



ISSN 0142-0843



№ 3(83)/2016

ФИЗИКА сериясы

Серия ФИЗИКА

PHYSICS Series

**ҚАРАҒАНДЫ
УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ХАБАРШЫСЫ**

**ВЕСТНИК
КАРАГАНДИНСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

**BULLETIN
OF THE KARAGANDA
UNIVERSITY**

ISSN 0142-0843

Индексі 74616

Индекс 74616

ҚАРАҒАНДЫ
УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ХАБАРШЫСЫ

ВЕСТНИК

КАРАГАНДИНСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА

BULLETIN

OF THE KARAGANDA
UNIVERSITY

ФИЗИКА сериясы

Серия ФИЗИКА

PHYSICS Series

№ 3(83)/2016

Шілде–тамыз–қыркүйек
30 қыркүйек 2016 ж.

Июль–август–сентябрь
30 сентября 2016 г.

July–August–September
September, 30, 2016

1996 жылдан бастап шығады
Издается с 1996 года
Founded in 1996

Жылына 4 рет шығады
Выходит 4 раза в год
Published 4 times a year

Қарағанды, 2016
Karaganda, 2016
Karaganda, 2016

Бас редакторы
ЖМ ХҒА академигі, заң ғыл. д-ры, профессор
Е.Қ. Көбеев

Бас редактордың орынбасары
Жауапты хатшы

Х.Б. Омаров, техн. ғыл. д-ры
Г.Ю. Аманбаева, филол. ғыл. д-ры

Редакция ақпасы

Б.Р. Нусунбеков ,	редактор техн. ғыл. канд.;
Т.Ә. Көкетайгері ,	физ.-мат. ғыл. д-ры;
Н.Х. Ибраев ,	физ.-мат. ғыл. д-ры;
А.О. Сәулбеков ,	физ.-мат. ғыл. д-ры;
Қ.М. Арынгазин ,	пед. ғыл. д-ры;
И.В. Брейло ,	техн. ғыл. д-ры;
М. Стоев ,	PhD (Болгария);
С.Д. Джуманов ,	физ.-мат. ғыл. д-ры (Өзбекстан);
М.М. Кидибаев ,	физ.-мат. ғыл. д-ры (Қырғызстан);
З.Ж. Жаңабаев ,	физ.-мат. ғыл. д-ры;
Г.В. Климушева ,	физ.-мат. ғыл. д-ры (Украина);
С.Е. Көмеков ,	физ.-мат. ғыл. д-ры;
В.М. Лисицын ,	физ.-мат. ғыл. д-ры (Ресей);
И.Н. Огородников ,	физ.-мат. ғыл. д-ры (Ресей);
Г.И. Пилипенко ,	физ.-мат. ғыл. д-ры (Ресей);
С.В. Плотников ,	физ.-мат. ғыл. д-ры;
А.Ж. Тұрмұхамбетов ,	физ.-мат. ғыл. д-ры;
К.Ш. Шүңкеев ,	физ.-мат. ғыл. д-ры;
Л.В. Чиркова ,	жауапты хатшы техн. ғыл. канд.

Редакцияның мекенжайы: 100028, Қазақстан, Қарағанды қ., Университет к-сі, 28
Тел.: (7212) 77-03-69 (ішкі 1026); факс: (7212) 77-03-84.
E-mail: vestnick_kargu@ksu.kz. Сайт: vestnik.ksu.kz

Редакторлары

И.Д. Рожнова, Ж.Т. Нурмуханова

Компьютерде беттеген

В.В. Бутякин

Қарағанды университетінің хабаршысы. «Физика» сериясы.

ISSN 0142-0843

Меншік несі: «Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті» РММ.

Қазақстан Республикасының Мәдениет және ақпарат министрлігімен тіркелген. 23.10.2012 ж.
№ 13111-Ж тіркеу куәлігі.

Басуға 29.09.2016 ж. қол қойылды. Пішімі 60x84 1/8. Қағазы офсеттік. Көлемі 9,62 б.т.
Тарауымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша. Тапсырыс № 418.

Е.А. Бөкетов атындағы ҚарМУ баспасының баспаханасында басылып шықты
100012, Қазақстан, Қарағанды қ., Гоголь к-сі, 38. Тел. 51-38-20. E-mail: izd_kargu@mail.ru

Главный редактор
академик МАН ВШ, д-р юрид. наук, профессор
Е.К. Кубсеев

Зам. главного редактора **Х.Б. Омаров**, д-р техн. наук
Ответственный секретарь **Г.Ю. Аманбаева**, д-р филол. наук

Редакционная коллегия

Б.Р. Нусунбеков ,	редактор канд. техн. наук;
Т.А. Кокетайтеги ,	д-р физ.-мат. наук;
Н.К. Ибраев ,	д-р физ.-мат. наук;
А.О. Саулебеков ,	д-р физ.-мат. наук;
К.М. Арынгазин ,	д-р пед. наук;
И.В. Брейдо ,	д-р техн. наук;
М. Стоев ,	PhD (Болгария);
С.Д. Джуманов ,	д-р физ.-мат. наук (Узбекистан);
М.М. Кидибаев ,	д-р физ.-мат. наук (Кыргызстан);
З.Ж. Жанабаев ,	д-р физ.-мат. наук;
Г.В. Климушева ,	д-р физ.-мат. наук (Украина);
С.Е. Кумеков ,	д-р физ.-мат. наук;
В.М. Лисицын ,	д-р физ.-мат. наук (Россия);
И.Н. Огородников ,	д-р физ.-мат. наук (Россия);
Г.И. Пилипенко ,	д-р физ.-мат. наук (Россия);
С.В. Плотников ,	д-р физ.-мат. наук;
А.Ж. Турмухамбетов ,	д-р физ.-мат. наук;
К.Ш. Шункеев ,	д-р физ.-мат. наук;
Л.В. Чиркова ,	ответственный секретарь канд. техн. наук

Адрес редакции: 100028, Казахстан, г. Караганда, ул. Университетская, 28
Тел.: (7212) 77-03-69 (внутр. 1026); факс: (7212) 77-03-84.
E-mail: vestnick_kargu@ksu.kz. Сайт: vestnik.ksu.kz

Редакторы

И.Д. Рожнова, Ж.Т. Нурмуханова

Компьютерная верстка

В.В. Бутяйкин

Вестник Карагандинского университета. Серия «Физика».

ISSN 0142-0843

Собственник: РГП «Карагандинский государственный университет имени академика Е.А. Букетова».

Зарегистрирован Министерством культуры и информации Республики Казахстан. Регистрационное свидетельство № 13111-Ж от 23.10.2012 г.

Подписано в печать 29.09.2016 г. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Объем 9,62 п.л. Тираж 300 экз. Цена договорная. Заказ № 418.

Отпечатано в типографии издательства КарГУ им. Е.А. Букетова
100012, Казахстан, г. Караганда, ул. Гоголя, 38, тел.: (7212) 51-38-20. E-mail: izd_kargu@mail.ru

Main Editor

Academician of IHEAS, Doctor of Law

Ye.K. Kubeyev

Deputy main Editor

Kh.B. Omarov, Doctor of techn. sciences

Responsible secretary

G.Yu. Amanbayeva, Doctor of phylol. sciences

Editorial board

B.R. Nusupbekov ,	Editor Cand. of techn. sciences;
T.A. Kuketaev ,	Doctor of phys.-math. sciences;
N.Kh. Ibrayev ,	Doctor of phys.-math. sciences;
F.O. Saulebekov ,	Doctor of phys.-math. sciences;
K.M. Aryngasin ,	Doctor of ped. sciences;
I.V. Breido ,	Doctor of techn. sciences;
M. Stoev ,	PhD (Bulgaria);
S.D. Dzhumanov ,	Doctor of phys.-math. sciences (Uzbekistan);
M.M. Kidibaev ,	Doctor of phys.-math. sciences (Kyrgyzstan);
Z.Zh. Zhanabaev ,	Doctor of phys.-math. sciences;
G.V. Klimusheva ,	Doctor of phys.-math. sciences (Ukraine);
S.E. Kumekov ,	Doctor of phys.-math. sciences;
V.M. Lisitsyn ,	Doctor of phys.-math. sciences (Russia);
I.N. Ogorodnikov ,	Doctor of phys.-math. sciences (Russia);
G.I. Pilipenko ,	Doctor of phys.-math. sciences (Russia);
S.V. Plotnikov ,	Doctor of phys.-math. sciences;
A.Zh. Turmuhambetov ,	Doctor of phys.-math. sciences;
K.Sh. Shunkeyev ,	Doctor of phys.-math. sciences;
L.V. Chirkova ,	Secretary Cand. of techn. sciences

Postal address: 28, University Str., 100028, Karaganda, Kazakhstan

Tel.: (7212) 77-03-69 (add. 1026); fax: (7212) 77-03-84,

E-mail: vestnick_kargu@ksu.kz. Web-site: vestnik.ksu.kz

Editors

I.D. Rozhnova, Zh.T. Nurmukhanova

Computer layout

V.V. Butyaikin

Bulletin of the Karaganda University. «Physics» series.

ISSN 0142-0843

Proprietary: RSE «Academician Ye.A. Buketov Karaganda State University».

Registered by the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan. Registration certificate No. 13111-Zh from 23.10.2012.

Signed in print 29.09.2016. Format 60x84 1/8. Offset paper. Volume 9,62 p.sh. Circulation 300 copies. Price upon request. Order № 418.

Printed in the Ye.A. Buketov Karaganda State University Publishing house.

100012, Kazakhstan, Karaganda, Gogol Str., 38, Tel.: (7212) 51-38-20. E-mail: izd_kargu@mail.ru

МАЗМҰНЫ

КОНДЕНСАЦИЯЛАНҒАН КҮЙДІҢ ФИЗИКАСЫ

<i>Ерболжанұлы Д., Бүйткенов Д.Б., Тусупжанов А.Е., Қаштай Н.</i> Әр түрлі термиялық өңдеуге ұшыраған және графит қосылған полиуретанның қасиеттерін зерттеу.....	8
<i>Ерелан Е.Н., Юров В.М., Гуменко С.А., Лауринас В.Ч.</i> Металл жабындардың пайдалану қасиеттерін болжау.....	15
<i>Жұмабаева Г.М., Жүкенов М.К., Тлеукенов С.К., Досанов Т.С.</i> Кластары 622 , $6mm$, $6m2$, $6mm$ гексагоналды сингониялы магнитэлектрлік кристалдың бетінен электромагниттік ТЕ-толқынның шағылуы туралы мәселесіне.....	21
<i>Ильясов Б.Р., Алексеев А.М., Ыбыраев Н.Х., Сериков Т.М., Едрисов А.Т.</i> Органикалық күн ұяшықтарының деградациясын зерттеу.....	27
<i>Маханов К.М., Ермаганбетов К.Т., Скубневский Э.В., Чиркова Л.В., Аринова Е.Т.</i> Жасыл жапырақтарға күміс нанобөлшектерін енгізу технологиясы және фотошағылу үрдістерін зерттеу.....	34
<i>Рахадиллов Б.К., Скаков М.К., Туленбергенов Т.Р., Виелеба В.К.</i> Плазмалық шөкпен сәулеленген кезде вольфрам бетінің өзгеруі.....	40
<i>Солдатхан Д., Баймұханов З.Қ.</i> K_2SO_4 кристалындағы ақаулардың қалыптасуына екі валентті Pb^{2+} ионының әсері.....	47
<i>Темірбаева Д., Селиверстова Е., Ибраев Н.Х., Ищенко А.</i> Цианидті бояғыштың спектрлі-люминесценттік қасиеттерін тәжірибелік тұрғыдан зерттеу және есептеу.....	52

ФИЗИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ

<i>Акимбеков Е.Т., Мусатаева А.Б.</i> Физика пәнінен практикалық сабақ жүргізудің бір әдісі туралы.....	60
<i>Арынгаали Қ.М., Мусенова Э.К., Сейсембекова Т.Е., Омарова Г.С., Утепова А.С.</i> Физикадағы диалектикалық логикалар мен ұстанымдардың қазіргі заманғы әдістері.....	66
АВТОРЛАР ТУРАЛЫ МӘЛІМЕТТЕР	76

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

<i>Ерболатұлы Д., Бұйткенов Д.Б., Тусупжанов А.Е., Каптай Н.</i> Исследование свойств полнуретана, модифицированного графитом и термообработанного с различной выдержкой.....	8
<i>Еремин Е.Н., Юров В.М., Гученко С.А., Лауринас В.Ч.</i> Прогнозирование эксплуатационных свойств металлических покрытий.....	15
<i>Жумабаева Г.М., Жухенов М.К., Тлеукенов С.К., Досанов Т.С.</i> К вопросу отражения электромагнитной ТЕ-волны от поверхности магнитоэлектрического кристалла гексагональной сингонии классов 622 , $6mm$, $6m2$, $6mm2$	21
<i>Ильясов Б.Р., Алексеев А.М., Ибраев Н.Х., Сериков Т.М., Едрисов А.Т.</i> Исследования деградации органических солнечных ячеек.....	27
<i>Маханов К.М., Ермаганбетов К.Т., Скубневский Э.В., Чиркова Л.В., Аримова Е.Т.</i> Технология внедрения наночастиц серебра в зеленые листья и исследование процессов фотонизлучения.....	34
<i>Рахадиллов Б.К., Скаков М.К., Тулебергенов Т.Р., Виезеба В.К.</i> Изменение поверхности вольфрама при облучении плазменным пучком.....	40
<i>Солдатхан Д., Баймуханов З.К.</i> Влияние примеси двухвалентного свинца (Pb^{2+}) на дефектообразование в кристаллах K_2SO_4	47
<i>Темірбаева Д., Селиверстова Е., Ибраев Н.Х., Ицетко А.</i> Экспериментальное исследование и расчет спектрально-люминесцентных свойств цианинового красителя.....	52

МЕТОДИКА ФИЗИКИ

<i>Акимбеков Е.Т., Мусатаева А.Б.</i> Один из методов проведения практических занятий по физике.....	60
<i>Арынгазин К.М., Мусенова Э.К., Сейсембекова Т.Е., Омарова Г.С., Утепова А.С.</i> Современные методы диалектической логики и принципов в физике.....	66
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ.....	76

CONTENTS

PHYSICS OF THE CONDENSED MATTER

<i>Erbolatuly D., Buytkenov D.B., Tiesupzhanov A.E., Kantay N.</i> Investigation of polyurethane, modified graphite and heat-treated with different shutter speeds.....	8
<i>Eremin E.N., Yurov V.M., Guchenko S.A., Laurynas V.Ch.</i> Prognosis performance properties of metallic coatings.....	15
<i>Zhumabayeva G.M., Zhukenov M.K., Tleukenov S.K., Dosanov T.S.</i> About the problem of reflection of the electromagnetic TE-wave from the surface of the magnetoelectric crystal hexagonal system of classes 622 , $6mm$, $6m2$, $6mmm$	21
<i>Ilyassov B.R., Alekseev A.M., Ibrayev N.Kh., Serikov T.M., Yedrissov A.T.</i> The study of degradation of organic solar cells.....	27
<i>Makhanov K.M., Ermaganbetov K.T., Skubnevskiy E.V., Chirkova L.V., Arinova E.T.</i> Technology of introduction of nanoparticles of silver in green leaves and research of processes of photoradiation.....	34
<i>Rakhadilov B.K., Skakov M.K., Tulenbergenov T.R., Wieleba W.K.</i> Change the tungsten surface when irradiated by plasma beam.....	40
<i>Soldathan D., Baimukhanov Z.K.</i> Influence divalent a impurity Pb^{2+} on the defect formation in crystals K_2SO_4	47
<i>Temirbaeva D., Seliverstova E., Ibrayev N.Kh., Ishchenko A.</i> Experimental study and calculations of spectral-luminescence properties of cyanine dye.....	52

METHODOLOGY OF PHYSICS

<i>Akimbekov E.T., Musataeva A.B.</i> One of the methods of practical training in the discipline of physics.....	60
<i>Aryngazin K.M., Mussenova E.K., Seysembekova T.E., Omarova G.S., Utepova A.S.</i> Modern methods of dialectical logic and principles in physics.....	66
INFORMATION ABOUT AUTHORS.....	76

Г.М. Жумабаева¹, М.К. Жуkenов¹, С.К. Тлеукенов², Т.С. Досанов¹¹Павлодарский государственный университет им. С.Торайсырова;
²Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана
(E-mail: gmbor-202@mail.ru)**К вопросу отражения электромагнитной ТЕ-волны от поверхности магнитоэлектрического кристалла гексагональной сингонии классов 622 , $6mm$, $6m2$, $6mm$**

В работе на основе метода матриц решена задача отражения электромагнитной ТЕ-волны от поверхности магнитоэлектрического кристалла гексагональной сингонии классов 622 , $6mm$, $6m2$, $6mm$. Рассмотрена замкнутая система уравнений, содержащая уравнения Максвелла в отсутствие свободных зарядов и токов и определяющая соотношения для магнитоэлектрического кристалла. Получена система обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающая распространение электромагнитных волн. Построена структура матриц коэффициентов. Получен «закон преломления» электромагнитной ТЕ-волны. Проведен численный расчет отражательной и пропускательной способностей.

Ключевые слова: магнитоэлектрический эффект, метод матриц, отражательная и пропускательная способности, магнитоэлектрическая среда, изотропная среда, гексагональная сингония, волновой вектор.

В данной работе впервые на основе метода матриц решена задача отражения электромагнитной ТЕ-волны от поверхности магнитоэлектрического кристалла гексагональной сингонии классов 622 , $6mm$, $6m2$, $6mm$.

Теоретическое исследование вопроса отражения электромагнитных волн от поверхности магнитоэлектрических сред основано на получении и дальнейшем анализе решений совместной системы уравнений: системы уравнений Максвелла и определяющих соотношений для магнитоэлектрических сред с использованием граничных условий.

Система уравнений Максвелла в отсутствие свободных зарядов и токов:

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}; \operatorname{rot} \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \quad (1)$$

где \vec{E} и \vec{H} — напряженности электрического и магнитного полей соответственно; \vec{B} и \vec{D} — индукции магнитного и электрического полей.

Определяющие соотношения для сред с магнитоэлектрическим эффектом [1]:

$$\begin{cases} D_i = \epsilon_{ij} E_j + \alpha_{ij} H_j \\ B_i = \mu_{ij} H_j + \alpha_{ij} E_j \end{cases}, \quad (2)$$

где ϵ_0 и μ_0 — электрическая и магнитная постоянные; ϵ_{ij} — компоненты тензора диэлектрической проницаемости; μ_{ij} — компоненты тензора магнитной проницаемости; α_{ij} — компоненты тензора магнитоэлектрических восприимчивостей [1].

Совместим декартову систему координат с кристаллографической системой координат. Тогда, используя метод разделения переменных, т.е. представления решений системы (1)–(2) в виде

$$f(x, y, z, t) = f(z) \exp[i(\omega t - \mu x - \nu y)] \quad (3)$$

в случае магнитоэлектрического кристалла гексагональной сингонии классов 622 , $6mm$, $6m2$, $6mm$, получим следующую систему уравнений [2]:

$$\begin{cases}
 \frac{dE_x}{dz} = i\omega \left(\mu_0 \mu_1 - \frac{n^2}{\omega^2 \epsilon_0 \epsilon_2} \right) H_x + \left(\frac{imn}{\omega \epsilon_0 \epsilon_2} \right) H_y - i\omega \alpha_{12} E_x, \\
 \frac{dH_x}{dz} = i\omega \left(\epsilon_0 \epsilon_2 - \frac{m^2}{\omega^2 \mu_0 \mu_1} \right) E_x + \left(\frac{imn}{\omega \mu_0 \mu_1} \right) E_y - i\omega \alpha_{12} H_x, \\
 \frac{dH_y}{dz} = - \left(\frac{imn}{\omega \mu_0 \mu_1} \right) E_x - i\omega \left(\epsilon_0 \epsilon_2 - \frac{n^2}{\omega^2 \mu_0 \mu_1} \right) E_y - i\omega \alpha_{12} H_y, \\
 \frac{dE_z}{dz} = - \left(\frac{imn}{\omega \epsilon_0 \epsilon_2} \right) H_x - i\omega \left(\mu_0 \mu_2 - \frac{m^2}{\omega^2 \epsilon_0 \epsilon_2} \right) H_y - i\omega \alpha_{12} E_z, \\
 E_z = - \frac{m}{\omega \epsilon_0 \epsilon_2} H_x + \frac{n}{\omega \epsilon_0 \epsilon_2} H_y; \quad H_z = \frac{m}{\omega \mu_0 \mu_1} E_x - \frac{n}{\omega \mu_0 \mu_1} E_y.
 \end{cases} \quad (4)$$

Здесь m и n — x -вая и y -вая составляющие волнового вектора.

Систему (4) можно записать в матричном виде

$$\frac{d\hat{w}}{dz} = \hat{B}\hat{w}, \quad (5)$$

где $\hat{w} = (E_x, H_x, H_y, E_z)^T$; \hat{B} — матрица коэффициентов.

$$\hat{B} = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & 0 \\ b_{21} & b_{22} & 0 & b_{24} \\ -b_{24} & 0 & b_{31} & b_{32} \\ 0 & -b_{31} & b_{41} & b_{42} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Полагая $n=0$, т.е. для случая распространения электромагнитных волн вдоль плоскости xOz , матрица коэффициентов (6) разбивается на две матрицы второго порядка. Элементы матрицы коэффициентов будут равны:

$$\begin{aligned}
 b_{11} &= -i\omega \alpha_{12}; \quad b_{12} = i\omega \mu_0 \mu_1; \quad b_{21} = i\omega \left(\epsilon_0 \epsilon_2 - \frac{m^2}{\omega^2 \mu_0 \mu_1} \right); \\
 b_{24} &= -i\omega \epsilon_0 \epsilon_2; \quad b_{41} = -i\omega \left(\mu_0 \mu_2 - \frac{m^2}{\omega^2 \epsilon_0 \epsilon_2} \right).
 \end{aligned}$$

Согласно методу матрицанта z -вая компонента волнового вектора электромагнитной ТЕ-волны [3]:

$$k_z^2 = -b_{11}^2 - b_{12} b_{21} \pm 2\sqrt{b_{11}^2 b_{12} b_{21}}. \quad (7)$$

Из (4) для электромагнитной ТЕ-волны получим:

$$\begin{cases}
 \frac{dE_x}{dz} = i\omega \cdot \mu_1 H_x - i\omega \cdot \alpha_{12} E_x; \\
 \frac{dH_x}{dz} = i\omega \cdot \left(\epsilon_2 - \frac{m^2}{\omega^2 \mu_1} \right) E_x - i\omega \cdot \alpha_{12} H_x,
 \end{cases} \quad (8)$$

$$H_z = \frac{m}{\omega \mu_0 \mu_1} E_x, \quad (9)$$

Здесь и далее для краткости ввели обозначения: $\mu_1 = \mu_0 \mu_1$, $\epsilon_2 = \epsilon_0 \epsilon_2$.

Пусть на границу раздела изотропной среды и магнитоэлектрической среды гексагональной сингонии классов 6_{22} , $6mm$, $6m2$, $6mm$ падает электромагнитная ТЕ-волна (рис. 1).

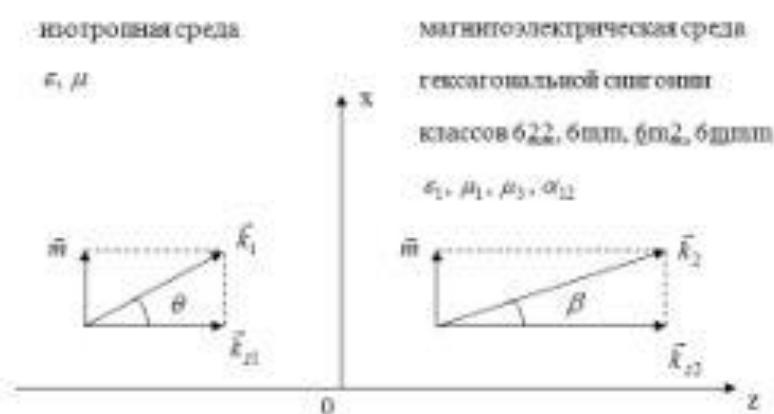


Рисунок 1. Граница раздела сред

Матрица коэффициентов и ее элементы для первой (изотропной) среды:

$$\hat{B}_1 = \begin{pmatrix} 0 & a_{12} \\ a_{21} & 0 \end{pmatrix}, \quad (10)$$

где $a_{12} = i\omega\mu$; $a_{21} = i\omega\epsilon \cdot \cos^2 \theta$.

Матрица коэффициентов и ее элементы для второй (магнитоэлектрической среды гексагональной симфонии классов 6_{22} , $6mm$, $6m_2$, $6mm_2$) среды:

$$\hat{B}_2 = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix}, \quad (11)$$

где $b_{11} = -i\omega\alpha_{12}$; $b_{12} = i\omega\mu_1$; $b_{21} = i\omega \left(\epsilon_1 - \frac{\epsilon\mu \cdot \sin^2 \theta}{\mu_1} \right)$.

Здесь мы воспользовались тем, что

$$k_1 = \omega\sqrt{\epsilon\mu}, \quad m = \omega\sqrt{\epsilon\mu} \sin \theta, \quad k_{z1} = \omega\sqrt{\epsilon\mu} \cdot \cos \theta. \quad (12)$$

Используя (7) и (13) для z -вой компоненты волнового вектора k_{z2} , получим:

$$k_{z2} = \omega \left(\alpha_{12} \pm \sqrt{\mu_1 \left(\epsilon_1 - \frac{\epsilon\mu \cdot \sin^2 \theta}{\mu_1} \right)} \right). \quad (13)$$

Тогда «закон преломления» электромагнитной ТЕ-волны на границе раздела изотропной среды и магнитоэлектрического кристалла гексагональной симфонии классов 6_{22} , $6mm$, $6m_2$, $6mm_2$:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{k_{z1} \cdot \operatorname{tg} \theta}{k_{z2}}. \quad (14)$$

В рамках метода матрицанта поле падающей, отраженной и прошедшей волн представляется в виде [4]

$$\begin{pmatrix} E_y \\ H_y \end{pmatrix} = \hat{T}_1^* \tilde{w}_0, \quad \begin{pmatrix} E_y \\ H_y \end{pmatrix} = \hat{T}_1^* \hat{G} \tilde{w}_0, \quad \begin{pmatrix} E_y \\ H_y \end{pmatrix} = \hat{T}_2^* (\hat{G} + \hat{E}) \tilde{w}_0; \quad (15)$$

$$\tilde{w}_0 = (E_0, H_0)^T; \quad (16)$$

$$\hat{T}_1^* = \frac{1}{2} \left(\hat{E} \pm \frac{i\hat{B}}{k_{z1}} \right) \exp(\mp ik_{z1} z), \quad \hat{T}_2^* = \frac{1}{2} \left(\hat{E} + \frac{i\hat{B}}{k_{z2}} \right) \exp(-ik_{z2} z); \quad (17)$$

$$\hat{G} = (\hat{T}_2^*|_{z=0} - \hat{T}_1^*|_{z=0})^{-1} (\hat{T}_1^*|_{z=0} - \hat{T}_2^*|_{z=0}). \quad (18)$$

Здесь E_0, H_0 — постоянные определяющие амплитуды падающих волн.

Из (10)–(11) и (18) получим:

$$\hat{G} = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{pmatrix}, \quad (19)$$

где

$$g_{11} = \frac{\varepsilon(k_{z2}\mu + k_{z1}\mu_1)(k_{z2}\mu_3 \cos^2 \theta + k_{z1}\mu \sin^2 \theta) + k_{z1}(k_{z1}(\alpha_{12}^2 - \varepsilon_1\mu_1) - k_{z2}\varepsilon_1\mu)\mu_3}{\varepsilon(k_{z2}\mu + k_{z1}\mu_1)(k_{z2}\mu_3 \cos^2 \theta - k_{z1}\mu \sin^2 \theta) - k_{z1}(k_{z1}(\alpha_{12}^2 - \varepsilon_1\mu_1) - k_{z2}\varepsilon_1\mu)\mu_3};$$

$$g_{12} = \frac{2k_{z1}k_{z2}\alpha_{12}\mu\mu_3}{\varepsilon(k_{z2}\mu + k_{z1}\mu_1)(k_{z2}\mu_3 \cos^2 \theta - k_{z1}\mu \sin^2 \theta) + k_{z1}(k_{z1}(\alpha_{12}^2 - \varepsilon_1\mu_1) - k_{z2}\varepsilon_1\mu)\mu_3};$$

$$g_{21} = \frac{2k_{z1}k_{z2}\alpha_{12}\varepsilon\mu_3 \cos^2 \theta}{\varepsilon(k_{z2}\mu + k_{z1}\mu_1)(k_{z2}\mu_3 \cos^2 \theta - k_{z1}\mu \sin^2 \theta) - k_{z1}(k_{z1}(\alpha_{12}^2 - \varepsilon_1\mu_1) - k_{z2}\varepsilon_1\mu)\mu_3};$$

$$g_{22} = \frac{\varepsilon(k_{z2}\mu - k_{z1}\mu_1)(k_{z2}\mu_3 \cos^2 \theta - k_{z1}\mu \sin^2 \theta) + k_{z1}(k_{z1}(\alpha_{12}^2 - \varepsilon_1\mu_1) + k_{z2}\varepsilon_1\mu)\mu_3}{\varepsilon(k_{z2}\mu + k_{z1}\mu_1)(k_{z2}\mu_3 \cos^2 \theta - k_{z1}\mu \sin^2 \theta) - k_{z1}(k_{z1}(\alpha_{12}^2 - \varepsilon_1\mu_1) - k_{z2}\varepsilon_1\mu)\mu_3}.$$

Тогда поле падающих, отраженных и прошедших волн:

$$\begin{pmatrix} E_r \\ H_r \end{pmatrix} = \frac{1}{2k_{z1}} \begin{pmatrix} E_0 k_{z1} - H_0 \mu \omega \\ H_0 k_{z1} - E_0 \varepsilon \omega \cos^2 \theta \end{pmatrix} \exp[i(\omega t - mx - k_{z1}z)]; \quad (20)$$

$$\begin{pmatrix} E_r \\ H_r \end{pmatrix} = \frac{1}{2k_{z1}} \begin{pmatrix} (E_0 g_{11} + H_0 g_{12})k_{z1} + (E_0 g_{21} + H_0 g_{22})\mu \omega \\ (E_0 g_{21} + H_0 g_{22})k_{z1} + (E_0 g_{11} + H_0 g_{12})\varepsilon \omega \cos^2 \theta \end{pmatrix} \exp[i(\omega t - mx + k_{z1}z)]; \quad (21)$$

$$\begin{pmatrix} E_t \\ H_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 \\ A_2 \end{pmatrix} \exp[i(\omega t - mx - k_{z2}z)], \quad (22)$$

где

$$A_1 = \frac{1}{2k_{z2}} (E_0 (k_{z2} + g_{11}k_{z2} + \alpha_{12}\omega + g_{11}\alpha_{12}\omega - g_{21}\mu_1\omega) + H_0 (g_{12}k_{z2} + g_{12}\alpha_{12}\omega - \mu_1\omega - g_{22}\mu_1\omega));$$

$$A_2 = \frac{E_0 (g_{22}k_{z2}\mu_3 + g_{21}\alpha_{12}\mu_3\omega - \varepsilon_1\mu_3\omega - g_{11}\varepsilon_1\mu_3\omega + (1 + g_{11})\varepsilon\mu\omega \sin^2 \theta)}{2k_{z2}\mu_3} + \frac{H_0 (k_{z2}\mu_3 + g_{22}k_{z2}\mu_3 + \alpha_{12}\mu_3\omega + g_{21}\alpha_{12}\mu_3\omega - g_{12}\varepsilon_1\mu_3\omega + g_{12}\varepsilon\mu\omega \sin^2 \theta)}{2k_{z2}\mu_3}.$$

Используя (20)–(22), проведем расчет отражательной и пропускательной способностей в случае падения электромагнитной ТЕ-волны (рис. 2, 3) [5]:

$$H_0 = 1; E_0 = 1; \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}; \varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}; \\ \alpha_{12} = 10^{-10}; \mu = 1; \mu_1 = 1; \mu_3 = 1; \varepsilon = 2; \varepsilon_1 = 5; \omega = 10^8.$$

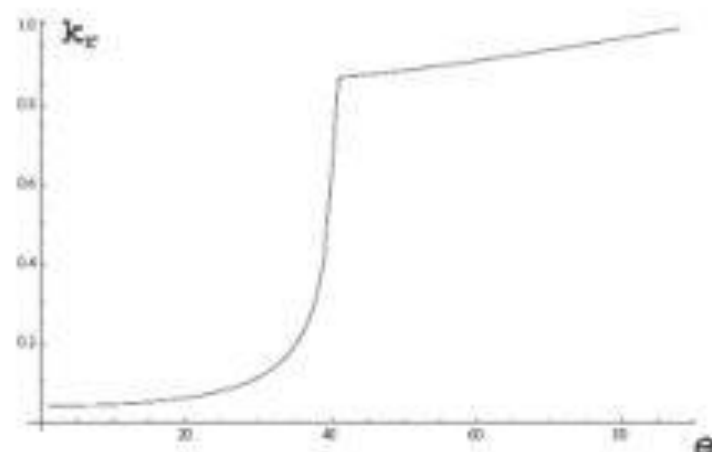


Рисунок 2. Зависимость отражательной способности от угла падения электромагнитной ТЕ-волны

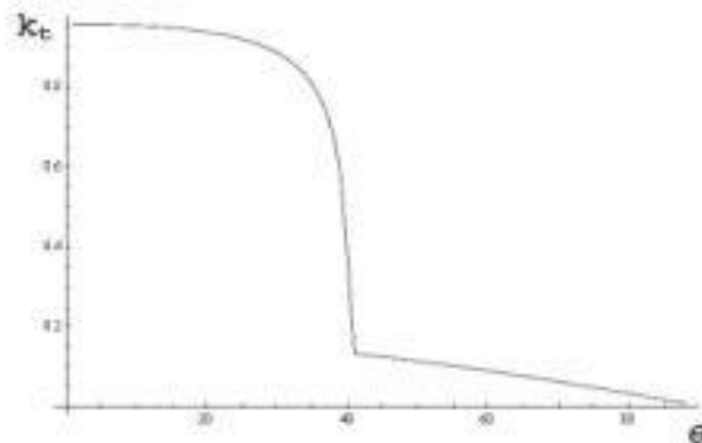


Рисунок 3. Зависимость пропускательной способности от угла падения электромагнитной TE-волны

Таким образом, в данной работе на основе метода матрицанта решена задача отражения электромагнитной TE-волны на границе раздела изотропной среды и магнитоэлектрического кристалла гексагональной сингонии классов 622 , $6mm$, $6m2$, $6mm$. Проведен численный расчет отражательной и пропускательной способностей. Получен «закон преломления» электромагнитной TE-волны на границе раздела изотропной среды и магнитоэлектрического кристалла гексагональной сингонии классов 622 , $6mm$, $6m2$, $6mm$.

Список литературы

1. Соин А.С. Курс микрофизической кристаллофизики. — М.: Физматлит, 2006. — 201 с.
2. Жукенов М.К., Досанов Т.С., Совет Е.Б. Индикатриссы скоростей распространения электромагнитных волн в магнитоэлектрических средах тетрагональной сингонии // Вестн. ПГУ. — 2014. — № 1. — С. 56–60.
3. Тлеукепов С.К. Метод матрицанта. — Павлодар: НИЦ ПГУ им. С. Торайгырова, 2004. — 147 с.
4. Тлеукепов С.К., Досанов Т.С., Клышарбеков Б.А. Об отражении волн от однородной анизотропной пьезомагнитной среды при взаимодействии двух типов волн // Вестн. ПГУ. Сер. физ.-мат. — 2010. — № 2. — С. 100–111.
5. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. — М.: Наука, 1973. — 75 с.

Г.М. Жұмбабаева, М.К. Жүкенов, С.К. Тлеукепов, Т.С. Досанов

Кластары 622 , $6mm$, $6m2$, $6mm$ гексагоналды сингониялы магнитэлектрлік кристалдың бетінен электрмагниттік TE-толқының шағылуы туралы мәселесіне

Мақалада матрицант әдісінің негізінде 622 , $6mm$, $6m2$, $6mm$ магнитэлектрлік кристалдың гексагоналды бетінен электрмагниттік TE-толқындарының бейнеленуі мәселесі қарастырылған. Еркін зарядтар және токтар болмаған жағдайдағы Максвелл теңдеулерінен және магнитэлектрлік кристалдың анықтаушы қатынастардан тұратын тұйықталған теңдеулер жүйесі зерттелген. Электрмагниттік толқындардың таралуын сипаттаушы қарапайым дифференциалдық теңдеулерін жүйесі алынды. Матрица коэффициентінің құрылымы құрылды. Электрмагниттік TE-толқындардың «айнақасу заңы» алынып, бейнеленуі және жіберілуі қабілеттіліктерін сандық есебі көптірілді.

G.M. Zhumabayeva, M.K. Zhukenov, S.K. Tleukenov, T.S. Dosanov

**About the problem of reflection of the electromagnetic TE-wave
from the surface of the magnetoelectric crystal hexagonal system
of classes 622 , $6mm$, $6m2$, $6mm$**

In this article, based on matrix method to solve the problem of reflection of the electromagnetic TE-wave from the surface of the magnetoelectric crystal hexagonal system of classes 622 , $6mm$, $6m2$, $6mm$. Considered a closed system of equations containing the Maxwell equations in the absence of free charges and currents and defining relations for magnetoelectric crystal. Solved a system of ordinary differential equations describing the propagation of electromagnetic waves. Built the structure of coefficients matrix. For electromagnetic TE-wave received the laws of refractions. The reflectance and transmittance capabilities numerically calculated.

References

1. Sonin A.S. *Course of a macroscopic crystal physics*, Moscow: Fizmatlit, 2006, 201 p.
2. Zhukenov M.K., Dosanov T.S., Sovet E.B. *Bull. of PSU*, 2014, 1, p. 56–60.
3. Tleukenov S.K. *Matrix method*, Pavlodar: SRC PSU, 2004, 147 p.
4. Tleukenov S.K., Dosanov T.S., Kynyrbekov B.A. *Bull. of PSU*, 2010, 2, p. 100–111.
5. Born M., Wolff E. *Optics basics*, Moscow: Nauka, 1973, 75 p.