

ISSN 2616-6836

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ

BULLETIN

of the L.N. Gumilyov Eurasian
National University

ВЕСТНИК

Евразийского национального
университета имени Л.Н. Гумилева

ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

PHYSICS. ASTRONOMY Series

Серия **ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ**

№3(124)/2018

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Астана, 2018

Astana, 2018

Бас редакторы
ф.-м.ғ. докторы
А.Қ. Арынгазин (Қазақстан)

Бас редактордың орынбасары

А.Т. Ақылбеков, ф.-м.ғ.д., профессор
(Қазақстан)

Редакция алқасы

Алдонгаров А.А.	PhD (Қазақстан)
Балапанов М.Х.	доктор ф.-м.ғ.д., проф. (Ресей)
Бахтизин Р.З.	доктор ф.-м.ғ.д., проф. (Ресей)
Гиниятова Ш.Г.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Даулетбекова А.Қ.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Ержанов Қ.К.	ф.-м.ғ.к., PhD (Қазақстан)
Жұмаділов Қ.Ш.	PhD (Қазақстан)
Здоровец М.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Қадыржанов Қ.К.	доктор ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Кайнарбай А.Ж.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Кутербеков Қ.А.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Лушик А.Ч.	доктор ф.-м.ғ.д., проф. (Эстония)
Морзабаев А.К.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Мырзақұлов Р.Қ.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Нұрахметов Т.Н.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Сауытбеков С.С.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Тлеукенов С.К.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Усеинов А.Б.	PhD (Қазақстан)

Редакцияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Сатпаев к-сі, 2, 408 б.
Тел.: (7172) 709-500 (ішкі 31-428)
E-mail: vest_phys@enu.kz

Жауапты хатшы, компьютерде беттеген:
А. Нұрболат

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысы.
ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

Меншіктенуші: ҚР БжҒМ "Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті" ШЖҚ РМК
Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігімен
тіркелген. 27.03.2018ж. №16999-ж тіркеу куәлігі.

Тиражы: 20 дана

Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Қажымұқан к-сі, 12/1,
тел.: (7172)709-500 (ішкі 31-428)

Editor-in-Chief
Doctor of Phys.-Math. Sciences
A.K. Aryngazin (Kazakhstan)

Deputy Editor-in-Chief

A.T. Akilbekov, Doctor of Phys.-Math. Sciences,
Prof. (Kazakhstan)

Editorial board

Aldongarov A.A.	PhD (Kazakhstan)
Balapanov M.Kh.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Russia)
Bakhtizin R.Z.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Russia)
Dauletbekova A.K.	Candidate of Phys.-Math. Sciences, PhD (Kazakhstan)
Giniyatova Sh.G.	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
Kadyrzhanov K.K.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
Kainarbay A.Zh.	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
Kuterbekov K.A.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
Lushchik A.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Estonia)
Morzabayev A.K.	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
Myrzakulov R.K.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
Nurakhmetov T.N.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
Sautbekov S.S.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
Tleukenov S.K.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
Useinov A.B.	PhD (Kazakhstan)
Yerzhanov K.K.	Candidate of Phys.-Math. Sciences, PhD(Kazakhstan)
Zdorovets M.	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
Zhumadilov K.Sh.	PhD (Kazakhstan)

Editorial address: 2, Satpayev str., of.408, Astana, Kazakhstan, 010008
Tel.: (7172) 709-500 (ext. 31-428)
E-mail: vest_phys@enu.kz

Responsible secretary, computer layout:
A.Nurbolat

Bulletin of the L.N. Gumilyov Eurasian National University.
PHYSICS. ASTRONOMY Series

Owner: Republican State Enterprise in the capacity of economic conduct "L.N. Gumilyov Eurasian National University"

Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan

Periodicity: 4 times a year

Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan.

Registration certificate №16999-ж from 27.03.2018.

Circulation: 20 copies

Address of printing house: 12/1 Kazhimukan str., Astana, Kazakhstan 010008;

tel.: (7172) 709-500 (ext. 31-428)

Главный редактор
доктор ф.-м.н.
А.К. Арынгазин (Казахстан)

Зам. главного редактора

А.Т. Акилбеков, доктор ф.-м.н.
профессор (Казахстан)

Редакционная коллегия

Алдонгаров А.А.	PhD (Казахстан)
Балапанов М.Х.	ф.-м.н., проф. (Россия)
Бахтизин Р.З.	ф.-м.н., проф. (Россия)
Гиниятова Ш.Г.	кандидат ф.-м.н. (Казахстан)
Даулетбекова А.К.	кандидат ф.-м.н., PhD (Казахстан)
Ержанов К.К.	кандидат ф.-м.н., PhD (Казахстан)
Жумадилов К.Ш.	доктор PhD (Казахстан)
Здоровец М.	к.ф.-м.н. (Казахстан)
Кадыржанов К.К.	ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Кайнарбай А.Ж.	кандидат ф.-м.н. (Казахстан)
Кутербеков К.А.	доктор ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Лущик А.Ч.	ф.-м.н., проф. (Эстония)
Морзабаев А.К.	кандидат ф.-м.н. (Казахстан)
Мырзакулов Р.К.	доктор ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Нурахметов Т.Н.	доктор ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Сауытбеков С.С.	доктор ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Тлеукенов С.К.	доктор ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Усеинов А.Б.	PhD (Казахстан)

Адрес редакции: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2, каб. 408
Тел.: (7172) 709-500 (вн. 31-428)
E-mail: vest_phys@enu.kz

Ответственный секретарь, компьютерная верстка:
А. Нурболат

Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева.
Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

Собственник РГП на ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева" МОН РК

Периодичность: 4 раза в год

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан.

Регистрационное свидетельство №16999-ж от 27.03.2018г.

Тираж: 20 экземпляров

Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Кажимукана, 12/1,
тел.: (7172)709-500 (вн. 31-428)

Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ХАБАРШЫСЫ. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

№3(124)/2018

МАЗМҰНЫ

<i>Косов В.Н., Федоренко О.В.</i> Вертикальды цилиндрлік арналардағы әртүрлі құрамдағы метан-бутан-дифтордихлорметан изотермиялық үштік газдық қоспадағы «диффузия-концентрациялық гравитациялық конвекция» режимдерінің ауысу шекарасы	8
<i>Абуова А.У., Абуова Ф.У., Ақилбеков А.Т., Джунисбекова Д.А., Бақтыбаева Д.Б.</i> Модифицирленбеген BiCuSeO және Гейслер құймалары үшін ZT төзімділігінің электрондық үлесі	14
<i>Аралбаева Г.М.</i> Жоғары энергетикалық ауыр иондардың әсерінен туындаған хиллоктардың өлшемін бағалау	21
<i>Буртебаев Н., Фомичёв А.С., Джансейтов Д.М., Керимкулов Ж.К., Жолдыбаев Т.К., Алимов Д.К., Мухамеджанов Е., Насурлла М., Ходжаев Р., Аймаганбетов А.С., Амангелди Н., Ергалиұлы Г.</i> Оптикалық және фолдинг модельдер аясында альфа-бөлшектердің ^{12}C ядроларында серпімді шашырау процесстерін зерттеу	26
<i>Разина О.В., Цыба П.Ю.</i> $f(R)$ гравитациясының максвеллдік мүшесі және g -эссенциясы модельдің экспоненциальды шешемі	33
<i>Сагидуллаева Ж.М.</i> Екі қабатты M-ХСІХ теңдеуі мен екі компонентті Шредингер-Максвелл-Блох теңдеуінің калибровті эквиваленттігі туралы	41
<i>Шанина З.К., Мырзакулов Е.М.</i> Бозондық ішек-скалярлық модель	47

BULLETIN OF L.N. GUMILYOV EURASIAN NATIONAL UNIVERSITY. PHYSICS.
ASTRONOMY SERIES

№3(124)/2018

CONTENTS

<i>Kossov V.N., Fedorenko O.V.</i> The boundary of “diffusion – concentration gravitational convection” regime change in the isothermal ternary gas mixture of methane-butane-difluorodichlor-methane with various compositions in vertical cylindrical channels	8
<i>Abuova A.U., Abuova F.U., Akilbekov A.T., Junisbekova D.A., Baktybayeva D.B.</i> Electronic contribution to the quality factor of ZT for Heusler alloys and unmodified BiCuSeO	14
<i>Aralbayeva G.M.</i> Estimation of the size of hillocks caused by swift heavy ions	21
<i>Burtebayev N., Fomichev A.S., Janseitov D.M., Kerimkulov Z h.K., Zholdybayev T.K., Alimov D.K., Mukhamejanov Y., Nassurlla M., Khojayev R., Aimaganbetov A.S., Amangeldi N., Yergaliuly G.</i> Investigation of elastic scattering of alpha-particles from ^{12}C in optical and folding models	26
<i>Razina O.V., Tsyba P.Yu.</i> Development of technological desalination schememineralized water and material balance for engineering calculation of the installation	33
<i>Sagidullayeva Zh.M.</i> On the gauge equivalence of the two-layer M-XCIX equation and the two-component Schrödinger-Maxwell-Bloch equation	41
<i>Shanina Z.K., Myrzakulov Y.M.</i> Bosonic string-scalar model	47

ВЕСТНИК ЕВРАЗИЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМЕНИ Л.Н.ГУМИЛЕВА. Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

№2(123)/2018

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Косов В.Н., Федоренко О.В.</i> Граница смены режимов «диффузия – концентрационная гравитационная конвекция» в изотермической тройной газовой смеси метан-бутан-дифтордихлорметан при различных составах в вертикальных цилиндрических каналах	8
<i>Абуова А.У., Абуова Ф.У., Акилбеков А.Т., Джунисбекова Д.А., Бактыбаева Д.Б.</i> Электронный вклад добротность ZT для сплавов Гейслера и немодифицированного BiCuSeO	14
<i>Аралбаева Г.М.</i> Оценка размера хиллоков, вызываемых тяжелыми ионами высоких энергий	21
<i>Буртебаев Н., Фомичёв А.С., Джансейтов Д.М., Керимкулов Ж.К., Жолдыбаев Т.К., Алимов Д.К., Мухамеджанов Е., Насурлла М., Ходжаев Р., Аймаганбетов А.С., Амангелди Н., Ергалиұлы Ф.</i> Исследование процессов упругого рассеяния альфа-частиц на ядрах ^{12}C в рамках оптического и фолдинг моделей	26
<i>Разина О.В., Цыба П.Ю.</i> Экспоненциальное решение модели $f(R)$ гравитации с максвелловским членом и g -эссенцией	33
<i>Сагидуллаева Ж.М.</i> О калибровочной эквивалентности двухслойного уравнения М-ХСІХ и двухкомпонентного уравнения Шредингера-Максвелла-Блоха	41
<i>Шанина З.К., Мырзакулов Е.М.</i> Бозонная струнно-скалярная модель	47

Электронный вклад добротность ZT для сплавов Гейслера и немодифицированного BiCuSeO

Аннотация: В данной работе приведено краткое описание теории функционала плотности и транспортной теории Больцмана применительно к вычислениям транспортных коэффициентов. На примере сплавов Гейслера было показано, что описанный в этой работе метод расчета термоэлектрических коэффициентов является верным и хорошо согласуется с экспериментом и другими теоретическими вычислениями. С помощью первопринципных методов был проверен оптимальный уровень легирования, предсказанный ранее Yabuuchi и другими. Соответствующие уровни уверенно прошли проверку и показали отличное термоэлектрическое поведение.

Ключевые слова: теории функционала плотности, сплав, термоэлектрический коэффициент, легирования.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6836-2018-124-3-14-20>

Введение. Использование технологий, работающих на электричестве, улучшило качество жизни человека, однако человечество беспокоит вопрос о добыче электроэнергии на фоне сокращающихся запасов ископаемых ресурсов и их влияния на экологию. Решение проблемы должно обеспечить устойчивое развитие и включать возобновляемые источники энергии, чтобы уменьшить зависимость от ископаемых ресурсов. Термоэлектрические материалы (ТМ) можно использовать в генераторах, которые напрямую преобразуют использованное, геотермальное и другое тепло в электрический ток за счет так называемого эффекта Зеебека. ТМ можно использовать как холодильники без движущихся частей за счет эффекта Пельтье. Основной нишей для термоэлектрических элементов является низкотемпературное тепло (около 500 К), т.к. энергию такой температуры трудно преобразовывать другими путями. Технологически необходимо использовать подходящие материалы с высокой эффективностью (высокой добротностью). Добротность - безразмерная величина, которая определяется по формуле [1]

$$ZT = S^2 \sigma T / k$$

где

ZT - добротность

S - коэффициент Зеебека

σ - электрическая проводимость

T - температура

k - теплопроводность

Таким образом, высокая добротность следует из высокого коэффициента Зеебека и электрической проводимости, а также низкой теплопроводности. S , σ - являются электронными транспортными коэффициентами, тогда как теплопроводность бывает электронной k_{el} и фононная k_{ph} . Электронные и фононные транспортные коэффициенты были подробно рассмотрены в рамках теории Грина-Кубо [2, 3] и транспортной теории Больцмана [4, 5]. Последняя используется на протяжении всей данной работы, для нее электронная структура и динамика решетки являются необходимыми начальными данными, их можно посчитать с помощью первопринципных методов. Свойства твердых тел в основном, невозбужденном состоянии (то есть при структурной и термодинамической стабильности), электронная структура и динамика решетки рассчитываются при помощи первопринципных методов с использованием программного комплекса VASP - Vienna ab initio Simulation Package. Термоэлектрические свойства, такие как тензор коэффициента Зеебека, электрическая

проводимость и электронная теплопроводность вычисляются с помощью транспортной теории Больцмана, включающей приближение времени релаксации. На данный момент программный пакет BoltzTrap [6] выполняет расчеты термоэлектрических коэффициентов, используя в качестве исходных данных выходные данные VASP. В данной работе в качестве образца выбран представитель сплава Гейслера X_2YZ (X, Y, Z - металлы) со структурной формулой Fe_2SnTi .

В прошлом десятилетии большинство исследований концентрировали внимание на уменьшении теплопроводности, контролируя структурные и электронные параметры [7-9]. Дальнейшее повышение добротности зависит от уровня понимания транспортных явлений. Задачей данной дипломной работы является понимание и представление термоэлектрических явлений на фундаментальном уровне и их моделирование для выбранного образца.

Методы исследования. Для начала мы вычислим зонную структуру, плотность состояний и термоэлектрические коэффициенты для Fe_2TiSn , построим графики зависимости этих коэффициентов от концентрации заряда и температуры, найдя оптимальный уровень концентрации заряда, произведем расчеты с легированным $Fe_2TiSn_{1-x}V_x$. Логику выбора примесного атома будем объяснять по ходу приведения соответствующих результатов.

Первопринципные расчеты проводятся на Vienna ab initio Simulation Package (VASP) [10-14]. Оптимизация незакрепленной структуры ISIF=3 приводила к колоссальному увеличению решетки, поэтому был выбран ISIF=2 - не изменять форму и размер ячейки. Были проведены спин-поляризованные расчеты и значительные отличия от обычных вычислений не были обнаружены, поэтому нет необходимости демонстрировать эти результаты. Для чистого Fe_2TiSn выбран ENCUT=500, установлена сетка из $12 \times 12 \times 12$ к-точек. Далее для вычисления распределения зарядов в $Fe_2TiSn_{1-x}V_x$ ($x = 0.25; 0.125; 0.0625$) установлен ENCUT=1000. Очевидно, что для установки уровня легирования ванадием необходимо было изменять количество атомов в системе для $x=0.25$ - 16 атомов, один из которых ванадий, для $x=0.125$ - 32 атома, для $x=0.0625$ - 64 атома по одному ванадию в каждом образце, соответственно вместо сетки из к-точек было решено поставить параметр KSPACING, который задает плотность к-точек вне зависимости от количества атомов в нем. Все термоэлектрические коэффициенты были вычислены в пределах транспортной теории Больцмана с помощью кода BoltzTraP [6].

Результаты и обсуждения. Зонная структура и плотность состояний Fe_2TiSn

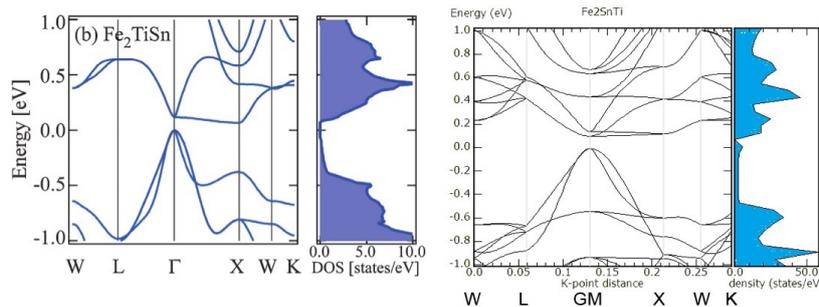


Рисунок 1 – Зонная структура и плотность состояний Fe_2SnTi . Слева результаты Yabuuchi и др.[15], справа полученные нами результаты

Как видим из (рис 1), ширина запрещенной зоны в точке Γ одинакова в обоих случаях, однако существует отличие в точке X, в нашем случае получается прямозонный полуметалл, а в случае Yabuuchi et al. непрямозонный полуметалл.

Термоэлектрические коэффициенты Fe_2TiSn

На (рис 2) показаны коэффициенты Зеебека при различных концентрациях электронов n в cm^{-3} . В наших расчетах коэффициент Зеебека сдвинут вниз по ординате на незначительное конечное значение для каждой концентрации электронов, за исключением S при $n = 10^{18} cm^{-3}$, в этом случае коэффициент Зеебека почти вдвое меньше чем у Yabuuchi et al. Обратим внимание на фактор силы - величину, полностью обусловленную электронами в системе. Рисунок 3 демонстрирует идентичное поведение для обоих расчетов, при построении

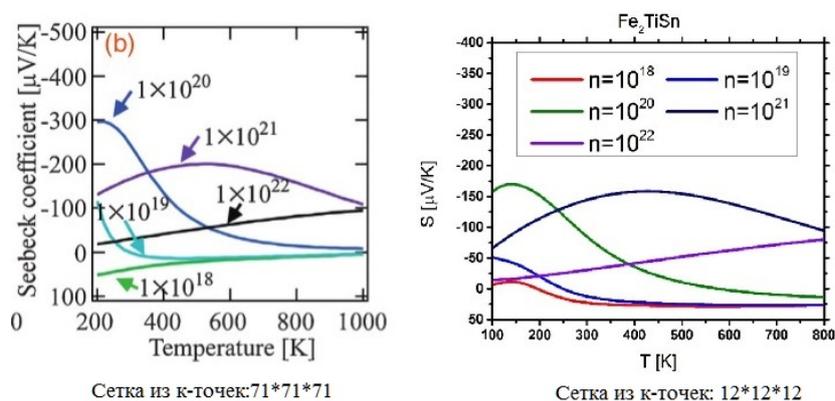


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента Зеебека S от температуры T при различных концентрациях n электронов в cm^{-3} . Слева результаты Yabuuchi и др.[15], справа полученные нами результаты

таких графиков главную роль играет не столько абсолютная величина, сколько расположение его пика. В нашем случае фактор силы принимает максимальное значение при наличии ~ 0.06 электронов на формульную единицу Fe_2TiSn . Отметим здесь, что положение пика фактора силы еще не полностью учитывает взаимодействие всех электронов, вспомним формулу (1).

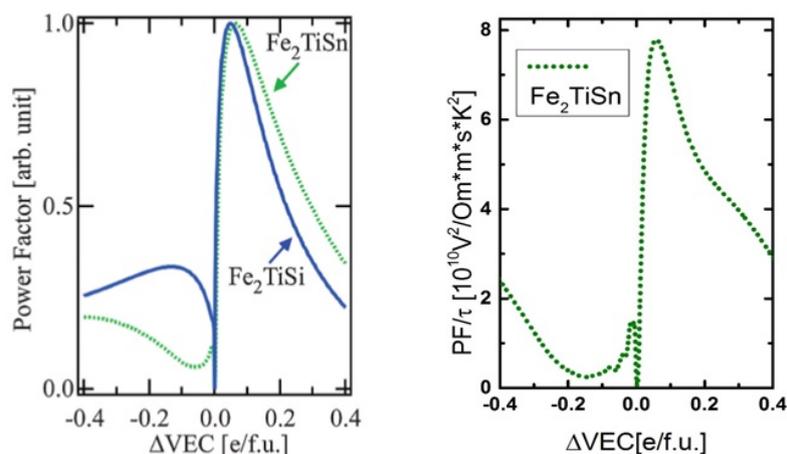


Рисунок 3 – Зависимость фактора силы $PF = S^2 \sigma$, от числа валентных электронов на формульную единицу. Слева результаты Yabuuchi et al.[15], справа наши результаты, фактор силы в нашем случае поделен на время релаксации

Теплопроводность k состоит из электронной и фононной (кристаллической) теплопроводностей, т.е. $k = k_{el} + k_{lat}$. Хотя эксперимент показывает [16], что теплопроводность в Fe_2TiSn равна $7.0 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, то есть теплопроводность в таких термоэлектриках обусловлена фононной (кристаллической) составляющей, в данной работе мы не будем учитывать k_{lat} , и продолжим расчеты с $k_{lat} = 0$. k_{el} высчитывается программным пакетом BoltzTraP. Его мы и будем использовать при вычислении добротности, обусловленной электронами в системе ZT_{el} . Оговоримся еще об одном удивительном совпадении результатов наших расчетов с экспериментальными. Как видно из рис. 4а результаты наших расчетов для коэффициента Зеебека хорошо согласуются с экспериментом [16]. Поэтому позволю себе продемонстрировать коэффициенты Зеебека и для других образцов. На рис. 4б представлены кривые коэффициента Зеебека для всех изучаемых нами образцов. Некоторые термоэлектрики $x=0.125$, $x=0.0325$ показывают значительный коэффициент Зеебека, порядка 700-800 мкВ/К. Легирование ванадием дает о себе знать, ведь если в начале коэффициент Зеебека был положительный, то есть наблюдалась дырочная проводимость, то теперь, очевидно, S - в основном отрицателен, а значит, проводимость теперь электронная.

Из рис. 5а видно, что при числе валентных электронов $\Delta VEC \sim 0.06$ на Fe_2TiSn будет иметь высокий фактор силы при температурах от 300 до 600 К, а при $\Delta VEC \sim 0.25$ Fe_2SnTi

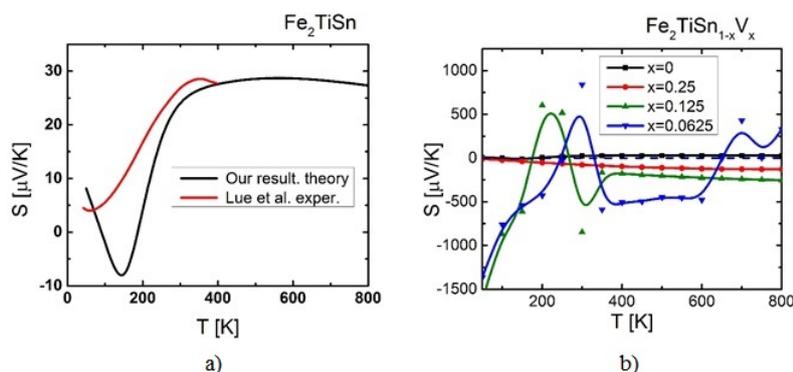


Рисунок 4 – а) Сравнение вычисленного нами коэффициента Зеебека S с измеренным в 2004 году S Lue et.al [16]; б) Вычисленный нами коэффициент Зеебека S в зависимости от температуры при различных уровнях легирования ванадием

будет иметь наивысший фактор силы при температурах выше 600 К. Однако учет электронной теплопроводности (рис 5b) показывает, что наиболее эффективными будут термоэлектрики с небольшим количеством $\Delta VEC < 0.07$.

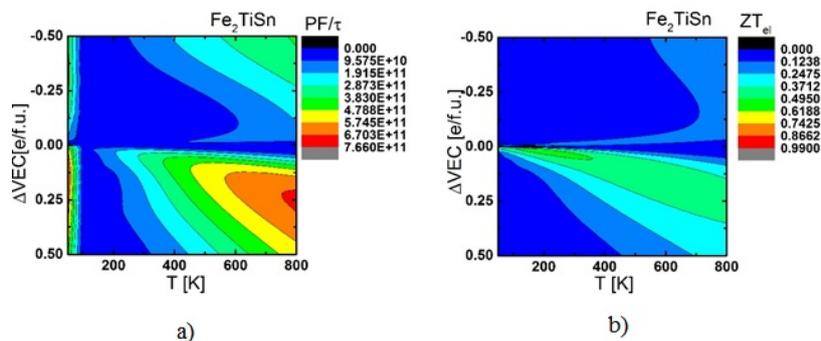


Рисунок 5 – а) Отношение фактора силы и времени релаксации PF/τ в зависимости от температуры T и числа валентных электронов на формульную единицу ΔVEC ; б) Добротность, обусловленная электронами ZT_{el} в зависимости от температуры и числа валентных электронов на формульную единицу

Для того, чтобы проверить правильность наших рассуждений, выберем примесный атом так, чтобы он не изменял ширину запрещенной зоны, то есть примесь должна встраиваться на место тех атомов, чьи электроны обуславливают зоны глубоко в валентной зоне. Если посмотреть на рис. 5b, то мы увидим, что лучше всего для этой роли подойдет олово Sn, валентность 4. В качестве примесного атома выберем ванадий V валентность 5.

Термоэлектрические коэффициенты $Fe_2TiSn_{1-x}V_x$ ($x = 0.25; 0.125; 0.0625$)

На рис. 6 показан результат вычислений для $x = 0.25; 0.125; 0.0625$. С уменьшением x , наблюдается снижение фактора силы, по всем возможным комбинациям температуры и концентрации электронов, тогда как добротность растет, и во многих участках приближается к единице. Такой контраст объясняется уменьшением электронной теплопроводности по мере снижения x . Зона высокой добротности с уменьшением x подходит все ближе к отметке 0 - валентных электронов, а значит, следует вывод о том, что наиболее выгодным с электронной точки зрения является уровень легирования ванадием V_x $x=0.625$.

Рисунок 6 построен при $\Delta VEC \sim 0$, то есть мы ожидаем увидеть в эксперименте что-то похожее на эти кривые. Впечатляет разница между значениями для $x=0$ и остальными кривыми, учитывая то, что наши расчеты несколько недооценивают наши ожидания вполне оправданы.

Закключение. В данной работе приведено краткое описание теории функционала плотности и транспортной теории Больцмана применительно к вычислениям транспортных коэффициентов. На примере сплавов Гейслера было показано, что описанный в этой работе

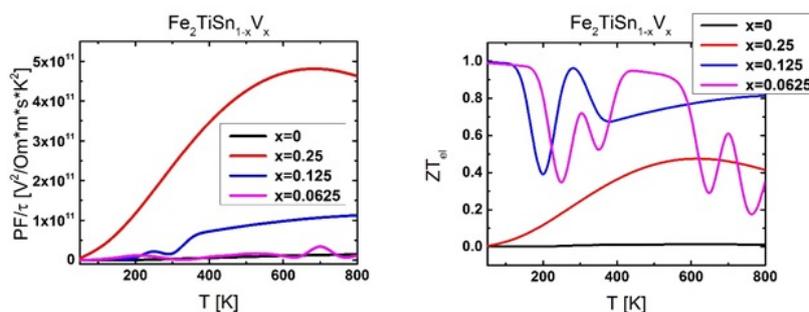


Рисунок 6 – Фактор силы и добротность в зависимости от температуры при минимальном $\Delta VEC \sim 0$

метод расчета термоэлектрических коэффициентов является верным и хорошо согласуется с экспериментом и другими теоретическими вычислениями. С помощью первопринципных методов был проверен оптимальный уровень легирования, предсказанный ранее Yabuuchi и др. Соответствующие уровни уверенно прошли проверку и показали отличное термоэлектрическое поведение. Отметим здесь еще и то, что серьезным тормозом в применении Fe_2TiSn в качестве термоэлектрического материала является высокая теплопроводность, которую можно регулировать с помощью наноструктурирования и изменения химического состава. Остается ждать точных экспериментов по определению термоэлектрических коэффициентов, чтобы подкорректировать расчетные методы.

Работа выполнена по договору №132 от 12 марта 2018 г. "Дизайн перспективных термоэлектрических полупроводниковых материалов методами расчета из первых принципов". Руководитель проекта - Инербаев Талгат Муратович.

Список литературы

1. Slack G.A. CRC Handbook of Thermoelectrics //CRC Press. - 1995. - P. 407-440.
2. Green M.S. Markoff Random Processes and the Statistical Mechanics of Time Dependent Phenomena. II. Irreversible Processes in Fluids.// The Journal of Chemical Physics. - 1954. - Vol.22(3).
3. Kubo R. Statistical-Mechanical Theory of Irreversible Processes. I. General Theory and Simple Applications to Magnetic and Conduction Problems // Journal of the Physical Society of Japan. - 1957. - Vol.12(6). - P. 570-586.
4. Ziman J.M. Electrons and Phonons: The Theory of Transport Phenomena in Solids // USA: Oxford University Press. - 2001.
5. Tritt T.M. Thermal conductivity: theory, properties, and applications // Springer. - 2004.
6. Madsen G.K.H. and Singh D.J. BoltzTraP. A code for calculating band-structure dependent quantities // Computer Physics Communications. - 2006. - Vol.175(1). - P. 67-71.
7. Venkatasubramanian R., et al. Thin-film thermoelectric devices with high room-temperature figures of merit // Nature. - 2001. -Vol. 413(6856). - P. 597-602.
8. Sales B.C., Mandrus D. and Williams R.K. Filled Skutterudite Antimonides: A New Class of Thermoelectric Materials // Science. - 1996. - Vol. 272(5266). - P. 1325-8.
9. Sesselmann A., et al. Transport Properties and Microstructure of Indium and Cerium added Cobalt-Antimony based Skutterudites // MRS Proceedings. - 2011. - P. 1329.
10. Kresse G. and Furthmuller J. Efficiency of ab-initio total energy calculations for metals and semiconductors using a plane-wave basis set // Computational Materials Science. - 1996. -Vol. 6(1). - P. 15-50.
11. Kresse G. and Furthmuller J. Efficient iterative schemes for ab initio total-energy calculations using a plane-wave basis set // Physical Review B. - 1996. - Vol. 54(16). - P. 11169-11186.
12. Blochl P.E. Projector augmented-wave method // Physical Review B. - 1994. - Vol. 50(24). - P. 17953-17979.
13. Kresse G. and Joubert D. From ultrasoft pseudopotentials to the projector augmented-wave method // Physical Review B. - 1999. - Vol. 59(3). - P. 1758-1775.

14. Kresse G. and Hafner J. Ab initio // Physical Review B. - 1993. - Vol. 47(1). - P. 558-561.
15. Shin Y., et al. Large Seebeck Coefficients of Fe₂TiSn and Fe₂TiSi: First-Principles Study // Applied Physics Express. - 2013. - Vol. 6(2). - P. 025504.
16. Lue C.S., Kuo Y.K. Thermal and transport properties of the Heusler-type compounds Fe₂-xTi_{1+x}Sn // Journal of Applied Physics. - 2004. -Vol. 96(5). - P. 2681-2683.

А.У. Әбуова, Ф.У. Әбуова, А.Т. Ақилбеков, Д.А. Джунибекова, Д.Б. Бақтыбаева

Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Модифицирленбеген BiCuSeO және Гейслер күймалары үшін ZT төзімділігінің электрондық үлесі

Аннотация: Осы мақалада Больцманның транспорттық теориясымен тығыздық функционалы теориясын транспорттық коэффициенттерді сипаттауда қолдануда қысқаша сипаттамасы берілген. Гейслер қорытпаларының мысалында осы жұмыста сипатталған термоэлектрлік коэффициенттерді есептеу әдісі дұрыс және эксперимент және басқа теориялық есептеулермен жақсы келісілгендігі көрсетілген. Алғашқы қағидалар әдістерінің көмегімен Yabuuchi et al. болжамына сай допингтің оңтайлы деңгейі тиісті сенімді түрде тексеріліп, жеткілікті термоэлектрлік сипаттама көрсетті.

Түйін сөздер: тығыздық функционалының теориялары, қорытпасы, термоэлектрлік коэффициенті, легірілеу.

A.U. Abuova, F.U. Abuova, A.T. Akilbekov, D.A. Junisbekova, D.B. Baktybayeva

L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Electronic contribution to the quality factor of ZT for Heusler alloys and unmodified BiCuSeO

Abstract: In this paper we give a brief description of the theory of the density functional and the transport theory of Boltzmann with respect to the computation of transport coefficients. On the example of Heusler alloys, it was shown that the method of calculating thermoelectric coefficients described in this work is correct and agrees well with experiment and other theoretical calculations. With the help of first-principles methods, the optimal level of doping, predicted earlier by Yabuuchi et al. the corresponding levels were confidently tested and showed excellent thermoelectric behavior.

Key words: density functional theory, alloy, thermoelectric coefficient, doping.

References

1. Slack G.A. CRC Handbook of Thermoelectrics, CRC Press, 407-440 (1995).
2. Green M.S. Markoff Random Processes and the Statistical Mechanics of Time Dependent Phenomena. II. Irreversible Processes in Fluids, The Journal of Chemical Physics, **22** (3), (1954).
3. Kubo R. Statistical-Mechanical Theory of Irreversible Processes. I. General Theory and Simple Applications to Magnetic and Conduction Problems, Journal of the Physical Society of Japan, **12** (6), 570-586 (1957).
4. Ziman J.M. Electrons and Phonons: The Theory of Transport Phenomena in Solids, USA: Oxford University Press, (2001).
5. Tritt T.M. Thermal conductivity: theory, properties, and applications, Springer, (2004).
6. Madsen G.K.H. and Singh D.J. BoltzTraP. A code for calculating band-structure dependent quantities, Computer Physics Communications, **175** (1), 67-71 (2006).
7. Venkatasubramanian R., et al. Thin-film thermoelectric devices with high room-temperature figures of merit, Nature, **413** (6856), 597-602 (2001).
8. Sales B.C., Mandrus D. and Williams R.K. Filled Skutterudite Antimonides: A New Class of Thermoelectric Materials, Science, **272** (5266), 1325-8 (1996).
9. Sesselmann A., et al. Transport Properties and Microstructure of Indium and Cerium added Cobalt-Antimony based Skutterudites, MRS Proceedings, 1329 (2001).
10. Kresse G. and Furthmuller J. Efficiency of ab-initio total energy calculations for metals and semiconductors using a plane-wave basis set, Computational Materials Science, **6** (1), 15-50 (1996).
11. Kresse G. and Furthmuller J. Efficient iterative schemes for ab initio total-energy calculations using a plane-wave basis set, Physical Review B, **54** (16), 11169-11186 (1996).
12. Blochl P.E. Projector augmented-wave method, Physical Review B, **50** (24), 17953-17979 (1994).
13. Kresse G. and Joubert D. From ultrasoft pseudopotentials to the projector augmented-wave method, Physical Review B, **59** (3), 1758-1775 (1999).
14. Kresse G. and Hafner J. Ab initio, Physical Review B, **50** (24), 558-561 (1993).

15. Shin Y., et al. Large Seebeck Coefficients of Fe₂TiSn and Fe₂TiSi: First-Principles Study, Applied Physics Express, **6** (2), 025504 (2013).

16. Lue C.S., Kuo Y.K. Thermal and transport properties of the Heusler-type compounds Fe_{2-x}Ti_{1+x}Sn, Journal of Applied Physics, **96** (5), 2681-2683 (2004).

Сведения об авторах:

Абуова А.У. – и.о. доцента кафедры технической физики, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул.К.Мунайтпасова 13, Астана, Казахстан.

Абуова Ф.У. – и.о. доцента международной кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул.К.Мунайтпасова, 13, Астана, Казахстан.

Акилбеков А.Т. – доктор физико-математических наук, профессор, декан Физико-технического факультета, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул.К.Мунайтпасова, 13, Астана, Казахстан.

Джунисбекова Д.А. - инженер кафедры технической физики, магистр технических наук, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул.К.Мунайтпасова, 13, Астана, Казахстан.

Бактыбаева Д.Б.- магистрант 2 - курса специальности "6М072300-Техническая физика кафедры технической физики", Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул.К.Мунайтпасова, 13, Астана, Казахстан.

Abuova A. U. – acting associate professor at the department of technical physics, L.N.Gumilyov Eurasian National University, 13 Munaitpasov str., Astana, Kazakhstan.

Abuova F. U. – acting associate professor at the international department of nuclear physics, new materials and technologies, L.N.Gumilyov Eurasian National University, 13 Munaitpasov str., Astana, Kazakhstan.

Akilbekov A. T. – doctor of physical and mathematical sciences, professor, dean of the faculty of physics and technology, L.N.Gumilyov Eurasian National University, 13 Munaitpasov str., Astana, Kazakhstan.

Junisbekova D. A. – engineer at the department of technical physics, master of technical sciences , L.N.Gumilyov Eurasian National University, 13 Munaitpasov str., Astana, Kazakhstan.

Baktybayeva D. B. – master of 2 course of specialty 6M072300-Technical physics at the department of technical physics, L.N.Gumilyov Eurasian National University, 13 Munaitpasov str., Astana, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 23.06.2018

Положение о рукописях, представляемых в журнал «Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева. Серия: Физика. Астрономия»

Редакция журнала просит авторов ознакомиться с правилами и придерживаться их при подготовке работ, направляемых в журнал. Отклонение от установленных правил задерживает публикацию статьи.

1. Цель журнала. Публикация тщательно отобранных оригинальных научных работ по актуальным проблемам теоретических и экспериментальных исследований в области физики и астрономии.

2. В редакцию (в бумажном виде, подписанном всеми авторами и в электронном виде) представляются Tex- и Pdf-файлы работы, подготовленные в издательской системе LaTeX, с обязательным использованием оригинального стилевого файла журнала. Стилистовый файл можно скачать со сайта журнала *bulphysast.enu.kz*. Автору (авторам) необходимо предоставить сопроводительное письмо.

Язык публикаций: казахский, русский, английский.

3. Отправление статей в редакцию означает согласие авторов на право Издателя, Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, издания статей в журнале и переиздания их на любом иностранном языке. Представляя текст работы для публикации в журнале, автор гарантирует правильность всех сведений о себе, отсутствие плагиата и других форм неправомерного заимствования в рукописи, надлежащее оформление всех заимствований текста, таблиц, схем, иллюстраций.

4. Объем статьи не должен превышать 18 страниц (от 6 страниц).

5. Схема построения статьи

ГРНТИ <http://grnti.ru/>

Инициалы и фамилия автора(ов)

Полное наименование организации, город, страна (если авторы работают в разных организациях, необходимо поставить одинаковый значок около фамилии автора и соответствующей организации)

E-mail автора(ов)

Название статьи

Аннотация (100-200 слов; не должна содержать громоздкие формулы, по содержанию повторять название статьи; не должна содержать библиографические ссылки; должна отражать краткое содержание статьи, сохраняя структуру статьи – введение/ постановка задачи/ цели/ история, методы исследования, результаты/обсуждение, заключение/выводы).

Ключевые слова (6-8 слов/словосочетаний. Ключевые слова должны отражать основное содержание статьи, использовать термины из текста статьи, а также термины, определяющие предметную область и включающие другие важные понятия, позволяющие облегчить и расширить возможности нахождения статьи средствами информационно-поисковой системы).

Основной текст статьи должен содержать введение/ постановку задачи/ цели/ историю, методы исследования, результаты/обсуждение, заключение/выводы.

Таблицы включаются непосредственно в текст работы, они должны быть пронумерованы и сопровождаться ссылкой на них в тексте работы. Рисунки, графики должны быть представлены в одном из стандартных форматов: PS, PDF, TIFF, GIF, JPEG, BMP, PCX. Точечные рисунки необходимо выполнять с разрешением 600 dpi. На рисунках должны быть ясно переданы все детали.

В статье нумеруются лишь те **формулы**, на которые по тексту есть ссылки.

Все **аббревиатуры и сокращения**, за исключением заведомо общеизвестных, должны быть расшифрованы при первом употреблении в тексте.

Сведения о **финансовой поддержке** работы указываются на первой странице в виде сноски.

6. Список литературы должен содержать только те источники (пронумерованные в порядке цитирования или в порядке английского алфавита), на которые имеются ссылки в тексте работы. Ссылки на неопубликованные работы, результаты которых используются в доказательствах, не допускаются.

Авторам рекомендуется при оформлении ссылок исключить упоминание страниц и руководствоваться следующим шаблоном: номер главы, номер параграфа, номер пункта, номер теоремы (леммы, утверждения, замечания к теореме и т.п.), номер формулы. Например, "..., см. [3; § 7, лемма 6]"; "..., см. [2; замечание к теореме 5]". В противном случае при подготовке англоязычной версии статьи могут возникнуть неверные ссылки.

Примеры оформления списка литературы

1 Воронин С. М., Карацуба А. А. Дзета-функция Римана. -М: Физматлит, -1994, -376 стр. - **книга**

2 Баилов Е. А., Сихов М. Б., Темиргалиев Н. Об общем алгоритме численного интегрирования функций многих переменных // Журнал вычислительной математики и математической физики -2014. -Т.54. № 7. -С. 1059-1077. - **статья**

3 Жубанышева А.Ж., Абикенова Ш. О нормах производных функций с нулевыми значениями заданного набора линейных функционалов и их применения к поперечниковым задачам // Функциональные пространства и теория приближения функций: Тезисы докладов Международной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика С.М.Никольского, Москва, Россия, 2015. - Москва, 2015. -С.141-142. - **труды конференции**

4 Нургазина К. Рыцарь математики и информатики. -Астана: Каз.правда, 2017. 19 апреля. -С.7. - **газетная статья**

5 Кыров В.А., Михайличенко Г.Г. Аналитический метод вложения симплектической геометрии // Сибирские электронные математические известия -2017. -Т.14. -С.657-672. doi: 10.17377/semi.2017.14.057. - URL: <http://sem.math.nsc.ru/v14/p657-672.pdf>. (дата обращения: 08.01.2017). - **электронный журнал**

7. После списка литературы, необходимо указать библиографические данные на русском и английском языках (если статья оформлена на казахском языке), на казахском и английском языках (если статья оформлена на русском языке) и на русском и казахском языках (если статья оформлена на английском языке). Затем приводится комбинация англоязычной и транслитерированной частей списка литературы и сведения по каждому из авторов (научное звание, служебный адрес, телефон, e-mail - на казахском, русском и английском языках).

8. Работа с электронной корректурой. Статьи, поступившие в Отдел научных изданий (редакция), отправляются на анонимное рецензирование. Все рецензии по статьям отправляются автору. Авторам в течение трех дней

необходимо отправить корректуру статьи. Статьи, получившие отрицательную рецензию, к повторному рассмотрению не принимаются. Исправленные варианты статей и ответ автора рецензенту присылаются в редакцию. Статьи, имеющие положительные рецензии, представляются редколлегии журнала для обсуждения и утверждения для публикации.

Периодичность журнала: 4 раза в год.

9. Оплата. Авторам, получившим положительное заключение к опубликованию, необходимо произвести оплату по следующим реквизитам (для сотрудников ЕНУ – 4500 тенге, для сторонних организаций – 5500 тенге):

Мақаланы рәсімдеу үлгісі

МРНТИ 27.25.19

А.Ж. Жубанышева¹, Н. Темиргалиев², А.Б. Утесов³

¹ *Институт теоретической математики и научных вычислений Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан*

² *Актюбинский региональный государственный университет имени К. Жубанова, Актюбе, Казахстан*

(Email: ¹ *axaulezh@mail.ru*, ² *ntmath10@mail.ru*, ³ *adilzhan_71@mail.ru*)

Численное дифференцирование функций в контексте Компьютерного (вычислительного) перечника

Введение

Текст введения...

Авторам не следует использовать нестандартные пакеты LaTeX (используйте их лишь в случае крайней необходимости)

Заголовок секции

1.1 Заголовок подсекции

Окружения.

Теорема 1. ...

Лемма 1. ...

Предложение 1. ...

Определение 1. ...

Следствие 1. ...

Замечание 1. ...

Теорема 2 (Темиргалиев Н. [2]). *Текст теоремы.*

Д о к а з а т е л ь с т в о. Текст доказательства.

2. Формулы, таблицы, рисунки

$$\delta_N(\varepsilon_N; D_N)_Y \equiv \delta_N(\varepsilon_N; T; F; D_N)_Y \equiv \inf_{(l^{(N)}, \varphi_N) \in D_N} \delta_N \left(\varepsilon_N; \left(l^{(N)}, \varphi_N \right) \right)_Y, \quad (25)$$

где $\delta_N(\varepsilon_N; (l^{(N)}, \varphi_N))_Y \equiv \delta_N(\varepsilon_N; T; F; (l^{(N)}, \varphi_N))_Y \equiv$

$$\equiv \sup_{\substack{f \in F \\ |\gamma_N^{(\tau)}| \leq 1 (\tau=1, \dots, N)}} \left\| Tf(\cdot) - \varphi_N \left(l_N^{(1)}(f) + \gamma_N^{(1)} \varepsilon_N^{(1)}, \dots, l_N^{(N)}(f) + \gamma_N^{(N)} \varepsilon_N^{(N)}; \cdot \right) \right\|_Y.$$

Таблицы, рисунки необходимо располагать после упоминания. С каждой иллюстрацией должна следовать надпись.

3. Ссылки и библиография

Для ссылок на утверждения, формулы и т. п. можно использовать метки. Например, теорема 2, Формула (25)

Таблица 1 – Название таблицы

Простые	Не простые
2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 29	4, 6, 8, 9, 10, 12, 14



Рисунок 1 – Название рисунка

Для руководства по \LaTeX и в качестве примера оформления ссылок, см., например, *Львовский С.М.* Набор и верстка в пакете \LaTeX . Москва: Космосинформ, 1994.

Список литературы оформляется следующим образом.

Список литературы

- 1 Локуциевский О.М., Гавриков М.Б. Начала численного анализа. –М.: ТОО "Янус", 1995. –581 с. - **книга**
- 2 Темиргалиев Н. Компьютерный (вычислительный) поперечник как синтез известного и нового в численном анализе // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева –2014. –Т.4. №101. –С. 16-33. doi: ... (при наличии) - **статья**
- 3 Жубанышева А.Ж., Абикинова Ш. О нормах производных функций с нулевыми значениями заданного набора линейных функционалов и их применения к поперечниковым задачам // Функциональные пространства и теория приближения функций: Тезисы докладов Международной конференции, посвященная 110-летию со дня рождения академика С.М.Никольского, Москва, Россия, 2015. – Москва, 2015. –С.141-142. - **труды конференций**
- 4 Курмуков А.А. Ангиопротекторная и гипополипидемическая активность леукомизина. –Алматы: Бастау, 2007. –С. 3-5 - **газетные статьи**
- 5 Кыров В.А., Михайличенко Г.Г. Аналитический метод вложения симплектической геометрии // Сибирские электронные математические известия –2017. –Т.14. –С.657-672. doi: 10.17377/semi.2017.14.057. – URL: <http://semr.math.nsc.ru/v14/p657-672.pdf>. (дата обращения: 08.01.2017). - **электронный журнал**

А.Ж. Жұбанышева¹, Н. Теміргалиев¹, А.Б. Утесов²

¹ Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің теориялық математика және ғылыми есептеулер институты, Астана, Қазақстан

² Қ.Жұбанов атындағы. Ақтөбе өңірлік мемлекеттік университеті, Ақтөбе, Қазақстан

Компьютерлік (есептеуіш) диаметр мәнінде функцияларды сандық дифференциалдау

Аннотация: Компьютерлік (есептеуіш) диаметр мәнінде Соболев класында жататын функцияларды олардың тригонометриялық Фурье-Лебега коэффициенттерінің ақырлы жиынынан алынған дәл емес ақпарат бойынша жуықтау есебі толығымен шешілді [100-200 сөздер].

Түйін сөздер: жуықтап дифференциалдау, дәл емес ақпарат бойынша жуықтау, шектік қателік, Компьютерлік (есептеуіш) диаметр [6-8 сөз/сөз тіркестері].

A.Zh.Zhubanysheva¹, N. Temirgaliyev¹, A.B. Utesov²

¹ Institute of theoretical mathematics and scientific computations of L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

² K.Zhubanov Aktobe Regional State University, Aktobe, Kazakhstan

Numerical differentiation of functions in the context of Computational (numerical) diameter

Abstract: The computational (numerical) diameter is used to completely solve the problem of approximate differentiation of a function given inexact information in the form of an arbitrary finite set of trigonometric Fourier coefficients. [100-200 words]

Keywords: approximate differentiation, recovery from inexact information, limiting error, computational (numerical) diameter, massive limiting error. [6-8 words/word combinations]

References

- 1 Lokucievskij O.M., Gavrikov M.B. Nachala chislenngo analiza [Elements of numerical analysis] (Yanus, Moscow, 1995). [in Russian]

- 2 Temirgaliyev N. Komp'yuternyj (vychislitel'nyj) poperechnik kak sintez izvestnogo i novogo v chislennom analize [Computational (numerical) diameter as a synthesis of the known and the new in numerical analysis], Vestnik Evrazijskogo nacional'nogo universiteta imeni L.N. Gumileva [Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University], **4** (101), 16-33 (2014). [in Russian]
- 3 Zhubanysheva A.Zh., AbikenovaSh.K. O normah proizvodnyh funkcij s nulevymi znachenijami zadannogo nabora linejnyh funkcionalov i ih primeneniya k poperechnikovym zadacham [About the norms of the derivatives of functions with zero values of a given set of linear functionals and their application to the width problems]. Tezisy dokladov Mezhdunarodnoj konferencii, posvjashhennaja 110-letiju so dnja rozhdenija akademika S.M.Nicol'skogo "Funkcional'nye prostranstva i teorija priblizhenija funkcij" [International conference on Function Spaces and Approximation Theory dedicated to the 110th anniversary of S. M. Nikol'skij]. Moscow, 2015, pp. 141-142. [in Russian]
- 4 Kurmukov A. A. Angioprotekturnaja i gipolipidemicheskaja aktivnost' leukomizina [Angioprotective and lipid-lowering activity of leukomycin] (Bastau, Almaty, 2007, P. 3-5). [in Russian]
- 5 Kyrov V.A., Mihajlichenko G.G. Analiticheskij metod vlozhenija simplekticheskoj geometrii [The analytic method of embedding symplectic geometry], Sibirskie jelektronnye matematicheskie izvestija [Siberian Electronic Mathematical Reports], **14**, 657-672 (2017). doi: 10.17377/semi.2017.14.057. Available at: <http://semr.math.nsc.ru/v14/p657-672.pdf>. [in Russian]. (accessed 08.01.2017).

Сведения об авторах:

Жубаньшьева А.Ж. - Старший научный сотрудник Института теоретической математики и научных вычислений, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

Темиргалиев Н. - Директор Института теоретической математики и научных вычислений, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

Утесов А.Б. - кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математики, Актобинский региональный государственный университет имени К. Жубанова, пр. А.Молдагуловой, 34, Актобе, Казахстан.

Zhubanysheva A.Zh. - Senior researcher of the Institute of theoretical mathematics and scientific computations, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev str., Astana, Kazakhstan.

Temirgaliyev N. - Head of the Institute of theoretical mathematics and scientific computations, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev str., Astana, Kazakhstan.

Utesov A.B. - candidate of physical and mathematical sciences, Associate Professor of the Department of Mathematics, K.Zhubanov Aktobe Regional State University, A.Moldagulova Prospect, 34, Aktobe, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 15.05.2017

Редакторы: А.Қ. Арынгазин
Шығарушы редактор, дизайн: А. Нұрболат

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің
Хабаршысы. Физика. Астрономия сериясы.
-2018 - 3(124) - Астана: ЕҰУ. 61-б.
Шартты б.т. - 27,25. Таралымы - 20 дана.

Мазмұнына типография жауап бермейді

Редакция мекен-жайы: 010008, Астана қ.,
Сәтпаев көшесі, 2.
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті
Тел.: (8-717-2) 70-95-00(ішкі 31-428)

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің баспасында басылды