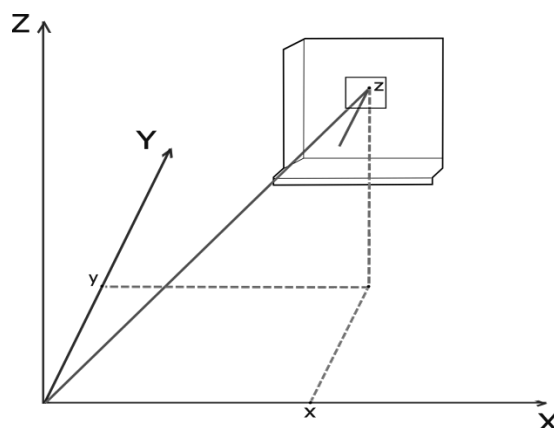


Рисунок 2 – Геометрия задачи по определению освещенности в точке начала координат при действии плоского протяженного источника

Соответственно, при суммировании по площади проема выражение для освещенности можно представить в виде двойного интеграла

$$E = B \int_{x_1}^{x_2} \int_{z_1}^{z_2} \frac{yz dx dz}{(x^2 + y^2 + z^2)^2}. \quad (1)$$

Здесь B – яркость, которая принята одинаковой по всей площади и по всем направлениям, y – расстояние до плоскости проема, x_1, x_2, z_1, z_2 – размеры источника по горизонтали и вертикали. Интегрирование по переменной z приводит к выражению

$$E = B \int_{x_1}^{x_2} \frac{y dx}{2} \left[\frac{1}{z_1^2 + y^2 + x^2} - \frac{1}{z_2^2 + y^2 + x^2} \right]. \quad (2)$$

Дальнейшее суммирование позволяет записать освещенность в точке наблюдения в виде (3)

$$E = \frac{By}{2} \left\{ \left[\frac{1}{\sqrt{z_1^2 + y^2}} \left(\arctg \frac{x_2}{\sqrt{z_1^2 + y^2}} - \arctg \frac{x_1}{\sqrt{z_1^2 + y^2}} \right) - \frac{1}{\sqrt{z_2^2 + y^2}} \left(\arctg \frac{x_2}{\sqrt{z_2^2 + y^2}} - \arctg \frac{x_1}{\sqrt{z_2^2 + y^2}} \right) \right] \right\} \quad (3)$$

Понятно, что полученное выражение без труда обобщается на случай, когда точка наблюдения смещается в плоскости поверхности стола, как экспериментального полигона, из его, скажем центра, и имеет координаты x_0, y_0 . По сути, в новой точке наблюдения выражение для освещенности останется прежним (3), только требуется переобозначить координаты y, x_1 и x_2 в $y - y_0, x_1 - x_0, x_2 - x_0$.

Для примера на рисунке 3 отображен результат численного сканирования освещенности вдоль линии на поверхности при некоторых параметрах эксперимента. Здесь прослеживается зависимость освещенности от положения точки наблюдения и ее симметрии по отношению ко всем элементам оконного проема.

В свете рассмотренных соображений эмпирическая часть работы может быть построена следующим образом. Для конкретного случая расположения исследуемой поверхности вблизи излучателя-окна выбирается начало декартовой системы координат на поверхности, например, в геометрическом центре стола. Также фиксируются координаты нескольких других точек, например в середине четвертей диагоналей.

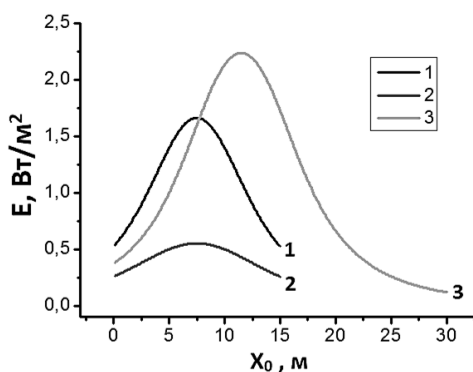


Рисунок 3 – Данные численного эксперимента по пространственной зависимости освещенности на расстоянии m до плоскости источника при вариантах схемы освещения: 1 – $x_1 = 5$; $x_2 = 10$; $z_1 = 5$; $z_2 = 20$; 2 – $x_1 = 5$; $x_2 = 10$; $z_1 = 5$; $z_2 = 10$; 3 – $x_1 = 5$; $x_2 = 25$; $z_1 = 5$; $z_2 = 25$.

Посредством цифрового лабораторного комплекса из набора “Радуга” фиксируются значения освещенности в выбранных точках. По результатам измерений на основе выражений (3), (4) достаточно просто восстанавливается яркость для каждой из выбранных точек. Данные по расчету яркости в различных точках анализируются и сопоставляются, например, для заключения о степени изотропии источника, близости его к ламбертовскому излучателю.

Заключение. Цифровые лабораторные комплексы семейства “Радуга” предоставляют возможность приобщать учащихся к важным с практической точки зрения мероприятиям метрологического характера, например при проверке обеспеченности требований санитарных норм в аудитории. Кроме этого оперативность и законченность измерительного цикла таких установок позволяет организовать изучение основ физики на более высоком уровне, даже в рамках выполнения работ лабораторного практикума, включая постановку и проведение профильных творческих работ с исследовательской направленностью среди школьников, студентов, магистрантов.

Список использованных источников

1. Лансберг Г. С. Оптика. Учеб. пособие: Для вузов. – 6-е изд., стереот. – М. : Физматлит, 2003. – 848 с.
2. Жилко, В. В. Физика. Учебное пособие для 11 класса учреждений общего среднего образования с русским языком обучения / В. В. Жилко, Л. Г. Маркович, А. А. Сокольский. – Минск : Народная асвета. – 2021. – 288 с.

УДК 373.51:53

**В. Р. Соболев¹, К. И. Янушкевич², М. С. Пайзуллаханов³, Д. Сарварова¹
V. Sobol¹, K. Yanushkevich², M. Paizullakhanov³, D. Sarvarova⁴**

¹ УО «Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка» (Минск, Беларусь)

² Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению (Минск, Беларусь)

³ Институт материаловедения НПО «Физика-Солнце» АН РУ (Ташкент, Узбекистан)

АНИЗОТРОПИЯ МАГНИТНОЙ ПРИРОДЫ В СВОЙСТВАХ ПРОЗРАЧНЫХ ТЕЛ

ANISOTROPY OF MAGNETIC NATURE IN PROPERTIES TRANSPARENT MEDIA

Рассмотрена феноменологическая задача преломления линейно поляризованной поперечной электромагнитной волны при ее падении из изотропной прозрачной среды на поверхность гипотетического магнитно-анизотропного кристаллического материала. Выявлен закон дисперсии и его соответствие свойствам при наличии одной и двух оптических осей в представлении частного вида тензора магнитной проницаемости.

The phenomenological problem of refraction of a linearly polarized transverse electromagnetic wave as it falls from an isotropic transparent medium onto the surface of a hypothetical magnetically anisotropic crystalline material is considered. The dispersion law and its correspondence to the properties in the presence of one and two optical axes in the representation of a particular form of the magnetic permeability tensor are revealed.

Ключевые слова: поперечная волна; диэлектрическая; магнитная проницаемость; тензор; волновой вектор; преломление.

Keywords: transverse wave; dielectric; magnetic permeability; tensor; wave vector; refraction.