

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 (2022)  
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/JZXO4819>

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., *магистр*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Esref Adali,	<i>PhD докторы, профессор (Турция);</i>
Qadir Abdul,	<i>PhD докторы, профессор (Пакистан);</i>
Домбаев 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>
Сейтова 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

МАЗМҰНЫ

СЕКЦИЯ «КОМПЬЮТЕРЛІК ҒЫЛЫМДАР»

<b>Исабекова Л. З., Куанышева Р. С., Садыкова А. О., Балгабаева Г. С.</b> Жасанды интеллект – әлем қызметтерінің ауқымды жетістігі .....	6
<b>Кан О. А., Сұлтанова Б. Қ., Алина Г. Ж.</b> Білімдерді басқару компьютерлік жүйесі.....	20
<b>Пудич Н. Н., Фандюшин В. И., Улихина Ю. В.</b> Өнеркәсіптік бақылаушыларды бағдарламалаудың заманауи тілдері.....	30

СЕКЦИЯ «ТЕОРИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ЭКСПЕРИМЕНТТІК ФИЗИКА»

<b>Альжанова А. Е., Быкова Ю. П.</b> ZnO моноқабатының Si (111) бетіндегі адсорбциясы бойынша тығыздық функционалының теориясы .....	41
<b>Абдул Қадыр Рахмон</b> Бункер геометриясымен шектелген бұзылған орта арқылы кернеулерді беру туралы.....	48
<b>Муса Е. У., Испулов Н. А., Досумбеков Қ. Р., Жумабеков А. Ж.</b> Анизотропты орталарда термосерпімді толқындардың таралуы туралы (Біртексіздік Y осі бойынша).....	58

СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИКА ЖӘНЕ СТАТИСТИКА»

<b>Кадькалова Т. И., Ткачук А. В.</b> Орта мектепте алгебраны оқытудың негізгі бағыттары .....	71
<b>Мамбаева А. М., Арыстанбаев Қ. Е., Гаериков В. В.</b> Жергілікті емес S. есебі туралы.....	83

СЕКЦИЯ «ФИЗИКА, МАТЕМАТИКА ЖӘНЕ  
ИНФОРМАТИКА ДИДАКТИКАСЫ»

<b>Ахылбек Н., Нурумжанова К. А.</b> Физиканы зерттеуде жеке тұлғаға бағытталған тәсіл негізінде қатты және жұмсақ дағдылардың құрылымы мен құрамын зерттеу .....	94
<b>Оспанова Н. Н., Склярук Н. Н., Кабенов Д. И.</b> Сандық қосымшаның көмегімен педагогикалық зерттеу .....	107
Авторлар туралы ақпарат .....	116
Авторларға арналған ережелер.....	122
Жарияланым этикасы.....	134

МРНТИ: 27.35.31

<https://doi.org/10.48081/NBDT3831>

**\*Е. У. Муса<sup>1</sup>, Н. А. Испулов<sup>2</sup>, Қ. Р. Досумбеков<sup>3</sup>,  
А. Ж. Жумабеков<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

## **АНИЗОТРОПТЫ ОРТАЛАРДА ТЕРМОСЕРПІМДІ ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ТАРАЛУЫ ТУРАЛЫ (БІРТЕКСІЗДІК Ү ОСІ БОЙЫНША)**

*Осы жұмыста матрицантты әдіс негізінде бірінші ретті дифференциалдық теңдеулер жүйесін және ромбылық жүйенің анизотропты орталарында таралатын термосерпімді толқындар үшін алынған коэффициенттер матрицасын құруды қарастырамыз. Термосерпімді толқындардың қозғалыс теңдеулерінің матрицантты құрылымы құрылады. Бұл орта төмен симметрияға ие және 9 серпімді және 3 термомеханикалық параметрге ие.*

*Термомеханикалық эффектімен болатын серпімді орталарда толқындық процестердің заңдылықтарды зерттеу актуалдығы, геофизика, сейсмология, композиттік материалдардың механикасының теориялық және қолданбалы есептерді шешуінде қажеттілігімен байланысты. Байланысқан қозғалыс теңдеулері мен жылуоткізгіштік теңдеулері физика-механикалық параметрлердің күрделілігі мен көп болуымен ерекшеленеді. Осыған байланысты деформацияланатын қатты дене механикасының – термосерпімділік деген тарауы қарқынды дамып келеді. Осы бағыттың аясында анизотропты орталардың кейбір физика-механикалық қасиеттерін қолдана отырып, байланысқан жылулық және механикалық өрістер зерттеледі. Осы жұмыста матрицант әдісі негізінде бірінші ретті дифференциалдық теңдеулер жүйесі құрылды. Нәтижесінде анизотропты ромбы ортада таралатын термосерпімді толқындар үшін коэффициенттік матрицалар алынды және талданды. Табиғаты әртүрлі толқындар мен поляризация арасындағы байланысты көрсететін коэффициент матрицаларына талдау жүргізілді. Бұл жұмыстың алдыңғылардан маңызды айырмашылығы – ортаның біртекті еместігі Y осі бойымен қарастырылады.*

*Кілтті сөздер: анизотропты орта, қозғалыс теңдеуі, жылуоткізгіштік теңдеуі, жылу ағынының теңдеулері, термосерпімді толқындар, ромбылық сингония, матрицант.*

### **Кіріспе**

Термомеханикалық әсері бар серпімді ортадағы толқындық үрдістердің заңдылықтарын зерттеу геофизиканың теориялық және қолданбалы есептерін шешу, сейсмологияның, композициялық материалдар механикасының және тағы да басқа қажеттілігімен байланысты. Термосерпімділік теңдеулерімен байланысты күрделі және физика-механикалық параметрлердің көптігімен ерекшеленеді. Деформацияланатын қатты денелер механикасының бөлімі бола отырып, табиғи кристалдардың белгілі бір физикалық қасиеттерін және жасанды керамиканы қолдануға негізделген термосерпімділік теориясына сүйене отырып, механиканың жылу және механикалық өрістер байланысын зерттейді.

Кристалдардағы толқындық құбылыстар, яғни физикалық қасиеттердің бірқатар айқын анизотропиясы бар ортада изотропты жағдайға қарағанда анағұрлым күрделі заңдылықтармен сипатталады.

Жоғарыда айтылғандарға байланысты аналитикалық зерттеу әдістерін дамыту және қолдану, сондай-ақ термомеханикалық әсерді ескере отырып, термосерпімді толқындардың анизотропты ортадағы өзгерісін қалыптастыру өзекті болып табылады.

### **Материалдар мен әдістер**

Матрицант әдісі негізінде [1], серпімді анизотропты орталарда, анизотропты диэлектрлік орталардағы толқындық процестер, пьезомагниттік және магнитоэлектрлік әсері бар ортадағы электромагниттік толқындар [2–4], сұйық кристалдар мен термосерпімді орталарда толқындардың таралуы қарастырылды [5–8].

*1-ші ретті кәдімгі дифференциалдық теңдеулер жүйесін құру.*

Айнымалыларды бөлу әдісі, теңдеулер жүйесі негізінде [9]:

$$\sigma_{ij} = c_{ijkl}\varepsilon_{kl} - \beta_{ij}\theta \quad (1)$$

$$\sigma_{ij,j} = \rho\dot{U}_i \quad (2)$$

$$\lambda_{ij} \frac{\partial \theta}{\partial x_j} = -q_i \quad (3)$$

$$\frac{\partial q_i}{\partial x_i} = -i\omega\beta_{ij}\varepsilon_{ij} - i\omega \frac{C_\varepsilon}{T_0}\theta \quad (4)$$

гармоникалық толқындардың таралуын сипаттайтын 1-ші–ретті дифференциалдық теңдеулер жүйесіне келтірілген [2]:

$$\frac{d\vec{W}}{dz} = B\vec{W} \quad (4)$$

Гармоникалық толқындар жағдайында көрсетілген термосерпімділік теңдеулер жүйесін талдау үшін, айнымалыларды бөлу әдісі және шешімді келесі түрінде ұсыну керек:

$$\vec{W}(x, y, z, t) = [u_y(y), \sigma_{yy}, u_x(y), \sigma_{xy}(y), u_z(y), \sigma_{yz}(y), \theta, q_y] \exp(i\omega t - imx - ily) \quad (5)$$

$$B = B[\epsilon_{ijkl}(y), \beta_{ij}(y), \omega, m, l] \quad (6)$$

- коэффициенттер матрицасы, оның элементтерінде термосерпімді толқындар таралатын ортаның параметрлері бар;  $m, l, \tilde{k}$  толқындық вектордың компоненттері.

(1–4) теңдеулер жүйесі механикалық кернеулер мен температура арасындағы тәуелді айнымалылар – жылу өрісі мен деформация функциясы ретінде байланысты анықтайды.

Ромбылық сингония үшін (үш ортогональ симметрия осі немесе екінші ретті айналдыру осьтері координаталық осьтер ретінде таңдалады), серпімді константалар саны 9-ға, ал термомеханикалық параметрлері 3-ке тең. Матрица түрінде ромбылық сингония үшін Дюгамель-Нейманның байланысы бар.

Мұны ескере отырып:

$$\frac{\partial f}{\partial y} \rightarrow \frac{df}{dy}, \quad \frac{\partial f}{\partial x} \rightarrow -im_x f, \quad \frac{\partial f}{\partial z} \rightarrow -il_z f, \quad \frac{\partial f}{\partial t} \rightarrow i\omega f, \quad m = kx_x, \quad l = kz_y$$

Ромбылық жүйе үшін өрнек (1) формасын алады:

$$\begin{pmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{zz} \\ \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & 0 & 0 & 0 \\ c_{12} & c_{11} & c_{13} & 0 & 0 & 0 \\ c_{13} & c_{13} & c_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \epsilon_3 \\ \epsilon_4 \\ \epsilon_5 \\ \epsilon_6 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \beta_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \beta_{11} & 0 \\ 0 & 0 & \beta_{33} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \theta \quad (7)$$

келесі белгілер енгізілген:

$$\epsilon_1 = \epsilon_{11} = U_{1,1} = \frac{\partial U_x}{\partial x}, \quad \epsilon_2 = \epsilon_{22} = U_{2,2} = \frac{\partial U_y}{\partial y}, \quad \epsilon_3 = \epsilon_{33} = U_{3,3} = \frac{\partial U_z}{\partial z}$$

$$\epsilon_4 = 2\epsilon_{23} = U_{2,3} + U_{3,2} = \frac{\partial U_y}{\partial z} + \frac{\partial U_z}{\partial y}, \quad \epsilon_5 = 2\epsilon_{21} = U_{1,3} + U_{3,1} = \frac{\partial U_x}{\partial z} + \frac{\partial U_z}{\partial x},$$

$$\epsilon_6 = 2\epsilon_{12} = U_{1,2} + U_{2,1} = \frac{\partial U_x}{\partial y} + \frac{\partial U_y}{\partial x}.$$

Берілген кристалдар класы үшін (1) – Дюгамель – Нейман қатынасына қатысты кернеулі тензор компоненттері келесі түрге ие болады:

$$\sigma_{xx} = -c_{11} im U_x - c_{12} \frac{dU_y}{dY} + c_{13} (-il U_z) - \beta_{11} \theta$$

$$\sigma_{yy} = -c_{12} im U_x - c_{22} \frac{dU_y}{dY} + c_{23} (-il U_z) - \beta_{22} \theta \quad (8)$$

$$\sigma_{zz} = -c_{13} im U_x - c_{23} \frac{dU_y}{dY} + c_{33} (-il U_z) - \beta_{33} \theta$$

$$\sigma_{yz} = c_{44} \left( \frac{dU_y}{dY} - il U_y \right)$$

$$\sigma_{xz} = c_{55} (-il U_x - im U_z)$$

$$\sigma_{xy} = c_{66} \left( \frac{dU_x}{dY} - im U_y \right)$$

(7)-ден Y координатасы бойынша  $\vec{U}$  ауыстыру векторының туындыларын өрнектейміз:

$$\begin{cases} \frac{dU_y}{dY} = \frac{1}{c_{22}} \sigma_{yy} + \frac{c_{12}}{c_{22}} im U_x + \frac{c_{123}}{c_{22}} il U_z + \frac{\beta_{22}}{c_{22}} \cdot \theta \\ \frac{dU_z}{dY} = \frac{1}{c_{44}} \sigma_{yz} + il U_y \\ \frac{dU_x}{dY} = \frac{1}{c_{66}} \sigma_{xy} + im U_y \end{cases} \quad (9)$$

(2) қозғалыс теңдеулерінен қатынастарды ескере отырып (8) келесі теңдеулер шығады:

$$\begin{aligned} \frac{d\sigma_{xy}}{dY} &= \frac{c_{12}}{c_{22}} im\sigma_{yy} + \left[ -\rho\omega^2 + c_{11}m^2 + l^2c_{55} - \frac{c_{12}^2}{c_{22}}m^2 \right] U_x + \left( c_{13} + c_{55} - \frac{c_{12}c_{23}}{c_{22}} \right) mlU_z + \\ &+ \left( \frac{c_{12}\beta_{22}}{c_{22}} - \beta_{11} \right) im\theta \\ \frac{d\sigma_{yz}}{dY} &= \frac{c_{23}}{c_{22}} il\sigma_{zz} + ml \left[ c_{55} + c_{13} - \frac{c_{12}c_{23}}{c_{22}} \right] U_x + \left( -\rho\omega^2 + c_{55}m^2 + l^2c_{33} - \frac{c_{23}^2}{c_{22}}l^2 \right) U_z + \\ &+ \left( \frac{c_{23}\beta_{22}}{c_{22}} - \beta_{33} \right) il\theta \end{aligned}$$

$$\frac{d\sigma_{yy}}{dY} = -\rho\omega^2 U_y + im\sigma_{xy} + il\sigma_{yz}$$

Анизотропты орта үшін Фурье жылу теңдеуі (3) компонент түрінде:

$$\left. \begin{aligned} -q_x &= \lambda_{11} \frac{\partial\theta}{\partial x} + \lambda_{12} \frac{\partial\theta}{\partial y} + \lambda_{13} \frac{\partial\theta}{\partial z} \\ -q_y &= \lambda_{12} \frac{\partial\theta}{\partial x} + \lambda_{22} \frac{\partial\theta}{\partial y} + \lambda_{23} \frac{\partial\theta}{\partial z} \\ -q_z &= \lambda_{13} \frac{\partial\theta}{\partial x} + \lambda_{23} \frac{\partial\theta}{\partial y} + \lambda_{33} \frac{\partial\theta}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Матрица түрінде белгіленуі:

$$\begin{pmatrix} -q_x \\ -q_y \\ -q_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} & \lambda_{13} \\ \lambda_{12} & \lambda_{22} & \lambda_{23} \\ \lambda_{13} & \lambda_{23} & \lambda_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -im\theta \\ -il\theta \\ d\theta / dy \end{pmatrix} \quad (10)$$

Сонымен, (10) өрнектен келесі  $\frac{d\theta}{dy}$  теңдеуді аламыз:

$$\frac{d\theta}{dy} = -\frac{1}{\lambda_{11}} q_y \quad (11)$$

(4) жылу ағынының теңдеуінен (10), (11) және жүйенің бірінші теңдеуін (9) ескере отырып, біз келесі қатынасты аламыз:

$$\begin{aligned} \frac{dq_x}{dY} &= -i\omega \left( \beta_{11}S_1 + \beta_{22}S_2 + \beta_{33}S_3 + \frac{c_x}{T_0}\theta \right) = -i\omega \left( \beta_{11} \frac{\partial U_x}{\partial x} + \beta_{122} \frac{\partial U_y}{\partial y} + \beta_{33} \frac{\partial U_z}{\partial z} + \frac{c_x}{T_0}\theta \right) = \\ &= -i\omega \left( \beta_{11}(-iU_x) + \beta_{22} \frac{dU_y}{dy} + \beta_{33}(-ilU_z) + \frac{c_x}{T_0}\theta \right) = -\omega m \beta_{11} U_x - i\omega \beta_{22} \frac{dU_y}{dy} - \omega \beta_{33} U_z - i\omega \frac{c_x}{T_0}\theta = \\ &= -\omega m \beta_{11} U_x - \omega \beta_{33} U_z - i\omega \frac{c_x}{T_0}\theta - i\omega \beta_{22} \left( \frac{1}{c_{22}} \delta_{yy} + \frac{c_{12}}{c_{22}} imU_x + \frac{c_{23}}{c_{22}} ilU_z + \frac{\beta_{22}}{c_{22}}\theta \right) = \\ &= -\omega m \beta_{11} U_x - \omega \beta_{33} U_z - im \frac{c_x}{T_0}\theta - \frac{\beta_{22}}{c_{22}} i\omega \delta_{yy} + \omega m \beta_{22} \frac{c_{12}}{c_{22}} U_x + \omega \beta_{22} \frac{c_{23}}{c_{22}} U_z - i\omega \frac{\beta_{22}^2}{c_{22}}\theta = \\ &= -i\omega \frac{1}{c_{22}} \beta_{22} \sigma_{yy} + \omega m \left( \beta_{22} \frac{c_{12}}{c_{22}} - \beta_{11} \right) U_x + \omega l \left( \beta_{22} \frac{c_{23}}{c_{22}} - \beta_{33} \right) U_z - i \left( m \frac{c_x}{T_0} + \omega \frac{\beta_{22}^2}{c_{22}} \right) \theta \end{aligned} \quad (12)$$

Нәтижесінде термосерпімді толқындардың таралуы жағдайындағы, ромбылық жүйесі үшін 1-ші ретті дифференциалдық теңдеулер жүйесі келесі түрге ие болды:

$$\frac{dU_y}{dY} = \frac{1}{c_{22}} \sigma_{yy} + \frac{c_{12}}{c_{22}} imU_x + \frac{c_{23}}{c_{22}} ilU_z + \frac{\beta_{22}}{c_{22}} \theta$$

$$\frac{d\sigma_{xy}}{dY} = -\rho\omega^2 U_y + im\sigma_{xy} + il\sigma_{yz}$$

$$\frac{dU_x}{dY} = \frac{1}{c_{66}} \sigma_{xy} + imU_y$$

$$\frac{d\sigma_{xy}}{dY} = \frac{c_{12}}{c_{22}} im\sigma_{yy} + \left[ -\rho\omega^2 + c_{11}m^2 + l^2c_{55} - \frac{c_{12}^2}{c_{22}}m^2 \right] U_x + \left( c_{13} + c_{55} - \frac{c_{12}c_{23}}{c_{22}} \right) mlU_z +$$

$$+ \left( \frac{c_{12}\beta_{22}}{c_{22}} - \beta_{11} \right) im\theta$$

$$\frac{dU_z}{dY} = \frac{1}{c_{44}} \sigma_{yz} + ilU_y$$

$$\frac{d\sigma_{yz}}{dY} = \frac{c_{23}}{c_{22}} il\sigma_{zz} + ml \left[ c_{55} + c_{13} - \frac{c_{12}c_{23}}{c_{22}} \right] U_x + \left( -\rho\omega^2 + c_{55}m^2 + l^2c_{33} - \frac{c_{23}^2}{c_{22}}l^2 \right) U_z +$$

$$+ \left( \frac{c_{23}\beta_{22}}{c_{22}} - \beta_{33} \right) il\theta$$

$$\frac{d\theta}{dy} = -\frac{1}{\lambda_{11}} q_y$$

$$\frac{dq_y}{dY} = -i\omega \frac{1}{c_{22}} \beta_{22} \sigma_{yy} + \omega m \left( \beta_{22} \frac{c_{12}}{c_{22}} - \beta_{11} \right) U_x + \omega l \left( \beta_{22} \frac{c_{23}}{c_{22}} - \beta_{33} \right) U_z -$$

$$-i \left( m \frac{c_e}{T_0} + \omega \frac{\beta_{22}^2}{c_{22}} \right) \theta$$

Коэффициенттердің матрицасын талдау

Кристаллографияда ромбылық сингониясы жеті сингонияның бірі болып табылады. Көбінесе басқа атау қолданылады - орторомбикалық сингония. Оның ұяшығы бір-біріне перпендикуляр, бірақ бір-біріне тең емес үш негізгі вектормен (аудармалармен) анықталады. Осы симметрияға арналған В матрицасының құрылымы көп жағдайда келтірілген:

$$B = \begin{bmatrix} 0 & b_{12} & b_{13} & 0 & b_{15} & 0 & b_{17} & 0 \\ b_{21} & 0 & 0 & b_{24} & 0 & b_{26} & 0 & 0 \\ b_{24} & 0 & 0 & b_{34} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b_{13} & b_{43} & 0 & b_{45} & 0 & b_{47} & 0 \\ b_{26} & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{56} & 0 & 0 \\ 0 & b_{15} & b_{45} & 0 & b_{65} & 0 & b_{67} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{78} \\ 0 & -i\omega b_{17} & i\omega b_{47} & 0 & i\omega b_{67} & 0 & b_{87} & 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

- 1, 2 жолдар – Y – үйектелген бойлық толқынды көрсетеді;
- 3, 4 жолдар – X – үйектелген көлденең толқынды көрсетеді;
- 5, 6 жолдар – Z – үйектелген көлденең толқынды көрсетеді;
- 7, 8 жолдар – жылулық толқынды көрсетеді.

Симметрияның басқа кластары сияқты, бұл жағдайда да әр түрлі поляризация толқындары кеңістіктік таралу кезінде өзара байланысты. Мысалы,  $b_{17} = \frac{\beta_{22}}{c_{22}}$  коэффициент Y – үйектелген бойлық толқынды жылулық толқынмен байланыстырады. 8-ші жолда  $b_{17}$  алдында  $i\omega$  – жылулық толқынның өшуін сипаттайды.

Ромбылық жүйесі үшін  $b_{ij}$  коэффициент матрицасының компоненттері:

$$b_{12} = \frac{1}{c_{22}}; \quad b_{13} = \frac{c_{12}}{c_{22}} im; \quad b_{15} = \frac{c_{23}}{c_{22}} il; \quad b_{17} = \frac{\beta_{22}}{c_{22}};$$

$$b_{21} = -\omega^2 \rho; \quad b_{24} = im; \quad b_{26} = il;$$

$$b_{34} = \frac{1}{c_{66}}; \quad b_{43} = \left( c_{11} - \frac{c_{12}^2}{c_{22}} \right) m^2 + c_{55} l^2 - \omega^2 \rho;$$

$$b_{45} = ml \left( c_{13} + c_{55} - \frac{c_{12} c_{23}}{c_{22}} \right) \quad b_{47} = \left( \frac{c_{12} \beta_{22}}{c_{22}} - \beta_{33} \right) im; \quad b_{56} = \frac{1}{c_{44}}$$

$$b_{65} = -\rho \omega^2 + c_{55} m^2 + \left( c_{33} - \frac{c_{23}^2}{c_{22}} \right) l^2; \quad b_{67} = \left( \frac{c_{23} \beta_{22}}{c_{22}} + \beta_{33} \right) il;$$

$$b_{78} = -\frac{1}{\lambda_{11}}; \quad b_{82} = -\frac{1}{c_{22}} i\omega \beta_{22}.$$

$$b_{83} = \omega m \left( \beta_{22} \frac{c_{12}}{c_{22}} - \beta_{11} \right) \quad b_{85} = \omega l \left( \beta_{22} \frac{c_{23}}{c_{22}} - \beta_{33} \right) \quad b_{87} = -i \left( m \frac{c_e}{T_0} - \omega \frac{\beta_{22}^2}{c_{22}} \right)$$

(13) бастап координаталық жазықтықта термосерпімді толқындардың таралуына арналған коэффициент матрицаларының құрылымдары келесідей болады:

(XY) жазықтығы,  $m=0$ :

$$B = \begin{bmatrix} 0 & b_{12} & 0 & 0 & b_{15} & 0 & b_{17} & 0 \\ b_{21} & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{26} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & b_{34} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b'_{43} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ b_{26} & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{56} & 0 & 0 \\ 0 & b_{15} & 0 & 0 & b'_{65} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{78} \\ 0 & -i\omega b_{17} & 0 & 0 & i\omega b_{67} & 0 & b'_{87} & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

құрылымнан (14) Y – бойлық және X – көлденең серпімді толқындар жылу толқынымен байланысты екендігі көрінеді (құрылымда  $b_{17}, b_{67}$  элементтерінің болуы), ал серпімді көлденең Z – үйектелген көлденең толқыны дербес таралады ( $b_{56}, b_{65}$  элементтерінің бөлек матрицасымен бөлу). жазықтық (yz),  $l=0$ :

$$B = \begin{bmatrix} 0 & b_{12} & b_{13} & 0 & 0 & 0 & b_{17} & 0 \\ b_{21} & 0 & 0 & b_{24} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ b_{24} & 0 & 0 & b_{34} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b_{13} & b_{43} & 0 & 0 & 0 & b_{47} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{56} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & b'_{65} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{78} \\ 0 & -i\omega b_{17} & i\omega b_{47} & 0 & 0 & 0 & b_{87} & 0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

(15) – тен X–поляризацияның серпімді көлденең толқыны дербес таралады (элементтердің бөлек матрицасы арқылы бөлінуі  $b_{34}$ ,  $b_{43}$ ), ал Z–көлденең және Y – бойлық серпімді толқындар термосерпімді эффектпен байланысты ( $b_{17}$ ,  $b_{65}$  элементтерінің болуы).

в) у осі,  $m = 0$ ,  $l = 0$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & b_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{17} & 0 \\ b_{21} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & b_{34} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b'_{43} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{56} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & b'_{65} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{78} \\ 0 & -i\omega b_{17} & 0 & 0 & 0 & 0 & b'_{87} & 0 \end{bmatrix} \quad (16)$$

Осы коэффициенттер матрицасынан Y–поляризациясының серпімді бойлық толқыны термосерпімділік эффектке ұшырайды (бұл қатынастың 1-ші және 8-ші қатарларында  $b_{17}$  бар екенін дәлелдейді (16)), көлденең X және Z – поляризациялар бір-біріне тәуелсіз және жылулық түрде таралады және бұл олардың термомеханикалық әсерге жатпайтындығын дәлелдейді. Бұл факт эксперименттік зерттеулерден белгілі [10].

Бұл зерттеулер көлденең поляризацияның бір өлшемді толқындарында термосерпімділік әсердің болмауын және бойлық толқындарда термосерпімділік эффекттің болуын көрсетеді. Серпімді бойлық толқын үлгі бойынша таралғанда, қысу және созылу аймақтары арасында температура градиенттері пайда болады. Сондықтан бұл жылу ағынына және нәтижесінде энергияның бөлінуіне әкеледі, яғни, толқынның әлсіреуіне және бұл жиілікке байланысты болып табылады.

#### Қорытынды

Сонымен, аталмыш жұмыста ромбтық сингонияның анизотропты ортада таралатын жылу серпімді толқындар үшін көлемдік жағдайда коэффициенттер матрицасы құрылып, коэффициенттер матрицаларына талдау жасалынды. Жоғарыда аталған класстардың анизотропты ортасында XY, YZ жазықтығында және – Y осі бойымен термосерпімді толқындардың таралуы кезінде коэффициенттер матрицасының құрылымдары алынды; толқындардың түрлері және әртүрлі поляризация толқындарының өзара трансформациясы анықталды.

Аталмыш жұмыс Қазақстан Республикасы Білім және Ғылым министрлігінің Ғылым Комитеті қаржыландыратын AP08856290 ғылыми-зерттеу гранты шеңберінде орындалды.

#### ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 **Тлеуқенов, С. К.** Метод матрицанта / С. К. Тлеуқенов. – Павлодар, ПГУ им. С. Торайғырова, 2004. – 172 с.
- 2 **Тлеуқенов, С. К., Досанов, Т. С., Испулов, Н. А., Гутенко, А. Д., Досумбеков, К. Р.** О поверхностных волнах в пьезомагнитных средах. // Материалы Международной конференции «Инновационные подходы к решению технико-экономических проблем». – М., 2019. – С. 104–110.
- 3 **Tleukenov, S. K.; Zhukenov, M. K.; Ispulov, N. A.** Propagation of electromagnetic waves in anisotropic magnetoelectric medium. // Bulletin of the University of Karaganda-Physics, 2019, Vol. 2, Issue 94. – P. 29–34.
- 4 **Kurmanov, A. A., Ispulov, N. A., Abdul Qadir, Zhumabekov, A. Zh., Sarymova, Sh. N., Dossumbekov K. R.** Propagation of Electromagnetic Waves in Stationary Anisotropic Media, Physica Scripta, 2021, 96, Number of article: 085505, – DOI: 10.1088/1402-4896/abfe87.
- 5 **Тлеуқенов, С. К., Досумбеков, К. Р.** Изучение распространения электромагнитных волн в жидких холестерических кристаллах. // Вестник ПГУ, Серия физико-математическая, №4. – Павлодар : НИЦ ПГУ им. С. Торайғырова, 2004.
- 6 **Ispulov, N. A. Qadir, A., Shah, M. A., Seythanova, Ainur K., Kissikov, T. G., Arinov. E.** Reflection of thermoelastic wave on the interface of isotropic half-space and tetragonal syngony anisotropic medium of classes 4, 4/m with thermomechanical effect, Chinese Physics B, 2016. Number of article: 038102. – DOI: 10.1088/1674-1056/25/3/038102.
- 7 **Ispulov, N. A. Qadir, A., Zhukenov, M. K., Arinov, E.** The Propagation of Thermoelastic Waves in Anisotropic Media of Orthorhombic, Hexagonal, and Tetragonal Syngonies. // Advances in Mathematical Physics, 2017. Number of article: 4898467. – DOI: 10.1155/2017/4898467.
- 8 **Ispulov, N. A. Qadir, A., Zhukenov, M. K., Dossanov, T. S. Kissikov, T. G.** The Analytical Form of the Dispersion Equation of Elastic Waves in Periodically Inhomogeneous Medium of Different Classes of Crystals. // Advances in Mathematical Physics, 2017. Number of article: 5236898. – DOI: 10.1155/2017/5236898.
- 9 **Новацкий, В.** Теория упругости. – М. : Мир, 1986. – 556 б.
- 10 **Труэлл, Р.** Ультразвуковые методы в физике твердого тела / Р. Труэлл, Ч. Эльбаум, Б. Чик – М. : Мир, 1972. – 307 с.

- 1 **Tleukenov, S. K.** Metod matrisanta [The matrizant method] [Text]. – Pavlodar : PMU im. S. Toraiyrov, 2004. – 172 p.
- 2 **Tleukenov, S. K., Dosanov, T. S., Ispulov, N. A., Gutenko, A. D., Dosumbekov, K. R.** O poverhnostnyh volnah v piezomagnitnyh sredah [On surface waves in piezomagnetic media] [Text]. Materialy Mezhdunarodnoy konferensy «Innovatsionnye podhody k resheniu tehniko-economiceskikh problem» [Proceedings of the International Conference “Innovative Approaches to Solving Technical and Economic Problems”]. – Moscow, 2019. – P. 104–110.
- 3 **Tleukenov, S. K.; Zhukenov, M. K.; Ispulov, N. A.** Propagation of electromagnetic waves in anisotropic magnetoelectric medium. // Bulletin of the University of Karaganda-Physics, 2019, Vol. 2, Issue 94. – P. 29–34.
- 4 **Kurmanov, A. A., Ispulov, N. A., Abdul Qadir, Zhumabekov, A. Zh., Sarymova, Sh. N., Dosumbekov K. R.** Propagation of Electromagnetic Waves in Stationary Anisotropic Media, Physica Scripta, 2021, 96, Number of article: 085505, – DOI: 10.1088/1402-4896/abfe87.
- 5 **Tleukenov, S. K., Dosumbekov, K. R.** Izuchenie rasprostraneniya elektromagnitnyh voln v zhidkih holestericheskikh kristakah [Study of electromagnetic wave propagation in liquid cholesterol crystals] [Text]. – Vestnic PGU, series of Physics and Mathematics, No. 4. – Pavlodar : SIC PSU named after S. Toraiyrov, 2004.
- 6 **Ispulov, N. A. Qadir, A., Shah, M. A., Seythanova, Ainur K., Kissikov, T. G., Arinov, E.** Reflection of thermoelastic wave on the interface of isotropic half-space and tetragonal syngony anisotropic medium of classes 4, 4/m with thermomechanical effect, Chinese Physics B, 2016. Number of article: 038102. – DOI: 10.1088/1674-1056/25/3/038102.
- 7 **Ispulov, N. A. Qadir, A., Zhukenov, M. K., Arinov, E.** The Propagation of Thermoelastic Waves in Anisotropic Media of Orthorhombic, Hexagonal, and Tetragonal Syngonies. // Advances in Mathematical Physics, 2017. Number of article: 4898467. – DOI: 10.1155/2017/4898467.
- 8 **Ispulov, N. A. Qadir, A., Zhukenov, M. K., Dossanov, T. S., Kissikov, T. G.** The Analytical Form of the Dispersion Equation of Elastic Waves in Periodically Inhomogeneous Medium of Different Classes of Crystals. // Advances in Mathematical Physics, 2017. Number of article: 5236898. – DOI: 10.1155/2017/5236898.
- 9 **Novatsky, V.** Teoria uprugosti [Theory of elasticity] [Text]. – Moscow : Mir, 1986. – 556 p.
- 10 **Truell, R.** Ultrazvukovye metody v fizike tverdogo tela [Ultrasonic methods in solid state physics] [Text] / R. Truell, C. Elbaum, B. Chick. – Moscow : Mir, 1972. – 307 p.

\**Е. У. Муса<sup>1</sup>, Н. А. Испулов<sup>2</sup>, К. Р. Досумбеков<sup>3</sup>, А. Ж. Жумабеков<sup>4</sup>*  
<sup>1,2,3,4</sup>Торайғыров университет,  
Республика Казахстан, г. Павлодар  
Материал поступил в редакцию 10.03.22.

## О РАСПРОСТРАНЕНИИ ТЕРМОУПРУГИХ ВОЛН В АНИЗОТРОПНЫХ СРЕДАХ (НЕОДНОРОДНОСТЬ ВДОЛЬ ОСИ Y)

*В настоящей работе построена система дифференциальных уравнений первого порядка на основе матричного метода и матрицы коэффициентов для термоупругих волн, распространяющихся в анизотропных средах ромбической сингонии. Получена структура матрицанты уравнений движения термоупругих волн. Эта среда имеет низкую симметрию, 9 упругих и 3 термомеханических параметра.*

*Актуальность исследования закономерностей волновых процессов в упругих средах с термомеханическим эффектом связана с необходимостью решения теоретических и прикладных задач геофизики, сейсмологии, механики композитных материалов и т.д. Связанные уравнения движения и уравнения теплопроводности отличаются сложностью и обилием физико-механических параметров. В связи с этим интенсивно развивается раздел механики деформируемого твердого тела, - термоупругость. В рамках этого направления, опираясь на использование определенных физико-механических свойств анизотропных средах, изучаются связанные тепловые и механические поля. В настоящей работе построена система дифференциальных уравнений первого порядка на основе матричного метода. В результате получены матрицы коэффициентов и проведен их анализ для термоупругих волн, распространяющихся в анизотропных средах ромбической сингонии. Проведен анализ матриц коэффициентов, который показывает взаимосвязь волн различной природы и поляризации. Существенным отличием данной работы от предыдущих является то, что неоднородность среды рассматривается вдоль оси Y.*

*Ключевые слова: анизотропная среда, уравнения движения, уравнение теплопроводности, уравнение притока тепла, термоупругие волны, ромбическая сингония, матрицант.*



## ON THE PROPAGATION OF THERMOELASTIC WAVES IN ANISOTROPIC MEDIA (INHOMOGENEITY ALONG THE Y-AXIS)

*In this paper, we consider the construction of a system of First-Order differential equations based on the matricant method and a matrix of coefficients obtained for thermoelastic waves propagating in anisotropic media of rhombic system.*

*Actuality of study of wave processes laws in elastic mediums with thermomechanical effects is related to necessity to solve theoretical and applied problems of geophysics, seismology, mechanics of composites, and so on. Because of this part of deformable body mechanics – thermoelasticity – are being intensively developed. Within the bounds of this area, based on use of physical-mechanical properties of anisotropic mediums, bound heat and mechanical fields are being studied. In this paper, we consider the construction of a system of First-Order differential equations based on the matricant method. As a result, coefficient matrices were obtained and analyzed for thermoelastic waves propagating in anisotropic rhombic media. An analysis of coefficient matrices has been carried out, which shows the relationship between waves of different nature and polarization. The essential difference of this work from the previous ones is that the inhomogeneity of the medium is considered along the Y axis.*

*Keywords: Anisotropic medium, equations of motion, equation of thermal conductivity, heat flow equation, thermoelastic waves, rhombic system, matricant.*

## СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИКА И СТАТИСТИКА»

МРНТИ 27.01.45

<https://doi.org/10.48081/QEOU4468>

**Т. И. Кадькалова<sup>1</sup>, \*А. В. Ткачук<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Павлодарский педагогический университет,  
Республика Казахстан, г. Павлодар

## ОСНОВНЫЕ ЛИНИИ ИЗУЧЕНИЯ АЛГЕБРЫ В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ

*В данной статье рассматриваются основные линии изучения математики: числовая линия, алгебраическая линия, функциональная линия, логическая линия, линия анализа данных. Последовательное расширение понятия числа, которое позволяет обучающимся освоить базисные основы алгебры, сформировать высокую культуру межличностного и межэтнического общения, самоопределение личности и профессиональную ориентацию. Одной из основных, стержневых, линий школьного курса математики является числовая линия. На понятии числа строится изучение функций, тождественных преобразований, уравнений, неравенств и др. Понятие числа вводится в начальной школе (натуральные числа и число ноль), затем в курсе математики в 5-8 классах понятие числа расширяется до рациональных и, наконец, в старших классах углубляется до действительных чисел. С комплексными числами учащиеся имеют дело лишь в классах с углубленным изучением математики, либо уже по вузовской программе. Именно в числовой линии в значительной степени реализуются главные задачи школьного курса математики. Нами проведен анализ школьных учебников на последовательность введения множеств чисел: натуральных, рациональных, целых и действительных. Идет объяснение, с какой целью числовая линия расширяется из класса в класс. Показывается последовательность изложения материала в учебниках, их обоснованность. Рассмотрено основное содержание учебников под авторством А. Е. Абылкасымовой, Т. Алдамуратовой, А. Н. Шыныбекова, Г. Н. Солтана. Также приведена основная документация, на основе которой строится базовое содержание учебников.*

*Ключевые слова: числовая линия, множество натуральных чисел, множество рациональных чисел, множество целых чисел, множество действительных чисел*

Существование конфликта интересов между участниками в процессе рассмотрения и рецензирования не значит, что рукопись будет отклонена.

Всем заинтересованным лицам необходимо, по мере возможности избегать возникновения конфликта интересов в любых вариациях на всех этапах публикации. В случае возникновения какого-либо конфликта интересов тот, кто обнаружил этот конфликт, должен незамедлительно оповестить об этом редакцию. То же самое касается любых других нарушений принципов, стандартов и норм публикационной и научной этики.

### **Неэтичное поведение**

Неэтичным поведением считаются действия авторов, редакторов или издателя, в случае самостоятельного предоставления рецензии на собственные статьи, в случае договорного и ложного рецензирования, в условиях обращения к агентским услугам для публикации результатов научного исследования, лжеавторства, фальсификации и фабрикация результатов исследования, публикация недостоверных псевдо-научных текстов, передачи рукописи статей в другие издания без разрешения авторов, передачи материалов авторов третьим лицам, условия когда нарушены авторские права и принципы конфиденциальности редакционных процессов, в случае манипуляции с цитированием, плагиатом.

Теруге 10.03.2022 ж. жіберілді. Басуға 28.03.2022 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

8,30 Мб RAM

Шартты баспа табағы 7,99. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген З. С. Исакова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3960

Сдано в набор 10.03.2022 г. Подписано в печать 28.03.2022 г.

Электронное издание

8,30 Мб RAM

Усл.печ.л. 7,99. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка З. С. Исакова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3960

«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.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik.tou.edu.kz

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