

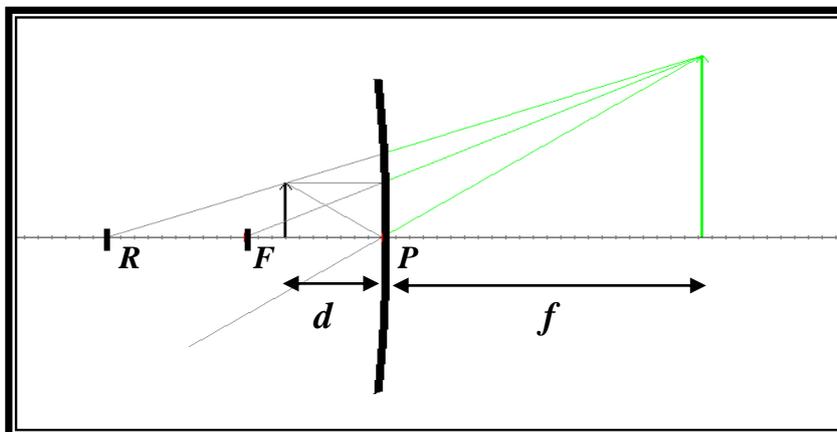
## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА СФЕРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДАМСКОГО ЗЕРКАЛЬЦА

Бехтев Д.А.- студент, Гончарова М.В.- студент, Матвеева Е.В.- студент,  
Рогозин К.И. – к.х.н., доцент.  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

*Вновь говорю Вам:  
«Нельзя объять необъятное».*  
Кузьма Прудков

В любом физическом справочнике можно найти значения для физических свойств материальных тел, которые не могут быть измерены прямо с помощью средств измерения. Например, реальные размеры и массу Солнца. Однако физическая теория позволяет измерить неизмеримое прямо с помощью связей (формул или физических законов) между физическими величинами, которые можно измерить сразу.

Примером такой задачи является поставленный нами эксперимент по измерению радиуса сферической поверхности вогнутого зеркала. Если предмет располагается на расстояниях между фокусом (половины радиуса) и полюсом вогнутого зеркала получается мнимое, прямое и увеличенное изображение.



На реальный

возможный радиус сферической поверхности должны существовать физиологические и физические ограничения. Расстояние наилучшего зрения для человека составляет 25 сантиметров. Это означает, что искомый радиус не может быть меньше чем 0,5 метра.

Формула вогнутого зеркала для данного типа изображения выражается следующим соотношением, где –  $d$  расстояние от объекта до полюса зеркала,  $f$  – расстояние от полюса до изображения, а  $R$  – радиус сферической поверхности.

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{f} = \frac{2}{R}$$

Используя соотношение, в котором –  $\Gamma$  увеличение,  $h$  – размер объекта, а  $H$  – размер изображения, легко получить выражение, связывающее возможное увеличение и радиус сферической поверхности, когда объект располагается на расстоянии наилучшего зрения ( $d=0,25$  м).

$$\Gamma = \frac{f}{d} = \frac{H}{h}$$



Это соотношение имеет вид. Данную функцию легко проанализировать, построив ее график, который имеет следующий вид.

$$\Gamma = \frac{1}{1 - \frac{0,5}{R}}$$

Представляется разумным, что искомый радиус должен находиться в интервале от 0,7 до 1,5 метра.

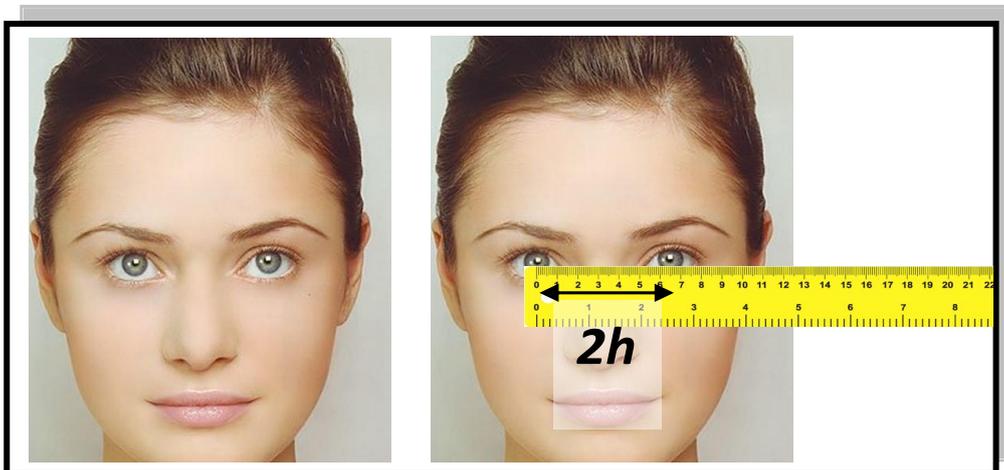
Нами разработана методика по определению радиуса сферического

вогнутого зеркала.

Используемая расчетная формула имеет следующий вид.

$$R_i = \frac{2d_i H_i}{H_i - \tilde{h}}$$

Измерения необходимо проводить в паре. Перед началом эксперимента определяется размер предмета, в качестве которого берется расстояния от середины переносицы первого участника эксперимента до середины зрачка.



Затем производится сам эксперимент, состоящий из серии пяти параллельных измерений, в которых второй участник эксперимента измеряет расстояние от глаза первого до зеркала, в то время как первый участник измеряет размер изображения на зеркале. Результаты измерений вносятся в таблицу, после чего производится расчет, как самого радиуса, так и погрешности его измерения.

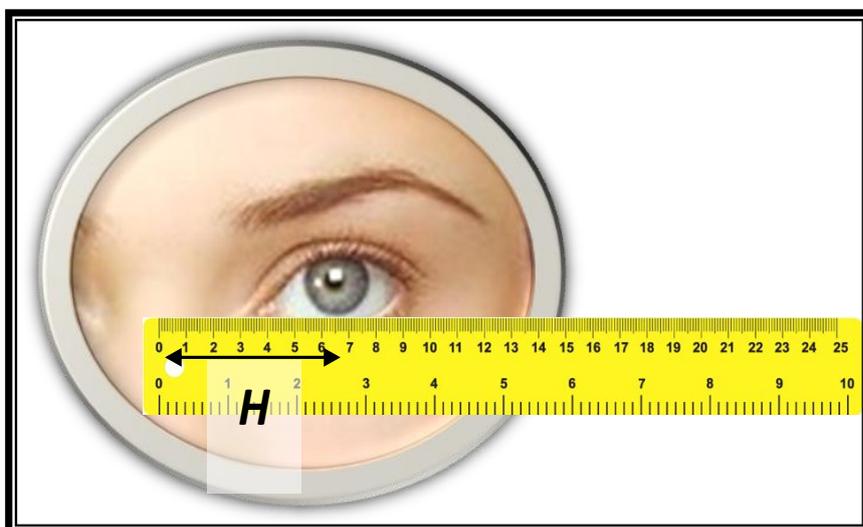
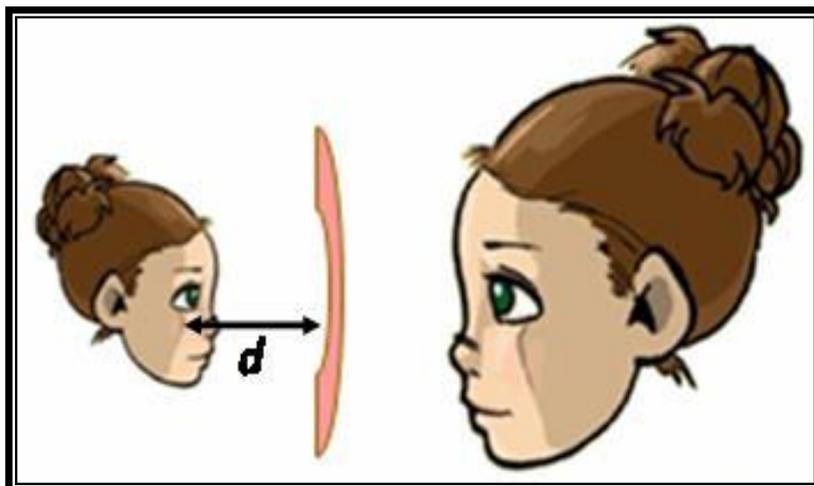


Таблица «Результаты измерений»

<i>№ измерения</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>Средние значения</i>
$h \cdot 10^{-3}$ (м)	32	$\begin{matrix} 3 \\ 1 \end{matrix}$	32	$\begin{matrix} 3 \\ 2 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 3 \\ 2 \end{matrix}$	31,8
$d \cdot 10^{-2}$ (м)	15	$\begin{matrix} 2 \\ 0 \end{matrix}$	25	$\begin{matrix} 3 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 3 \\ 5 \end{matrix}$	
$H \cdot 10^{-3}$ (м)	40	$\begin{matrix} 4 \\ 3 \end{matrix}$	47	$\begin{matrix} 5 \\ 3 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 6 \\ 0 \end{matrix}$	
$R$ (м)	$\begin{matrix} 1, \\ 46 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 1, \\ 54 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 1, \\ 55 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 1 \\ ,50 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 1 \\ ,49 \end{matrix}$	1,51

Полученный радиус сферической поверхности вогнутого зеркала в наших опытах составил  $R=1,51 \pm 0,04$  метра.

Данный эксперимент может быть предложен в качестве лабораторной работы, которая будет выполняться в домашних условиях студентами заочной формы обучения или очной формы в качестве дополнительного творческого задания. В приложении к данной лабораторной работе создана автоматизированная электронная панель, позволяющая после ввода экспериментальных данных производить расчет измеряемых физических параметров с одновременной презентацией графических зависимостей. К данной работе подготовлены методические указания, которые размещены на личной странице доцента Рогозина Константина Ивановича на сайте кафедры Экспериментальной физики Алтайского государственного технического университета.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТРОЙНЫХ СТЫКОВ ГРАНИЦ ЗЕРЕН В ОЦК И ГЦК МЕТАЛЛАХ

Богданов А.С. – студент, Демьянов Б.Ф. – д.ф.-м.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Одной из главных задач, стоящих перед металлургической и металлообрабатывающей промышленностью, является создание и широкое внедрение новых металлических материалов с повышенными характеристиками, разработка высокоэффективных технологических процессов металлообработки. Решение этих задач возможно только при целенаправленном управлении свойствами металлов на основе знаний тонкой структуры [1, 2]. Большинство металлов и сплавов в промышленности используется в виде поликристаллов. В процессе кристаллизации из расплава исходные монокристаллы срастаются друг с другом и приобретают ограниченную форму. Их называют зёрнами. Граница соединения соседних зёрен называется границей зёрен. Каждое зерно имеет свою ориентировку кристаллической решетки, которая отличается от ориентировки соседних зёрен. Размер зерна металла влияет на его механические свойства. Многие свойства, например, вязкость и пластичность, значительно изменяются при изменении размера зёрен [3, 4].

Целью данной работы является измерение диапазона вариаций углов между границами зёрен в тройных стыках и оценка распределения зернограницной энергии ансамбля границ зёрен в поликристаллическом сплаве СтЗ и металле Cu.

Образцы были подвергнуты длительному отжигу в вакууме, необходимому для того, чтобы силы поверхностного натяжения в стыках зёрен достигли равновесия. Металлографические шлифы образцов были подготовлены по стандартной методике,

включающей механическую полировку с применением абразивной пасты и химического травления [5].

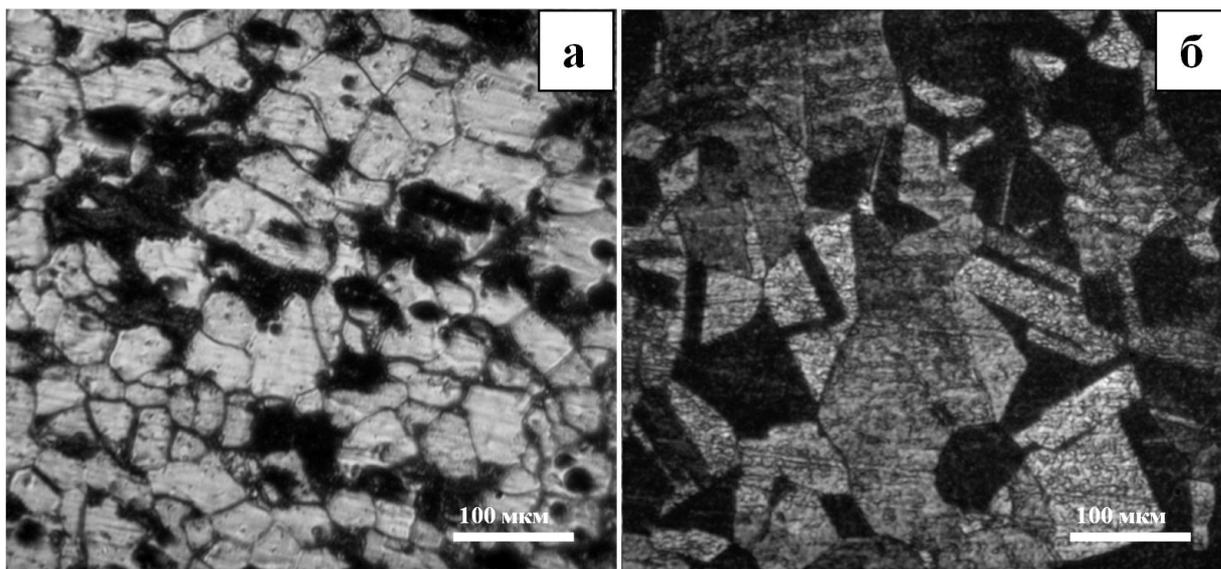


Рис.1. Микроструктура образцов Ст3 (а) и Сu (б)

Микроструктура образцов Ст3 и Сu приведена на рис.1. Ст3 имеет двухфазную структуру, состоящую из феррита (светлые зерна) и перлита (темные зерна). Измерения на Ст3 проводились только на стыках ферритных зерен. В Сu присутствует большое количество двойников отжига.

Известно, что границы зерен имеют различную энергию [6], величина которой напрямую влияет на угловые соотношения между границами зерен, образующими тройной стык. Поэтому измерения углов в тройном стыке могут позволить оценить вариацию энергии границ зерен в поликристалле. В настоящей работе были измерены углы около 50 тройных стыков в Ст3 и Сu. Гистограммы, построенные по этим измерениям, приведены на рис.2 и 3.

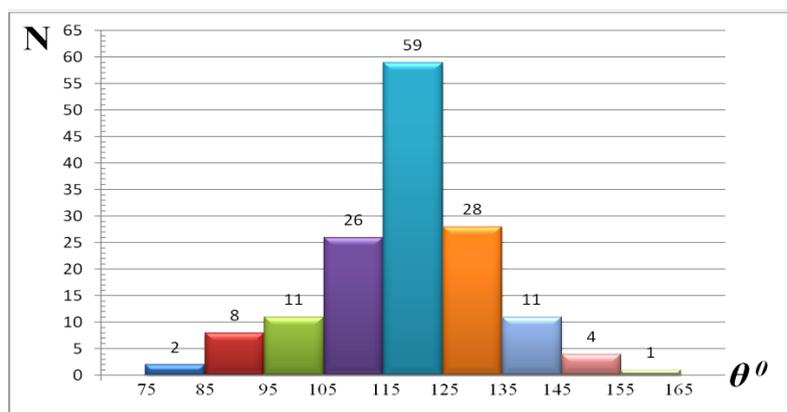
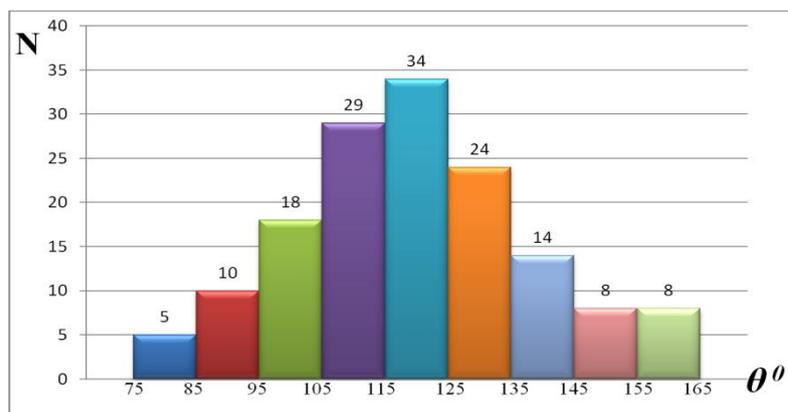


Рис.2. Гистограмма статистического распределения углов в тройных стыках Ст3



**Рис.3.** Гистограмма статистического распределения углов в тройных стыках Cu

Анализ гистограмм показал, что максимум распределения приходится на угол  $120^\circ$ . Это означает, что энергии границ зерен, образующих тройной стык, в большинстве случаев равны. Разброс значений углов в СтЗ меньше, чем в Cu, следовательно, в металлах с оцк решеткой вариация границ зерен по энергии больше, чем в гцк металлах.

Полученные результаты являются оценочными, т.к. усреднение проведено по небольшому количеству тройных стыков. Поэтому необходимы дальнейшие исследования тонкой структуры, как самих границ зерен, так и их стыков.

### Список литературы

1. Штремель М.А. Прочность сплавов. Ч.1. Дефекты решетки. М.: Металлургия, 1982. 280 с.
2. Фридель Ж. Дислокации. М.: Мир, 1967. 643 с.
3. Кайбышев О.А., Валиев Р.З. Границы зерен и свойства металлов. М.: Металлургия, 1987. 212 с.
4. Хоникомб Р.В. Пластическая деформация металлов. М.: Мир, 1972. 408 с.
5. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. М.: Металлургия, 1976. 269 с.
6. Tschopp M.A., McDowell D.L. Asymmetric tilt grain boundary structure and energy in copper and aluminium // Philosophical Magazine. 2007. V.87. No.25. P. 3871–3892.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНОГО МОМЕНТА МОБИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Бузынюк Д.А. - студент, Карпеева В.И. - студент, Костарев П.В. – студент,  
Рогозин К.И. – к.х.н., доцент

Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Современный человек окружил себя большим числом технических устройств (гаджетов), обладающих разнообразными физическими свойствами. Чтобы оценить влияние этих свойств на здоровье человека, необходимо иметь возможность их измерить. Мы считаем, безопасное использование гаджетов предполагает, что значения измеряемых свойств должны быть близки к естественным, т.е. к тем условиям, в которых существуют в обычной жизни на уровне фона.

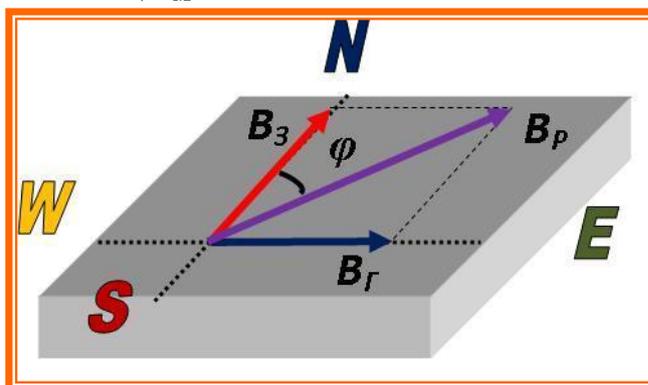
Мобильные телефоны и коммуникаторы стали неотъемлемой частью нашей жизни и являются источниками, как электромагнитного излучения, так и магнитного поля, которое может быть измерено с помощью физических методов. Целью нашей работы было определение значений магнитного момента мобильного устройства и оценка зависимости порождаемого им поля от расстояния.

Из классической теории электромагнетизма, на основе закона Био-Савара-Лапласа, можно получить связь между магнитной индукцией и магнитным моментом, где  $\mathbf{B}$  – магнитное поле Земли,

$$P_M = \frac{2\pi Bx^3}{\mu\mu_0}$$

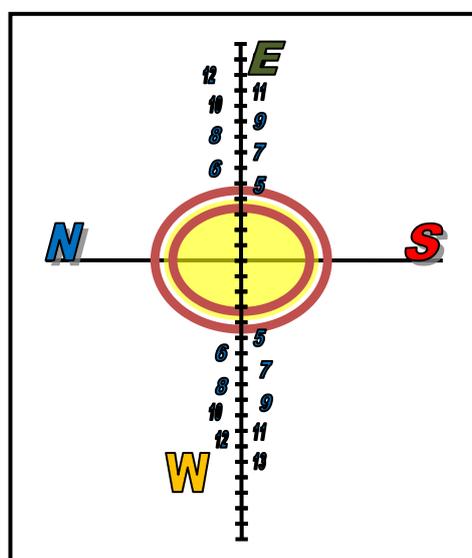
$\mu$  – магнитная проницаемость,  $\mu_0$  – магнитная постоянная,  $P_M$  – магнитный момент.

Магнитная индукция мобильного устройства может быть оценена с помощью метода тангенс – буссоли, с использованием любого компаса, а в качестве эталона берется горизонтальная составляющая магнитного поля Земли  $B_3=20\text{мкТл}$ . По отклонению стрелки компаса на угол  $\varphi$ , используя функцию тангенса, можно найти значение магнитного поля, порождаемого мобильным устройством  $B_r$ .



Компас помещается в определенное место в заранее созданном «поле» эксперимента, которое распечатывается на листе бумаге формата А4, который ориентируется так, чтобы конец стрелки указывающий на север был направлен на  $0^0$ .

Опытным путем, поднося мобильное устройство к компасу, определяется локализация источника магнитного поля, которое маркируется. После чего производятся измерения, заключающиеся в том, что дважды (с двух сторон в направлениях запад и восток) определяется угол отклонения стрелки компаса при помещении гаджета на выбранном расстоянии от центра магнитной стрелки.

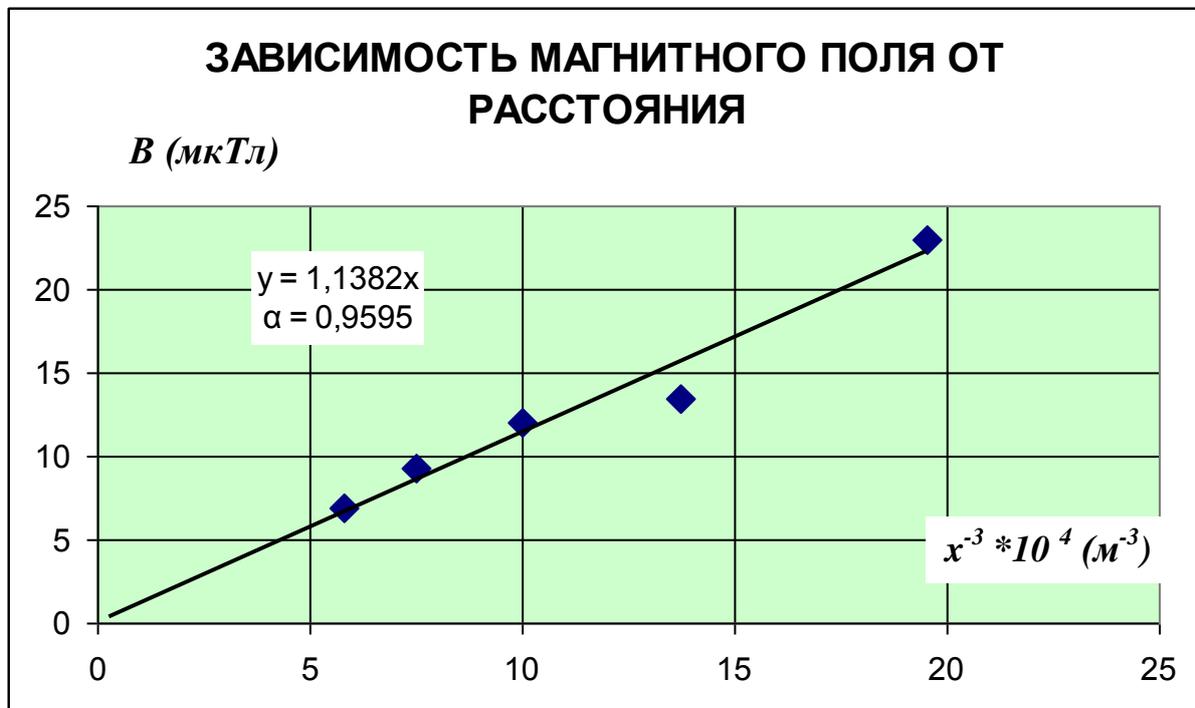


Подобным образом проводят не менее пяти параллельных серий измерений, при различных значениях положения мобильного устройства относительно центра магнитной стрелки, результаты которых вносятся в таблицу.

Таблица «Результаты измерений»

	$\varphi_1$ (град)	$\varphi_2$ (град)	$(\varphi_1 + \varphi_2)/2$ (град)	$x * 10^{-2}$ (м)	$x^{-3} * 10^4$ (м <sup>-3</sup> )	$B$ (мкТл)
	50	48	49	8	19,53	23,00
	36	32	34	9	13,71	13,49
	32	30	31	10	10,00	12,02
	24	26	25	11	7,513	9,326
	20	18	19	12	5,787	6,887

По данным результатам, с помощью методов регрессионного анализа, строится линия тренда, которая экстраполируется до пересечения с осью абсцисс, и определяется коэффициент  $k$  в линейной зависимости типа  $y=kx$ , полученной из теоретических соотношений между физическими величинами. Дисперсионный анализ позволяет провести определение надежности аппроксимации ( $\alpha$ ) в виде полученной регрессионной прямой экспериментальным данным. Данные действия проводятся с использованием программы *Microsoft Excell*.



В качестве мобильного устройства, был взят *Sony-Ericsson X8*. Используя полученный коэффициент регрессии  $k=1,1382$ , который одновременно является тангенсом наклона прямой на графике, было получено значение магнитного момента мобильного устройства -  $P_M=569,1 \pm 22,8 \text{ мкА} \cdot \text{м}^2$ .

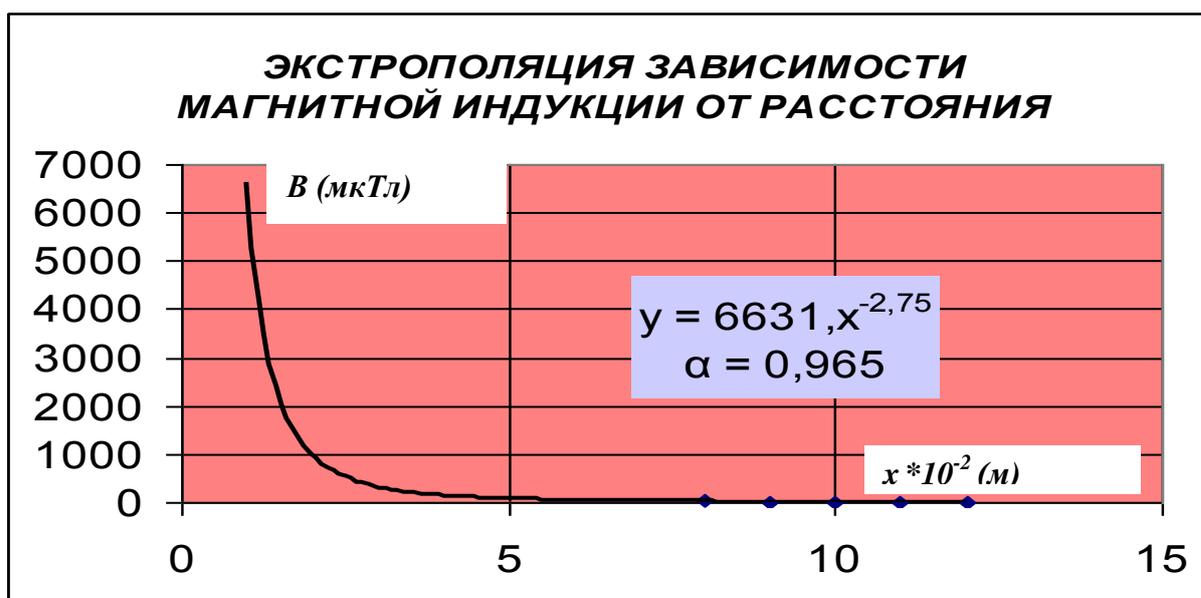
Важным моментом, подтверждающим достоверность, как полученных результатов, так и используемой в эксперименте физической модели, является определение степени, в которую нужно возвести значение  $X$  (положение точки поля) в конечном выражении. Исходя из классического представления закона Био – Савара – Лапласа, для магнитного поля проводника с током или движущегося заряда это значение должно возводиться в степень  $-2$ . Однако, в выражении используемом в нашем эксперименте это значение возводилось в другую степень -  $-3$ .

Полученные результаты после их обработки с использованием методов регрессионного и дисперсионного анализов однозначно показывают, что эта степень  $-3$ . Это следует из линейного характера зависимости магнитной индукции от  $x^{-3}$  (приведенной нами выше) и также значений коэффициентов регрессии типа  $y=ax^b$ , в которой коэффициент  $b$  с надежностью  $0,97$  принимает значение близкое к  $-3$ .

$$B = \frac{\mu\mu_0}{2\pi x^3} P_M$$



При дальнейшей экстраполяции, полученной графической зависимости, до расстояний от источника магнитного поля до реальных используемых владельцами сотового телефона можно увидеть, что естественный магнитный фон в этих точках будет превышать в сотни раз.



Данный эксперимент может быть предложен в качестве лабораторной работы, которая будет выполняться в домашних условиях студентами заочной формы обучения или очной формы, в качестве дополнительного творческого задания. В приложении к данной лабораторной работе создана автоматизированная электронная панель, позволяющая после ввода экспериментальных данных производить расчет измеряемых физических параметров с одновременной презентацией графических зависимостей. К данной работе подготовлены методические указания, которые размещены на личной странице доцента Rogozina Константина Ивановича на сайте кафедры Экспериментальной физики Алтайского государственного технического университета.

# ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Ватулина Е.А. - студент

Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Радиация играет огромную роль в развитии цивилизации на данном историческом этапе. Благодаря явлению радиоактивности был совершен существенный прорыв в области медицины и в различных отраслях промышленности, включая энергетику. Но одновременно с этим стали всё отчетливее проявляться негативные стороны свойств радиоактивных элементов: выяснилось, что воздействие радиационного излучения на организм может иметь трагические последствия. Подобный факт не мог пройти мимо внимания общественности. И чем больше становилось известно о действии радиации на человеческий организм и окружающую среду, тем противоречивее становились мнения о том, насколько большую роль должна играть радиация в различных сферах человеческой деятельности.

Отсутствие достоверной информации вызывает неадекватное восприятие данной проблемы. Газетные истории о шестиногих ягнятах и двухголовых младенцах сеют панику в широких кругах. Проблема радиационного загрязнения стала одной из наиболее актуальных. Поэтому необходимо прояснить обстановку и найти верный подход. Радиоактивность следует рассматривать как неотъемлемую часть нашей жизни, но без знания закономерностей процессов, связанных с радиационным излучением, невозможно реально оценить ситуацию.

За годы использования атомной энергии была создана надежная и эффективная система обеспечения ядерной и радиационной безопасности.

В Алтайском регионе наибольшему радиоактивному загрязнению подвергся Алтайский край. Влияние Семипалатинского полигона специальная комиссия Совета Министров РСФСР подтвердила влияние испытаний, проводившихся на полигоне в период с 1949 по 1963 г.г., как одного из факторов формирования напряженной экологической ситуации в крае. Особенно большое воздействие оказал первый ядерный взрыв в августе 1949 года. Этот взрыв был малоконтролируемым по вполне понятным причинам. Он был первым и, по мнению ученых, оказал основное влияние на население Алтайского края. Ось следа взрыва 1949 г. на юго-западной границе Алтайского края прошла между населенными пунктами Локоть и Веселоярск, а далее — севернее Курья, южнее Усть-Калманка, севернее Бийска и Солтона.

В данной работе поставлена задача исследовать радиационный фон в городе Барнауле.

При исследовании радиационного фона важную роль играют приборы и методы исследования радиационного излучения.

## Методы измерения

Для обнаружения и измерения ионизирующих излучений используют следующие методы: фотографический, сцинтилляционный, химический и ионизационный.

Фотографический метод основан на степени почернения фотоэмульсии. Под воздействием ионизирующих излучений молекулы бромистого серебра, содержащегося в фотоэмульсии, распадаются на серебро и бром. При этом образуются мельчайшие кристаллики серебра, которые и вызывают почернение фотопленки при ее проявлении. Плотность почернения пропорциональна поглощенной энергии излучения.

Сцинтилляционный метод. Некоторые вещества (сернистый цинк, йодистый натрий) под воздействием ионизирующих излучений светятся. Количество вспышек пропорционально мощности дозы излучения и регистрируется с помощью специальных приборов — фотоэлектронных умножителей.

Химический метод. Некоторые химические вещества под воздействием ионизирующих излучений меняют свою структуру. Так, хлороформ в воде при облучении разлагается с образованием соляной кислоты, которая дает цветную реакцию с красителем, добавленным к хлороформу.

Ионизационный метод. Под воздействием излучений в изолированном объеме происходит ионизация газа: электрически нейтральные атомы (молекулы) газа разделяются на положительные и отрицательные ионы. Если в этот объем поместить два электрода, к которым приложено постоянное напряжение, то между электродами создается электрическое поле. При наличии электрического поля в ионизированном газе возникает направленное движение заряженных частиц, т.е. через газ проходит электрический ток, называемый ионизационным. Измеряя ионизационный ток, можно судить об интенсивности ионизирующих излучений.

#### Дозиметры

Дозиметры - это приборы, которые контролируют индивидуальную дозу внешнего облучения. Наиболее часто используются следующие два вида дозиметров: термолюминесцентные дозиметры (ТЛД) и пленочные дозиметры. Оба устройства измеряют дозу, накопленную за определенный период времени.

В одном из наиболее широко используемых типа термолюминесцентного дозиметра используется кристалл фторида лития.

Чувствительность некоторых ТЛД достаточно высока, что позволяет измерять дозы бета- и гамма-излучения в несколько десятков микрорад. Некоторые ТЛД могут также обнаруживать нейтроны.

Пленочные дозиметры используются для контроля индивидуальных доз в результате воздействия бета- и гамма-излучения. Чтобы оценить одновременно различные дозы облучения, полоску пленки покрывают поглотителями. Меняя тип и толщину поглотителя, можно определить дозы облучения кожи, хрусталика глаз, а также дозу облучения, полученную всем телом. Пленочные дозиметры выглядят как значки, и их можно прикреплять на карман или пояс.

Пленочные дозиметры и ТЛД измеряют дозу, полученную работником за длительный промежуток времени, тогда как карманные дозиметры измеряют дозу, полученную работником за один день.

#### Детекторы бета- и гамма-излучения

Детекторы излучения - это устройства, используемые для обнаружения бета- и гамма-излучения в воздухе. Они отличаются от дозиметров тем, что могут измерять излучение напрямую в реальном времени. Большинство детекторов излучения регистрируют эффект воздействия излучения на молекулы газа. В детекторе Гейгера-Мюллера, более широко известном под названием счетчик Гейгера, ионизация приводит к постоянной выработке электрического импульса, независимо от количества энергии, передаваемой в детектор, и от природы ионизирующего излучения.

Счетчик Гейгера может насчитывать бета-частицы и гамма-лучи. Весь прибор фактически состоит из двух компонент: трубки Гейгера-Мюллера (детектор, в котором происходит ионизация) и электронного усилителя (который активизирует устройство, считывающее количество ионизации).

Сцинтилляционные счетчики реагируют на энергию самого падающего излучения. Сцинтилляционный счетчик сделан из материала, который светится (сцинтиллирует) при попадании на него излучения, и усилителя света. Когда бета-частица замедляется в сцинтилляторе, небольшая часть энергии, которую она передает атому в сцинтилляторе, преобразуется в свет. Когда гамма-лучи проходят через сцинтиллятор, они отрывают электроны, которые в свою очередь ведут себя как бета-частицы и преобразуют часть своей энергии в свет.

#### Детекторы альфа-излучения

Обнаружение альфа-частиц - это технически более сложная задача, чем обнаружение бета-частиц и гамма-лучей. Подобно бета- и гамма-излучению, альфа-частицы могут порождать ионизацию, но их проникающая способность ниже.

В принципе, альфа-частицы можно обнаружить с помощью простой трубки ГМ. Счетчики ГМ, снабженные детектором, выполненным в виде тонкого окошка из майлара

(например, плоский датчик ГМ), могут быть использованы для обнаружения как альфа-, так и гамма- и бета-излучения. Однако лучше всего альфа-частицы замеряются так называемыми газопоточными пропорциональными счетчиками.

Альфа-счетчики используются, например, в местах, где люди работают с плутонием (альфа-излучатель).

#### Результаты измерений

В результате измерений на счетчике Гейгера-Мюллера радиационного фона города Барнаула с 2 апреля 2012 до 6 апреля 2012 мы получили данные:

Дата	Число импульсов за 300с		
2 02.04.201	15	144	1478
2 03.04.201	86	9	1458
2 04.04.201	14	153	1556
2 05.04.201	80	2	1399
2 06.04.201	15	137	1354
2 07.04.201	77	5	
2 08.04.201	16	137	
2 09.04.201	34	0	
2 10.04.201	13	149	
2 11.04.201	92	5	

Радиоактивность измеряется количеством распадающихся атомов в единицу времени (секунду). За единицу радиоактивности принят Беккерель (Бк). 1Бк = 1 расп/с. Раньше единицей активности был Кюри (Ки). 1 Ки=3,7\*10<sup>10</sup>Бк.

Однако действие излучения на организм определяется энергией, переданной излучением веществу (дозой излучения). Когда величину дозы измеряют количеством ионов, образованных в воздухе ионизирующим излучением, ее измеряют количеством рентген в секунду (Р/с) или микроРентген в час (мкр/час).

При определении дозы излучения, которую получает организм (поглощенной дозы), за единицу принимают Грэй (Гр). А если проводится учет биологической эффективности действия различного излучения (учет качества излучения), то используют эквивалентную дозу. За единицу эквивалентной дозы принимают Зиверт (Зв).

При расчете дозы от гамма-излучения, с которым обычно встречается человек, можно примерно принять: 1 Зв= 100 Р.

Смертельная доза облучения для человека начинается примерно с величины 6 Зв, а допустимая доза облучения за год составляет 1 - 5 мЗв.

#### Заключение

Радионуклиды можно измерять в воздухе, воде, растительности и почве с использованием приборов, описанных выше, в сочетании со станциями мониторинга состояния атмосферы, отбором проб воды и лабораторными анализами, отбором образцов почвы, а также другим оборудованием и методами.

Радиоактивность в жидкостях измеряется с помощью жидкостного сцинтилляционного счетчика.

Измерение концентрации радионуклида, являющегося источником гамма-излучения, в почве может быть выполнено в полевых условиях с использованием простого миниатюрного счетчика Гейгера. Однако для обнаружения конкретных альфа- или бета-излучающих радионуклидов образцы почвы анализируются с помощью сцинтиллятора или газопоточного пропорционального счетчика и, как правило, в лабораторных условиях.

Важно, чтобы радиационный контроль проводился точно и достаточно детально. Например, пленочные портативные устройства и ТЛД, когда они не используются, должны храниться соответствующим образом, чтобы они не загрязнились в промежутках между использованием. Кроме того, там, где существует опасность внутреннего облучения,

необходимо достаточно часто проводить мониторинг за состоянием здоровья работников, для того чтобы точно определить внутреннее содержание радионуклидов у них в организме.

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРОЙНЫХ СТЫКОВ ЗЕРЕН МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Дмитриенко Д.В. – аспирант, Полетаев Г.М. – д.ф.-м.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Тройной стык зерен представляет собой линейный дефект, вдоль которого сопрягаются три различно ориентированных зерна или три зернограничные поверхности. Взаимные углы, под которыми располагаются границы зерен, определяются, как правило, энергией границ и их относительным натяжением, а также различными внешними воздействиями [1]. Несмотря на то, что тройные стыки наряду с границами зерен являются основными дефектами поликристаллов, интерес к их изучению возник сравнительно недавно. Вместе с тем, имеющиеся в настоящее время данные указывают на различие свойств тройных стыков и составляющих их границ зерен. Например, известно, что диффузия вдоль тройных стыков протекает интенсивнее, чем вдоль границ [2, 3]. Тройные стыки оказывают влияние и на механические свойства материалов: прочность, пластичность и др. [2]. Однако изучение структуры и процессов, происходящих вблизи тройных стыков, на атомном уровне находится на начальном этапе. В настоящее время остается много вопросов, касающихся как структуры и структурно-энергетических параметров тройных стыков, так и кинетики процессов, происходящих с их участием.

В настоящее время компьютерное моделирование наряду с реальным экспериментом и теорией выделилось в третье направление в физике конденсированного состояния. В последнее время растет число публикаций в мире по применению методов компьютерного моделирования при решении фундаментальных проблем физики конденсированного состояния и вопросов, связанных с проблемами создания новых материалов и наноматериалов. В последние несколько лет в мире резко возросло число публикаций, посвященных нанотехнологиям, в том числе наноструктурам из металлов и сплавов. Во многих ситуациях только на основе компьютерного моделирования может быть развита наиболее полная теория, позволяющая решать проблемы создания, управления свойствами и структурой нанообъектов и наноструктур.

Настоящая работа посвящена проблеме моделирования методом молекулярной динамики тройных стыков зерен в ГЦК металлах Ni, Cu, Al.

Метод молекулярной динамики, по сравнению с другими методами компьютерного моделирования – молекулярной статистики и стохастическими методами, обладает важными преимуществами. Он позволяет решать задачи, касающиеся проблем структурно-энергетических трансформаций, как в кристаллических, так и в некристаллических материалах, деформации и аморфизации атомных систем в условиях температурно-силовых воздействий. Метод молекулярной динамики хорошо зарекомендовал себя при проверке выводов различных теорий, в особенности теорий жидкостей и аморфных фаз [4]. Кроме того, данный метод позволяет рассчитать любые свойства системы, как термодинамические (например, энергию, давление, энтропию), так и кинетические (коэффициенты диффузии, частоты колебаний атомов), причем в данном методе имеется возможность соизмерять динамику исследуемых процессов с реальным временем. Главным недостатком метода, по сравнению с другими, являются большие затраты машинного времени, требуемые для выполнения расчетов. В методе молекулярной динамики временная эволюция системы взаимодействующих атомов или частиц отслеживается интегрированием их уравнений движения. Большинство молекулярно-динамических расчетов выполнены с использованием классической механики Ньютона.

В настоящей работе тройной стык зерен создавался в центре расчетного блока путем сопряжения трех зерен, разориентированных относительно друг друга с помощью поворота

вокруг оси параллельной линии тройного стыка. Рассматривались две оси разориентации:  $\langle 111 \rangle$  и  $\langle 100 \rangle$ . Таким образом, границы зерен, сходящиеся в тройном стыке, являлись границами наклона.

При построении расчетного блока сначала отдельно создавались три кристалла в форме параллелепипеда. Затем они поворачивались на заданный для каждого зерна угол вокруг оси  $\langle 111 \rangle$  или  $\langle 100 \rangle$ . Следующим этапом являлась вырезка сегмента каждого зерна в соответствии также с заданными углами между границами зерен в стыке. После этого проводилось сопряжение зерен, при котором удалялись атомы, находящиеся на расстоянии менее  $0,5 \text{ \AA}$ . Заключительным этапом являлась вырезка конечного расчетного блока в форме цилиндра. Количество атомов в расчетном блоке составляло около 20000. Пример получающегося в результате вышеописанных процедур расчетного блока приведен на рис.1.

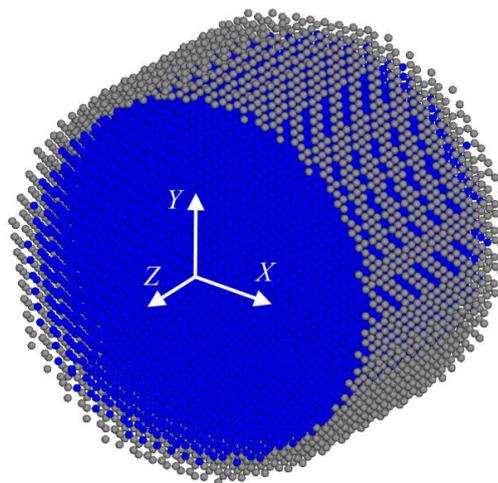


Рис.1. Расчетный блок, содержащий тройной стык зерен. Атомам, окрашенным в серый цвет, в процессе компьютерного эксперимента двигаться запрещается (жесткие граничные условия). Вдоль оси Z – периодические граничные условия.

На границы расчетного блока вдоль оси наклона всех зерен, т.е. и вдоль линии тройного стыка, налагались периодические граничные условия. На остальные границы, на торцы цилиндра, - жесткие условия (на рис.1 жестко закрепленные атомы показаны серым цветом).

Для приведения структуры расчетного блока в равновесное состояние (в данных условиях) проводилась динамическая релаксация структуры. В результате релаксации температура расчетного блока повышалась, поэтому после ее завершения расчетный блок охлаждался до 0 К. Шаг интегрирования по времени в методе молекулярной динамики варьировался от 5 до 10 фс. Взаимодействия атомов металла друг с другом описывались многочастичными потенциалами Клери-Розато [5]. Потенциальная энергия  $i$ -го атома в этом случае находится с помощью выражения

$$U_i = \sum_j A \exp\left(-p\left(\frac{r_{ij}}{r_0} - 1\right)\right) - \sqrt{\sum_j \xi^2 \exp\left(-2q\left(\frac{r_{ij}}{r_0} - 1\right)\right)}$$

Здесь  $A$ ,  $p$ ,  $q$ ,  $\xi$ ,  $r_0$  – параметры потенциала;  $r_{ij}$  – расстояние между  $i$ -м и  $j$ -м атомами. Параметры потенциалов Клери-Розато были взяты из работы [5].

В процессе структурной релаксации положение тройного стыка, а также границ зерен, могло измениться. На рис.2 (а) изображен пример расчетного блока, содержащего три зерна, повернутых вокруг оси  $\langle 111 \rangle$  на углы  $10^\circ$ ,  $20^\circ$  и  $30^\circ$ . В таком случае угол разориентации между зернами 1 и 3  $20^\circ$  (рис.2а), 1 и 2 –  $10^\circ$ , 2 и 3 –  $10^\circ$ . То есть границу 1-3 можно считать большеугловой, а 1-2 и 2-3 – малоугловыми.

Изначально углы между границами зерен в стыке задавались  $120^\circ$ , но в процессе релаксации, как видно из рис.2 (б), тройной стык сместился в область 2 зерна.

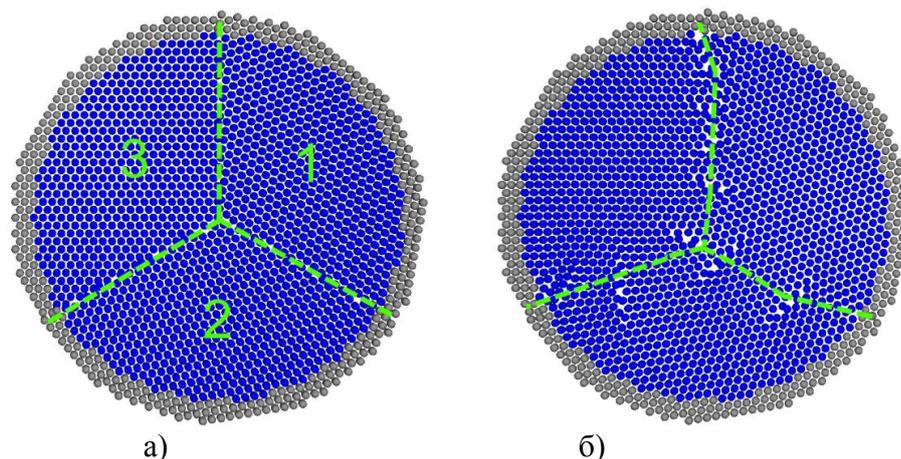


Рис.2. Положение тройного стыка и границ зерен до (а) и после (б) структурной релаксации.

Смещение тройного стыка в процессе релаксации вызвано различием углов разориентации зерен. Энергия и, соответственно, натяжение границ зерен зависит от угла разориентации. Кроме того, она, по всей видимости, зависит и от ориентации границы в зерне. Отличие натяжения границ приводит к неравенству углов между границами в стыке. В случае равенства натяжений зерен, которое имеет место, как правило, для большеугловых границ и границ с одинаковым углом разориентации, следует ожидать и равенства  $120^\circ$  углов между границами в стыке.

Созданная молекулярно-динамическая модель тройных стыков зерен, таким образом, позволяет на атомном уровне исследовать не только структуру вблизи тройных стыков, но и динамику атомной структуры при различных процессах, например трансформацию структуры при миграции стыка.

### Список литературы

1. Штремель М.А. Прочность сплавов. Ч 1. Дефекты решетки. М.: Металлургия, 1982. - 280 с.
2. Протасова С.Г., Сурсаева В.Г., Швиндлерман Л.С. Исследование движения индивидуальных тройных стыков в алюминии // Физика твердого тела. - 2003. - Т.45, №8. - С. 1402.
3. Frolov T., Mishin Y. Molecular dynamics modeling of self-diffusion along a triple junction // Physical Review B. - 2009. - V.79. - P. 174110.
4. Haile M.J. Molecular dynamics simulation - elementary methods. - N.Y.: Wiley interscience, 1992. - 386 p.
5. Cleri F., Rosato V. Tight-binding potentials for transition metals and alloys // Physical Review B. - 1993. - V.48, №1. - P. 22.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Зюзина Ю.И. – студент, Полетаев Г.М. – д.ф.-м.н., профессор

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Металлические наночастицы используются в различных областях нанотехнологий, например, в качестве элементов микроэлектронных устройств, накопителей энергии, носителей информации, для катализа некоторых химических реакций. При этом к частицам предъявляются строгие требования относительно их размера, формы, структуры, степени дефектности и т.д., поскольку эти характеристики существенно влияют на физические и химические свойства как самих частиц, так и состоящих из них объемных материалов. В связи с этим возникает необходимость исследования влияния различных факторов на структуру и свойства наночастиц. Экспериментальное исследование свойств отдельных наночастиц в настоящее время представляет определенную трудность, в этом случае одним из наиболее эффективных решений данной проблемы является использование метода компьютерного моделирования. Компьютерное моделирование наряду с реальным экспериментом и теорией в последнее время выделилось в третье направление в физике конденсированного состояния. Во многих ситуациях только на основе компьютерного моделирования может быть развита наиболее полная теория, позволяющая решать проблемы создания, управления свойствами и структурой нанообъектов и наноструктур.

Настоящая работа посвящена исследованию плавления наночастиц Ag, Au, Al методом молекулярной динамики. Метод молекулярной динамики, по сравнению с другими методами компьютерного моделирования – молекулярной статистики и стохастическими методами, обладает важными преимуществами. Он позволяет решать задачи, касающиеся проблем структурно-энергетических трансформаций, как в кристаллических, так и в некристаллических материалах, деформации и аморфизации атомных систем в условиях температурно-силовых воздействий. Метод молекулярной динамики хорошо зарекомендовал себя при проверке выводов различных теорий, в особенности теорий жидкостей и аморфных фаз [1]. Кроме того, данный метод позволяет рассчитать любые свойства системы, как термодинамические (например, энергию, давление, энтропию), так и кинетические (коэффициенты диффузии, частоты колебаний атомов), причем в данном методе имеется возможность соизмерять динамику исследуемых процессов с реальным временем. Главным недостатком метода, по сравнению с другими, являются большие затраты машинного времени, требуемые для выполнения расчетов. В методе молекулярной динамики временная эволюция системы взаимодействующих атомов или частиц отслеживается интегрированием их уравнений движения. Большинство молекулярно-динамических расчетов выполнены с использованием классической механики Ньютона.

В настоящей работе металлическая наночастица создавалась в модели путем вырезания сферического фрагмента ГЦК кристалла. Рассматривались три различных диаметра частиц: 1, 2 и 3 нм. Пример полученной таким образом наночастицы диаметром 3 нм приведен на рис.1 (а).

Шаг интегрирования по времени в методе молекулярной динамики варьировался от 5 до 10 фс. Взаимодействия атомов металла друг с другом описывались многочастичными потенциалами Клери-Розато [2]. Потенциальная энергия  $i$ -го атома в этом случае находится с помощью выражения

$$U_i = \sum_j A \exp\left(-p\left(\frac{r_{ij}}{r_0} - 1\right)\right) - \sqrt{\sum_j \xi^2 \exp\left(-2q\left(\frac{r_{ij}}{r_0} - 1\right)\right)}$$

Здесь  $A$ ,  $p$ ,  $q$ ,  $\xi$ ,  $r_0$  – параметры потенциала;  $r_{ij}$  – расстояние между  $i$ -м и  $j$ -м атомами. Параметры потенциалов Клери-Розато были взяты из работы [2].

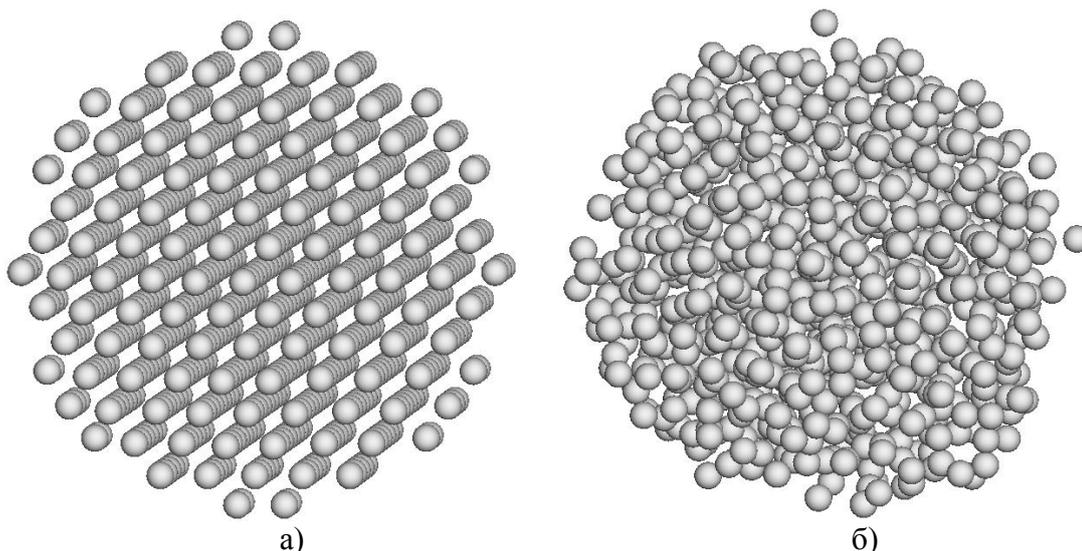


Рис.1. Частица Ag диаметром 3 нм при температуре 0 К (а) и 1000 К (б).

Температура в модели задавалась через начальные скорости атомов. Скорость каждого атома приравнивалась среднеквадратичной скорости согласно распределению Максвелла, умноженной на  $\sqrt{2}$ , а направления задавались случайными [3]. В процессе компьютерного эксперимента распределение скоростей в течение короткого времени трансформировалось в соответствующее распределение Максвелла. Для того чтобы температура частицы оставалась постоянной использовался термостат Нозе [4].

Для каждой наночастицы в зависимости от температуры определялась средняя энергия связи атомов. Температура плавления определялась по наиболее резкому росту энергии связи на зависимости, - в этом случае рост энергии связи был вызван разрушением кристаллической решетки. Причем разрушение происходило не сразу для всей месталлической частицы, а начиналось с поверхности.

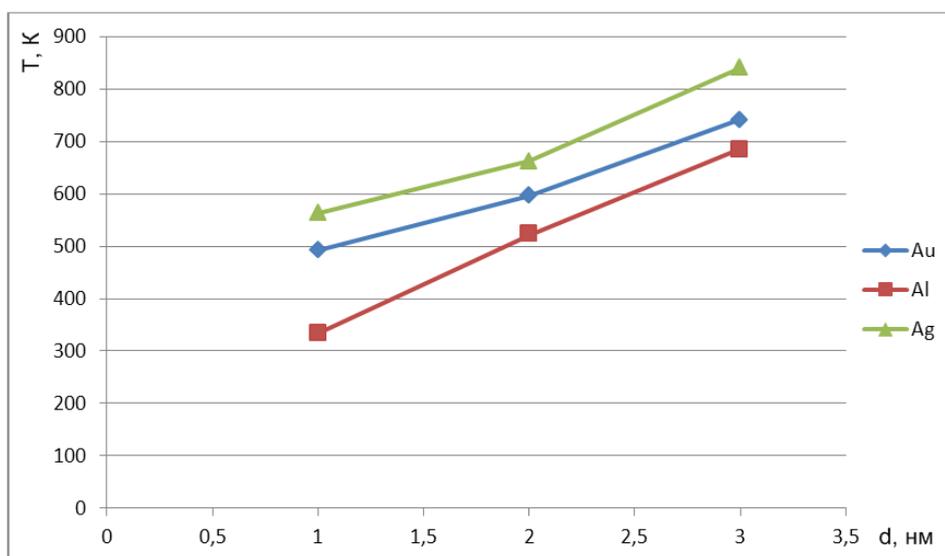


Рис.2. Зависимости температуры плавления от диаметра наночастиц Ag, Au, Al.

На рис.2 изображены зависимости температуры плавления от диаметра наночастиц Ag, Au, Al. Как видно из полученных зависимостей, температура плавления наночастиц уменьшается с уменьшением их размера. Это вызвано, как считает большинство исследователей в данной области [4], высокой долей поверхностных атомов в таких частицах.

## Список литературы

1. Haile M.J. Molecular dynamics simulation - elementary methods. - N.Y.: Wiley interscience, 1992. - 386 p.
2. Cleri F., Rosato V. Tight-binding potentials for transition metals and alloys // Physical Review B. - 1993. - V.48, №1. - P. 22.
3. Полетаев. Г.М. Исследование процессов взаимной диффузии в двумерной системе Ni-Al. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук. - Барнаул, 2002. – 186 с.
4. Головенько Ж.В. Анализ особенностей формирования структуры нанокластеров золота при процессах кристаллизации. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук. - Барнаул, 2012. - 122 с.

## ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Санькова И.С.- студент

Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Одной из важных проблем является проблема изучения влияния магнитного поля Земли и солнечной активности на приборы, линии связи, линии электрической передачи энергии, на космические спутники и человека. Кроме непосредственного влияния магнитного поля, существует и опосредованное влияние. Например, в период солнечной активности, при уменьшении защитных свойств магнитного поля Земли, увеличивается доля опасного для жизни космического излучения, достигающего поверхности Земли. Стандартные приборы и методы, с помощью которых изучаются магнитные поля, позволяют исследовать магнитное поле самой Земли, установить закономерности его изменения, вскрыть природу и научиться предугадывать эти изменения. Над решением указанной задачи в мире трудятся десятки научно-исследовательских институтов. В России к таким институтам относится ИЗМИРАН в г. Москве. Однако, известно, что магнитное поле Земли различно в разных точках ее поверхности. Поэтому исследование магнитного поля Земли в г. Барнауле является актуальной задачей.

Исследовать магнитное поле Земли можно с помощью стандартных приборов и методов. Наиболее пригодными для этих целей является СКВИД-магнетометр. СКВИД-магнетометры являются измерительными приборами нового поколения, содержащими в регистрирующей части, так называемые сверхпроводящие квантовые интерференционные датчики. С их помощью можно создавать магнетометры с чувствительностью порядка  $10^{-11}$  Гс, вольтметры с чувствительностью порядка  $10^{-15}$  В и другие приборы уникальной чувствительности. Благодаря своим неповторимым свойствам, высокой степени интеграции и автоматизации, СКВИД-магнетометры являются ведущими устройствами для полноценного комплексного изучения магнитных характеристик вещества. Максимальная чувствительность СКВИД-магнетометра может достигать рекордного порога 10-12 э.м.е. Несмотря на очевидные достоинства, практическое использование СКВИД-магнетометров требует использования дорогостоящей сверхпроводящей аппаратуры, работающей при температуре жидкого гелия.

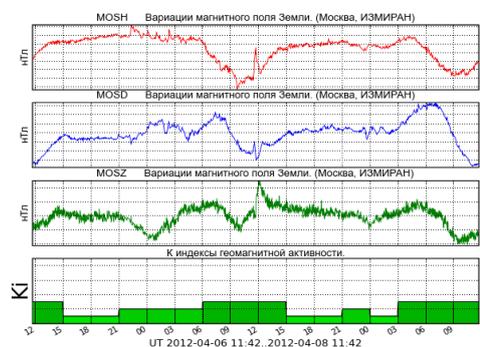


Рисунок 1. Вариации магнитного поля Земли за период 06.04.2012-08.04.2012

Нами использовано самодельное устройство, предназначенное для изучения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли. Основными элементами этого устройства являются компас и катушка с током. Изменяя направление тока в катушке, можно по углу отклонения магнитной стрелки компаса вычислить горизонтальную составляющую магнитного поля Земли. Измерения, выполненные с помощью этого устройства, позволили получить данные, коррелирующие с данными, полученными в ИЗМИРАН. Некоторые результаты измерений возмущения магнитного поля Земли представлены в виде вариационных графиков на рисунке 1.

#### Список литературы

1. Воронов В.К., Подоплелов А.В. Современная физика: Учебное пособие. - М.: КомКнига, 2005. - 512 с. ISBN 5-484-00058-0 [1].
2. Корнев В.К. Эффект Джозефсона и его применение в сверхпроводниковой электронике // Соросовский образовательный журнал, 2001, №8, с. 89.
- 3.

#### МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ КЛАСТЕРОВ МЕДИ

Смоленская В.В. – студент; Мясниченко В.С. – аспирант,  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Одним из наиболее быстро развивающихся направлений исследований в физики в последнее время является исследования частиц малого размера. Среди микроскопических объектов большой интерес вызывают кластеры - образования, состоящие из различного числа атомов - от единиц до десятков и сотен тысяч, поскольку они занимают промежуточное состояние между отдельными атомами и твердым телом и соответственно проявляют свойства кардинально отличные от тех и других благодаря своему необычайно высокому отношению поверхности к объему [1-3].

**Актуальность темы.** Исследование фундаментальных свойств металлических наноразмерных структур актуально с прикладной точки зрения, т.к. оно определяет широкие перспективы практического применения для создания новых материалов с заданными механическими, электрическими, магнитными и оптическими свойствами, а также для разработки качественно новых микроэлектронных приборов. Наблюдается значительный интерес к пониманию процессов, управляющих формированием внутреннего строения металлических кластеров [4-7].

Исследование структуры свободных кластеров может играть ключевую роль в объяснении их физических или химических особенностей. Экспериментальные методы наблюдения структуры малых металлических кластеров существуют уже длительное время, однако обладают многими недостатками и поэтому именно компьютерное моделирование остается незаменимым инструментом для изучения внутренней структуры наночастиц.

**Объект и инструмент исследования.** В качестве объекта исследования выбраны кластеры меди, состоящие из  $N = 500, 600, 700, 800, 900$  и  $1000$  частиц с первоначально идеальной ГЦК структурой. Компьютерный эксперимент производился программным продукте [8] собственной разработки.

**Постановка задачи.** В ходе серии экспериментов вычислялась суммарная энергия и определялась средняя для данного размера температура кристаллизации атомов медного кластера. Использовался многочастичный tight-binding потенциал межатомного взаимодействия [9] с фиксированным радиусом обрезания по пятой координационной сфере. Начальная конфигурация кластера задавалась в виде блока ГЦК кристалла.

Затем проводился разогрев модельной системы до температуры  $900$  и  $1000$  К, в зависимости от количества атомов в кластере (кластеры размером  $N \geq 800$  разогревались до

$T = 1000$  K). В результате нанокластер переходил в состояние расплава. Это фиксировалось по картине радиального распределения атомов (рис. 1) и внешнему виду кластера.

На следующем этапе выполнялось охлаждение системы с шагом  $\Delta T$ , равным 1.0 K каждые 1 пс. Длительность данного этапа эксперимента составляла, соответственно, 905 и 1005 пс. С помощью метода анализа общих соседей (CNA analysis) в полученной конфигурации кластера выделялись атомы с ГЦК, ГПУ упаковкой и икосаэдрической (Ih) модификацией.

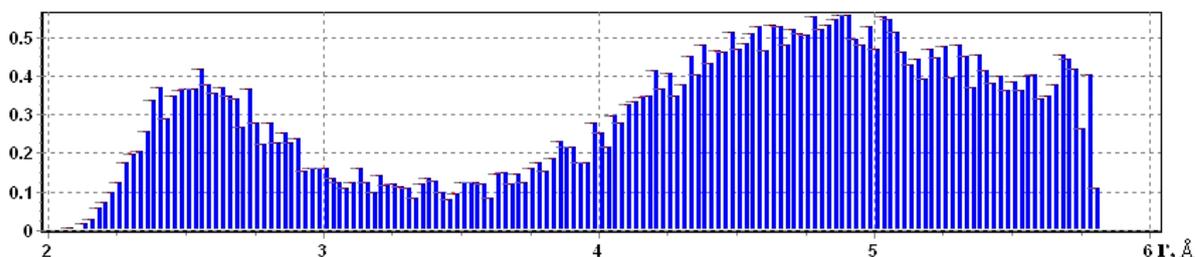


Рис. 1. Гистограмма радиального распределения для кластера Cu700 в состоянии расплава

**Результаты исследования.** Изучена структура однокомпонентных кластеров  $Cu_N$ , полученных в ходе плавного охлаждения в рамках метода молекулярной динамики (МД).

Вследствие уменьшения доли поверхностных атомов, потенциальная энергия на 1 атом увеличивается с увеличением числа атом в кластере (рис. 2).

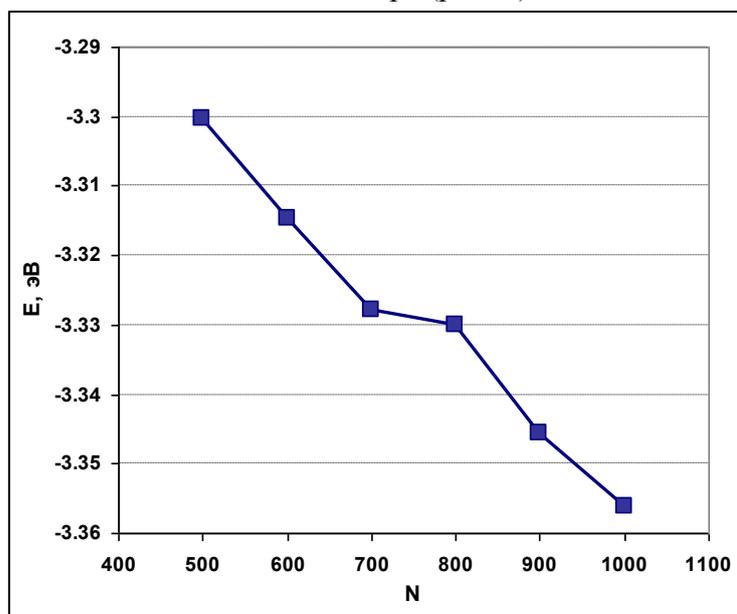


Рис. 2. Зависимость удельной потенциальной энергии от размера кластера

Были получены количественные характеристики внутренней структуры конечной конфигурации кластера в виде распределения атомов по упорядоченным ГЦК, ГПУ, Ih и неупорядоченным фазам (рис. 3), в зависимости от размера N.

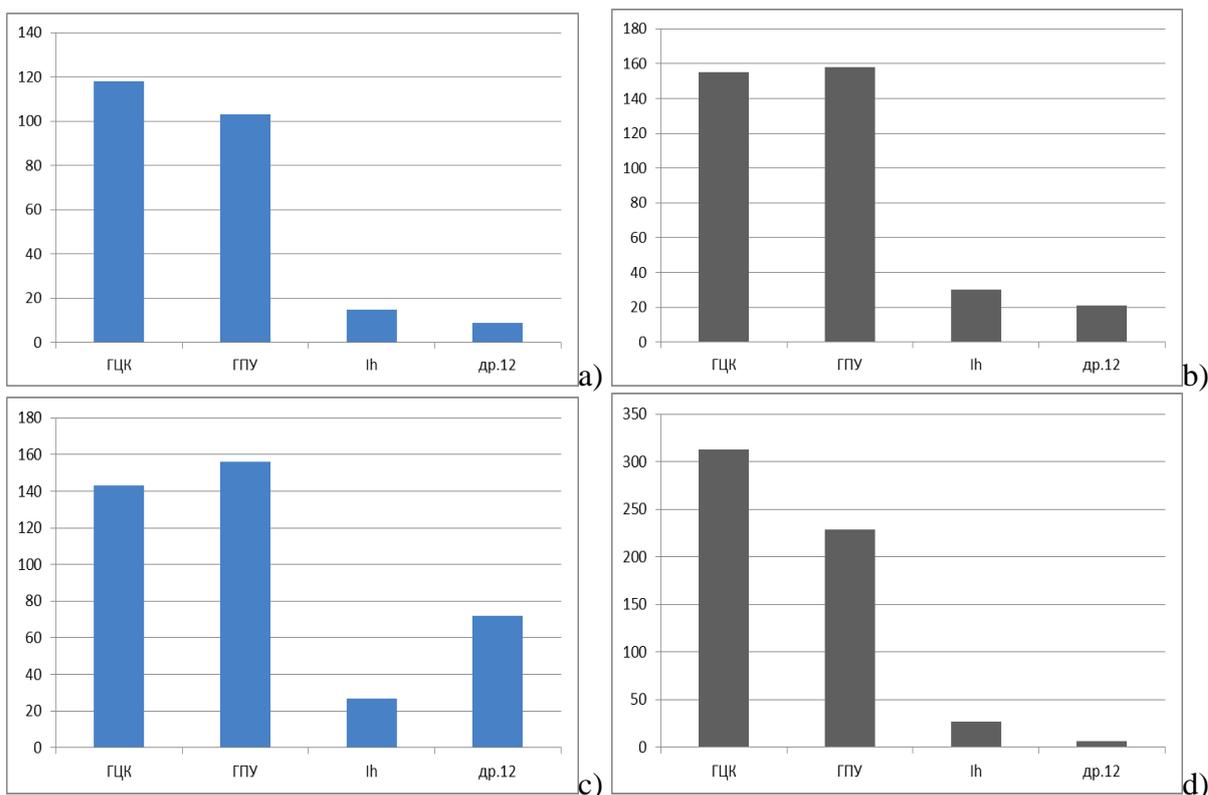


Рис. 3. Гистограммы распределения атомов по типу упаковки ближайших соседей, для числа атомов в кластере:  $N = 500$  (a),  $N = 700$  (b),  $N = 800$  (c) и  $N = 1000$  (d)

Для более подробного анализа указанные выше числовые значения в таблицу 1.

**Таблица 1.** Состав ядра кластеров  $Cu_N$ , полученных в процессе кристаллизации.

Число атомов в кластере, N	Конечная структура ядра, атомов				Всего
	ГЦК	ГПУ	Ih	аморфная	
500	118	103	15	9	245
600	116	139	28	18	299
700	155	156	30	23	364
800	143	157	27	71	398
900	213	202	24	45	484
1000	312	229	27	7	576

Из таблицы виден нелинейный рост доли атомов с ГЦК среди внутренних атомов кластера при увеличении его размера. При этом доля ГПУ атомов увеличивается линейно, с небольшим отклонением для размера  $N = 800$ . При увеличении размера кластера количество атомов с икосаэдрической модификацией упаковки изменяется незначительно, вследствие их расположения только на осях симметрии пятого порядка.

Среди всех размеров наиболее аморфная структура кластера образуется при  $N = 800$ , что подтверждается также отклонением на кривой потенциальной энергии (рис. 2).

**Заключение.** Метод молекулярной динамики на основе потенциала сильной связи дает возможность весьма точно определить не только структуру наночастицы, но и отследить влияние внешних условий (температуры и скорости охлаждения) на конфигурационную упорядоченность моделируемой системы.

Структура охлажденных из расплава нанокластеров меди различных размеров изучена методом молекулярной динамики. Показана доля атомов, соответствующих ГЦК, ГПУ и

икосаэдрической упаковке, в ядрах кластеров различного размера. Обнаружена зависимость структуры медного кластера от числа атомов в нем.

#### Список литературы

1. Гусев А.И. Нанокристаллические материалы: методы получения и свойства. - Екатеринбург: НИСО УрО РАН, 1998. – 439 с.
2. Лахно В.Д. Кластеры в физике, химии, биологии. Ижевск: РХД, 2001. – 307 с.
3. Суздалев И.В. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. – М.: КомКнига, 2006. – 592 с.
4. Гафнер С.Л., Костерин С.В, Гафнер Ю.Я. Образование структурных модификаций в нанокластерах Cu // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, №8. – С1484-1487.
5. Гафнер С.Л., Редель Л.В., Гафнер Ю.Я. Моделирование процессов структурообразования нанокластеров меди в рамках потенциала сильной связи // Журнал экспериментальной и теоретической Физики. – 2009. – Т. 135, № 5. – С. 899-916.
6. Мясниченко В.С., Старостенков М.Д. Зависимость формы и структуры нанокластеров системы Cu - Au от скорости охлаждения при различных концентрациях компонент // Известия Алтайского государственного университета. – 2011. – 69(1):169-173.
7. Мясниченко В.С., Старостенков М.Д. Применение представления о структурных многогранниках заполнения координационных сфер в объемных кристаллах к проблеме поиска устойчивых форм нанокластеров. I // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2011. – 8(2):49-52
8. Мясниченко В.С. Молекулярно-динамическое моделирование и био-инспирированная оптимизация бинарных и тройных металлических наноструктур (КластерЭволюшн). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011615692 от 20 июля 2011 г.
9. Cleri F., Rosato V. Tight-binding potentials for transition metals and alloys // Physical Review B. 1993. V. 48, №1. – P.22-33.

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ КОМЕТЫ ГАЛЛЕЯ

Раскулина А.В. – студент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Со всех сторон нашу Землю окружает необъятный мир небесных тел. Его называют Вселенной или Космосом. Космос всегда является популярной темой обсуждения так хранит много тайн и наводит на множество интересных вопросов. Лишь некоторые из небесных тел, как, например, Солнце, Луна, 5 планет и наиболее яркие звезды и кометы, можно наблюдать невооруженным глазом.

С развитием космической науки, из века в век мы - человечество создавали и доказывали законы физики. Создавали новые технологии и методы для вычисления физических процессов. И вот сейчас в 2012 году мы имеем высокие технологии, которые позволяют с помощью программ моделирования, смоделировать физические процессы, повседневно окружающие нас. В программе моего обучения есть дисциплина «математические методы моделирования физических процессов», по которой я решила провести анализ и разработку модели кометы Галлея с использованием программы MATLAB.

(официальное название 1P/Halley[1]) — яркая короткопериодическая комета, возвращающаяся к Солнцу каждые 75—76 лет[1][4]. Является первой кометой, для которой определили эллиптическую орбиту и установили периодичность возвращений. Названа в честь Э. Галлея. Несмотря на то, что каждый век появляется много более ярких долгопериодических комет, комета Галлея — единственная короткопериодическая комета, хорошо видимая невооружённым глазом. В последний раз комета Галлея проходила через свой перигелий (ближайшая к Солнцу точка орбиты) 9 февраля 1986 года.

Эта тема стала впервые мне интересна, когда я услышала фразу «Комета Галлея - предвестница несчастий» [2]. Существует поверье, в старинной китайской рукописи "Книга принца Хунань", что комета Галлея, передвигаясь по своей орбите и приближаясь каждые 75-56 лет к земле, предупреждает людей о наступающем несчастье[2]. Так, например, последний раз она посетила Солнечную систему в 1986 г. Ближе всего к Земле комета была 9 апреля[2]. Пятнадцать дней спустя взорвался ядерный реактор в Чернобыле (Украина), радиоактивное облако накрыло юг и запад Европы. И начиная с 240 г. до н.э.- Опустошительное наводнение в Китае, были точно зафиксированы определённые катаклизмы на земле[2].

Задачей моей работы является моделирование в программе MATLAB траектории эллиптического движения кометы Галлея.

Рассмотрим движение спутника по эллиптической орбите вокруг планеты массой М. Предположим, что единицы намерения выбраны так, что  $GM = 1$  (где  $G$  – гравитационная постоянная). Если планета расположена в начале координат плоскости  $x, y$ , то уравнения движения спутника можно записать в виде[3]:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{x}{\sqrt[3]{x^2+y^2}}, \quad \frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{y}{\sqrt[3]{x^2+y^2}}, \quad (1)$$

Пусть  $T$  обозначает период обращения спутника. Согласно третьему закону Кеплера, квадрат  $T$  пропорционален кубу большей полуоси  $a$  эллиптической орбиты спутника. В частности, если  $GM = 1$ , то[3]:

$$T^2 = 4\pi^2 a^3. \quad (2)$$

Если  $x$ - и  $y$  – компоненты скорости спутника обозначить через  $x_1 = x, x_2 = y, x_3 = x_1'$  и  $x_4 = x_2'$ , то система (1) преобразуется в эквивалентную систему четырех дифференциальных уравнений первого порядка[3]:

$$\begin{cases} x_1' = x_3 \\ x_2' = x_4 \\ x_3' = -\frac{x_1}{\sqrt[3]{x_1^2 + x_2^2}} \\ x_4' = -\frac{x_2}{\sqrt[3]{x_1^2 + x_2^2}} \end{cases}$$

а) Решим численно при помощи MATLAB эту систему размера  $4 \times 4$  при начальных условиях:  $x(0)=1, y(0)=0, x'(0)=0, y'(0)=1$ , которые теоретически соответствуют круговой орбите радиуса  $a=1$ . Тогда из равенства (2) должно получиться, что  $T = 2\pi$ [3].

б) Теперь решим численно эту систему при начальных условиях:  $x(0)=1, y(0)=0, x'(0)=0, y'(0)=(3/2)^{1/2}$ , которые теоретически соответствуют эллиптической орбите, большая полуось которой равна  $a=2$ . Тогда из равенства (2) следует, что  $T=4\pi$  (6)1/2[3].

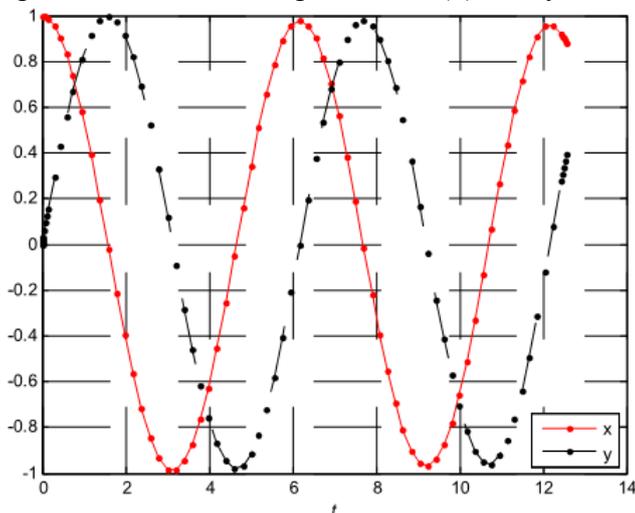


Рис.1. Движение спутника по эллиптической орбите (а).

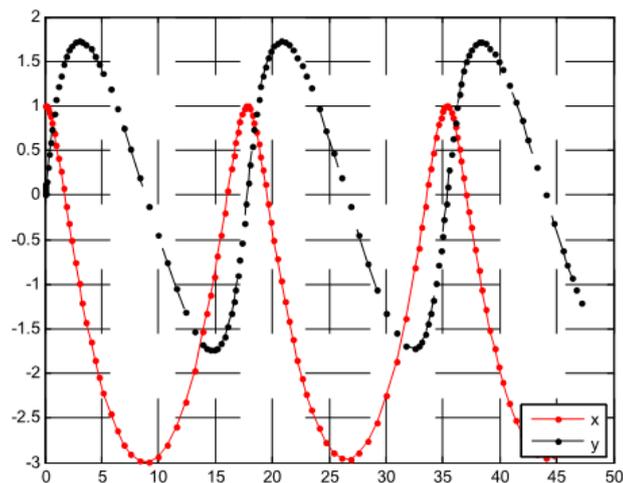


Рис.2. Движение спутника по эллиптической орбите (б).

Эллиптическая траектория движения на двух графиках отличается, так как вид изображён с разных орбит (а, б).

Мне удалось освоить программу MATLAB и смоделировать в ней траекторию эллиптического движения кометы Галлея. Очень важно в наше время осваивать новые технологии, а в силу моей специальности программы моделирования. Я доказала на практике используя третий закон Кеплера, что комета движется по эллиптической направляющей и представила её на рисунке 1 и 2. В мире высоких технологий нужно не забывать, что «Там внизу ещё много места», то есть нужно двигаться дальше, разгадывать вселенную и все её тайны. Порой в силу высоких технологических достижений мы забываем, а иногда вовсе и не доверяем «Бабушкиным методам». Смотреть на луну, например, и высчитывать наиболее подходящий день для высадки урожая. Конечно, в наше время логично просчитать и смоделировать этот день и результаты, взяв при этом грунт на анализ, смоделировать климатические условия, распознать местность и многое другое. Ведь когда вселенная даёт человечеству откровенные подсказки о грядущих катастрофах, то нужно прислушаться и с помощью высоких технологий рассчитать и смоделировать следующую беду. Снова комета Галлея появится на небесном небосклоне в 2062 г. Какие бедствия она принесет с собой и сможем ли мы распознать её масштабы? Всё зависит от нас.

#### Список литературы

1. Беляев Н. А., Чурюмов К. И. Комета Галлея и ее наблюдение. — М.: Наука, 1985
2. Комета Галлея - предвестница несчастий <http://istina.rin.ru/cgi-bin/print.pl?sait=1&id=166> Rin.ru
3. А. Г. Коробейников «Разработка и анализ математических моделей с использованием MATLAB и MAPLE» Санкт-Петербург 2010
4. Марочник Л. С. Свидание с кометой. — М.: Терра, 2008. — 320 с.