

**ИЗОТРОПНЫЕ МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ СРЕДЫ  
В ОСОБЕННОСТЯХ ОТРАЖЕНИЯ ФРЕНЕЛЯ**

**В. Ю. Каравай, А. Н. Стацевич**

УО «Белорусский государственный педагогический университет имени  
Максима Танка»

**С. Е. Лачинов**

ГУО «Гимназия № 20 г. Минска»

Минск (Республика Беларусь)

Науч. рук. – В. Р. Соболев, д.ф.-м.н., профессор; Н. Б. Нисковских

**ISOTROPIC MAGNETO-OPTICAL MEDIA IN THE FEATURES OF  
FRESNEL REFLECTION**

V. Y. Karavay, A. N. Statsevich

Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank

S. E. Lachinov

State Educational Institution Gymnasium No. 20 in Minsk

Minsk (Republic of Belarus)

Scientific adviser – V. R. Sobol, Doctor of Physical and Mathematical Sciences,  
Professor; N. B. Niskovskikh

Обобщены известные выражения Френеля для случая отражения электромагнитной волны от оптической среды, у которой и диэлектрические и магнитные свойства отвечают конечным значениям проницаемостей, отличным от единицы.

The well-known Fresnel expressions are generalized for the case of reflection of an electromagnetic wave from an optical medium, in which both dielectric and magnetic properties correspond to finite values different from unity

Ключевые слова: угол Брюстера, закон Снеллиуса, поляризация, проницаемость среды  
Key words: Brewster's corner, Snellius' law, polarization, medium permeability

**Введение в проблему. Постановка задачи.** Для усвоения законов оптики в задачах лабораторного практикума высшей школы широко используется изучение отражения поляризованной световой волны на границе раздела воздух/стеклянная пластинка типа плавленого кварца, железо-иттриевого граната, полевого шпата и т.д. Легко задаваемое в эксперименте состояние поляризации падающего излучения позволяет с помощью гониометрической системы экспериментально выявить особенности отражения, включая диапазон значений вблизи угла Брюстера, где интенсивность отражения равняется нулю, поскольку в этом случае сумма углов падения и преломления равна  $\pi/2$ . Измеренное значение угла Брюстера позволяет легко восстановить величину показателя преломления среды.

В момент написания классических учебников [1 – 4] было принято, что оптические среды преломляют свет и обладают показателем преломления отличным от единицы исключительно за счет диэлектрических свойств, то есть ввиду присутствия в среде только молекул, атомов с электрическими дипольными моментами. В настоящее время известно, что в силу развития физического материаловедения существуют как электрически –, так и магнито – упорядоченные среды.

В сообщении представлено обобщение известных выражений Френеля для случая отражения электромагнитной волны от оптической среды, у которой и диэлектрические и магнитные свойства отвечают конечным значениям отличным от единицы, и диэлектрической и магнитной проницаемости, то есть  $\epsilon$  и  $\mu$ . Предполагается, что среда по кристаллографической структуре имеет кубическую симметрию, так что анизотропия отсутствует.

**Методология расчета, результаты анализа, обсуждение.**

В традиционном представлении для описания коэффициента отражения света в том или ином состоянии поляризации записывают отношение амплитуд отраженной и падающей волн на границе раздела  $r(\varphi) = \frac{E_r}{E_i}$ . Сам энергетический коэффициент отражения выражается как квадрат модуля отношения амплитуд отраженной волны  $E_r$  к падающей  $E_i$ . Для поляризации в плоскости падения в обычном случае коэффициент отражения определяется через отношение тангенсов, то есть тангенса разности углов падения  $\varphi$  и преломления  $\beta$  к тангенсу суммы этих углов.

$$r(\varphi) = \frac{\operatorname{tg}(\varphi - \beta)}{\operatorname{tg}(\varphi + \beta)} \quad (1)$$

Представленное известное выражение (1) формулируется исходя из классических соотношений неразрывности компонент векторов электромагнитного поля на интерфейсе. Иными словами, тангенциальные компоненты векторов напряженности электрического и магнитного полей непрерывны, равно как и нормальные компоненты векторов индукции магнитного и электрического поля

При расчете коэффициента отражения (1), а также в ходе эксперимента принято сканировать угол падения волны и регистрировать интенсивность отраженного излучения фотоприемником под тем же углом (угол падения равен углу отражения) с помощью гониометрической установки. Входящий в (1) угол преломления  $\beta$  отвечает соотношению Снеллиуса

$$\sqrt{\epsilon_1 \mu_1} \operatorname{Sin} \varphi = \sqrt{\epsilon_2 \mu_2} \operatorname{Sin} \beta \quad (2)$$

Упомянутые условия неразрывности были привлечены для получения соотношения между амплитудами отраженной и падающей волны в случае,

когда скалярный коэффициент магнитной проницаемости среды  $\mu_2$  не является единицей, равно как и скалярный коэффициент диэлектрической проницаемости  $\varepsilon_2$ , а со стороны падения (воздух) обе проницаемости и  $\varepsilon_1$  и  $\mu_1$  равны единице. что естественно для среды близкой по оптическим характеристикам к вакууму.

$$r(\varphi) = \frac{\frac{\sqrt{\varepsilon_2}}{\sqrt{\mu_2}} \cos \varphi - \frac{\sqrt{\varepsilon_1}}{\sqrt{\mu_1}} \cos \beta}{\frac{\sqrt{\varepsilon_2}}{\sqrt{\mu_2}} \cos \varphi + \frac{\sqrt{\varepsilon_1}}{\sqrt{\mu_1}} \cos \beta} \quad (3)$$

Полученное отношение амплитуд отраженной и падающей волн  $r(\varphi)$  имеет вид, который не столь симметричен как в обычном случае отражения от диэлектрического зеркала, но позволяет численно исследовать закономерности отражения при варьировании угла падения в представлении обычного подхода задачи Френеля.

На рис. 1 и рис 2 представлены характерные виды зависимости угла преломления  $\beta$  в функции угла падения на основании соотношения Снеллиуса (2) и отношение амплитуд  $r(\varphi)$  для нескольких значений проницаемостей отражающей среды следуя (3).

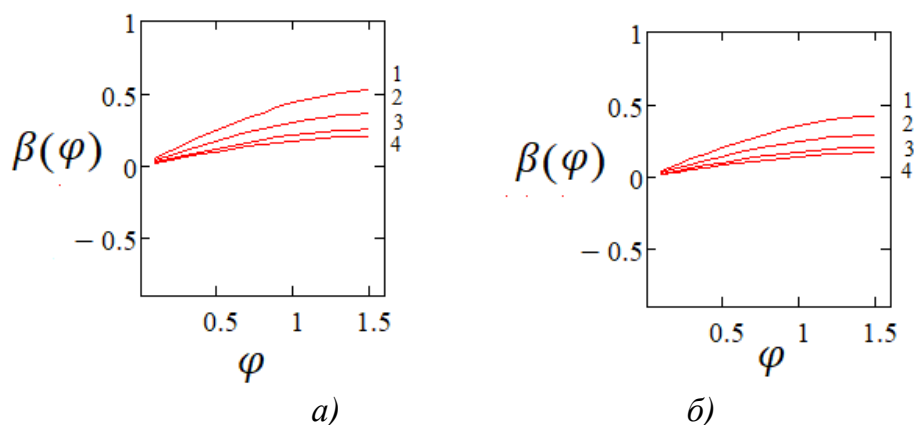


Рис. 1 – Угол преломления  $\beta$  плоско поляризованной волны в функции угла падения  $\varphi$  при ее падении из воздуха на поверхность магнитно упорядоченной среды при значениях магнитной проницаемости  $\mu_2$  :

а)  $\mu_2 = 1$  (1), 2 (2), 4 (3), 6 (4), диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon_2 = 4$ ,

б)  $\mu_2 = 1$  (1), 2 (2), 4 (3), 6 (4), диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon_2 = 6$ .

Представленные на рисунках 1 и 2 зависимости угла преломления  $\beta$  и отношения амплитуд  $r(\varphi)$  отображают степень воздействия намагниченности на отражение поляризованного света. Так для угла преломления его варьирование при изменении свойств отражающей среды осуществляется по сценарию сходному при возрастании как диэлектрической, так и магнитной проницаемости, поскольку оба этих параметра занимают одинаковую позицию в соотношении (2). Однако из закономерностей Рис. 2 следует, что на фоне общего поведения с изменением фазы отраженной волны при значении угла Брюстера, где амплитуда отраженной волны становится равной нулю, возрастание

диэлектрической и магнитной проницаемости приводит к изменению амплитудного коэффициента отражения  $r(\varphi)$  не одинаково. Это обусловлено различием соотношений (1) и (3), хотя, несомненно, (3) трансформируется к (1) в случае предельного перехода, когда  $\mu_2 = 1$ .

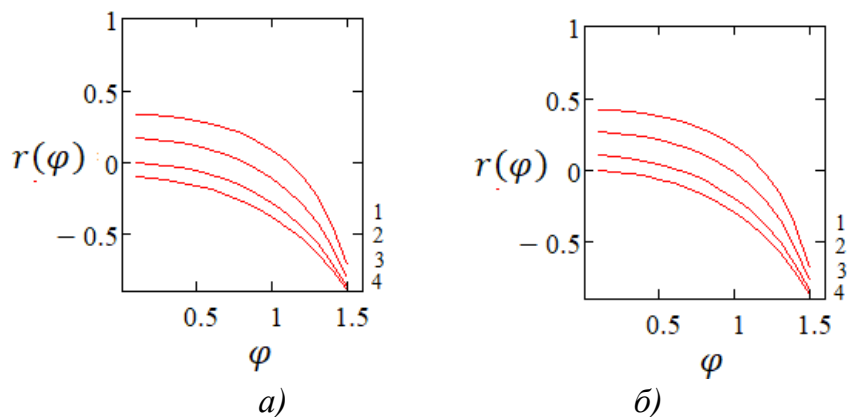


Рисунок 2. Зависимость отношения амплитуд электрического вектора отраженной волны к падающей  $r(\varphi)$  в функции угла падения для поляризованной в плоскости падения волны при ее отражении от магнитоупорядоченной среды при значениях магнитной проницаемости  $\mu_2$  :

а)  $\mu_2 = 1$  (1), 2 (2), 4 (3), 6 (4), диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon_2 = 4$ ,

б)  $\mu_2 = 1$  (1), 2 (2), 4 (3), 6 (4), диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon_2 = 6$

**Заключение.** Анализ выражения Френеля для отношения амплитуд вектора электрической напряженности отраженной волны к падающей в условиях линейной поляризации в плоскости падения и отражения от магнитной оптической среды показал, что общее магнитное упорядочение может привести к переосмыслению самого понятия угла Брюстера. Для оптического зеркала, содержащего магнитные ионы и конечное значение магнитной проницаемости, угол падения, для которого коэффициент отражения линейно поляризованной волны равен нулю, в обычном понимании может вовсе не существовать.

#### Библиографические ссылки

1. Саржевский, А.М. Оптика: в 2 ч. / А.М. Саржевский. – Минск : Университетское, 1984.–287 с.
2. Бутиков, Е.И. Физика: учеб. пособие: В 3 кн. / Е.И. Бутиков, А.С. Кондратьев. – М. : Физматлит, 2001. - Кн.2: Электродинамика. Оптика. –336 с
3. Ландсберг, Г.С. Оптика / Г.С. Ландсберг. – 5-е изд. – М. : Наука, 1976. – 926 с.
4. Сивухин, Д.В. Общий курс физики: учеб. пособие для вузов: в 5 т. / Д.В. Сивухин. – 3-е изд. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005. – Т. 4 : Оптика. – 792 с.