

УДК 621.396.62

## НАНОКЛАСТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ КОЛЕЦ ДЛЯ ЭЛЕКТРОНИКИ

<sup>1</sup>Рау В.Г., <sup>2</sup>Никитин О.Р., <sup>2</sup>Рау Т.Ф., <sup>3</sup>Ломтев Л.А., <sup>2</sup>Горшков К.А.

<sup>1</sup>Владимирский филиал РАНХиГС при президенте РФ, Владимир, e-mail: vgrau@mail.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых», Владимир, e-mail: godograf@list.ru;

<sup>3</sup>ООО «Магнетон», Владимир, e-mail: leontijlomtev@rambler.ru

Работа посвящена исследованию и компьютерному моделированию элементов нанокластерных систем «цветных» циклических разбиений (колец), используемых в качестве компонентов электронных и радиотехнических систем. Рассмотрены комбинаторные методы перечисления циклических разбиений (колец). Предложен алгоритм перебора структур «цветных» колец, а также подход к классификации структур колец на основе групп симметрии подстановок. На примере кольца Ааронова–Бома представлен частный случай цветного кольца, структура и свойства которого определены симметрией распределения «нагруженных» точек и её нарушениями (преобразованиями). Приведены примеры нанокластеров, рассчитанных на основе информации баз данных рентгеноструктурного анализа. Рассмотрены проблемы контактов в наноструктурной системе, связанные с нарушением транспорта электронов в электронных устройствах, собранных на наноуровне, и проблемы «сборки» колец в нанотехнологии.

**Ключевые слова:** циклическое разбиение, квантовое кольцо, группы подстановок, «цветное» кольцо, нанокластеры, компьютерное моделирование

## NANO-CLUSTER CIRCULAR SYSTEMS FOR THE ELECTRONICS

<sup>1</sup>Rau V.G., <sup>2</sup>Nikitin O.R., <sup>2</sup>Rau T.F., <sup>3</sup>Lomtev L.A., <sup>2</sup>Gorshkov K.A.

<sup>1</sup>The Russian Presidential academy of national economy and public administration, Vladimir, e-mail: vgrau@mail.ru;

<sup>2</sup>Vladimir State University n.a. A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir, e-mail: godograf@list.ru;

<sup>3</sup>ООО «Magneton», Vladimir, e-mail: leontijlomtev@rambler.ru

This article is dedicated to the research and the computer aided elements' modelling of the nano-cluster system's of the «coloured» cyclical divisions (circles), which are used as a components in the electronic and radio-technical systems. Discussed were the combinatoric methods of the counting of the cyclical divisions (circles). A listing algorithm of the structure of «coloured» circles has been introduced, as well as a new approach to the classification of the circles' structure based upon the symmetrical substitution groups. As an example was used the Aharonov-Bohm's circle, which represents a particular «coloured» circle, the structure and specific qualities of which are determined by the symmetrical division of the occupied points and the disturbances (transfigurations) of such symmetry. Additionally the problems of the contacts in the nano-structure system caused by a disturbance of the transportation of the electrons in the electronic devices compiled on the nano-levels was discussed, as well as the problems of the nano-technological «constructing» of such circles.

**Keywords:** cyclical division, quantum circle, substitution groups, «coloured» circle, nano-clusters, computer aided modelling

### Циклические разбиения

При переходе в радиосхемах с макро- микро-, а затем на наноуровень модель кольца приобретает все более важное значение. На макроуровне любую электрическую цепь (со времен Кирхгоффа) и простую радиосхему для необходимых расчетов принято заменять модельной системой сопряженных замкнутых цепей, циклов (колец) и рассчитывать, исследовать или реально собирать циклы в отдельности. Теоретически каждая фиксированная «цветная» точка кольца может определять функцию элемента кольца (резистора, конденсатора, источника, выпрямителя, транзистора и др.) или соответствовать материалу (проводнику, диэлектрику и пр.). Анализ и компьютерное моделирование

колец и их наноструктурных элементов составляет цель данной работы.

### Комбинаторные методы перечисления циклических разбиений (колец)

На первом этапе исследований колец возникла задача перечисления циклических разбиений с заданным количеством точек двух сортов (двухцветные разбиения): занятых и не занятых атомами позиций в структуре цикла, названных циклотомическими наборами точек. Исследования, проведенные в рентгеновском структурном анализе (РСА) кристаллов Паттерсоном, Хоземаном и Бахчи, Бюргером и др., завершились работой [5] по перечислению «двухцветных» целочисленных циклических разбиений. Кратко представим полученные результаты.

Для перечисления разбиений  $N_v^k$  заданного периода  $v$ , содержащего  $k$  – занятых позиций точек, использовались комбинаторные методы теории чисел [10]. Было показано (теорема 1 в [5]), что каждой блок-схеме с автоморфизмом  $\alpha: a_{ij} + 1 \rightarrow a_{i+1,j}; B_{i,k} \rightarrow B_{i+1,k}$ , переставляющим как элементы  $a_{ij}$ , так и блоки  $B_{i,k}$  блок-схемы по циклу длины  $v$ , соответствует один и только один циклотомический набор, а поэтому число блок-схем из множества  $E = \{0, 1, \dots, v-1\}$  с  $|E| = v$  равно количеству циклических разбиений  $N_v^k$ . После преобразований получено

$$N_v^k = \frac{1}{k} \sum_{d|n} \varphi(d) C_{\frac{v}{d}-1}^{\frac{k}{d}-1}.$$

Во всех этих работах конкретные структуры колец были представлены не достаточно полно. Классификация и анализ структур цветных колец, в которых точками являются модели нанокластеров, явились целью проведения исследований, представленных в данной работе.

#### Компьютерный перебор структур цветных колец на основе групп подстановок

На начальном этапе исследований цветных колец, как и в случае с циклотомическими двухцветными наборами точек, предлагается способ расчета структур многоцветных циклических разбиений и их классификация на основе симметрии групп подстановок. Из теории групп [7] известно,

что  $M!$  перестановок  $N$  чисел составляет их наибольшее количество и принадлежит полной группе симметрии перестановок чисел. Полная группа разбивается на подгруппы порядка  $p$ . Элемент подгруппы перестановки будет соответствовать определенной структуре кольца, если каждому числу на кольце однозначно поставить в соответствие число в перестановке. В то же время каждой перестановке соответствует собственная внутренняя структура, которую можно представить в виде произведения подциклов.

Считая точки, принадлежащие одному подциклу, идентичными, то есть имеющими один и тот же цвет, получаем разбиение перестановки на цветные подциклы. Каждая подгруппа, содержащая  $p$  элементов (порядок группы), определяет количество структур колец с общей симметрией этой группы. Таким образом, получаем возможность для классификации структур колец по их принадлежности к одной подгруппе, а цветные подциклы в подстановке позволяют определять структуру цветного кольца. Для вывода преобразований симметрии подгруппы подстановок и построения групповой таблицы Кэли была составлена программа перемножения элементов группы. Произведение матриц перестановок в программе реализуется по правилу: «левая» подстановка умножается на «правую». В качестве примера может служить операция произведения двух подстановок с числом элементов  $N = 8$  следующим образом:

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 5 & 4 & 7 & 6 & 0 & 1 & 2 & 3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 1 & 0 & 3 & 2 & 5 & 4 & 7 & 6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 4 & 5 & 6 & 7 & 1 & 0 & 3 & 2 \end{pmatrix}.$$

Таблица 1

Таблица Кэли для подгруппы подстановок с  $N = 8$

$g[0] = (0\ 1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 7);$	$g[0]$	$g[1]$	$g[2]$	$g[3]$	$g[4]$	$g[5]$	$g[6]$	$g[7]$
$g[1] = (4\ 5\ 6\ 7\ 1\ 0\ 3\ 2);$	$g[1]$	$g[2]$	$g[3]$	$g[0]$	$g[5]$	$g[6]$	$g[7]$	$g[4]$
$g[2] = (1\ 0\ 3\ 2\ 5\ 4\ 7\ 6);$	$g[2]$	$g[3]$	$g[0]$	$g[1]$	$g[6]$	$g[7]$	$g[4]$	$g[5]$
$g[3] = (5\ 4\ 7\ 6\ 0\ 1\ 2\ 3);$	$g[3]$	$g[0]$	$g[1]$	$g[2]$	$g[7]$	$g[4]$	$g[5]$	$g[6]$
$g[4] = (6\ 7\ 5\ 4\ 2\ 3\ 1\ 0);$	$g[4]$	$g[7]$	$g[6]$	$g[5]$	$g[2]$	$g[1]$	$g[0]$	$g[3]$
$g[5] = (2\ 3\ 1\ 0\ 7\ 6\ 4\ 5);$	$g[5]$	$g[4]$	$g[7]$	$g[6]$	$g[3]$	$g[2]$	$g[1]$	$g[0]$
$g[6] = (7\ 6\ 4\ 5\ 3\ 2\ 0\ 1);$	$g[6]$	$g[5]$	$g[4]$	$g[7]$	$g[0]$	$g[3]$	$g[2]$	$g[1]$
$g[7] = (3\ 2\ 0\ 1\ 6\ 7\ 5\ 4);$	$g[7]$	$g[6]$	$g[5]$	$g[4]$	$g[1]$	$g[0]$	$g[3]$	$g[2]$

В соответствии с теоремами, доказательство которых приведено в учебной литературе по теории групп, разбиение подстановки на замкнутые подциклы можно произвести так, как это показано для левой матрицы в приведенном выше равенстве. Действительно,  $0 \rightarrow 5 \rightarrow 1 \rightarrow 4 \rightarrow 0$ , и  $2 \rightarrow 7 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 2$ . Образуется два подцикла, и подстановка дает следующий результат:  $(54760123) = (0514)(2736)$ . Поскольку операция перестановки разбилась на два подцикла, можем считать её двухцветной. В программе выбираются перестановки, которые принадлежат одной подгруппе, а затем автоматически составляется соответствующая таблица умножения группы – таблица Кэли (табл. 1).

структуры каждой подстановки в модели периодического разбиения двумерного пространства. По теореме об изоморфизме конечных групп симметрии и групп перестановок «визуализировать» можно любую абстрактную конечную группу, зная вид ее таблицы Кэли, что было ранее продемонстрировано в работе [8]. Циклическое одномерное разбиение позволяет предложить еще один более простой, но не менее важный в приложениях способ «визуализации» подгруппы (рис. 1).

### Квантовое кольцо [1]

На микроуровне электронному транспорту в квантовых кольцах при наличии точечных рассеивающих центров, в качестве которых могут выступать одиночные

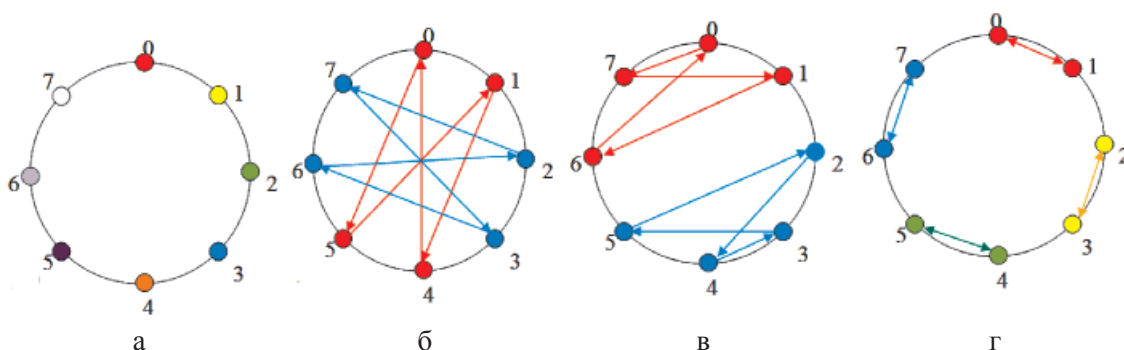


Рис. 1. Элементы подгруппы подстановок кольца (выделены трансляционно не эквивалентные цветные кольца – «ожерелья» из таблицы Кэли (табл. 1):  
 $a - 01234567 = (0)(1)(2)(3)(4)(5)(6)(7)$  – восьмицветное преобразование;  $б - 54760123 = (0514)(2736)$  – двухцветное преобразование;  $в - 76453201 = (0716)(2435)$  – двухцветное преобразование;  $г - 10325476 = (01)(23)(45)(67)$  – четырехцветное преобразование

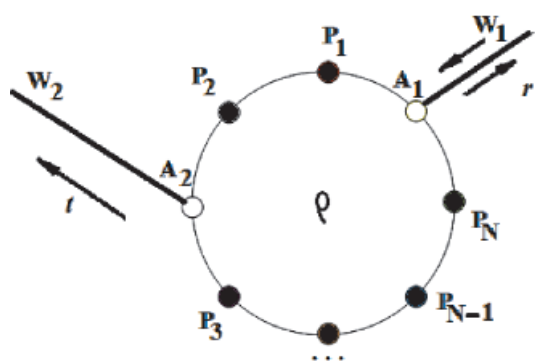


Рис. 2. Кольцо Ааронова – Бома с двумя присоединенными проводниками и примесями на кольце ( $A_i$  – точки соединения проводников с кольцом,  $P_i$  – точки нахождения примесей  $W_j$  – проводники

Добавление к подгруппе операции подстановки, не принадлежащей этой подгруппе, приводит к расширению подгруппы. В программе предусмотрено также графическое представление («визуализация»)

примеси или наномерные «квантовые точки», посвящено много работ. Так, например, в работе [1] рассмотрена система, состоящая из кольца Ааронова – Бома радиуса  $r$  с прикрепленными к нему одномерными проводниками  $W_1$  и  $W_2$  (рис. 2).

Точки контактов между проводниками и кольцом обозначены  $A_1$  и  $A_2$ . Рассмотрен случай, когда на кольце имеется  $N$  короткодействующих рассеивающих центров. Проводники моделируются положительными полуосьми  $x \geq 0$ .

Кольцо помещено в магнитное поле  $B$ , перпендикулярное плоскости кольца. В системе реализуется одномерный режим электронного транспорта и все транспортные характеристики системы определяются единственным коэффициентом прохождения электрона (кондактансом). В работе получены аналитические выражения для коэффициента прохождения и исследована зависимость электронного транспорта от энергии электронов, от величины внешнего магнитного поля и от положения

примесей. В этой задаче представлен частный случай цветного кольца, у которого структура и свойства определены симметрией распределения «нагруженных» точек и ее нарушениями (преобразованиями).

### Проблема контактов в наноструктурной системе и кластерные элементы кольца

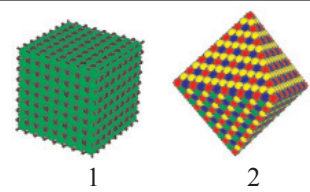
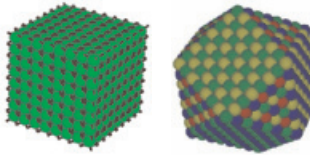
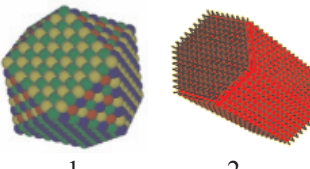
Нарушения транспорта электронов могут существенно сказываться на работе электронных устройств, собранных на наноуровне. Причины, приводящие к нарушению стабильности работы устройств, можно в этом случае классифицировать на «внешние» и «внутренние». Внутренние причины связаны, в первую очередь, с возможностью получения бездефектных проводников и квантовых точек (нанокластеров), а затем с технологией сборки в местах контактов, то есть с такой же проблемой, с которой столкнулась в начале своего развития микроэлектроника (нобелевская лекция Ж.И. Алферова). Действительно, и квантовая точка в кольце, и проводник на наноуровне представляют собой наноструктуры, и каким образом кластер будет контактировать с мифической полуплоскостью проводника, с точки зрения технологии не совсем понятно. И квантовая точка при сборке цветного кольца, и проводник в этом случае представляют собой наноразмерные кластеры, а их геометрия (расположение и координаты атомов в различных плоско-

стях) будет существенно влиять на транспортные свойства электронов.

В любом случае необходим априорный компьютерный эксперимент, определяющий – хотя бы на уровне геометрии, но близкий к реальным условиям – результат взаимодействия наноструктур при их контакте. С этой целью на основе расширения разработанной ранее авторами [5] компьютерной программы создана новая программа, имитирующая процесс сборки реальных (или модельных) нанокластеров определенного состава в рамках одно- или многоцентровой задачи зарождения структур. В многоцентровой задаче предусмотрено три варианта расчета: первый: НП – однокомпонентный со случайной ориентацией центров зарождения в случайные моменты времени начала роста, второй: НП – однокомпонентный с фиксированной ориентацией центров зарождения и третий: НП – многокомпонентный (гетерофазный) со случайной ориентацией центров зарождения в случайные моменты времени.

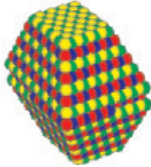
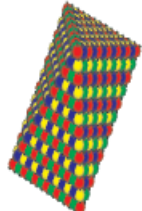
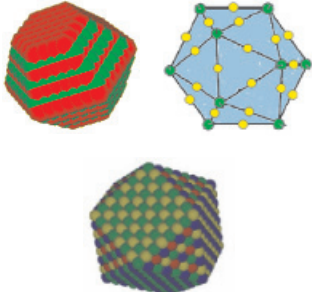
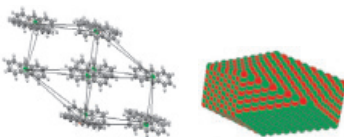
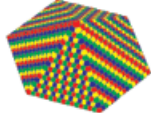
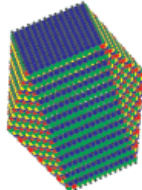
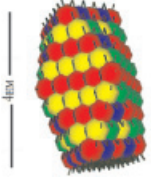

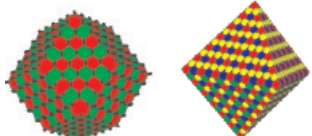
Сложность проектирования конкретных схем и их сборки на технологическом уровне связана с отсутствием сколько-нибудь полного банка структур не только реальных, но и модельных нанокластеров. Результаты применения нами методики моделирования отдельных нанокластеров на основе информации баз данных PCA позволили рассчитать структуры отдельных нанокластеров, которые представлены в табл. 2.

Таблица 2  
Нанокластеры, рассчитанные на основе информации баз данных PCA

№ п/п	Химсостав (формульные единицы); пространственная группа симметрии	Кластерная геометрическая модель	Последовательность чисел заполнения $k$ -й поверхности кластера «магические числа»	Публикация
1	2	3	4	5
1.	Галит (поваренная соль) 1. $(\text{NaCl})_2$ – димер. 2. $(\text{NaCl})$ – диполь пр. гр. $Fm\bar{3}m$		Куб (гексаэдр) $6k^2 + 2$ ; Октаэдр $4k^2 + 2$ (PCA)	[9]
3.	Теллурид свинца $\text{PbTe}$ , $(\text{PbTe})_2$ пр. гр. $Fm\bar{3}m$		Куб (гексаэдр) $6k^2 + 2$ , или кубоокта – эдр $10k^2 + 2$ (PCA.ЭМ)	[3]
	1. Металлическая медь $\text{Cu}$ , $\text{Ag}$ и др. пр. гр. $Fm\bar{3}m$ , 2. Магний $\text{Mg}_2$ пр. гр. $P6(3)m\bar{3}c$		1. Кубооктаэдр $10k^2 + 2$ . 2. Гексагональная призма $18k^2 + 2$ (PCA)	Не опубликовано



Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
	Сера молекулярная S <sub>8</sub> пр.гр. P2/c		«Скошенная» дипирамида (РСА) 14 k <sup>2</sup> – 2	[6]
	Окись алюминия пр. гр. R3c		«Скрученная» тригональная призма (РСА) 4k <sup>2</sup> + 2	[4]
6.	Цинк, магний, кадмий, окись цинка пр.гр. P6(3)mmc;		Либо «скошенная» гексагональная дипирамида (РСА, ЭМ): 1, 12, 44, 96, 170, 264, ... либо икосаэдр либо кубооктаэдр (масс-спектр Mg): 10k <sup>2</sup> + 2.	[3]
7.	Антрацен пр.гр. P2 <sub>1</sub> /a		Вытянутый кубооктаэдр: 10k <sup>2</sup> + 2 (РСА)	[4]
9.	Декакарбамид нитрата кобальта пр. гр. P1.		Искаженная гексагональная дипирамида 6k <sup>2</sup> + 2 (РСА)	[9]
10.	Тетракарбамид нитрата кобальта пр. гр. P 2 <sub>1</sub> /c		4k <sup>2</sup> + 2: 6, 38, 102, .. 8k <sup>2</sup> + 2: 10, 34, 74, .. (РСА)	[9]
11.	Йод молекулярный I <sub>2</sub> пр. гр. B mab		Вытянутый кубооктаэдр 10k <sup>2</sup> + 2 (РСА)	[3]
12.	Индий пр.гр. P4(2)nnm		Вытянутый кубооктаэдр 10k <sup>2</sup> + 2 (РСА)	[3]
	Натрий пр.гр. I m3m		Ромбододекаэдр или октаэдр 12k <sup>2</sup> + 2 (РСА)	[3]

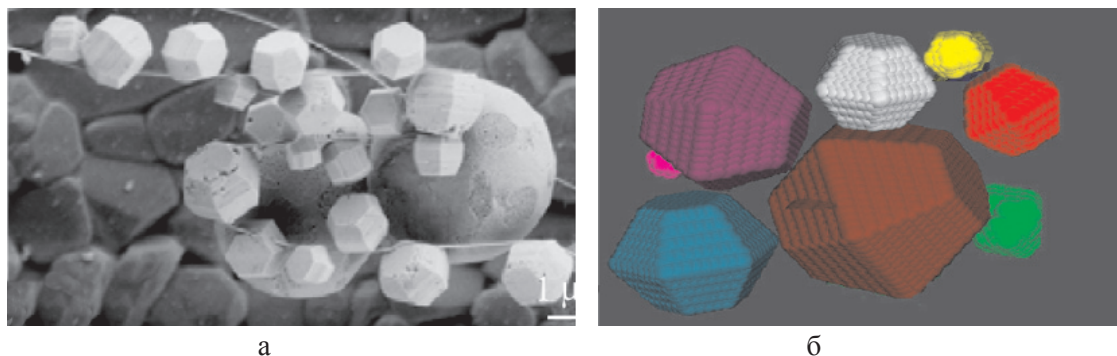


Рис. 3. а – нанокластеры оксида цинка (размерами около 500нм) в электронной микроскопии [Zhong Lin Wang // *J. Phys. Condens. Matter*. 2004, 16, R829-R858.]; б – рассчитанные в программе моделирования многоцентровой задачи зарождения кластеров ZnO (ранее не опубликовано)

К сожалению, прямых экспериментальных доказательств существования нанокластеров, модели которых приведены в табл. 2, пока существует мало. В качестве одного из примеров приведем фотографию реального эксперимента по веществу оксида цинка, полученную методами электронной микроскопии (рис. 3, а) и модельное изображение нанополикристалла (рис. 3, б), полученное по результатам компьютерного эксперимента в программе моделирования многоцентровой задачи зарождения кластеров.

#### Выводы

Внешние причины нарушения работы электронных устройств достаточно подробно рассмотрены нами ранее в работе [3]. Сюда в первую очередь относятся изменения свойств и структуры нанокластеров под влиянием всех видов космического излучения. Исходя из выводов, сделанных в рассмотренной выше теоретической работе [1], следует добавить к выводам, сделанным в статье [3], негативную возможность воздействия сильных магнитных полей на транспорт электронов в нанокластерных системах колец.

Работа поддержана грантом РФФИ № 14-02-97504.

#### Список литературы

1. Кокорева М.А., Маргулис В.А., Пятаев М.А. Резонансы Нано в электронном транспорте через квантовое кольцо с примесями // *Физико-математические науки. Физика*. – 2010. – № 1(13). – С. 109–117.
2. Малеев А.В., Журавлев В.Г., Шутов А.В., Рау В.Г. Программный комплекс для исследования координационных окружений в модели послойного роста графов связности // Патент ВлГУ им Столетовых № 2013617161. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013619399, 03.10. 2013
3. Никитин О.Р., Горшков К.А., Али Аббас Мохсин Али, Рау Т.Ф., Рау В.Г. Наноструктурное исследование превращений в устройствах с радиоактивными нанокластерами // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 5 (5). – С. 964–968.
4. Никитин О.Р., Рау В.Г., Скворцов К.В., Ломтев Л.А.. Органические полупроводники. Антрацен в компьютерном наноскопе // *Известия Института Инженерной Физики. Серпухов*. – 2009. – № 4. (14). – С. 15–20.
5. Рау В.Г., Пархомов Л.Г., Илюхин В.В., Белов Н.В. // *ДАН СССР*. – 1980. – Т.255. – № 4. – С. 859.
6. Рау В.Г., Скворцов К.В., Потехин К.А., Малеев А.В. Геометрический анализ моделей молекулярных нанокластеров серы (S8)х в компьютерном эксперименте. // *Журнал*

«Структурная химия», Новосибирск, Изд. СО РАН, Том 52. – 2011. – № 4. – С. 781–786.

7. Холл М. Комбинаторика. – М.: Мир, 1970. – 424 с.
8. Valery G. Rau, Leonty A. Lomtev and Tamara F. Rau Non-Crystallographic Symmetry in Packing Spaces. // *Symmetry (USA)* – 2013. – № 5. – P. 54–80.
9. Rau V.G., Pugaev A.A., Rau T.F., Maleev A.V. Geometrical Aspect of Solving the Problem of Real Structure Growth on the Model of Alkali Metal Halides of the NaCl Type. // *Crystallography Reports*, 2009, Vol. 54, no. 7. pp. 28–34. ISSN 1063-7745.

#### References

1. Kokoreva M.A., Margulis V.A., Pjataev M.A. Rezonsany Nano v jelektronnom transporte cherez kvantovoe kolco s primesjami // *Fiziko-matematicheskie nauki. Fizika*. 2010 no. 1(13) pp. 109–117.
2. Svidetelstvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM no. 2013619399, 03.10. 2013. Maleev A.V., Zhuravlev V.G., Shutov A.V., Rau V.G. Programmyj kompleks dlja issledovaniya koordinacionnyh okruzenij v modeli poslojnogo rosta grafov svjaznosti // Патент VIGU im Stoletovyh no. 2013617161.
3. Nikitin O.R., Gorshkov K.A., Ali Abbas Mochsin Ali, Rau T.F., Rau V.G. Nanostруктурное issledovanie prevrashhenij v ustrojstvah s radioaktivnymi nanoklasterami // *Fundamentalnye issledovaniya*. 2014. no. 5 (5) pp. 964–968.
4. Nikitin O.R., Rau V.G., Skvorcov K.V., Lomtev L.A.. Organicheskie poluprovodniki. Antracen v kompjuternom nanoskopie // *Izvestija Instituta Inzhenernoj Fiziki. Serpuhov*. 2009 no. 4 (14) pp. 15–20.
5. Rau V.G., Parhomov L.G., Iljuhin V.V., Belov N.V. // *DAN SSSR*. 1980. T. 255. no. 4. pp. 859.
6. Rau V.G., Skvorcov K.V., Potehin K.A., Maleev A.V. Geometricheskij analiz modelej molekulyarnyh nanoklasterov sery (S8)h v kompjuternom jeksperimente // *Zhurnal «Strukturnaja himija»*, Novosibirsk, Izd. SO RAN, T. 52. 2011 no. 4. pp. 781–786.
7. Holl M. Kombinatorika. M.: Mir, 1970 424 p.
8. Valery G. Rau, Leonty A. Lomtev and Tamara F. Rau Non-Crystallographic Symmetry in Packing Spaces // *Symmetry (USA)* 2013 5 pp. 54–80.
9. Rau V.G., Pugaev A.A., Rau T.F., Maleev A.V. Geometrical Aspect of Solving the Problem of Real Structure Growth on the Model of Alkali Metal Halides of the NaCl Type // *Crystallography Reports*, 2009, Vol. 54, no. 7. pp. 28–34. ISSN 1063-7745.

#### Рецензенты:

Полушин П.А., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых», г. Владимир;  
 Легаев В.П., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой приборостроения и информационно-измерительных технологий, ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых», г. Владимир.