

Торайғыров университетінің
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Торайғыров университета

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ ХАБАРШЫСЫ

Физика, математика және компьютерлік
ғылымдар сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

Серия: Физика, математика
и компьютерные науки
Издается с 1997 года

ISSN 2959-068X

№ 1 (2023)
Павлодар

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА**

Серия: Физика, математика и компьютерные науки
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ91VPY00046988

выдано

Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области физики, математики,
механики и информатики

Подписной индекс – 76208

<https://doi.org/10.48081/SGQS7560>

Бас редакторы – главный редактор

Тлеукенов С. К., *ф.-м.г.д., профессор*

Заместитель главного редактора Испулов Н. А., *ф.-м.г.к., профессор*

Ответственный секретарь Жумабеков А. Ж., *PhD*

Редакция алкасы – Редакционная коллегия

Esref Adali,	<i>PhD докторы, профессор (Турция);</i>
Qadir Abdul,	<i>PhD докторы, профессор (Пакистан);</i>
Донбаев К. М.,	<i>ф.-м.г.д., профессор;</i>
Демкин В. П.,	<i>ф.-м.г.д., профессор (Российская Федерация);</i>
Жумадилаева А. К.,	<i>т.г.к., кауымд. профессор;</i>
Ибраев Н. Х.,	<i>ф.-м.г.д., профессор;</i>
Косов В. Н.,	<i>ф.-м.г.д., профессор;</i>
Сентова С. М.,	<i>пед.г.д., профессор;</i>
Шоканов А. К.,	<i>ф.-м.г.к., профессор</i>
Омарова А. Р.,	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров
университета» обязательна

© Торайгыров университет

С. К. Тлеукенов¹ *Т. С. Досанов², А. К. Досжанова²

¹Евразийский Национальный университет имени Гумилева,
Республика Казахстан, г. Астана

²Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

*e-mail: tgoogmail@gmail.com

ОБ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТАХ ОТРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ТЕ И ТМ ВОЛН НА ГРАНИЦЕ АНИЗОТРОПНЫХ СРЕД РОМБИЧЕСКОЙ СИНГОНИИ

Метод матрицанта – эффективный аналитический метод исследования волновых процессов различной физической природы, электромагнитных волн в неоднородных анизотропных кристаллах и кристаллах с магнитоэлектрическим эффектом, упругих волн в упругих и термоупругих кристаллах, а также связанных электромагнитных и упругих волн в средах с пьезоэлектрическим и пьезомагнитным эффектами. В данной статье, опираясь на предыдущие результаты выведены формулы энергетических коэффициентов отражения электромагнитных ТЕ и ТМ волн на границе непроводящих однородных анизотропных сред ромбической сингонии. Показано, что в предельном случае полученные формулы переходят в формулы Френеля. Также в работе получены уравнения описывающие распространение электромагнитных ТЕ и ТМ волн в плоскости xOz в кристаллах ромбической сингонии. Получены выражения для средних по времени плотностей потоков электромагнитных энергий ТЕ и ТМ волн (средние по времени значения вектора Пойтинга), а также уравнения волновых векторов электромагнитных ТЕ и ТМ волн, из которых следуют уравнения индикатрис и формулы являющиеся обобщением закона Снеллиуса. Полученные результаты справедливы и для периодически неоднородных сред в случае, когда длина волны электромагнитных волн много больше периода неоднородности.

Ключевые слова: электромагнитные волны, ТЕ и ТМ волны, задача отражения, анизотропная среда, матрицант.

Введение

Методом матрицанта [1] проводятся теоретические исследования упругих волн [2,3], электромагнитных волн в анизотропных средах [4,5,6], а также волновые процессы в пьезоэлектрических, пьезомагнитных [7], магнитоэлектрических [8,9] и термоупругих средах [10]. Изучение волновых процессов в анизотропных кристаллах имеет большую практическую значимость для прикладной оптики и оптического приборостроения.

В данной статье на основе метода матрицанта будут выведены энергетические коэффициенты отражения электромагнитных ТМ и ТЕ волн на границе раздела однородных анизотропных сред ромбической сингонии. Будет получено обобщение формул Френеля для энергетических коэффициентов отражения на случай анизотропных сред ромбической сингонии. Аналитические формулы энергетических коэффициентов отражения электромагнитных ТЕ или ТМ волн являются важным инструментом для изучения оптических явлений, таких как интерференция и дифракция света. Они также используются в различных приложениях, например, в проектировании оптических систем и при изучении свойств материалов.

Материалы и методы

Проведя вычисления аналогичные вычислениям, проведенным в статье [3] получим для электромагнитной ТМ волны распространяющейся в плоскости xOz следующие уравнения:

$$\begin{cases} \frac{dE_z}{dx} = i\omega \left(\mu_0 \mu_{22} - \frac{k_z^2}{\omega^2 \epsilon_0 \epsilon_{11}} \right) H_y \\ \frac{dH_y}{dx} = i\omega \epsilon_0 \epsilon_{33} E_z \end{cases} \quad (1)$$

$$E_x = \frac{k_z}{\omega \epsilon_0 \epsilon_{11}} H_y \quad (2)$$

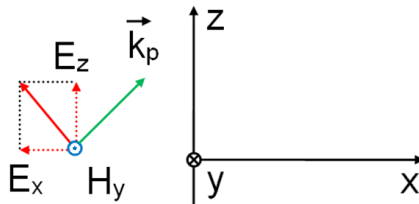


Рисунок 1 – Электромагнитная ТМ волна (p-поляризованная волна), граница раздела сред плоскость $y=0z$.

Уравнение (1) в матричном виде

$$\frac{d\vec{W}}{dx} = \hat{B}\vec{W} \quad (3)$$

где $\vec{W} = (E_z, H_y)^t$ (4)

$$\hat{B} = \begin{pmatrix} 0 & b_{12} \\ b_{21} & 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$b_{12} = i\omega \left(\mu_0 \mu_{22} - \frac{k_z^2}{\omega^2 \epsilon_0 \epsilon_{11}} \right); \quad b_{21} = i\omega \epsilon_0 \epsilon_{33}$$

Волновой вектор электромагнитной ТМ волны (p-поляризованной волны):

$$k_p^2 = k_z^2 + k_x^2 \quad (6)$$

где $k_x^2 = -b_{12}b_{21}$ (7)

Используя результаты, полученные в работе [4] проведём расчет энергетических коэффициентов отражения электромагнитной ТМ волны (p-поляризованная волна).

Нормальная к границе раздела сред составляющая плотности потока электромагнитной энергии (вектора Пойтинга):

$$S_x = -E_z H_y \quad (8)$$

Поле падающей волны

$$\begin{pmatrix} E_z \\ H_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{A_1}{2} \sqrt{\frac{b_{12}}{b_{21}}} \\ \frac{A_1}{2} \end{pmatrix} \exp(i\omega t - ik_{1x}x - ik_z z) \quad (9)$$

Поле отраженной волны

$$\begin{pmatrix} E_{rz} \\ H_{ry} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g_{11} \frac{A_1}{2} \sqrt{\frac{b_{12}}{b_{21}}} \\ -g_{11} \frac{A_1}{2} \end{pmatrix} \exp(i\omega t + ik_{2x}x - ik_z z) \quad (10)$$

Средняя плотность потока энергии равна

$$\langle S_x \rangle = -E_z H_y^* \quad (11)$$

Знак * означает комплексное сопряжение.

Средняя плотность потока энергии падающей волны

$$\langle S_x \rangle = -E_z H_y^* = -\frac{A_1^2}{4} \sqrt{\frac{b_{12}}{b_{21}}} \quad (12)$$

Средняя плотность потока энергии отраженной волны

$$\langle S_{rx} \rangle = -E_{rz} H_{ry}^* = g_{11} \frac{A_1^2}{4} \sqrt{\frac{b_{12}}{b_{21}}} \quad (13)$$

Тогда энергетический коэффициент отражения ТМ волны равен:

$$r_p = \frac{\langle S_{rx} \rangle}{\langle S_x \rangle} = -g_1 \quad (14)$$

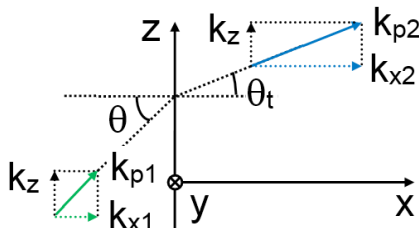


Рисунок 2 – Волновые вектора падающей и прошедшей волн

Результаты и обсуждение

В работе [4] получено выражение для g_{11}

$$g_{11} = \frac{k_{x2} b_{21} - k_{x1} s_{21}}{k_{x2} b_{21} + k_{x1} s_{21}} \quad (15)$$

В дальнейших формулах параметры второй среды будем обозначать со штрихом. Используя формулу (7) и формулы для элементов матрицы коэффициентов $\hat{B}$ получим:

$$k_{x1}^2 + \frac{\epsilon_{33}}{\epsilon_{11}} k_z^2 = \omega^2 \epsilon_0 \mu_0 \epsilon_{33} \mu_{22}, \quad k_{x2}^2 + \frac{\epsilon_{33}'}{\epsilon_{11}'} k_z^2 = \omega^2 \epsilon_0 \mu_0 \epsilon_{33}' \mu_{22}' \quad (16)$$

Рисунок (2) позволяет записать

$$k_{p1}^2 = \frac{\omega^2 \epsilon_0 \mu_0 \epsilon_{33} \mu_{22}}{\cos^2 \theta + \frac{\epsilon_{33}}{\epsilon_{11}} \sin^2 \theta}, \quad k_{p2}^2 = \frac{\omega^2 \epsilon_0 \mu_0 \epsilon_{33}' \mu_{22}'}{\cos^2 \theta_t + \frac{\epsilon_{33}'}{\epsilon_{11}'} \sin^2 \theta_t} \quad (18)$$

Тогда

$$-g_{11} = \frac{\epsilon_{33}' k_{p1} \cos \theta - \epsilon_{33} k_{p2} \cos \theta_t}{\epsilon_{33}' k_{p1} \cos \theta + \epsilon_{33} k_{p2} \cos \theta_t} \quad (19)$$

После преобразований получим

$$r_p = \frac{\sqrt{\epsilon_{33}' \mu_{22}'} \sqrt{\cos^2 \theta_t + \frac{\epsilon_{33}'}{\epsilon_{11}'} \sin^2 \theta_t} \cos \theta - \sqrt{\epsilon_{33} \mu_{22}} \sqrt{\cos^2 \theta + \frac{\epsilon_{33}}{\epsilon_{11}} \sin^2 \theta} \cos \theta_t}{\sqrt{\epsilon_{33}' \mu_{22}'} \sqrt{\cos^2 \theta_t + \frac{\epsilon_{33}'}{\epsilon_{11}'} \sin^2 \theta_t} \cos \theta + \sqrt{\epsilon_{33} \mu_{22}} \sqrt{\cos^2 \theta + \frac{\epsilon_{33}}{\epsilon_{11}} \sin^2 \theta} \cos \theta_t}$$

Полагая компоненты тензора магнитной проницаемости равными 1, для энергетического коэффициента отражения ТМ волны получим:

$$r_p = \frac{\sqrt{\epsilon_{33}'} \sqrt{\cos^2 \theta_t + \frac{\epsilon_{33}'}{\epsilon_{11}'} \sin^2 \theta_t} \cos \theta - \sqrt{\epsilon_{33}} \sqrt{\cos^2 \theta + \frac{\epsilon_{33}}{\epsilon_{11}} \sin^2 \theta} \cos \theta_t}{\sqrt{\epsilon_{33}'} \sqrt{\cos^2 \theta_t + \frac{\epsilon_{33}'}{\epsilon_{11}'} \sin^2 \theta_t} \cos \theta + \sqrt{\epsilon_{33}} \sqrt{\cos^2 \theta + \frac{\epsilon_{33}}{\epsilon_{11}} \sin^2 \theta} \cos \theta_t} \quad (20)$$

Из формулы (20) легко получить формулу Френеля для энергетического коэффициента отражения электромагнитной ТМ волны. Действительно,

полагая $\epsilon_{11} = \epsilon_{33}$, $\epsilon_{11}' = \epsilon_{33}'$, $\sqrt{\epsilon_{33}} = n_1$, $\sqrt{\epsilon_{33}'} = n_2$ получим формулу Френеля:

$$r_p = \frac{n_2 \cos \theta - n_1 \cos \theta_t}{n_2 \cos \theta + n_1 \cos \theta_t} \quad (21)$$

Теперь рассмотрим электромагнитную ТЕ волну. Для электромагнитной ТЕ волны (s-поляризованной волны) распространяющейся в плоскости xOz получим следующие уравнения:

$$\begin{cases} \frac{dH_z}{dx} = -i\omega \left(\epsilon_0 \epsilon_{22} - \frac{k_z^2}{\omega^2 \mu_0 \mu_{11}} \right) E_y \\ \frac{dE_y}{dx} = -i\omega \mu_0 \mu_{33} H_z \end{cases} \quad (21)$$

$$H_x = -\frac{k_z}{\omega \mu_0 \mu_{11}} E_y \quad (22)$$

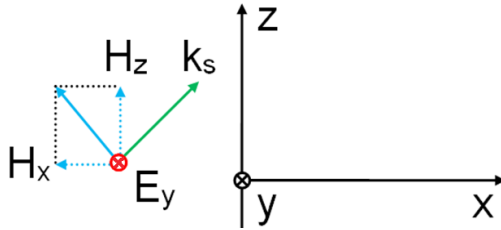


Рисунок 3 –Электромагнитная ТЕ волна (s - поляризованная), граница раздела сред плоскость yOz .

Проведя аналогичные вычисления, для энергетического коэффициента отражения электромагнитной ТЕ волны получим:

$$r_s = \frac{\sqrt{\mu_{33}' \epsilon_{22}} \sqrt{\cos^2 \theta_t + \frac{\mu_{33}'}{\mu_{11}} \sin^2 \theta_t} \cos \theta - \sqrt{\mu_{33} \epsilon_{22}'} \sqrt{\cos^2 \theta + \frac{\mu_{33}}{\mu_{11}} \sin^2 \theta} \cos \theta_t}{\sqrt{\mu_{33}' \epsilon_{22}} \sqrt{\cos^2 \theta_t + \frac{\mu_{33}'}{\mu_{11}} \sin^2 \theta_t} \cos \theta + \sqrt{\mu_{33} \epsilon_{22}'} \sqrt{\cos^2 \theta + \frac{\mu_{33}}{\mu_{11}} \sin^2 \theta} \cos \theta_t}$$

Полагая компоненты тензора магнитной проницаемости равными 1, а также полагая $\sqrt{\epsilon_{22}} = n_1$, $\sqrt{\epsilon_{22}'} = n_2$ для энергетического коэффициента отражения ТЕ волны сразу получим формулу Френеля:

$$r_s = \frac{n_1 \cos \theta - n_2 \cos \theta_t}{n_1 \cos \theta - n_2 \cos \theta_t} \quad (23)$$

Выводы

Таким образом, в данной работе в рамках метода матрицанта получены аналитические формулы энергетических коэффициентов отражения электромагнитных ТЕ и ТМ волн на границе раздела однородных анизотропных сред ромбической сингонии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Тлеукунов, С. К.** Метод матрицанта. Павлодар : НИЦ ПГУ им. С. Торайгырова, 2004. – 148 с.

2 **Tleukenov, S. K.** A method for the analytical description of coupled-field waves in various anisotropic media//ACTA MECHANICA. 2014. Т. : 225. Выпуск : 12. С. 3535-3547.

3 **Tleukenov, S. K., Aitbaev, A. B.** Lamb waves in elastic layers with rhombic symmetry//ACOUSTICAL PHYSICS. 2015. Т. : 61. Выпуск: 2. С. 144–147.

4 **Тлеукунов, С. К., Досанов, Т. С., Оспанова, Ж. Д., Смайлова, Ж. Б., Досжанова, А. К.** Уравнения индикатрис скоростей электромагнитных волн в анизотропных средах ромбической сингонии // Вестник ПГУ, серия физ.-мат. 2020. – Выпуск : 4. С. 100–109.

5 **Тлеукунов, С. К., Досанов, Т. С., Досжанова, А. К.** Об отражении электромагнитных ТЕ и ТМ волн на границе анизотропных сред ромбической сингонии // Вестник ПГУ, серия физ.-мат. 2022. – Выпуск : 2. С. 49–54.

6 **Тлеукунов, С. К., Досанов, Т. С., Испулов, Н. А., Гутенко, А. Д., Досумбеков, К. Р.** О поверхностных волнах в пьезомагнитных средах. // Международная конференция «Инновационные подходы к решению технико-экономических проблем». М. – 2019. – 104–110 с.

7 **Tleukenov, S. K., Dossanov, T. S., Vishenkova, Yu. A.** About the reflection of electromagnetic TE-wave at the interface between isotropic elastic medium and piezo-crystal orthorhombic classes 222 mm2, mmm// Bulletin of the University of Karaganda-Physics. 2016. Т. : 4. Выпуск: 84. С. 14–19.

8 **Жукунов, М. К., Досанов, Т. С., Испулов, Н. А., Абдул Кадыр** About the existence of surface waves on interface antiferromagnet Cr2O3 // Вестник ПГУ, серия физ.-мат. 2018. – Выпуск: 2. С. 49–54.

9 **Tleukenov, S. K., Dossanov, T. S., Zhukenov, M. K., Zhumabayeva, G. M.** About the problem of reflection of the electromagnetic TE-wave from the surface of the magnetoelectric crystal hexagonal system of classes 622, 6mm,

6m2, 6mm // Bulletin of the University of Karaganda-Physics. 2016. Том: 3. Выпуск : 83. С. 21-27.

10 Муса, Е. У., Испулов, Н. А., Досумбеков, К. Р., Жумабеков, А. Ж. Анизотропты орталарда термосерпімді толқындардың таралуы туралы // Вестник ПГУ, серия физ.-мат. 2022. – Выпуск : 1. С. 58–67.

REFERENCES

1 Tleukenov, S. K. Metod matritcanta [Matriciant method] / Pavlodar: NITS PGU im. S. Toraygyrova, 2004. – 148 p.

2 Tleukenov, S. K. A method for the analytical description of coupled-field waves in various anisotropic media//ACTA MECHANICA. 2014. Том: 225. Vypusk: 12. P. 3535-3547.

3 Tleukenov, S. K., Aitbaev, A. B. Lamb waves in elastic layers with rhombic symmetry//ACOUSTICAL PHYSICS. 2015. Том: 61. Vypusk: 2. p. 144–147.

4 Tleukenov, S. K., Dosanov, T. S., Ospanova, ZH. D., Smajlova, ZH. B., Doszhanova, A. K. Uravneniya indikatrix skorostej elektromagnitnykh voln v anizotropnykh sredakh rombicheskoy singonii [Equations of electromagnetic wave velocity indicatrices in anisotropic media of rhombic syngony] // Bulletin of PSU, Series Phys. and Math. 2020. - Issue : 4. P. 100-109.

5 Tleukenov, S. K., Dosanov, T. S., Doszhanova, A. K. Ob otrazhenii elektromagnitnykh TE i TM voln na granitse anizotropnykh sred rombicheskoy singonii [On the reflection of electromagnetic TE and TM waves on the boundary of anisotropic media of rhombic syngony] // Bulletin of PSU, Physics and Mathematics Series. 2022. – Issue: 2. P. 49–54.

6 Tleukenov, S. K., Dosanov, T. S., Ispulov, N. A., Gutenko, A. D., Dosumbekov, K. R. O poverkhnostnykh volnakh v p'yezomagnitnykh sredakh [On surface waves in piezomagnetic media] // International conference «Innovative approaches to solving technical and economic problems». Moscow. – 2019. – 104–110 p.

7 Tleukenov, S. K., Dossanov, T. S., Vishenkova, Yu. A. About the reflection of electromagnetic TE-wave at the interface between isotropic elastic medium and piezo-crystal orthorhombic classes 222 mm2, mmm// Bulletin of the University of Karaganda-Physics. 2016. Том: 4. Vypusk: 84. P. 14–19.

8 Zhukonov, M. K., Dosanov, T. S., Ispulov, N.A. Abdul Kadyr About the existence of surface waves on interface antiferromagnet Cr2O3 // Vestnik PGU, seriya fiz.-mat. 2018. – Vypusk: 2. P. 49–54.

9 Tleukenov, S. K., Dossanov, T. S., Zhukonov, M. K., Zhumabayeva, G. M., About the problem of reflection of the electromagnetic TE-wave from the surface of the magnetoelectric crystal hexagonal system of classes 622, 6mm,

6m2, 6mm // Bulletin of the University of Karaganda-Physics. 2016. Tom: 3. Vypusk: 83. P. 21–27.

10 Musa, E. U., Ispulov, N. A., Dosumbekov, K. R., Zhumabekov, A. Zh. Anizotropy ortalarda termoserpimdi tolkyndardyn taraluy turaly [Anisotropy ortalarda termoserpimdy tolkindardyn taraluy turaly] // Vestnik PSU, Physics and Mathematics Series. 2022. – Issue : 1. P. 58–67.

С. Қ. Тлеуқенов¹, Т. С. Досанов², А. Қ. Досжанова²

¹Гумилев атындағы Евразиялық Ұлттық университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

²Торайғыров атындағы университет Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Материал 06.03.23 баспаға түсті.

ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ТЕ ЖӘНЕ ТМ ТОЛҚЫНДАРДЫҢ РОМБТЫ АНИЗОТРОПТЫ ОРТАЛАР ШЕКАРАСЫНДАҒЫ ЭНЕРГИЯЛЫҚ ШАҒЫЛУ КОЭФФИЦИЕНТТЕРІ ТУРАЛЫ

Матрицант әдісі - әртүрлі физикалық табиғаты толқындық процестерді зерттейтін тиімді аналитикалық әдіс. Ол біртекті емес анизотропты кристалдардағы және магнитоэлектрлік эффектісі бар кристалдардағы электромагниттік толқындарды, серпінді кристалдардағы серпінді және термосерпінді толқындарды, пьезоэлектрлік және пьезомагниттік эффектісі бар орталардағы байланысқан электромагниттік және серпінді толқындарды зерттеуде қолданылады. Бұл мақалада алдыңғы нәтижелерге сүйене отырып, ромбтық сингониялы ток өткізбейтін біртекті анизотропты орталардың шекарасында электромагниттік ТЕ және ТМ толқындарының энергиялық шағылу коэффициенттерінің формулалары шығарылды. Шекті жағдайда алынған формулалар Френель формулаларына ауысатыны көрсетілген. Сондай-ақ, жұмыста ромбтық сингония кристалдарындағы x_0z жазықтығындағы электромагниттік ТЕ және ТМ толқындарының таралуын сипаттайтын теңдеулер алынды. Электромагниттік энергиялар ағындарының уақыт бойынша орташа тығыздығы үшін өрнектер алынды ТЕ және ТМ толқындар (Пойтинг вектордың уақыт бойынша орташа мәндері), сондай-ақ электромагниттік ТЕ және ТМ толқындарының толқындық векторларының теңдеулері, олардан индикатрис теңдеулері және Снелл заңының жалпылау болып табылатын формулалар алынды. Алынған нәтижелер электромагниттік толқындардың толқын ұзындығы біртекті емес

периодынан әлдеқайда үлкен болған жағдайда периодтық біртекті емес орталар үшін де жарамды.

Кілтті сөздер: электромагниттік толқындар, TE және TM толқындары, шағылу есебі, анизотропты орта, матрицант.

S. K. Tleukenov¹, T. S. Dossanov², A. K. Doszhanova²

¹L. N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan, Astana

²Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Material received on 06.03.23.

ON THE ENERGY REFLECTION COEFFICIENTS OF ELECTROMAGNETIC TE AND TM WAVES AT THE BOUNDARY OF RHOMBIC ANISOTROPIC MEDIA

The matricant method is an effective analytical method for studying wave processes of various physical nature, electromagnetic waves in inhomogeneous anisotropic crystals and crystals with a magnetoelectric effect, elastic waves in elastic and thermoelastic crystals, as well as coupled electromagnetic and elastic waves in media with piezoelectric and piezomagnetic effects. In this article, based on previous results, formulas are derived for the energy reflection coefficients of electromagnetic TE and TM waves at the boundary of non-conducting homogeneous anisotropic media of rhombic syngony. It is shown that in the limiting case the obtained formulas go over to the Fresnel formulas. Also in the paper, equations are obtained that describe the propagation of electromagnetic TE and TM waves in the xOz plane in rhombic crystals. Expressions are obtained for the time-averaged flux densities of electromagnetic energies of TE and TM waves (time-averaged values of the Poynting vector), as well as equations for the wave vectors of electromagnetic TE and TM waves, from which follow the equations of indicatrices and formulas that are a generalization of Snell's law. The results obtained are also valid for periodically inhomogeneous media in the case when the wavelength of electromagnetic waves is much greater than the period of inhomogeneity.

Keywords: electromagnetic waves, TE and TM waves, reflection problem, anisotropic medium, matricant.

Теруге 06.03.2023 ж. жіберілді. Басуға 30.03.2023 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

7,50 Mb RAM

Шартты баспа табағы 9,1. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4020

Сдано в набор 06.03.2023 г. Подписано в печать 30.03.2023 г.

Электронное издание

7,50 Mb RAM

Усл.печ.л. 8,4. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4020

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университеті» КЕ АҚ

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университеті» КЕ АҚ

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

+7(718)267-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik.tou.edu.kz

<https://vestnik-pm.tou.edu.kz/>