

# ФИЗИКА

ISSN 2077-0049  
ИЗДАЕТСЯ С 1992 г.  
№ 2 (961)

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ УЧИТЕЛЕЙ ФИЗИКИ, АСТРОНОМИИ И ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ  
[fiz.1september.ru](http://fiz.1september.ru)

От биосферы к ноосфере  
с. 43

Физические основы  
нанотехнологий  
с. 51

Всероссийская олимпиада  
студентов по теории и  
методике обучения физике  
с. 58



## XX Всероссийский конкурс юношеских исследовательских работ им. В.И. Вернадского

с. 4–42

Темы работ:

Квантовая физика, фотоэффект,  
электромагнитное излучение,  
радиоволны, теплоёмкость,  
условия плавания тел, сила  
Архимеда, упругость, резонанс,  
лунные базы, спектроскопия



издательский  
ДОМ  
[1september.ru](http://1september.ru)

# Первое сентября

февраль  
2014

Подписка на сайте [www.1september.ru](http://www.1september.ru) или по каталогу «Почта России»: 79147 (бумажная версия); 12757 (CD-версия)



Конкурс  
юношеских работ  
имени В.И. Вернадского  
2011/2012 гг.

## ПОРТФОЛИО


- 4–8  А. Петрусёв  
Эффективный способ  
увеличения мощности солнечных  
установок  
Рук. проф. А.В. Юрченко
- 9–11  С. Уманская  
Настройка спутниковой антенны  
Рук. Т.В. Порхунова
- 12–14  С. Саранцева, О. Бибенина  
Проблема учёта автомобильного  
топлива на автозаправках  
Рук. Э.В. Марчук
- 15–19  С. Кабир, Е. Соснова  
Универсальный прибор  
гидростатического типа для  
измерения массы тел, плотности  
жидкостей и твёрдых тел  
Рук. проф. В.П. Наливайко
- 19–21  Д. Ильинская, В. Готовцев  
Определение прочности  
полиэтиленовых пакетов  
Рук. Ю.В. Казакова
- 22–25  В. Юрченко  
Возникновение резонанса  
при поперечных колебаниях  
конструкций сложной формы  
Рук. С.А. Кирия


## АСТРОНОМИЯ


30, 31  
34, 35 Проф. В.М. Чаругин  
Звёздное небо в марте


## И ШКОЛЬНИКУ, И УЧИТЕЛЮ, И...


32–33 В.Ф. Карташов  
Цветная Вселенная


33  Народный учитель России  
Л.В. Пигалицын  
Новости науки и техники


 К материалам, обозначенным этим  
символом, см. электронные дополнения  
в своём Личном кабинете на сайте  
[www.1september.ru](http://www.1september.ru).


26–29  М. Пронина, В. Прохоров, В.  
Шекунов  
Проект организации  
связи, транспорта и  
энергообеспечения лунных баз  
Рук. С.В. Гусев, А.Э.  
Плетнёв, А.Г. Сугакевич

36–38  Н. Арляпов  
Эффект муара и установка  
для лабораторных измерений  
деформации при изгибе  
Рук. М.С. Бугаев


38–40  А. Кузнецова,  
Д. Орехов  
Чистое небо  
Рук. Ф.В. Григорьев

41  С. Малаховская  
Замечательный конус, или  
Удивительный чум  
Рук. Т.М. Тананыкина

41  О. Захарова  
Эффективность мероприятий по  
защите от шумового загрязнения  
на Втором эстакадном мосту  
г. Калининграда  
Рук. А.В. Голубицкий

42  Н. Островных, А. Мосейчук  
Мониторинг состояния  
атмосферы и экологической  
обстановки посёлка ГРЭС  
Рук. Н.В. Калининская  
Проф. Г.Б. Наумов, академик  
РАЕН и АГН  
Комплексное изучение природы

## ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

51–56  Н.В. Латухина  
Физические основы  
нанотехнологий. Лекция 1

58–61  Рефераты электронных  
публикаций

## ЭКСПЕРИМЕНТ

58 Е.П. Суханькова  
Пора изучать магнитные свойства

## ШКОЛЬНЫЙ ЮМОР

62 М.А. Старшов  
Простые вопросы и... красивые  
ответы

ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ  
«ПЕРВОЕ СЕНТЯБРЯ»

Главный редактор:

Артем Соловейчик  
(генеральный директор)

Коммерческая деятельность:

Константин Шмарковский  
(финансовый директор)

Развитие, IT и координация проектов:

Сергей Островский  
(исполнительный директор)

Реклама, конференции и техническое  
обеспечение Издательского дома:

Павел Кузнецов

Производство:

Станислав Савельев

Административно-хозяйственное  
обеспечение: Андрей Ушков

Педагогический университет:

Валерия Арсланьян  
(ректор)

ГАЗЕТА ИЗДАТЕЛЬСКОГО ДОМА:

Первое сентября – Е.Бирюкова

ЖУРНАЛЫ ИЗДАТЕЛЬСКОГО ДОМА:

Английский язык – А.Громушкина,

Библиотека в школе – О.Громова,

Биология – Н.Иванова,

География – О.Коротова,

Дошкольное образование – Д.Тюттерин,

Здоровье детей – Н.Сёмина,

Информатика – С.Островский,

Искусство – О.Волкова,

История – А.Савельев,

Классное руководство

и воспитание школьников – М.Битянова,

Литература – С.Волков,

Математика – Л.Рослова,

Начальная школа – М.Соловейчик,

Немецкий язык – М.Бузоева,

ОБЖ – А.Митрофанов,

Русский язык – Л.Гончар,

Спорт в школе – О.Леонтьева,

Технология – А.Митрофанов,

Управление школой – Е.Рачевский,

Физика – Н.Козлова,

Французский язык – Г.Чесновицкая,

Химия – О.Блохина,

Школа для родителей – Д.Тюттерин,

Школьный психолог – М.Чибисова

УЧРЕДИТЕЛЬ: ООО «ЧИСТЫЕ ПРУДЫ»

Зарегистрировано ПИ № ФС77-44336 от 21.03.11

в Министерстве РФ по делам печати

Подписано в печать: по графику 15.01.14,

фактически 15.01.14. Заказ №

Отпечатано в ОАО «Первая Образцовая

типография», филиал «Чеховский Печатный

Двор» Ул. Полиграфистов, д. 1, Московская

область, г. Чехов, 142300; сайт: [www.chpd.ru](http://www.chpd.ru);

e-mail: [sales@chpk.ru](mailto:sales@chpk.ru); факс: 8 (496) 726-54-10,

8 (495) 988-63-76

Электронные публикации рецензируются,

но не оплачиваются. Подробнее см.

Правила в № 2/2011, с. 47 и на сайте

журнала <http://fiz.1september.ru> в разделе

Правила для авторов публикаций

АДРЕС РЕДАКЦИИ

И ИЗДАТЕЛЯ:

ул. Киевская, д. 24, Москва, 121165

Тел./факс: (499) 249-3138

Отдел рекламы: (499) 249-9870

Сайт: [1september.ru](http://1september.ru)

## ОБЛАЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТ ИЗДАТЕЛЬСКОГО ДОМА «ПЕРВОЕ СЕНТЯБРЯ»

Уважаемые подписчики бумажной версии журнала!

Дополнительные материалы к номеру и электронная версия журнала находятся в вашем Личном кабинете на сайте [www.1september.ru](http://www.1september.ru)

Для доступа к материалам воспользуйтесь, пожалуйста, кодом доступа, вложенным в январский номер.

Срок действия кода с 1 января по 30 июня 2014 года.

Для активации кода:

• Зайдите на сайт [www.1september.ru](http://www.1september.ru)

• Откройте личный кабинет (зарегистрируйте, если у вас его ещё нет)

• Введите код доступа и выберите своё издание

Справки: [podpiska@1september.ru](mailto:podpiska@1september.ru) или через службу поддержки на портале «Первого сентября»



## РЕДАКЦИЯ:

**Главный редактор:**  
Нана Дмитриевна  
Козлова  
8-919-104-5657

**Консультанты:**  
И.Д. Воронова,  
В.А. Козлов,  
Н.Ю. Милюкова,  
Т.А. Соловейчик,  
А.В. Берков

**Корреспонденты:**  
Е.В. Гуденко  
Ж.В. Чопорова

**Дизайн макета:**  
И.Е. Лукьянов

**Корректура и набор:**  
И.С. Чугреева

**Верстка:**  
Д.В. Кардановская

Иллюстрации: Фотобанк Shutterstock,  
если не указано иное

Журнал распространяется по подписке  
Цена свободная Тираж 17 098 экз.  
Тел. редакции: **(499) 249-2883**  
E-mail: **fiz@1september.ru**  
Internet: **fiz.1september.ru**

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

**Н.Д. Козлова** – председатель, **Л.Э. Генденштейн** (к.ф.-м.н., ИСМО РАО),  
**М.Д. Даммер** (проф., д.п.н., ЧГПУ, г. Челябинск), **М.Ю. Демидова** (к.п.н., МИОО, г. Москва), **В.Г. Довгань** (проф., к.в.н., член РАКЦ и АМТН, чл.-корр. МИА, г. Москва), **А.Н. Крутский** (проф., д.п.н., АГПА, г. Барнаул), **Б.И. Лучков** (проф., д.ф.-м.н., НИЯУ МИФИ, г. Москва), **В.В. Майер** (проф., д.п.н., ГГПИ, г. Глазов), **Н.С. Пурышева** (проф., д.п.н., МПГУ, г. Москва), **Ю.А. Сауров** (проф., д.п.н., чл.-корр. РАО, ВятГПУ, г. Киров), **А.Л. Стасенко** (проф., д.ф.-м.н., МФТИ, г. Жуковский), **А.А. Шаповалов** (проф., д.п.н., АГПА, г. Барнаул), **О.А. Яворук** (проф., д.п.н., ЮГУ, г. Ханты-Мансийск, ХМАО).

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Н.Д. Козлова** (председатель, к. т. н.),  
**Л.П. Алексеева** (к. ф.-м. н.), **К.Ю. Богданов** (к.ф.-м.н., д.биол.н.), **М.А. Бражников** (ИХФ РАН), **В.А. Грибов** (к.ф.-м.н., МГУ им. М.В. Ломоносова), **С.Я. Ковалева** (зам. гл. редактора, к.п.н., МБОУ ВПО АСОУ МО), **Л.В. Пигалицын** (Нар. учитель России, МБОУСОШ № 2 с УИПФМЦ, г. Дзержинск), **В.М. Чаругин** (д.ф.-м.н., проф. МПГУ, действительный член РАКЦ).

## ПОДПИСНЫЕ ИНДЕКСЫ:

**Почта России:**  
бумажная версия – **79147**  
CD-версия – **12757**

## ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ПОДПИСКА:

Телефон: **(499) 249-4758**  
E-mail: **podpiska@1september.ru**

## Будущее науки рождается здесь ▶

Что такое наука сегодня? Для большинства людей это что-то сложное и непонятное. Сознание сразу рисует увлечённых сединами профессоров в белых халатах. А ведь Эйнштейн опубликовал специальную теорию относительности в 26 лет, Ньютон открыл закон всемирного тяготения в 23! Абсолютное большинство великих открытий было сделано учёными в возрасте до 30 лет.

Есть ли сегодня место в науке для молодых? Конечно, есть. Исследовательские институты, оснащённые современным лабораторным оборудованием, могут предоставить возможности для решения актуальных задач современной физики, математики, химии. А вот хотят ли сами молодые в науку? Сегодня многие предпочитают выбирать экономические специальности, нежели посвящать годы научным поискам и исследованиям. Будущему учёному необходимо показать ещё в школе, что наука – это перспективно и интересно. Именно поэтому Министерство образования Нижегородской области совместно с корпорацией *Intel* и некоммерческим партнёрством «Лифт в будущее» уже второй год реализуют в Приволжском федеральном округе (ПФО) проект «STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics)-центры». Это сеть лабораторий, в которых школьники могут работать над своими научными проектами под руководством молодых преподавателей, сотрудников научных организаций.

В ноябре 2013 г. в рамках конференции в Нижегородском научно-информационном центре был объявлен старт подготовительного этапа проекта на 2014 г. В течение декабря школьники выбирали направление деятельности и лабораторию, в которой им хотелось бы работать.

STEM-центры действуют на базе учреждений РАН и вузов ПФО. Все они оснащены необходимым оборудованием для исследовательской деятельности, так что школьники могут проводить опыты и эксперименты, решая научные задачи. Но самое главное, здесь начинается общение молодых научных руководителей и старшеклассников, которые только приходят в науку. В рамках проекта они знакомятся, находят общие актуальные темы для исследований. Как заметил Александр Рейман, к. ф.-м. н., с. н. с. ИПФ РАН, именно актуальность является одной из основных составляющих успешной научной работы. Школьники учатся не просто решать задачи, но и ставить их, не просто превращать в рефераты чужие научные работы, но и проводить самостоятельные исследования, проверять свои идеи.

Особенно важно, что научные руководители могут предложить школьникам на выбор научные области, которые в дальнейшем станут основой их научной деятельности. (Для справки: 28 лауреатов Нобелевской премии начали научный путь в школах.) Каждый из участников проекта может подать заявку на участие в Приволжском конкурсе научно-технических работ «РОСТ», победители которого представляют Россию на международном конкурсе *Intel@ISEF*. В 2013 г. Александр Макарычев (г. Саров, победитель «РОСТ-2012») с проектом «Битва за скорость: троичная логика против двоичной» в секции «Компьютерные науки» занял четвёртое место в международном финале, прошедшем в г. Феникс (США) и получил специальный приз Китайской ассоциации по науке и технике.

На конкурсе «РОСТ-2013» одним из трёх победителей, которые в мае поедут в Лос-Анджелес на *Intel@ISEF-2014*, стал Всеволод Фомин, ученик нижегородского лицея № 40 с проектом «Система для спекл-контрастной визуализации кровеносных сосудов», над которым он начал работать ещё в 8-м классе со своим преподавателем.

Главная наша задача – показать сегодняшним школьникам, что наука – это перспективно и совсем не скучно, чтобы завтра формировать будущее мировой науки могли и молодые российские учёные.

Подробнее см. ЭП.

По материалам пресс-релизов корпорации *Intel*,  
[Intel news intel-news@marketingcentre.ru](mailto:intel-news@marketingcentre.ru)



# Эффективный способ увеличения мощности солнечных установок



Предложен новый принцип управления системой слежения за Солнцем без микроконтроллеров. Рассчитано увеличение эффективности работы солнечных батарей при использовании таких систем. Доказана экономическая целесообразность их установки.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** конкурс имени В.И. Вернадского, ученический исследовательско-конструкторский проект, фотоэлемент, солнечная батарея



- Выполнил ученик 11-го класса **ПЕТРУСЁВ АЛЕКСАНДР**  
science-alex@mail.ru  
(МБОУ Лицей при НИ ТПУ, г. Томск)
- Руководитель:  
проф. **А.В. Юрченко**  
nipp@mail.ru,  
д. т. н. (НИ ТПУ, г. Томск)

В наше время для получения энергии человек в подавляющем большинстве использует полезные ископаемые, но их запасы ограничены, а выбросы в атмосферу токсичных веществ, выделяющихся при сгорании топлива, ухудшают экологическую обстановку. В связи с этим всё более актуально использовать нетрадиционные источники энергии (тепло недр, ветер, биотопливо, солнечное излучение). Среди возобновляемых источников энергии солнечное излучение по масштабам ресурсов, экологической чистоте и распространённости наиболее перспективно. Годовая мощность солнечной энергии, падающей на поверхность Земли, около  $(0,85 - 1,2) \cdot 10^{17}$  Вт [1]. Особенно актуально использование солнечных энергетических установок в регионах, не имеющих стационарной сети электропитания. Но и в городской среде солнечная энергетика может не только снять остроту энергетических и экологических проблем, но и принести экономическую выгоду [1].

К сожалению, в данный момент используется лишь малая часть потенциала солнечной энергии, в частности, из-за относительно низкой эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую. Целью данной научно-исследовательской работы яв-

Работа была доложена на XX Всероссийском конкурсе юношеских исследовательских работ им. В.И. Вернадского 2012/2013 уч. г. (№ 131697, представлена оргкомитетом Томского регионального этапа конкурса) и отмечена дипломом Лауреата в секции «Физика», а также грамотой «Лучший доклад». Печатается в доработанном и сокращённом виде. Оригинальный текст и постер см. ЭП. Усовершенствованный проект «Повышение эффективности солнечных батарей с помощью планарного концентратора и солнечного трекера» удостоен Диплома III степени в номинации «Чистые технологии» на конкурсе «Зворыкинская премия» (декабрь 2013 г., МГТУ им. Н.Э. Баумана) [http://ru.wikipedia.org/wiki/Зворыкинский\\_инновационный\\_проект](http://ru.wikipedia.org/wiki/Зворыкинский_инновационный_проект); <http://konkurs.innovaterussia.ru/> – *Ред.*

ляется поиск и осуществление эффективного способа увеличения мощности источников питания на солнечной энергии.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет поддерживает идею «зелёной энергетики» – в настоящее время на крыше 18-го корпуса ТПУ установлены 12 солнечных панелей суммарной мощностью около 3 кВт. Вырабатываемая ими энергия обеспечивает 2 аудитории корпуса и 3 светодиодных фонаря на территории. Для перехода ещё одной аудитории на солнечную энергию требуется увеличить мощность примерно на треть.

**Задачи проекта:** • рассмотреть строение и принцип действия солнечной панели, сделать собственный рабочий образец • изучить зависимость мощности солнечной батареи от угла падения на неё солнечных лучей • рассмотреть все влияющие на это факторы, сделать расчёт и построить соответствующие графики • рассмотреть способы увеличения КПД солнечных панелей • сделать демонстрационную модель своего варианта решения проблемы • рассчитать экономическую и энергетическую целесообразность проекта.

Работа выполнена в лабораториях ОАО Научно-исследовательского института полупроводников (НИИПП) и НИ ТПУ; все поясняющие картинки сделаны в программе **Adobe Photoshop CS4**, графики – в программе **Mathcad14**.

**Фотоэлектрический модуль.** Солнечная панель представляет собой несколько фотоэлектрических модулей, каждый из которых, в свою очередь, состоит из нескольких фотоэлементов. Наибольший КПД имеют фотоэлементы на основе монокристаллического кремния, которые нами и использовались. Несколько модулей соединяют между собой параллельно или последовательно в зависимости от требований к мощности и напряжению (подробное описание процесса изготовления и сборки см. ЭП. – *Ред.*)

Итоговая мощность зависит от количества падающего на батарею солнечного излучения, то есть от площади батареи и от угла падения лучей на неё (наклона плоскости фотоэлементов) [2].

**Зависимость площади падения лучей от угла наклона фотоэлемента.** Эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую максимальна, когда лучи падают на фотоэлемент перпендикулярно его плоскости. Эффективная площадь падения лучей (в процентах):

$$y = 100\% \cdot \cos x, \quad (1)$$

где  $x$  – угол падения (между падающим лучом и нормалью к плоскости батареи). Кроме того, фотоэлемент отражает часть падающего на него излучения, но также и поглощает часть излучения, отражённого от других поверхностей. (Это излучение называется *фоновым*, оно не зависит от угла наклона батареи и составляет около 20% от общего количества падающего излучения [2].)

Чтобы получить зависимость от вышеуказанных факторов, воспользуемся формулами Френеля для отражения волн [3]:

$$p(x, r) = \frac{\operatorname{tg}^2(x - r)}{\operatorname{tg}^2(x + r)}; \quad (2)$$

$$f(x, r) = \frac{\sin^2(x - r)}{\sin^2(x + r)}, \quad (3)$$

где  $p$  – коэффициент отражения волны, поляризованной в плоскости падения,  $x$  – угол падения,  $r$  – угол преломления,  $f$  – коэффициент отражения волны, поляризованной перпендикулярно плоскости падения. Учитывая, что показатель преломления  $n = \frac{\sin x}{\sin r}$ , преобразуем выражения (2), (3) для коэффициентов отражения волн, поляризованных взаимно перпендикулярно:

$$p(x) = \frac{\operatorname{tg}^2\left(x - \arcsin \frac{\sin x}{n}\right)}{\operatorname{tg}^2\left(x + \arcsin \frac{\sin x}{n}\right)}, \quad (4)$$

$$f(x) = \frac{\sin^2\left(x - \arcsin \frac{\sin x}{n}\right)}{\sin^2\left(x + \arcsin \frac{\sin x}{n}\right)} \quad (5)$$

и находим их среднее арифметическое – коэффициент отражения естественного солнечного света (солнечный свет можно представить как сумму

двух линейно поляризованных волн равной интенсивности):

$$K(x) = 100\% \cdot \frac{p(x) + f(x)}{2}. \quad (6)$$

Зависимости  $f(x)$ ,  $p(x)$  и  $K(x)$  представлены на графиках, рис. 1, а. Видно, что при небольшом наклоне плоскости фотоэлемента среднеарифметический коэффициент отражения (*красная кривая*) не велик и возрастает, начиная с  $40^\circ$ .

**Расчёт итоговой мощности.** При нормальном падении света на вещество ( $x = 0$ ) [3]:

$$p = f = \frac{(n - n_1)^2}{(n + n_1)^2} = z, \quad (7)$$

где  $n_1$  – показатель преломления среды, из которой движется луч,  $z$  – отражательная способность.

С учётом формул (1), (6) а также наличия фонового излучения и значения  $n = 1,55$  для покрытия (в нашем случае [4]), получаем выражение для доли солнечной радиации, дошедшей до фотоэлемента:

$$W(x) = 80\% \cdot \cos x (100\% - K(x)) + 20\% \cdot (1 - z). \quad (8)$$

(Первый член учитывает вклад эффективной площади падения лучей и отражённого излучения. Фоновую радиацию с высокой точностью можно считать падающей практически отвесно.)

При нормальном падении лучей до фотоэлемента доходит около 96% мощности падающего потока излучения. При увеличении наклона плоскости фотоэлемента потери мощности становятся весьма ощутимыми и превышают 80% при наклоне  $90^\circ$  (падающая мощность становится равной мощности фонового излучения).

**Эксперимент.** Полученные теоретические вклады были проверены экспериментально, для чего была сделана специальная стойка, позволяющая фотоэлектрическому модулю быстро принимать устойчивые положения с шагом в  $15^\circ$  (эксперимент проводился на крыше НИИПП в ясный полдень). Основные элементы оборудования показаны на рис. 2.

В начальном положении угол падения солнечных лучей на фотомодуль был равен  $90^\circ$  (ориентирование производили с помощью трубки со сквоз-

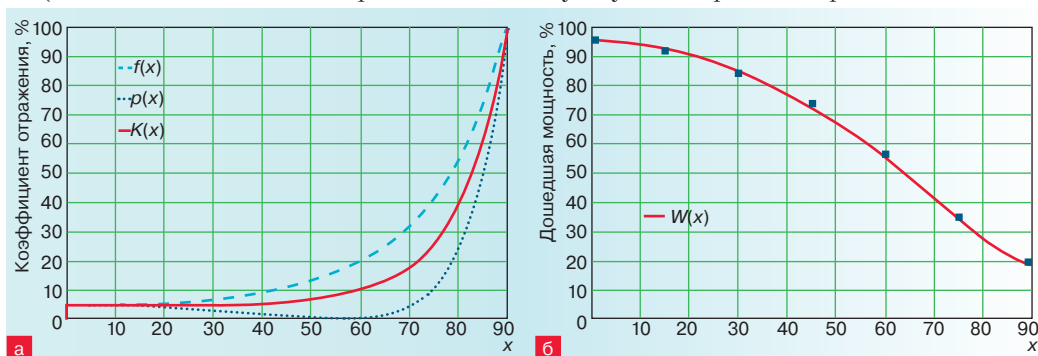


Рис. 1. Расчётные зависимости: а – коэффициента отражения солнечного излучения; б – доли солнечного излучения от угла падения  $x$  (наклона плоскости фотомодуля). Синие точки – экспериментальные результаты

ным отверстием, просверленного перпендикулярно оси трубки, – по появлению яркой светящейся точки под трубкой). Затем с помощью аналогично установленного пиранометра измеряли количество суммарной солнечной радиации, падающей вертикально на площадь 1 м<sup>2</sup>. После этого измеряли силу тока короткого замыкания и напряжение холостого хода батареи при углах падения лучей 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° и 90° (трижды для каждого угла). Экспериментальные данные подтвердили расчёт (см. ЭП табл. 1 и на с. 5 график, рис. 1, б).

**Выбор системы ориентирования.** Для повышения КПД фотоэлементов можно: ● использовать многослойные фотоприёмники на гетеропереходах, однако их стоимость гораздо выше обычных, поэтому соотношение цена/эффективность фактически не меняется ● применять двусторонние фотоэлектрические преобразователи, что незначительно увеличивает эффективность при значительном увеличении цены ● добавлять различные концентраторы, которые увеличивают фотоответ, но фотоэлементы при этом греются, что негативно сказывается на их КПД и сроке службы ● оборудовать фотоэлементы системой слежения за Солнцем, что даёт наилучшее соотношение стоимость/эффективность.

Система автоматического ориентирования следит за положением солнечной панели, периодически подстраивая его так, чтобы солнечное излучение падало на неё перпендикулярно. Ориентирование на Солнце возможно с помощью одно- и двухосевых систем слежения. Если первая способна подстраивать панель только по азимуту, то вторая – также и по высоте. Выигрыш в мощности при использовании одноосевой системы составляет примерно 30%, а её замена на двухосевую прибавляет не более 10% [2] (см. расчёты в ЭП). Учитывая, что конструкция двухосевой системы сложнее, риск выхода её из строя больше, а цена значительно выше, мы остановились на исследовании одноосевых систем.



Рис. 2. Оборудование для измерения мощности суммарного потока солнечной радиации

Существует несколько основных способов ориентирования на Солнце: ● ручная наводка – обладает относительно невысокой точностью, к тому же требуется оператор ● пассивная система на основе алгоритма дневного движения Солнца в течение дня позволяет автоматически и с высокой точностью отслеживать положение светила, но при этом программа рассчитывается только для одного заданного географического положения, причём необходимо вводить поправки каждый день ● активная система – наиболее удобная и эффективная.

Была разработана и собрана стендовая модель автоматизированной солнечной фотоэлектрической установки, рис. 3, в состав которой вошли: 1 – аккумулятор для питания электродвигателя и внешней цепи; 2 – плата управления, регулирующая поворот модели; 3 – электродвигатель; 4 – концевики, не позволяющие панели поворачиваться более чем на 180°, тем самым предотвращая наматывание и излом проводов; 5 – солнечная панель, закреплённая под углом в 45° к горизонту и подзаряжающая аккумулятор; 6 – рубильник для включения/выключения системы; 7 – выходные разъёмы, подключающие к установке внешнюю цепь (например, электроприборы), на демонстрации в качестве потребителя использовали светодиод.

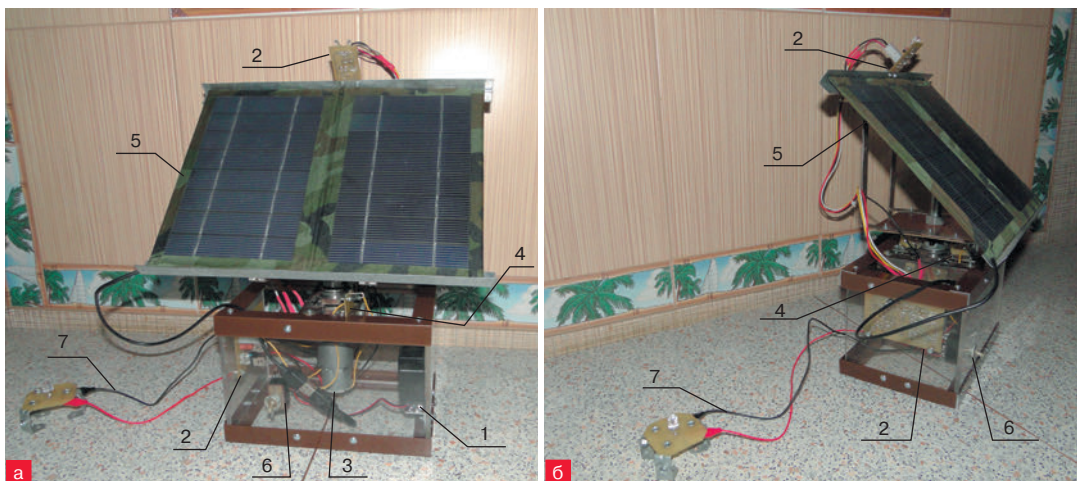


Рис. 3. Стендовая модель солнечной фотоэлектрической установки с активной одноосевой системой ориентирования солнечной панели: а – вид спереди; б – вид сзади

Главной частью установки является плата управления, рис. 4, выполненная на основе разработки Д. Джонсона [5] (принципиальную оригинальную схему платы и концевиков, внесённые модификации и описание работы установки см. ЭП). Датчиками служат не фото-, а светодиоды, поскольку принцип работы у них во многом схож, а стоимость значительно ниже. Пара светодиодов разведена на 30° (см. рис. 4, справа). Поскольку интенсивности падающего на них потоков солнечного излучения различны, то возникает сигнал. Сигнал усиливается и поступает на электродвигатель, направление вращения которого зависит от знака сигнала.

Энергопотребление движущихся частей системы можно снизить, если система будет работать не постоянно, а периодически, включаясь через определённые временные интервалы. Оптимальный интервал  $T$ , когда выигрыш в производительности максимален, рассчитаем по формуле (9), описывающей зависимость вырабатываемой мощности от угла падения излучения на фотоэлементы.

По климатическим данным NASA [6] средняя дневная сумма солнечной радиации в Томске и Новосибирске  $\approx 2,91$  кВт · ч/м<sup>2</sup>. Световой день в течение года составляет от 9 до 16 ч. Усредним его и примем за 13 ч. То есть в среднем за 1 ч на 1 м<sup>2</sup> поверхности по нормали падает поток солнечного излучения мощностью  $\approx 224$  Вт.

В нашей демонстрационной установке размер фотоэлектрических модулей 24 × 21 см, площадь батареи  $S = 0,0504$  м<sup>2</sup>, потребляемая за цикл ориентирования мощность электродвигателя  $\sim 3$  Вт, продолжительность цикла около 10 с, то есть потребляемая энергия  $\sim 30$  Вт · с = 1/120 Вт · ч.

По данным Лаборатории климатологии атмосферного состава [7], средняя высота Солнца над горизонтом в течение дня около 30°. При угле наклона нашей панели 45°, отклонение лучей по высоте от нормали составляет 15°.

Среднее изменение положения Солнца по азимуту составляет около 14,5° в час [7]. При небольших отклонениях (меньше 15°) от нормали изменение мощности потока падающего солнечного излучения почти линейно, поэтому можно считать, что отклонение по азимуту равно среднему арифметическому между минимальным и максимальным отклонениями в течение этого проме-

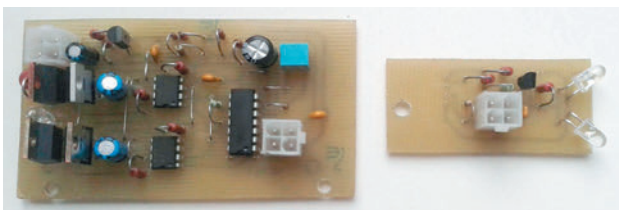


Рис. 4. Внешний вид платы управления

жутка времени. Наименьшее – ноль, поэтому угол падения  $x = \frac{T \cdot 14,5}{60 \cdot 2}$ , а количество выработанной за час энергии рассчитывается по формуле:

$$P(T) = Q \cdot S \cdot \eta \cdot W(15) \cdot W\left(\frac{T \cdot 14,5}{60 \cdot 2}\right) - \frac{P_d t}{T}, \quad (9)$$

где  $T$  (мин) – шаг системы, то есть время между включениями автоматической системы ориентации панели;  $Q$  (Вт/м<sup>2</sup>) – среднее значение удельной мощности суммарного солнечного излучения;  $\eta = 15\%$  – КПД солнечной батареи на монокристаллическом кремнии;  $W(x)$  – доля солнечной радиации, дошедшей до фотоэлемента (поскольку система ориентации двухосевая, член  $W(15)$  учитывает отклонение панели от нормали на 15°, а член  $W\left(\frac{T \cdot 14,5}{60 \cdot 2}\right)$  – среднее азимутальное отклонение за время  $T$ );  $P_d t = 0,5$  Вт · мин – энергия, потребляемая электродвигателем за одно включение. Наибольшая эффективность достигается при  $T = 40 \dots 60$  мин (рис. 5).

Дополнительное снижение энергозатрат можно получить за счёт использования датчика света на фотодиоде, который отключает систему ориентирования в тёмное время суток. Такой датчик был разработан и установлен (подробнее см. ЭП), результаты представлены на рис. 6.

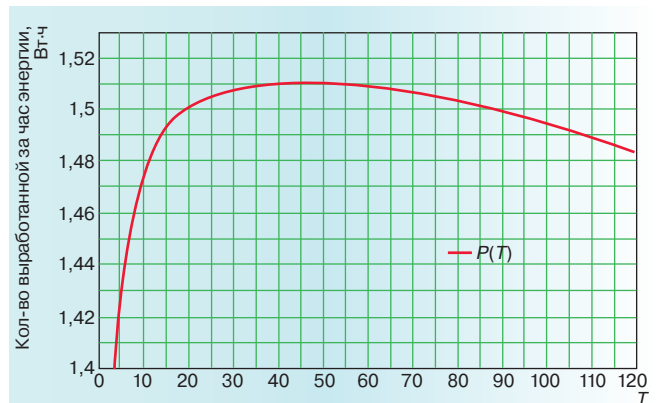


Рис. 5. Зависимость количества вырабатываемой энергии от шага системы

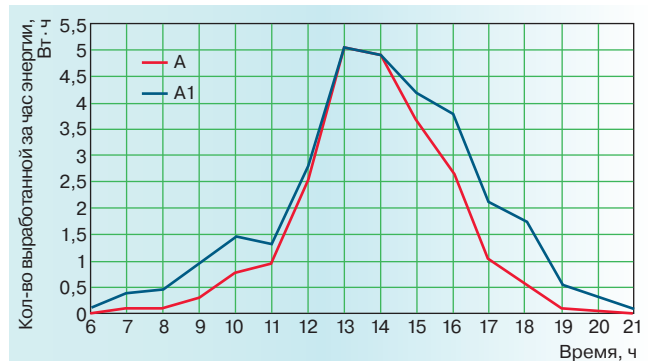


Рис. 6. Вырабатываемая мощность для панели с системой ориентирования (синяя кривая) и без неё (красная кривая)

**Расчёт экономии.** Как показал эксперимент, см. график, система ориентирования позволяет увеличить вырабатываемую энергию с 23 Вт · ч, до более 30 Вт · ч, при этом мощность была заметно выше практически в течение всего дня и равнялась мощности статичной батареи лишь с 13 до 14 ч, когда Солнце было на юге. Выигрыш в работе составил 30,8%.

Рассчитаем, какую экономическую выгоду может получить институт, приобретая систему ориентирования.

Чтобы увеличить на 30,8% энергию, вырабатываемую 12-ю имеющимися стационарными солнечными батареями, необходимо добавить к ним ещё несколько фотоэлектрических модулей. При стоимости одного модуля АИЭП-2 (производства НИИПП) 40 тыс. руб. [8] затраты составят  $12 \times 40 \times 0,308 = 147\,840$  руб.

Стоимость одной системы ориентирования: 3560 руб. (электродвигатель 56А-4) + 589 руб. (плата управления) + 1400 руб. (2 м<sup>2</sup> пластика) + 500 руб. (уголки) + 980 руб. (подшипники) + 800 руб. (вал и площадка для батареи) = 7829 руб. Стоимость 12 систем ориентирования: 93 948 руб.\*

Экономия:  $147\,840 - 93\,948 = 53\,892$  руб.

При эксплуатации в городе наша установка с фотоэлектрическими батареями окупится примерно за 10 лет (при существующих тарифах на электроэнергию), однако этот срок сокращается в несколько раз, если она заменит генераторы на дизельном топливе. Проект ориентирован в основном на децентрализованное электроснабжение. А это 70% территории нашей страны, на которой живёт 20 млн человек.

**Выводы:** ● создан рабочий образец фотоэлектрического модуля ● получены зависимости величин, влияющих на итоговую мощность батареи, от угла падения солнечных лучей ● проанализированы способы увеличения мощности солнечных батарей ● создан уникальный рабочий образец солнеч-

\*Для сравнения: стоимость систем слежения ED-1500 компании «ПКФ. Прогрессивные энерготехнологии» (г. Челябинск) составляет 250 тыс. руб [9].

ной батареи с использованием одноосевой системы ориентирования ● произведён расчёт энергетического и ценового выигрышей использования данных систем.

Использование систем ориентирования на Солнце позволяет увеличить выигрыш в вырабатываемой мощности более чем 30% за счёт более равномерного генерирования электричества с восхода до захода солнца. Именно поэтому создание данной системы позволит не только ТПУ и многим другим предприятиям, но и рядовым гражданам с меньшими затратами пользоваться «зелёной энергетикой».

### Литература

1. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А. Солнечная энергетика: учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во МЭИ, 2008. 317 с.
2. Юрченко А.В., Китаева М.В., Охорзина А.В. Система слежения за солнцем для солнечной энергоустановки. / В сб. «Ресурсоэффективные технологии для будущих поколений», Россия, Томск, ТПУ, 23–25 ноября 2010 г. II Форум молодых учёных СФО 2010. 11 с.
3. Вавилова О.С., Яшин Ю.П. Формулы Френеля – теория отражения. 2003 (см. ЭП). URL: [http://lms.physics.spbstu.ru/pluginfile.php/2659/mod\\_resource/content/1/Lab\\_3\\_05\\_Phys.pdf](http://lms.physics.spbstu.ru/pluginfile.php/2659/mod_resource/content/1/Lab_3_05_Phys.pdf)
4. Продукция компании RoyalSoverign Электронный ресурс URL: <http://www.tipografia.com.ua/f/RS/> (Дата обращения 18.07.2012 г.)
5. RED ROCK ENERGY. Solar Power Heliostat Arrays. URL: [www.redrok.com](http://www.redrok.com) (Дата обращения 10.08.2012 г.)
6. Natural Resources Canada. Программный пакет RETScreen. URL: [www.retscreen.net](http://www.retscreen.net) (Дата обращения 02.09.2012 г.)
7. Лаборатория климатологии атмосферного состава. URL: [lor.iao.ru](http://lor.iao.ru) (Дата обращения 14.09.2012 г.)
8. Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов. URL: [www.niipr.ru](http://www.niipr.ru) (Дата обращения 25.12.2012 г.)
9. ПКФ Прогрессивные энерготехнологии URL: [energoteh.pulscen.ru](http://energoteh.pulscen.ru) (Дата обращения 25.01.2013 г.)



**Александр Петрусёв** – сейчас учится в Энергетическом институте НИ ТПУ. Живёт с родителями и младшей сестрёнкой. Продолжает заниматься научной работой, планирует реализовать свои проекты в производство. Нравятся больше всего математика и физика. Любит бегать на длинные дистанции и смотреть профессиональный бокс.



**Алексей Васильевич Юрченко** – д. т. н., профессор кафедры ИИТ НИ ТПУ. Окончил НИ ТПУ в 1996 г. по специальности «Радиофизика и электроника». Лауреат Томской области в сфере образования, науки, здравоохранения и культуры. Счастливый отец двоих детей.



# Настройка спутниковой антенны

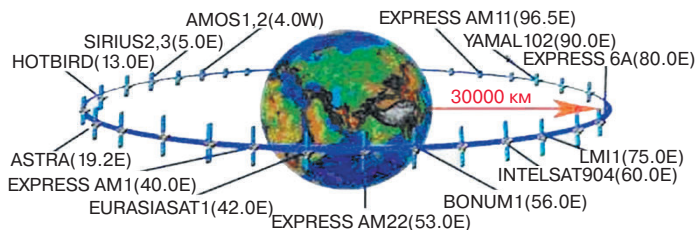


Предложен способ самостоятельной настройки спутниковой антенны, составлена программа в среде **Lazarus**.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** конкурс имени В.И. Вернадского, ученический исследовательско-конструкторский проект, спутниковая антенна, спутниковое телевидение



- Выполнила ученица 11-го класса **УМАНСКАЯ СВЕТЛАНА**  
aumanskaya.svetlana96@mail.ru  
(МОУ лицей № 22,  
г. Воскресенск, Московская обл.).
- Руководитель: учитель математики **Т.В. Порхунова**  
ptv\_work@list.ru



Группировка геостационарных спутников

**Цели проекта:** установить, как и где лучше расположить антенну для получения наибольшего сигнала, выяснить, что влияет на его качество.

**Задачи проекта:** рассчитать углы места и азимута с целью дальнейших расчётов по выявлению удобного месторасположения спутниковой антенны; на конкретном примере рассмотреть, как и куда установить антенну (а именно на примере двух домов по ул. Менделеева в моём городе).

Для выбора места установки антенны необходимо руководствоваться определёнными правилами. Все спутники расположены на одной геостационарной экваториальной орбите. Соответственно либо ваши окна должны выходить на южную сторону, либо спутниковая антенна должна устанавливаться на крыше здания. При этом вам нужно проверить, есть ли какие-либо препятствия (чаще всего это дома или деревья) на линии, соединяющей антенну и спутник. Нельзя устанавливать антенну в застеклённой лоджии, так как стекло поглощает электромагнитные волны гигагерцевого диапазона. Чтобы более точно определиться, нужно рассчитать угол места  $F$  и азимут  $A$ .

## История развития спутникового телевидения

В 1977 г. был принят Международный план спутникового ТВ-вещания [<http://nik-sat.pp.ua/index.php/sat-tv>]. В нём были указаны позиции спутников

Работа была представлена на XX Всероссийском конкурсе юношеских исследовательских работ им. В.И. Вернадского 2012/2013 уч. г. (№ 131712, рекомендована оргкомитетом регионального Московского областного этапа конкурса) и отмечена дипломом Лауреата в секции «Астрономия и физика атмосферы», а также грамотой «Лучший доклад». Печатается в доработанном и сокращённом виде. Оригинальный текст, презентация и компьютерная программа даны ЭП. – Ред.

на геостационарной орбите, частотные каналы, зоны обслуживания, уровни сигналов и прочие характеристики. С помощью спутников должны были передаваться пять национальных программ в каждой стране. Однако технических средств для реализации этого плана не было. Когда же они появились, в большинстве развитых стран была создана наземная передающая сеть, обеспечивающая приём 2–4 национальных программ. Потребности в дальнейшем развитии этой сети не было, поэтому не было смысла в реализации плана с целью только национального вещания.

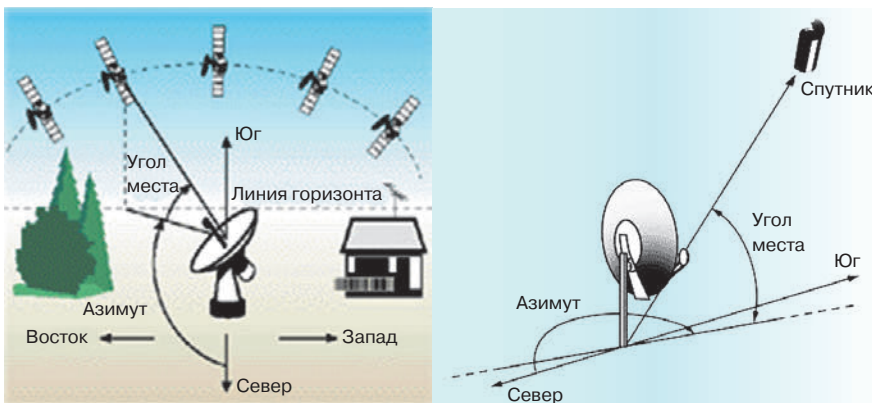
Примерно в это же время начал расти интерес к межнациональным программам с узкой целевой аудиторией (для детей, домохозяек, любителей животных, музыки или спорта). Наиболее подходящими для этого оказались именно спутниковые каналы в сочетании с многоканальными наземными распределительными сетями.

В настоящее время спутниковое телевидение быстро развивается, число каналов, а соответственно и информационных программ, увеличивается. Так как развитие сети кабельного телевидения в районах с преимущественно малоэтажной городской застройкой экономически невыгодно, а число обычных телеканалов ограничено, то установка спутниковых антенн для частного пользования является перспективным направлением развития сети телевидения.

## Расчёт угла места и азимута

**Угол места** – это угол, на который отклоняется от горизонтали линия прямой видимости на спутник, рассчитывается по формуле [<http://spacegrad.ru/taxonomy/term/3/0>]:

$$F = \arctg \left( \frac{\cos(\gamma_2 - \gamma_1) \cdot \cos \varphi - 0,151}{\sqrt{1 - \cos^2(\gamma_2 - \gamma_1) \cdot \cos^2 \varphi}} \right),$$



К определению угла места и азимута

где  $\gamma_1$  – долгота спутника,  $\gamma_2$  – долгота места приёма,  $\varphi$  – широта места приёма.

**Азимут** – это угол между направлением на север и направлением на спутник, рассчитывается по формуле [http://spacegrad.ru/taxonomy/term/3/0]:

$$A = 180^\circ + \arctg \frac{\operatorname{tg}(\gamma_2 - \gamma_1)}{\sin \varphi}.$$

**Расчёт угла места и азимута в г. Воскресенске, около дома № 1 по ул. Менделеева (55° 19' с. ш.; 38° 41' в. д.; местоположение спутника *Eutelsat W4* 36° в. д.):**

$$F = \arctg \left( \frac{\cos(38^\circ 41' - 36^\circ) \cdot \cos(55^\circ 19') - 0,151}{\sqrt{1 - \cos^2(38^\circ 41' - 36^\circ) \cdot \cos^2(55^\circ 19')}} \right);$$

$$F = \arctg \left( \frac{0,9989 \cdot 0,569 - 0,151}{\sqrt{1 - 0,9978 \cdot 0,3238}} \right);$$

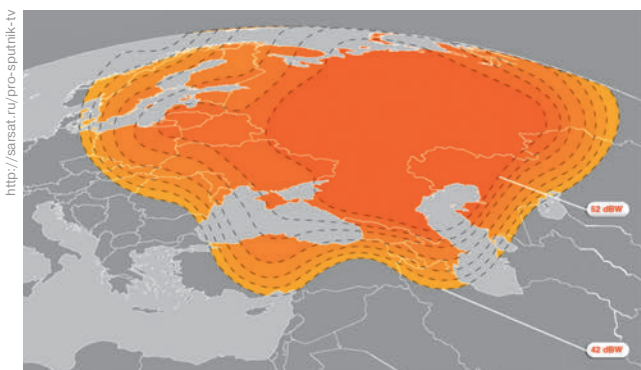
$$F = \arctg 0,5073; \quad F = 26^\circ 54'.$$

$$A = 180^\circ + \arctg \left( \frac{\operatorname{tg}(38^\circ 41' - 36^\circ)}{\sin(55^\circ 19')} \right);$$

$$A = 180^\circ + \arctg \left( \frac{\operatorname{tg}(38^\circ 41' - 36^\circ)}{\sin(55^\circ 19')} \right);$$

$$A = 180^\circ + \arctg 0,056999;$$

$$A = 180^\circ + 3^\circ 26' = 183^\circ 26'.$$



Зона покрытия спутника *Eutelsat W4/W7 36° East*

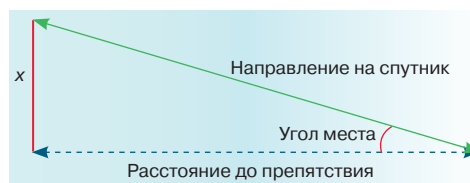
Спутник *W4* был выведен на орбиту в мае 2000 г. Это четвертый аппарат серии, построенной для *Eutelsat* фирмой *Alcatel Space*. Российский луч спутника *Eutelsat W4* обеспечивает покрытие Европейской части России, стран Балтии, Белоруссии и Украины, а также стран СНГ и Восточной Европы. Высокая излучаемая мощность 19 транспондеров российского луча позволяет организовать вещание на абонентские тарелки малого (40–60 см) диаметра.

На территории, покрываемой российскими лучами спутников *Eutelsat W4* и *Eutelsat W7* (европейская часть России и Урал), проживает около 80% населения России. Два крупнейших российских оператора спутникового ТВ (НТВ-ПЛЮС и Триколор-ТВ) используют именно эту позицию для вещания своих пакетов. Сегодня уже около 12 млн домохозяйств принимают сигнал из точки 36° в.д. непосредственно на домашние спутниковые тарелки, и это число быстро растёт. Помимо этого ещё около 12 млн домохозяйств абонентов кабельных сетей смотрят телеканалы, которые доставляются до головных станций кабельных операторов [http://medialegend.ru/36/].

Федеральное государственное унитарное предприятие «Космическая связь» (ГПКС), российский государственный оператор спутниковой связи и компания *Eutelsat Communications* объявили о подписании Меморандума о взаимопонимании, который предусматривает запуск в 2015 г. нового спутника в орбитальную позицию 36° в. д. Новый космический аппарат будет оптимизировать пропускную способность группировки спутников и обеспечит дополнительные ресурсы как для России, так и для Европы. Он позволит предоставлять вещательные и мультимедийные услуги в пределах Европейской части России вплоть до Урала. Финансирование нового спутника обеспечит компания *Eutelsat*, а его запуск будет произведён в рамках текущей Федеральной космической программы России на 2006–2015 гг. Управление на орбите будет осуществляться ГПКС из своего центра космической связи «Дубна».

### Возможные препятствия

Пусть в направлении на спутник есть препятствие – пятиэтажный дом. Необходимо убедиться в том, что линия антенна-спутник проходит выше

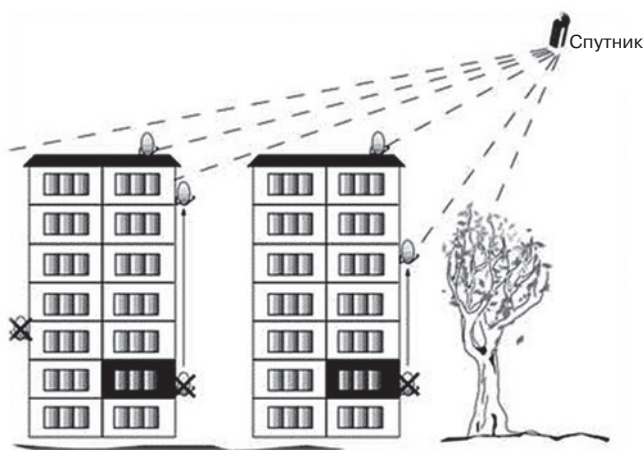


препятствия, в противном случае это может значительно ухудшить приём сигнала. Расстояние до препятствия можно найти по карте, используя масштаб. Пусть расстояние до препятствия 20 м, высота препятствия 18 м, угол места равен  $27^\circ$ ,  $X$  – максимальная высота препятствия, которое не мешает прохождению сигнала при установке антенны на земле.

*Решение.* Примем гипотенузу прямоугольного треугольника (направление на спутник) за  $Y$ . Тогда:

$$\cos 27^\circ = \frac{20}{Y} \Rightarrow Y = \frac{20}{\cos 27^\circ} \Rightarrow Y = \frac{20}{0,891} = 22,45 \text{ (м);}$$

$$X = \sqrt{(22,45)^2 - 18^2} \Rightarrow X = \sqrt{504,0025 - 324} \Rightarrow X \approx 13,4 \text{ (м).}$$



В данном случае высота препятствия слишком велика, оно будет мешать прохождению сигнала при установке антенны на земле – антенну надо поднимать.

Автоматический расчёт угла места и азимута для настройки спутниковой антенны про-

водился с помощью программы **Lazarus 1.04** (см. ЭП. – *Ред.*).

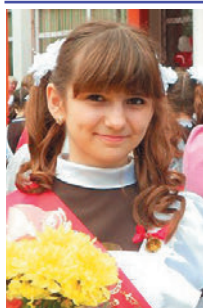
Используя мой проект на уроках физики и математики, можно научиться без посторонней помощи настраивать спутниковую антенну.

### Выводы

Мне удалось достичь поставленных целей. Математика играет очень важную роль в нашей жизни. Мы постоянно сталкиваемся с необходимостью производить какие-то расчёты. Спутниковые антенны есть практически в каждом доме, но правильно расположить их без математических расчётов и измерений невозможно.

### Литература

1. Колмогоров А.Н., Абрамов А.М., Дудницын Ю.П. и др. Алгебра и начала анализа. 10–11 класс: учебник для общеобразоват. учреждений. /Под ред. А.Н. Колмогорова. М.: Просвещение, 2004.
2. Никольский С.М., Потапов М.К., Решетников Н.Н., Шевкин А.В. Алгебра и начала анализа: 10 класс: учеб. для общеобразоват. учреждений. /5-е изд., доп. М.: Просвещение, 2006.
3. Расчёт угла поворота спутниковой антенны. URL: <http://www.al-soft.com/saa/satinfo-ru.shtml> SAT (Дата обращения: 24.11.2012 г.)
4. Выбор места установки спутниковой антенны URL: <http://www.spektr-tv.ru/articles.php> (Дата обращения: 13.12.2012 г.)
5. Установка и настройка спутниковой антенны URL: [http://www.technosat.ru/topic\\_406c3839ac5f5/art\\_4066de07a88b8](http://www.technosat.ru/topic_406c3839ac5f5/art_4066de07a88b8) (Дата обращения: 20.12.2012 г.)
6. *Eutelsat W4* URL: <http://www.medialegend.ru/satellites/w4/> (Дата обращения: 04.01.2013 г.)



**Уманская Светлана** – сейчас учится в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Школа была буквально вторым домом. Вспоминаются с благодарностью и учитель русского языка и литературы, развивавшая в детях чувство прекрасного, чтобы будущие инженеры не стали «сухарями», и учитель физики с суровыми зачётами, и учитель математики, всячески помогавшая с проектами. И, несомненно, поддержка семьи. Больше всего любит математику, инженерную графику и анатомию (спецпредмет на факультете БМТ). Хобби: рисование, спорт.



**Порхунова Татьяна Вячеславовна** – учитель математики высшей квалификационной категории, окончила Коломенский ГПИ в 1982 г. Педагогическое кредо: сто раз любовь, сто раз терпение, сто раз прощение! Ученики неоднократно побеждали в районных конкурсах научно-исследовательских работ, международных конкурсах «Математика и проектирование», постоянно участвуют в конкурсах имени В.И. Вернадского. Имеет Грамоту МОиН РФ и благодарность Минобр Московской области. Семья: мама – пенсионерка, взрослый сын, к. т. н. Любит готовить, выращивать цветы на приусадебном участке.

# Проблема учёта автомобильного топлива на автозаправках



Описано экспериментальное учебное исследование по физике, посвящённое поиску способов сокращения экономических потерь, возникающих при недостатках автомобильного топлива на автозаправках. Исследовано тепловое расширение бензина и дизельного топлива, а также влияние солнечного излучения на суточные колебания температур в цистернах. Предложена компьютерная программа для учёта нефтепродуктов на автозаправках в цилиндрических цистернах.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** конкурс имени В.И. Вернадского, ученический исследовательский проект, тепловое расширение, автомобильное топливо, недостатки на автозаправках



- Выполнили ученицы 10-го класса:  
**САРАНЦЕВА СОФЬЯ**  
sofiasar@yandex.ru,  
**БИБЕНИНА ОЛЬГА**  
bibenina1998@mail.ru  
(МОУ лицей № 8: «Олимпия», г. Волгоград).
- Руководитель: учитель физики  
**Э.В. Марчук**  
edik251282@yandex.ru, к. ф.-м. н.

На большинстве сельских автозаправок (рис. 1), не имеющих хорошего технического оснащения, учёт бензина в цистернах производится в единицах объёма, а физические параметры измеряются и считываются вручную. При этом возникают значительные (сотни литров в месяц) недостатки топлива [1, 2], которые зачастую связывают с его испарением или незаконным сливом из цистерн. Для покрытия недостатков бензин при отпуске товара не доливают, завышают его цену.

Как показано в [3], ежемесячно из-за испаряемости с каждой тонны, например, бензина, теряется всего от 0,12 до 3 кг. С целью выявления действительных причин недостатков нефтепродуктов на автозаправочных станциях проведено исследование теплового расширения различных видов автомобильного топлива с использованием экспериментальной установки (рис. 2).

Исследуемое топливо заливали в шприц, на штуцер которого предварительно надевали прозрачную трубочку. После этого шприц закрепляли вертикально, погружали в алюминиевый стакан с водой и подогревали на электроплитке с закрытой (в целях безопасности) спиралью. Для обеспечения как можно более равномерного нагрева топлива, воду в стакане непрерывно перемешивали. Температу-



Рис. 1. Сельская автозаправочная станция

ру топлива внутри шприца измеряли с помощью терморпары, подключённой к мультиметру. Так как внутренний диаметр трубочки мал, то даже незначительное расширение исследуемого топлива при нагревании приводило к значительному изменению высоты его уровня в трубочке. По изменению уровня жидкости ( $x - x_0$ ) определяли относительное изменение её объёма при нагревании по формуле:

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{\pi d^2}{4V_0} (x - x_0), \quad (1)$$

где  $d$  – внутренний диаметр трубочки,  $V_0$  – начальный объём топлива, соответствующий уровню  $x_0$ .

На рис. 2 представлены графики температурной зависимости расширения (относительного изменения объёма) дизельного топлива и бензина АИ-80. Видно, что:

- в диапазоне температур от 20 до 50 °С бензин расширяется на 3% от первоначального объёма, в то время как дизельное топливо – только на 1–1,2%;

- при температуре выше 45 °С дизельное топливо практически не расширяется из-за более тяжёлого фракционного состава по сравнению с бензином. Дизтопливо содержит фракции с большей температурой кипения, увеличивающими вязкость [4], а, следовательно, силы молекулярного притяжения, и, как следствие, уменьшающими коэффициент объёмного расширения. Таким образом, при учёте нефтепродуктов наибольших ошибок, вызванных тепловым расширением, следует ожидать именно в

Работа была представлена на XX Всероссийском конкурсе юношеских исследовательских работ им. В.И. Вернадского 2012/2013 уч. г. (№ 131246) и отмечена Дипломом лауреата, а также грамотой «За проблемность исследования». Печатается в доработанном и сокращённом виде. Оригинальный текст и отзыв официального рецензента конкурса см. ЭП. – Ред.

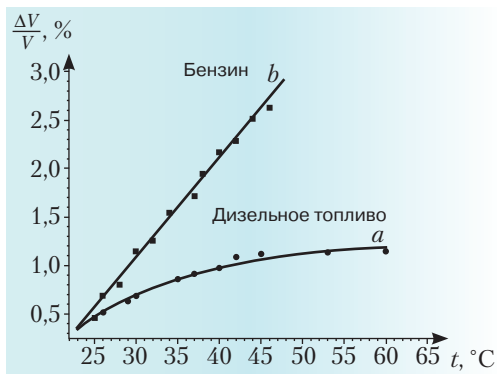
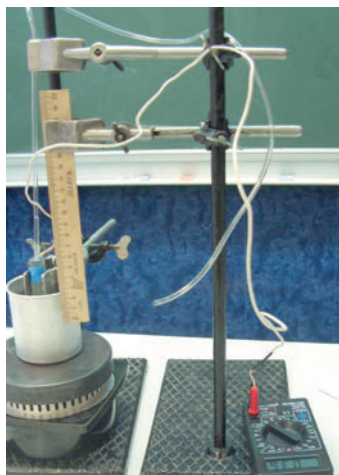


Рис. 2. Общий вид установки для определения температурного изменения объёма жидкости и кривые этой зависимости для бензина и дизельного топлива

случае бензина, что согласуется с выводами [1–3]. Расширение бензина на 3% может вызвать ошибку измерения его объёма до 45 л/т.

На сельской автозаправке цистерны стоят под открытым небом, следовательно, нагреваются солнечным излучением. Влияние солнечного излучения на колебания температуры автомобильного топлива в цистерне изучено на модели цистерны – алюминиевой трубке, закрытой с торцов резиновыми пробками (рис. 3). Температура топлива внутри модели измерялась с помощью термопары, а температура наружного воздуха – спиртовым термометром с зонтиком. Солнце моделировалось ИК-лампой, так как максимум тепловой энергии солнечного излучения приходится на ИК-диапазон [5]. Графики зависимости температуры модели цистерны и температуры наружного воздуха от времени представлены на рис. 4 (ИК-облучение длилось 10 мин).

Видно, что при облучении модели температура внутри неё значительно отличается от температуры окружающего воздуха. Нефтепродукты дольше нагреваются, но и дольше остывают, что связано с их большей теплоёмкостью и с отражательной способностью цистерны. При этом и разность температур, и время нагревания в зна-

чительной степени зависят от геометрических параметров цистерны, теплопроводности материала, из которого она изготовлена, степени её заполнения нефтепродуктом, коэффициентом отражения, конвекцией окружающего воздуха и прочим. Тем не менее эксперимент убедительно показывает, что объём не может являться мерой учёта топлива в цистернах, находящихся под воздействием солнечного излучения. Так, ошибка в измерении температуры бензина на 10 °С приводит к ошибке

определения его объёма до 17 л/т.

Исходя из проведённых экспериментов и численных оценок, можно сделать вывод, что значительные ошибки учёта нефтепродуктов на автозаправочных станциях могут возникать в результате неверной методики учёта, а именно, в результате пренебрежения колебаниями температуры внутри цистерны и значительным отклонением температуры содержимого цистерны от температуры окружающего воздуха, а также использованием объёма в качестве учётного параметра. Для уменьшения ошибок учёта необходимо измерять нефтепродукты в единицах массы, не зависящей от температуры, а также контролировать температуру топлива внутри цистерны.

Мы написали компьютерную программу (на языке *Basic*, рис. 4, подробнее см. ЭП), позволяющую производить учёт бензина в цилиндрической цистерне. Вводимые параметры: длина и диаметр цистерны, уровень топлива (измеряется метрштоком по методике, принятой на большинстве автозаправок [6]), температура бензина в цистерне и его плотность при 20 °С согласно накладной при поставке. Программа позволяет рассчитать плотность бензина при данной температуре с учё-

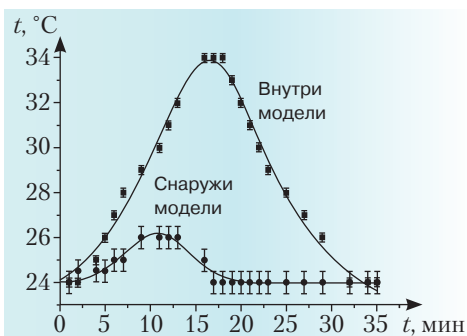


Рис. 3. Модельная установка для определения влияния солнечного излучения на температуру топлива в цистерне и кривые изменения температуры внутри модели цистерны с топливом и снаружи после 10-мин ИК-облучения



Рис. 4. Скриншот программы для учёта количества бензина в цилиндрических цистернах на автозаправках

том температурных поправок [6], а также его объём  $V$  в цистерне для различных соотношений её диаметра  $D$  и высоты уровня топлива  $h$  в цистерне по формулам:

$$V = \left( \frac{D^2}{4} \arctg \left( \frac{2\sqrt{Dh-h^2}}{D-2h} \right) - \sqrt{Dh-h^2} \left( \frac{D}{2} - h \right) \right) L$$

при  $h < \frac{D}{2}$ ; (2)

$$V = \frac{\pi D^2}{8} \cdot L \quad \text{при } h = \frac{D}{2}; \quad (3)$$

$$V = \left( \frac{\pi D^2}{2} - \frac{D^2}{2} \arctg \left( \frac{2\sqrt{Dh-h^2}}{2h-D} \right) - \sqrt{Dh-h^2} (2h-D) \right) \cdot \frac{L}{2}$$

при  $h > \frac{D}{2}$ ; (4)

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot L \quad \text{при } h = D. \quad (5)$$

Вычислить массу бензина по значениям плотности и объёма не составляет труда:  $m = \rho V$ .

#### Литература

1. Учёт ГСМ и их естественной убыли [Электронный ресурс]. // Гарант. Информационно-правовой портал [сайт]. Режим доступа: <http://www.garant.ru>.

2. Как победить недостачи и недоливы. «Открытое письмо» Премьер-министру Российской Федерации М. Фрадкову [Текст] // Энергетика и промышленность России. № 9 (73). 2006. С. 1.
3. Учитываем естественные потери нефтепродуктов, выявленные при инвентаризации [Электронный ресурс]. // Онлайн газета «Адвокат консалтинг» [сайт]. Режим доступа: [http://www.advocat-cons.info/engine/print.php?newsid=4915&news\\_page=1](http://www.advocat-cons.info/engine/print.php?newsid=4915&news_page=1) (Дата обращения 20.10.2012 г.)
4. Вязкость светлых нефтепродуктов и дизельных топлив [Электронный ресурс] // Tehnoinfo.ru [сайт]. Режим доступа: <http://www.tehnoinfo.ru/plastichnostnefteproduktov/24.html> (Дата обращения 15.09.2012 г.)
5. Картазаев В.А. Почему мы видим в «видимом» диапазоне? [Текст] // Фізика: проблеми викладання. 1997. № 9. С. 68–77.
6. Приборы для измерения уровня жидкости [Электронный ресурс] // Стройпортал [сайт]. Режим доступа: <http://escooil.su/1777.html> (Дата обращения 15.03.2013 г.)
7. Плотность нефтепродуктов [Электронный ресурс] // Любые нефтепродукты [сайт]. Режим доступа: <http://www.petromarket.ru/1.htm> (Дата обращения 29.11.2012 г.)



**Софья Саранцева** – сейчас учится в 10-м классе химико-биологического профиля. Увлекается физикой и химией. В творческой деятельности её увлекает сам процесс исследования, познания окружающего мира. Намерена и дальше продолжать углублённое изучение физики и химии и принимать активное участие в научных конкурсах. В свободное время увлекается чтением.



**Ольга Бибенина** – как и мечтала, поступила в Волгоградский медико-экологический колледж. Интересуется химией, фармацевтикой, точными науками. Свободное время любит проводить с друзьями. В дальнейшем планирует поступить в Волгоградскую медицинскую академию.



**Эдуард Викторович Марчук** – учитель физики высшей квалификационной категории, к. ф.-м. н. Окончил физический факультет Волгоградского ГПУ в 2004 г. В 2008 г. защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук. Совмещает работу в лицее с преподаванием физики в Волгоградском государственном социально-педагогическом университете (доцент кафедры общей физики) и с дистанционным обучением детей с ограниченными возможностями здоровья (ЦДО МОУ лицея № 8 «Олимпия»). Удостоен премии губернатора Волгоградской области (2010) и премии Президента (2011). Четырёхкратный победитель Всероссийского конкурса молодых учителей физики, математики, химии и биологии фонда «Династия» в номинации «Молодой учитель» с присуждением гранта на развитие творческой педагогической деятельности. Авторский сайт: [www.lyceum8.ru/marchuk](http://www.lyceum8.ru/marchuk).

# Универсальный прибор гидростатического типа для измерения массы тел, плотности жидкостей и твёрдых тел



Описана разработка универсального прибора, позволяющего измерять массу и плотность твёрдых тел, а также плотность жидкостей. Прибор работает на законе Архимеда. Исследованы возможные причины систематических ошибок. Показано эффективное применение прибора в лабораторном практикуме. Основные достоинства прибора: универсальность (новизна именно в этом) и простота использования (все прямые измерения делаются простой линейкой).

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** конкурс имени В.И. Вернадского, ученический исследовательско-конструкторский проект, закон Архимеда, условие плавания тел, денсиметр



- Выполнили ученики 8-го класса:

**КАБИР СРИТИ**

tk14799@gmail.com,

**СОСНОВА ЕЛИЗАВЕТА**

lizavetasosnova@gmail.com

(НОУ ЦО «Новое образование», г. Москва).

- Руководитель:

проф. **В.П. НАЛИВАЙКО**

nvpnpv@gmail.com, к. ф.-м. н.

(МТУСИ, НОУ ЦО «Новое образование»)

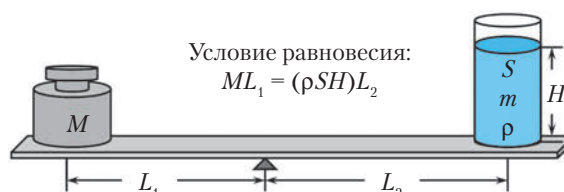


Рис. 1. Условие равновесия

Наше исследование началось с поисков ответа на простой вопрос: как взвесить небольшое птичье пёрышко? Оказывается, для этого потребуется довольно сложный прибор [1–4]. А можно ли разработать способ измерения массы тел, не требующий сложного оборудования? Как самостоятельно изготовить весы с высокой точностью взвешивания? Можно ли приспособить их для измерения плотности веществ? В поисках наиболее простых методик мы отобрали те, в которых процесс определения массы или плотности сводится к измерению простой линейкой. Их можно разделить на две группы:

1. Рычажные весы [5, 6]. Процесс взвешивания или определения плотности жидкости сводится к измерению плеча рычага или уровня жидкости в цилиндре (рис. 1). Такой прибор не позволяет измерить плотность твёрдых тел и неудобен в использовании, так как равновесие в нём не достигается автоматически.

2. Поплавковые весы, основанные на действии архимедовой силы. В работе [7] предложена кон-

струкция весов, изготовленных из обычных пластиковых бутылок. Эти весы наиболее просты в изготовлении и более удобны в использовании, чем рычажные, потому что равновесие достигается автоматически. Однако авторы не рассматривали возможность такой модернизации весов, чтобы с их помощью можно было измерять и плотность веществ.

*Цель нашей работы:* изготовить простой в использовании универсальный прибор, позволяющий измерять как массу тел, так и плотность – жидкостей, твёрдых тел и сыпучих материалов.

*Задачи:* • **разработать** методику измерения массы тел и плотности веществ с помощью универсального прибора • **исследовать** возможные причины появления систематических ошибок измерений данным методом • **провести контрольное** тестирование прибора • **проанализировать** достоинства и недостатки прибора.

## 1. Устройство и принцип действия прибора

**1.1. Измерение массы тел.** Прибор изготавливается из трёх прозрачных пластиковых бутылок (рис. 2, а): бутылка-поплавок помещается во внешнюю обрезанную бутылку-стакан, между ними закрепляется направляющий цилиндр, обеспечивающий свободное перемещение поплавка. На поплавке закрепляется чашка весов. В направляющем цилиндре продельваются отверстия для свободного проникновения воды. Поплавок заполняют водой до уровня, где сечение постоянно. Измеряют начальный уровень

Работа была представлена на XX Всероссийском конкурсе юношеских исследовательских работ им. В.И. Вернадского 2012/2013 уч. г. (№ 130539) и отмечена Дипломом победителя, а также грамотой «Лучший доклад». Печатается в доработанном и сокращённом виде. Оригинальный текст, презентация и отзыв официального рецензента конкурса см. ЭП. – Ред.

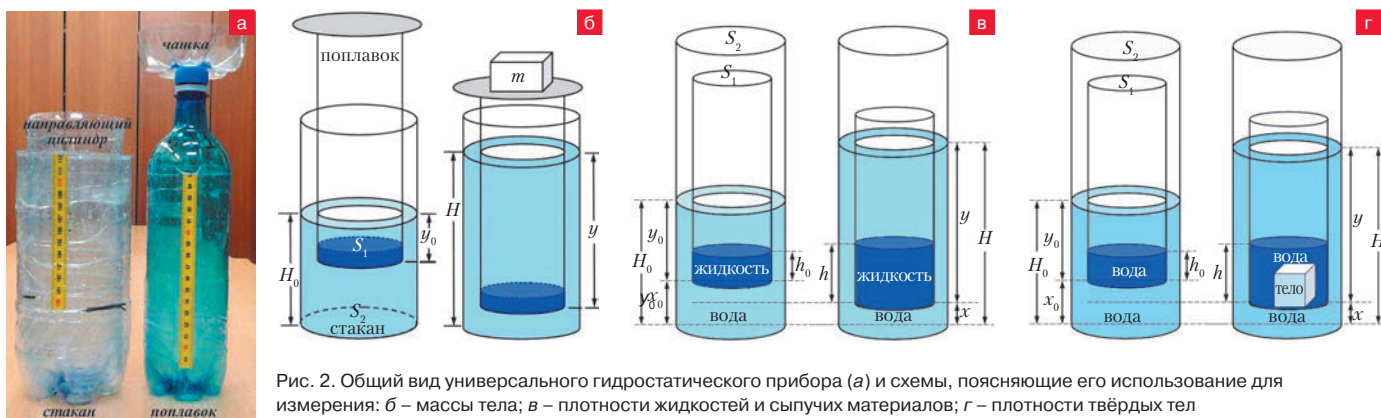


Рис. 2. Общий вид универсального гидростатического прибора (а) и схемы, поясняющие его использование для измерения: б – массы тела; в – плотности жидкостей и сыпучих материалов; г – плотности твёрдых тел

воды в стакане  $H_0$  при глубине погружения поплавка  $y_0$ . Далее на чашку весов кладут груз неизвестной массы  $m$  и измеряют конечный уровень воды в стакане  $H_m$  при глубине погружения поплавка  $y$  (рис. 2, б).

Из закона Архимеда следует:

$$mg = \rho_v g (y - y_0) S_1^*, \quad (1)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $\rho_v$  – плотность воды,  $S_1^*$  – площадь внешнего сечения поплавка, отличающаяся от площади его внутреннего сечения  $S_1$  из-за того, что стенки имеют некоторую толщину.

Из условия несжимаемости жидкости следует:

$$(y - y_0) S_1^* = (H_m - H_0) S_2, \quad (2)$$

где  $S_2$  – внутреннее сечение стакана.

Поместив на чашку весов груз известной массы  $M$ , рассчитаем цену деления весов:

$$C = \frac{M}{H_M - H_0} = \rho_v S_2 \quad (\text{г} / \text{мм}^3). \quad (3)$$

Объединяя (1)–(3), получаем формулу для расчёта массы тела:

$$m = C(H_m - H_0) \quad (\text{г}). \quad (4)$$

Цена деления весов зависит от соотношения диаметров стакана и поплавка, подбор которых ограничен ассортиментом выпускаемых пластиковых бутылок с постоянным сечением по высоте. Максимальный предел измерения весов зависит от разности максимально допустимого и начального уровня воды. Мы сконструировали два экземпляра весов из бутылок с параметрами:

- 1)  $C_1 = 7,6 \text{ г/мм}$ ,  $m = (10 \dots 450) \text{ г}$ ;
- 2)  $C_2 = 7,2 \text{ г/мм}$ ,  $m = (10 \dots 600) \text{ г}$ .

**1.2. Измерение плотности жидкостей и сыпучих материалов.** Удалив чашку весов, мы получаем готовый к использованию денсиметр (рис. 2, в). Только теперь помимо шкалы на стакане понадобится и шкала на поплавке. Жидкостью неизвестной плотности  $\rho$  или сыпучим материалом заполняем поплавок до уровня  $h_0$ , начиная с которого сечение поплавка постоянно. Поплавок помещаем в стакан с водой, из-

меряем начальную глубину погружения  $y_0$ . Добавляем жидкость в поплавок до уровня  $h$ , измеряем новый уровень погружения поплавка  $y$ . Вес добавленной в поплавок жидкости равен весу дополнительно вытесненной поплавком воды в стакане:

$$\rho g (h - h_0) S_1 = \rho_v g (y - y_0) S_1^*. \quad (5)$$

Используя условие несжимаемости жидкости (2), получаем расчётную формулу плотности неизвестной жидкости:

$$\rho = C \left( \frac{H - H_0}{h - h_0} \right) \quad (\text{г} / \text{см}^3). \quad (6)$$

Заливая и в поплавок, и в стакан воду, мы рассчитали цену деления денсиметра:

$$C = \left( \frac{h_b - h_0}{H - H_0} \right) \rho_v = \left( \frac{S_2}{S_1} \right) \rho_v \quad (\text{г} / \text{см}^3). \quad (7)$$

**1.3. Измерение плотности твёрдых тел.** Поплавок заполняем водой до уровня  $h_0$  (рис. 2, з), помещаем в стакан с водой, и измеряем начальный уровень воды в стакане  $H_0$  при начальной глубине погружения поплавка  $y_0$ . В поплавок помещаем твёрдое тело неизвестной плотности  $\rho_m$ , измеряем уровень воды  $h$  в поплавке и установившийся уровень воды в стакане  $H$  при новой глубине погружения поплавка  $y$ . Учитывая, что объём тела равен  $(h - h_0) S_1$ , приравниваем его вес и вес дополнительно вытесненной поплавком воды в стакане:

$$\rho_m g (h - h_0) S_1 = \rho_v g (y - y_0) S_1^*. \quad (8)$$

Поскольку формула (8) совпадает с (5), то плотность твёрдого тела можно рассчитать по формуле (6).

Формулы (1), (5) и (8) содержат выражение для гидростатического давления столба воды  $p = \rho_v g H$ , мы и назвали сконструированный универсальный прибор гидростатическим.

**1.4. Измерение массы очень лёгких тел.** Все изготовленные нами весы из бутылок имеют цену деления в несколько *граммов на миллиметр*. Для уменьшения цены деления весов, мы в качестве поплавка использовали зубочистку (рис. 3). Чтобы она плавала верти-





Рис. 3. Общий вид гидростатического прибора для измерения массы очень лёгких тел (а) и поясняющая схема (б)

кально, мы закрепили её в пробке, а снизу воткнули гвоздики. Глубину погружения поплавка отмечали по шкале на стакане. Измерив начальную глубину погружения  $H_0$  поплавка и глубину погружения  $H_m$  поплавка с закреплённым пёрышком массой  $m$ , получили формулу для расчёта массы тела:

$$m = C \cdot (H_m \cdot H_0) \text{ (мг)}, \quad (9)$$

где цена деления весов:

$$C = \rho_v \cdot \frac{\pi d^2}{4} \text{ (мг / мм)}. \quad (10)$$

Нам удалось уменьшить цену деления до 5,4 мг на 1 мм линейки и взвесить пёрышко. Этот же поплавок можно использовать и в качестве ареометра для измерения плотности жидкости.

## 2. Анализ возможных систематических ошибок

Причины возникновения систематических ошибок измерений обусловлены дефектами приборов, ошибками в методике расчетов и другими [8]. Их довольно трудно обнаружить и учесть. Они приводят либо к завышению, либо к занижению истинных результатов. Систематические ошибки могут быть обусловлены наличием не учтённых нами сил поверхностного натяжения воды и силы трения поплавка о стенки направляющего цилиндра, а также дефектами прибора.

**2.1. Влияние силы поверхностного натяжения воды.** Сила поверхностного натяжения [9], действующая на поплавок, постоянна по модулю и направлена постоянно в одну сторону (либо вертикально вниз, либо вертикально вверх, в зависимости от того, смачивает вода поверхность поплавка или нет). А поскольку предлагаемая методика предполагает при каждом взвешивании проводить два измерения уровня жидкости и находить их разность, то влияние этих сил на конечный результат взаимно компенсируется.

**2.2. Влияние силы трения.** Направление силы трения покоя, действующей на поплавок в момент установления равновесия, зависит от того, в каком направлении двигался поплавок к положению равновесия. Если он опускался, то сила трения скольжения была направлена вверх, как и сила трения

покоя в момент остановки. Если поплавок после размещения груза принудительно погрузить немного ниже нового уровня равновесия, то он начнёт всплывать, и действующая на него сила трения скольжения будет направлена вниз, как и сила трения покоя после остановки поплавка. Следовательно, проведя серию измерений массы тела и изменяя начальное направление движения к положению равновесия, можно перевести систематическую ошибку в разряд случайной и минимизировать её, увеличив количество измерений. Именно по этой методике мы определяли цену деления приборов и проводили последующие эксперименты с ними.

**2.3. Конструкционные особенности прибора.** Для расчёта силы Архимеда обычно измеряют глубину погружения поплавка по закреплённой на нём шкале. В нашем приборе поплавок находится в стакане с водой, а между ними – направляющий цилиндр. Вследствие этого шкала поплавка плохо различима. Мы показали, что с учётом несжимаемости жидкости, от измерений глубин погружения поплавка  $y$  и  $y_0$  по шкале поплавка можно перейти к измерениям уровня воды в стакане  $H$  и  $H_0$  по шкале снаружи прибора. Это накладывает ограничения на рабочую часть прибора: поплавок и стакан должны быть постоянного сечения по высоте. Именно поэтому в начале измерений поплавок минимально заполняется водой до уровня, с которого начинается постоянное сечение сосуда.

## 3. Тестирование прибора

Подробные результаты тестирования прибора приведены на сайте [10]. Измерения проводились с несколькими вариантами приборов (с разной ценой деления). Результаты контролировались на учебных рычажных весах и сопоставлялись с табличными данными плотностей веществ. Погрешность измерений массы тел, приведённых в табл. 1–3 (см. ЭП), не превышает 5%.

Результаты измерений плотности подсолнечного масла двумя денсиметрами с различной ценой деления (табл. 4, 5) совпадают в пределах погрешности эксперимента ( $0,916 \pm 0,008$  и  $0,920 \pm 0,010$  г/см<sup>3</sup>) и хорошо согласуются с диапазоном плотности коммерческого подсолнечного масла [11]: 0,924...0,927 г/см<sup>3</sup>. Результаты измерений плотности стальных винтиков (табл. 6) согласуются с табличными значениями.

Используя зависимость плотности картофеля от содержания крахмала в клубнях [12], мы проградуировали прибор в процентах содержания крахмала. В зависимости от содержания крахмала можно дать рекомендации по использованию данного картофеля в кулинарии.

По разработанной методике проведены экспериментальные уроки в 5–8 классах. Проанализировав результаты экспериментов, а также возможность использования прибора в лабораторном практикуме, мы сформулировали достоинства и недостатки прибора.

**Выводы**

1. Разработана методика и изготовлен **универсальный** прибор гидростатического типа для измерения массы тел и плотности жидкостей, сыпучих материалов и твёрдых тел.

2. Силы поверхностного натяжения при измерениях предлагаемым способом не приводят к систематической ошибке при любом смачивании поплавка жидкостью.

3. Разработанный метод измерений позволяет минимизировать случайную погрешность, обусловленную наличием силы трения.

4. Результаты тестирования прибора совпадают в пределах погрешности эксперимента с контрольными результатами и согласуются с опубликованными данными.

5. Продемонстрирована эффективность использования прибора в лабораторном практикуме.

6. Основные достоинства прибора гидростатического типа: простота в изготовлении и в использовании; малая относительная погрешность измерений (порядка нескольких процентов); универсальность: измерение и массы тел, и плотности жидкостей, и сыпучих материалов проводится одним прибором с помощью линейки.

7. Основные недостатки: относительно узкий диапазон измерений. Для его увеличения необходимо увеличивать высоту используемых ёмкостей, например, путём герметичного соединения нескольких бутылок. Это может привести к снижению точности

прибора, поскольку трудно соблюсти одинаковость сечения по всей высоте.

**Литература**

1. История весов. <http://www.istorya.ru/articles/vesy.php>.
2. Плотность и методы её определения. [http://www.chemport.ru/data/chemipedia/article\\_2876.html](http://www.chemport.ru/data/chemipedia/article_2876.html)
3. Кивилис С.С. Техника измерения плотности жидкостей и твёрдых тел. М., 1959.
4. Глыбин И.П. Измерение массы, объёма и плотности. М., 1972.
5. Фурдик А.В. Измерение плотности жидкости с помощью ученической линейки. XVIII Всероссийские чтения им. В.И. Вернадского. 2011.
6. Определение плотности жидкости (7 января 2009) <http://www.afportal.ru/answers/57>
7. Весы из пластиковых бутылок <http://www.afterwork.com.ua/vesy-iz-plastikovyx-butyllok.html>
8. <http://schools.keldysh.ru/sch764/files/pogr.htm>
9. Бутиков Е.И. и др. Строение вещества. М.: ФМЛ, 2001. 336 с.
10. Соснова Е.А., Кабир С.Е. LiTiN – универсальный гидростатический денсиметр для измерения массы тел, плотности жидкостей, сыпучих материалов и твёрдых тел <https://sites.google.com/site/ltdmeter/home>
11. Подсолнечное масло. <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/2/3431.html>
12. Биологическая ценность картофеля <http://chel-potatoes.ru/content/view/192/25/>.



**Владимир Павлович Наливайко** – к. ф.-м. н., проф. Московского технического университета связи и информатики (МТУСИ). После окончания аспирантуры физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова работал в Институте механики МГУ (научный сотрудник). С 1987 г. преподаёт в МТУСИ и, по совместительству, в физматклассах лицея № 1550, а с 1997 г. – и в школе «Новое образование». Соросовский лауреат. Более 20 учеников удостоены звания победителей на всероссийских и международных конкурсах исследовательских работ учащихся. Двое учеников стали лауреатами премии Президента России в поддержку талантливой молодёжи.



**Лиза Соснова** – участница школьного клуба «Игры разума». Учебно-научная исследовательская деятельность – один из приоритетов Елизаветы. Другие – это иностранные языки (английский и немецкий), танцы, музыка и самосовершенствование. Жизненное кредо: думай, трудись – и всё получится! Мечта о будущем – творчество во всех его проявлениях, возможно, научно-техническое.

**Тина Кабир** – сейчас учится в 9-м классе. Увлекается изучением иностранных языков (английский и французский), музыкой, танцами. В будущем мечтает стать врачом. Любимые предметы: физика, биология, химия, английский язык.

**Дополнение**

В 2013/2014 уч. г. Лиза и Тина продолжили работу над проектом. Прибор был принципиально модифицирован и создан опытный образец промышленного изготовления, позволяющий с точностью, достаточной для учебного оборудования, измерять массу, объём, плотности жидкостей и твёрдых тел, а также атмосферное давление. Теоретически обоснована возможность измерения этим прибором плотности и температуры атмосферы и газа в сосуде. С этими результатами Лиза и Тина вошли в пятёрку международных финалистов конкурса *Google Science Fair* в своей возрастной категории\*. В ноябре 2013 г. они заняли первые места на конкурсе инновационных предпринимательских проектов школьников (КИП-ШК-2013), который ежегодно проводится в МГТУ им. Н.Э. Баумана, и в городском конкурсе инженерно-технических проектов детей и молодёжи до 18 лет «Я изобретатель», который впервые проводился «Московским центром инноваций и научно-технического творчества».

Подробнее см. на с. 60–61, а также на сайтах проекта <https://sites.google.com/site/ltdmeter/>; <https://sites.google.com/site/2013litin>

\*В конкурсе *Google Science Fair* ([https://www.google-sciencefair.com/ru\\_ALL/2013/](https://www.google-sciencefair.com/ru_ALL/2013/)) участвовали 90 региональных финалистов (из нескольких тысяч участников из 120 стран), из которых выбрали 15 глобальных (международных, по 5 лучших в каждой из трёх возрастных групп) финалистов для участия в очном этапе, состоявшемся в г. Маунтин-Вью (США) в сентябре 2013 г.

# Определение прочности полиэтиленовых пакетов

Исследованы некоторые механические свойства полиэтиленовых пакетов разного вида, а также влияние температуры и разных дефектов на их прочность.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** конкурс имени В.И. Вернадского, ученический исследовательский проект, механическая прочность, полиэтиленовые пакеты



- Выполнили ученики 8-го класса:  
**ИЛЬИНСКАЯ ДИАНА**  
ilirita@yandex.ru ,  
**ГОТОВЦЕВ ВЛАДИСЛАВ**  
vladgotovcev@mail.ru  
(ГБОУСОШ № 546, г. Москва).
- Руководитель: учитель физики  
**Ю.В. КАЗАКОВА** kazako-va546@mail.ru

Цель работы: выяснить, какие полиэтиленовые пакеты являются самыми прочными.

Задачи исследования: • изучить, каких видов бывают полиэтиленовые пакеты • изучить теоретические основы механической прочности материалов • измерить *разрывное усилие* и максимальное абсолютное удлинение образцов пакетов • рассчитать напряжение (предел пропорциональности), относительное удлинение и модуль Юнга для образцов пакетов (при упругой деформации) • изучить влияние температуры и дефектов пакетов на их прочность.

Методы исследования: • изучение литературы по теме • проведение эксперимента • анализ полученных результатов.

**Виды полиэтиленовых пакетов.** Полиэтилен – термопластичный полимер этилена, органическое соединение с длинными молекулами  $\dots-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\dots$ , где «-» обозначает ковалентные связи между атомами углерода. Различают два вида полиэтилена: • *полиэтилен высокого давления* (ПЭВД, или *LDPE*, – полиэтилен низкой плотности, получают при температуре 200–260 °С и давлении 150–300 МПа, плотность 0,918–0,930 г/см<sup>3</sup>, толщина 30–120 мкм, грузоподъёмность пакета до 9 кг) • *полиэтилен низкого давления* (ПЭНД, или *HDPE*, – полиэтилен высокой плотности, получают

при температуре 120–150 °С и давлении 0,1–2 МПа, плотность 0,945–0,970 г/см<sup>3</sup>, толщина 9–55 мкм, грузоподъёмность пакета до 25 кг).

Толстый на вид пакет зачастую оказывается изготовленным из ПЭВД и рвётся намного быстрее тонких пакетиков из ПЭНД.

**Эксперимент.** Мы отобрали пакеты 7 типов (все ПЭНД, типа «майка», кроме последнего – ПЭВД, с прорубной ручкой): 1. «Перекрёсток» (перфорированный); 2. «Марианна» (неперфорированный); 3. «Ашан» (неперфорированный); 4. чёрный (перфорированный); 5. красный (перфорированный); 6. зелёный (неперфорированный); 7. «Интеллект-центр» (неперфорированный). Статической нагрузке подвергались одинаковые образцы – вырезанные из пакетов полоски 3 × 2 см. Нас интересовали *модуль упругости*, *разрывное усилие*, при которой начинается разрушение образца, *максимальное относительное удлинение* образца, а также влияние температуры окружающей среды и наличия дефектов на эти параметры.

Установка для определения модуля Юнга включала в себя штатив, зажимы для образца и грузы. Под нагрузкой образец удлинялся. Изменение длины мы фиксировали при помощи линейки. Затем рассчитывали абсолютное и относительное удлине-



▲ Пакеты



▲ Экспериментальная установка

Работа была представлена на XX Всероссийском конкурсе юношеских исследовательских работ им. В.И. Вернадского 2012/2013 уч. г. (№ 131134) и отмечена Дипломом I степени, грамотами «Лучшая работа по мнению комиссии учащихся» и «Актуальное исследование». Печатается в доработанном и сокращённом виде. Оригинальный текст, презентация и отзыв официального рецензента конкурса см. ЭП. – Ред.

ние. Испытания проводили при разной температуре окружающей среды на образцах с разными видами дефектов (дырка, продольный разрез, поперечный разрез), два образца были испытаны на поперечное растяжение.

Результаты измерений представлены в виде таблиц (приложение 1, см. ЭП) и графиков зависимости  $F(\Delta l)$  (приложение 2, см. ЭП). По графикам определяли участки, на которых образцы испытывают упругую деформацию, то есть выполняется закон Гука.

Предельное напряжение, при котором ещё выполняется закон Гука (предел пропорциональности), определяли по формуле:

$$\sigma = \frac{F}{Lh},$$

где  $F$  – внешняя сила (вес груза),  $L$  – ширина образца ( $2 \cdot 10^{-2}$  м),  $h$  – его толщина, м. Относительное удлинение рассчитывали по формуле:  $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ , модуль Юнга – по формуле:  $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$ .

### ПОЛИЭТИЛЕНОВЫЙ ПАКЕТ «КРЕПЫШКА»

В процессе выполнения исследовательской работы (см. с. 19–21) родилась идея следующего проекта (она была представлена в финале конкурса инновационных предпринимательских проектов школьников «КИП-ШК-2013» в МГТУ им. Н.Э. Баумана, ноябрь 2013 г. см. презентацию в ЭП).

Я выяснила, что по форме ручек пакеты делятся на 3 группы: типа «майка», с прорубной ручкой и с петлевой ручкой, а по способу производства – на ПЭВД (полиэтилен высокого давления низкой плотности) и ПЭНД (полиэтилен низкого давления высокой плотности). Результаты предыдущей работы (толщина образца пакета  $h$ , удлинение при максимальной нагрузке: абсолютное  $\Delta l$  и относительное  $\epsilon$ , максимальное разрывное усилие  $F_{\text{разрыв}}$ ) приведены в таблице.

Пакет	$h$ , мкм	$\Delta l$ , мм	$\epsilon$ , %	$F_{\text{разрыв}}$ , Н
«Интеллект-центр»	45	57	190	7
«Ашан»	16	42	140	10
«Перекрёсток»	10	12	40	11
Чёрный	10	70	233	10
Зелёный	9	16	53	6
«Марианна»	12	46	153	9
Красный	10	10	33	10
«Пятёрочка»	10	12	40	13

Лучшими характеристиками (минимальная деформация при наибольшей силе разрыва) обладают пакеты типа «майка»: «Перекрёсток» и «Пятёрочка».

Но у пакетов типа «майка» мы выявили один недостаток, который является причиной образования дырок в днище: они образуются в местах неоднородностей, где находится крепление ручек пакета. По закону Гука, удлинение пакета в местах, где нагрузка приходится на 2 полотна пакета (где только стенки), в 2 раза больше, чем там, где она приходится на 4 полотна (где ручки):

$$\Delta l_2 = \frac{mg}{2k}$$

против

$$\Delta l_4 = \frac{mg}{4k}.$$

Путём опроса 35 респондентов я выяснила, что 74% пользователей жалуются, что полиэтиленовые пакеты рвутся до того, как покупки доносятся до дома. При этом 70% хотели бы использовать пакеты вторично, так как осознают экологические проблемы. При этом они согласны доплатить 1 руб. за надёжный, прочный пакет. 71% опрошенных жалуются на разрывы стенок пакетов (из-за острых углов упаковок) и 41% – на разрывы днища при большой нагрузке.

Учитывая результаты эксперимента, я предложила свою конструкцию пакета под названием «Крепышка». Это пакет типа «майка» из ПЭНД, перфорированный, толщиной 1 мкм. Его особенность – в изменении шва днища. Я избавилась от неоднородности и получила равномерное распределение нагрузки вдоль всего дна пакета, что позволило исключить деформацию и разрывы в области дна. Изменения в технологии производства касаются только этапа сваривания нижнего шва пакета.

Расчёт себестоимости и необходимых инвестиций показал, что ожидаемая годовая прибыль от выпуска новых пакетов составит 840 000 руб.

**Ильинская Диана** (автор проекта),  
**Ю.В. Казакова** (руководитель проекта)

Результаты расчётов представлены в приложении 3 (см. ЭП), результаты измерений ( $F_{\text{макс}}$ ) и вычислений ( $\Delta l$ ,  $\epsilon$ ) при максимальной нагрузке – в приложении 4 (см. ЭП).

Толщину образцов измеряли микрометром с электронным цифровым отсчётным устройством (МКЦ), каждый образец измеряли 10 раз, затем находили среднее арифметическое значение (см. приложения 3, 4).

### Выводы

1. Наиболее прочные, грузоподъёмные и вместительные – толстые пакеты типа «майка» из ПЭНД, перфорированные и неперфорированные.

2. Наибольший вес выдерживают образцы пакетов № 1 (11 Н) и 3–5 (по 10 Н). У них же больше и модуль Юнга (300–600 МПа).

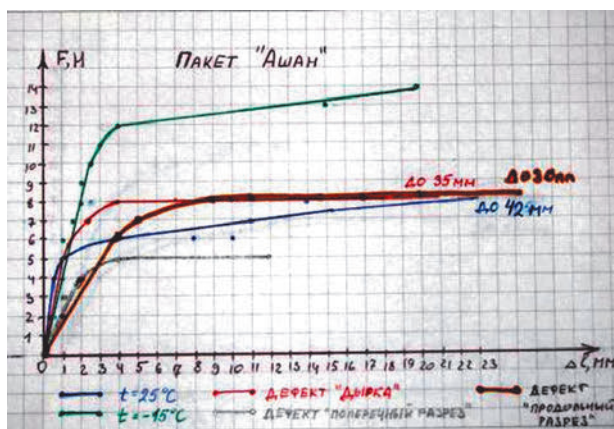
3. Наибольшее относительное удлинение при разрыве имеют пакеты 4 (233%) и 7 (190%), а наименьшую – 6 (53%), 1 (40%) и 5 (33%).

4. При понижении температуры, например, зимой максимальная нагрузка на пакет увеличивается, а растяжение уменьшается, то есть прочность пакета возрастает.

5. Дефекты «дырка» и «продольный разрез» практически не влияют на прочность пакета, но при дефекте «поперечный разрез» прочность уменьшается в 2 раза и пакет быстро рвётся, практически без растяжения.



▲ Измерение толщины плёнки электронным микрометром  
Экспериментальные зависимости ▼



**Владислав Готовцев** – сейчас учится в 9-м классе лицея № 1511. Мечтает поступить в НИЯУ МИФИ.

**Диана Ильинская** – сейчас учится в 9-м физико-математическом классе. Мечтает перейти в лицей № 1580, а потом поступить в МГТУ им. Н.Э. Баумана.



**Юлия Владимировна Казакова** – методист, учитель физики высшей квалификационной категории, к. п. н., окончила физфак МПГУ, педагогический стаж 16 лет. Победитель конкурса Грант Москвы-2007, -2011, автор трёх методических пособий и более 70 публикаций по вопросам образования и методики преподавания физики и внеурочной работы с учащимися. Направление работы: организация исследовательской деятельности учащихся.

# Возникновение резонанса при поперечных колебаниях конструкций сложной формы



Измерение или вычисление частот собственных колебаний имеет большое практическое значение при прогнозировании поведения конструкции (здания) под воздействием удара, взрыва, землетрясения и вибрации. При совпадении частоты собственных колебаний конструкции с частотой внешнего воздействия возникает механический резонанс, что может привести к разрушению конструкции. Поскольку вычисление частоты собственных колебаний реальных конструкций трудоёмко, при проектировании зданий испытывают упрощённые консольные модели, характеристики которых порой далеки от реальных. Испытаны консольные модели сложной формы, определены их характеристики, проведено сравнение результатов эксперимента с расчётом.



**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** конкурс имени В.И. Вернадского, научный проект, механические колебания, резонанс, консольная модель

- Выполнила ученица 7-го класса:  
**ЮРЧЕНКО ВАСИЛИСА**  
wsonormalno@yandex.ru  
(НОУ гимназия «Школа бизнеса», г. Сочи).
- Руководитель: учитель физики  
**С.А. Кирия** sakirija@yandex.ru, к. п. н.

Внутренние органы человека имеют низкую собственную частоту, примерно 4–6 Гц. Частота колебаний, вызываемая обычной ходьбой, примерно 2,5 Гц, бегом и прыжками – около 3–4 Гц [1]. Если собственная частота колебаний органов тела совпадёт с частотой колебаний пола, то может произойти резонанс, проявляющийся в неприятных ощущениях. Это явление называется *беспокойщей вибрацией* [1]. Именно такие неприятные ощущения возникали у людей в строящемся в нашем городе доме. Для уменьшения беспокойщей вибрации наиболее низкая собственная частота конструкций пола должна быть более 8 Гц.

**Цели исследования:** • установить экспериментально соответствие характеристик колебаний теоретических моделей (консольных стержней) и реальных конструкций • доказать, что упрощение моделей может стать причиной резонанса в реальных конструкциях и вызвать их разрушение.

**Задачи исследования:** • изучить литературу по проблеме исследования • узнать, как формируются модели конструкций и зданий при расчётах на

быстро меняющиеся во времени, направлении и месте приложения силовые воздействия • изготовить модели в виде стержней разной формы, но с одинаковым расстоянием между закреплёнными в опору и свободным концом (одинаковым вылетом консоли) • экспериментально показать, что конструкция сложной формы имеет характеристики колебания, отличающиеся от её упрощённой модели.

**Гипотеза исследования.** Параметры колебаний конструкции сложной формы и её упрощённой модели различаются. При рассмотрении упрощённых моделей можно упустить возможность появления резонанса в реальных конструкциях.

**Практическая значимость исследования.** В работе будет показано, что существующая сегодня в строительстве практика описания реальных конструкций с помощью упрощённых моделей в ряде случаев недопустима, именно из-за опасности возникновения резонанса в реальных конструкциях, что может закончиться большими разрушениями.

**1. Теоретические и практические предпосылки к исследованию.** Измерение или вычисление частот собственных колебаний (ЧСК) имеет большое практическое значение при расчётах конструкций на действие удара, взрыва, землетрясения, вибрации. Эти воздействия быстро меняются во времени и пространстве, меняется и место их приложения. В технике знание диапазона (спектра) частот собственных колебаний конструкции служит для обнаружения дефекта в конструкции в результате сравнения их с эталонными частотами. Вычисление частоты собственных колебаний реальных конструкций трудоёмко, поэтому применяют упрощённые стержневые модели, имеющие поперечные сечения в виде простых геометрических фигур.

Основоположник науки о сейсмостойком строительстве И.Л. Корчинский в 1961 г. [2] показал, что

Работа была представлена на XX Всероссийском конкурсе юношеских исследовательских работ им. В.И. Вернадского 2012/2013 уч. г. (№ 131662, рекомендована оргкомитетом регионального, Краснодарского, этапа конкурса) и отмечена дипломом I степени, а также грамотами «За резонансный вклад в проектирование строительных конструкций» и «Самый юный участник». Печатается в доработанном и сокращённом виде. Оригинальный текст, постер и методичку к ЛР см. ЭП. – Ред.

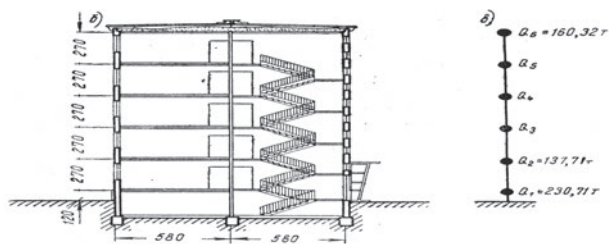


Рис. 1. Разрез 5-этажного крупнопанельного дома и его консольная модель: вес перекрытий и стен сосредоточен в уровнях перекрытий [2]

вполне удовлетворительной моделью простых зданий может считаться консольный (закреплённый одним концом) стержень, в котором вес перекрытий и стен сосредоточен в уровнях перекрытий. Жёсткость стержня равна суммарной жёсткости стен в пределах этажа. На рис. 1 показан разрез 5-этажного крупнопанельного дома и его модель для расчёта сейсмического воздействия. Такая расчётная модель считается до сих пор вполне удовлетворительной.

Более точной считается консольная модель, в которой масса здания распределена по его высоте, а характеристики жёсткости конструкций дома постоянны, рис. 2. Первые пять форм изгибных (поперечных) колебаний горизонтального консольного стержня представлены на рис. 3: синяя линия –  $1/4$  длины волны  $\lambda$ ; сиреневая линия –  $2/4 \lambda$ ; чёрная –  $3/4 \lambda$ ; красная –  $7/4 \lambda$ ; фиолетовая –  $9/4 \lambda$ .

Мне стало интересно, а как на практике измеряются и вычисляются частоты колебаний конструкций, создаются модели? В мае 2012 г. я приняла участие в испытаниях перекрытий здания. В нижних двух этажах дома колонны, балки и перекрытия были железобетонными, а в верхних трёх этажах выполнены из тонкостенных стальных конструкций (фото 1). Испытания и расчёты проводили мои родители и сотрудники кафедры строительных конструкций Сочинского Госуниверситета. Испытания проводились для того, чтобы выяснить причину гула и зыбкости, возникающих при ходьбе по перекрытиям третьего этажа. Никаких видимых деформаций перекрытий при этом не наблюдалось.

Было предложено измерить собственные частоты перекрытий 3-го этажа при прыжках и ходьбе. Использовались приборы: металлоискатель, соединённый с микрофонным усилителем и компьютером в режиме осциллографа. В ходе эксперимента были получены осциллограммы, по которым установлено, что в спектре собственных частот балки перекрытий содержалась частота 4,54 Гц, рис. 5. Остальные осциллограммы показали частоты от 4,54 до 16,6 Гц.

Компьютерная модель здания, составленная инженером с помощью программы **STARK** (рис. 6), позволила выполнить расчёты и определить характеристики колебаний здания и его отдельных элементов. Видно, что на двух первых этажах конструкции из железобетона расположены на больших (6 м) расстояниях друг от друга,

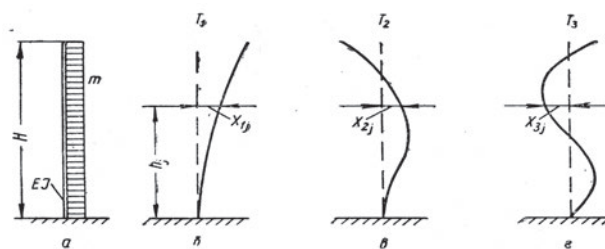


Рис. 2. Расчётная схема здания в виде консольного стержня с распределённой массой и первые формы колебаний [2]

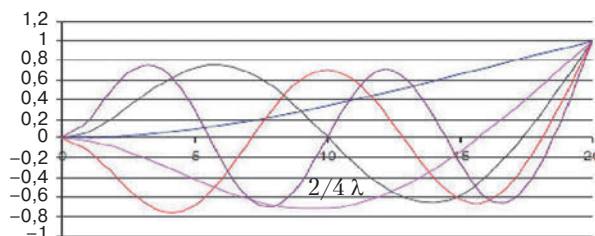


Рис. 3. Первые пять форм колебаний консольного стержня (см. методичку в ЭП)

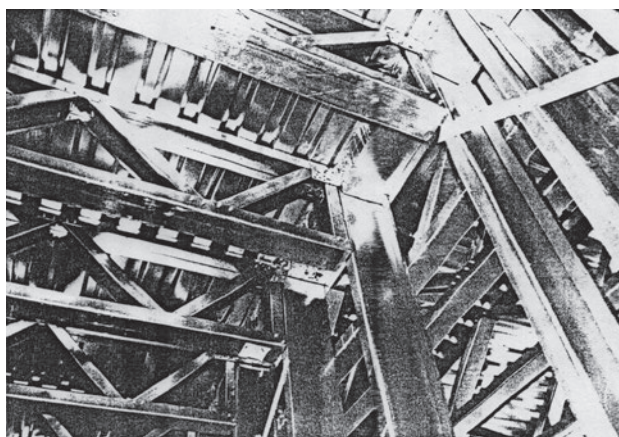


Рис. 4. Перекрытия третьего этажа из тонкостенных стальных конструкций

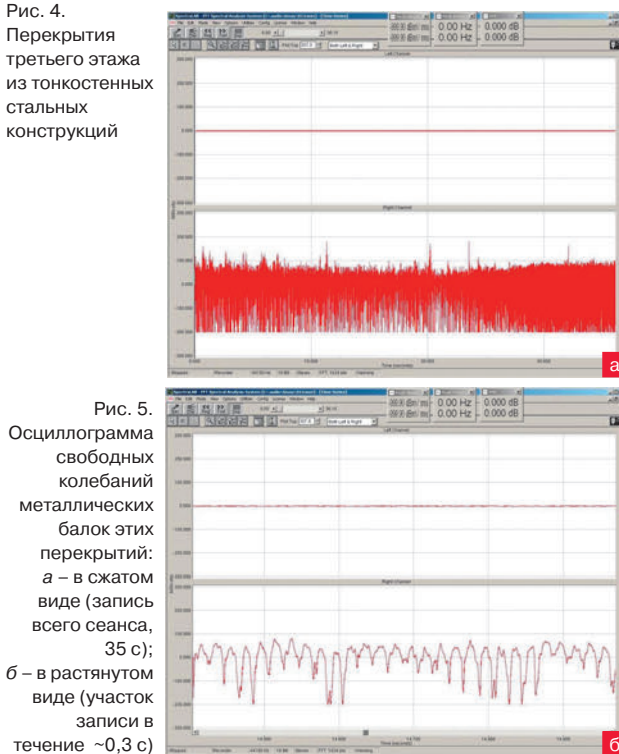


Рис. 5. Осциллограмма свободных колебаний металлических балок этих перекрытий: а – в сжатом виде (запись всего сеанса, 35 с); б – в растянутом виде (участок записи в течение ~0,3 с)

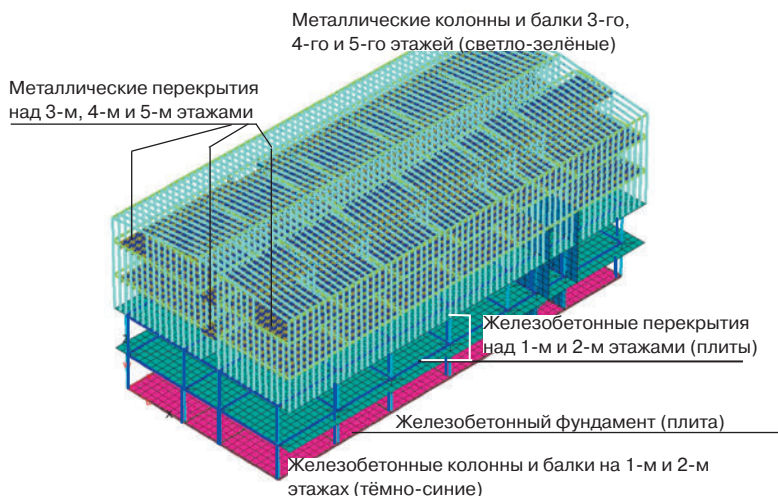


Рис. 6. Расчетная модель здания

а на 3–5-м этажах – очень часто (0,6 м). Частое расположение элементов серьёзно затрудняет построение компьютерной модели, так как требует большого объема памяти. Поэтому в модели не учитывались связи между металлическими колоннами.

Спектр собственных частот колебаний приведён в табл. 1 (см. ЭП. – *Ред.*), а первая форма колебаний балки – на рис. 7. Частота собственных колебаний балки перекрытий 3-го этажа, которая в реальном здании подвергалась испытаниям, составила по расчёту 4,32 Гц, а по измерениям 4,54 Гц, то есть опытные и теоретические результаты близки.

Полученные результаты позволили объяснить, почему люди испытывали неприятные ощущения при ходьбе по металлическим перекрытиям: частота собственных колебаний перекрытий (4,3–4,5 Гц) совпадает с частотой внутренних органов человека (4–6 Гц), то есть возникает резонанс.

Вместе с тем, возникает вопрос: почему строители, знающие о вреде резонансных колебаний, их допускают? Причина в трудоёмкости расчёта по сложным моделям. На практике пользуются упрощёнными моделями и соответственно упрощённым анализом результатов расчёта. В результате получают характеристики колебаний не отдельной конструкции, а упрощённого элемента модели, не аналогичного реальному.

Почувствовав в испытаниях здания, изучив подходы к моделированию при динамических воздействиях, я решила проверить, к чему приводят упрощения, на своих моделях. Это важно для жителей г. Сочи, находящегося в сейсмоопасном районе, где каждый дом периодически подвергается сейсмическому воздействию.

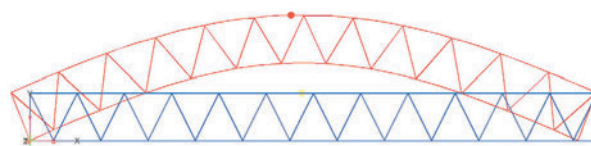


Рис. 7. Первая форма собственных колебаний металлической балки перекрытия (закреплена на обоих концах)

## 2. Модели и оборудование

В качестве моделей выбраны консольные (закрепленные с одного конца стержни). *Оборудование:* компьютер, подключённый к микрофонному усилителю, который, в свою очередь, подключался к металлоискателю, преобразующему энергию механических колебаний стержня в электрическую. Испытаны шесть стержней длиной 26 см, каждый из которых плотно свит из двух проволок диаметром 0,5 мм. Стержни жёстко защемлялись в опоре с одного конца, то есть являлись горизонтальными консолями. Свободный конец отклоняли по вертикали, и компьютер в режиме осциллографа записывал собственные поперечные колебания стержня.

Один стержень был прямым, четыре выгнуты по формам, соответствующим четырём формам колебаний консоли (см. рис. 3), последний свит из двух проволок в виде цепи, петли которой длиной 5 см разделялись прямыми 5-см отрезками, рис. 8.

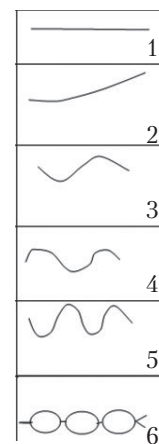


Рис. 8. Консольные модели [3]

## 3. Результаты испытаний

По осциллограммам, рис. 9, я определяла: ● условный период собственных колебаний  $T$  ● по двум последовательным амплитудам  $x$  и  $x_1$  ● вычисляла декремент затухания  $\nu = \ln(x/x_1)$  [4]. Результаты сведены в табл. 2 (см. ЭП. – *Ред.*), из которых видно, что в качестве модели можно использовать только стержень-цепь, но расчётов для неё не найдено.

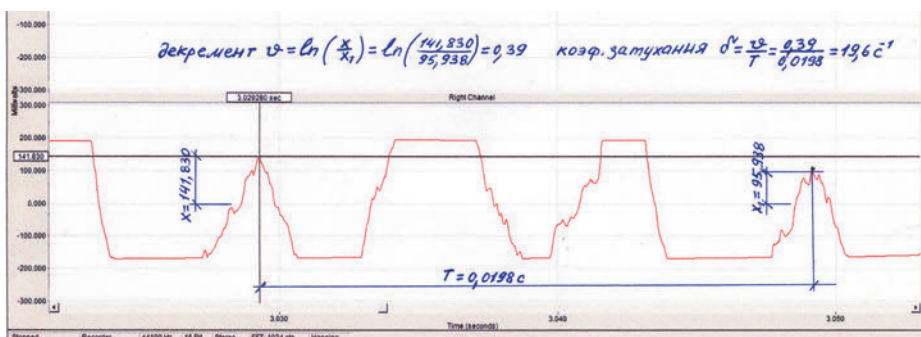


Рис. 9. Осциллограмма свободных колебаний конца стержня, модель 3



**4. Теоретическое определение частоты собственных колебаний консольных стержней**  
(см. ЭП. – Ред.)

**5. Сравнение экспериментальных и теоретических результатов**

Установлено, что стержень-цепь имеет характеристики: период  $T_6 = 0,0196$  с, длительность колебаний  $t_6 = 0,32$  с, декремент затухания  $\nu_6 = 0,25$ . Наиболее близки к ним характеристики стержней 3–5. Для этих консольных моделей вычислены коэффициенты затухания  $\delta = \nu/T$  [4, с. 25] ( $\delta_3 = 51 \text{ с}^{-1}$ ,  $\delta_4 = 42 \text{ с}^{-1}$ ,  $\delta_5 = 14,5 \text{ с}^{-1}$ ,  $\delta_6 = 13 \text{ с}^{-1}$ ) и декременты затухания.

**Выводы:** ● характеристики колебаний конструкций сложной формы могут отличаться от характеристик колебаний её упрощённой модели ● в реальных конструкциях может возникнуть непредусмотренный расчёт резонанс вследствие принятых упрощений, что может привести к разрушениям реальных конструкций ● при строительстве зданий, рассчитанных по упрощённым моделям, необходимо проводить дополнительные испытания с целью недопущения резонанса как отдельных конструкций, так и здания в целом.

**Литература**

1. Лёгкие стальные тонкостенные конструкции для общественного и жилищного строительства. М., 2003. 100 с.



К. Петров-Водкин. Землетрясение в Крыму. 1927 г.

2. Корчинский И.Л. Основы проектирования зданий в сейсмических районах. М.: ГИЛ по САиСМ, 1961. 488 с.  
3. Пересыпкин Е.Н., Юрченко Е.Е., Юрченко Е.А. Экспериментальное исследование поперечных колебаний стержней. // Известия Сочинского государственного университета. 2012. N 3(21). С. 121–124.  
4. Стрелков С.П. Введение в теорию колебаний. СПб.: Лань, 2005. 440 с.



**Василиса Юрченко** – сейчас учится в 8-м классе. Родители инженеры-строители, к. т. н., преподают в Сочинском госуниверситете. Любимые предметы – математика, физика и биология, любимые учителя – соответственно. Собирается стать инженером-строителем. Любит читать книги о строительстве.



**Светлана Алексеевна Кирия** – учитель физики высшей квалификационной категории, к. п. н., окончила физический факультет Одесского госуниверситета в 1969 г. Педагогическое кредо: учиться вместе с детьми. Отличник народного просвещения, Заслуженный учитель Кубани, награждена Грамотой МОиН РФ. Ученики *Глеб Лучко*, *Мартиросова Ксения*, *Юрченко Василиса* побеждали и занимали призовые места на городских НПК школьников «Первые шаги в науку» (2011–2013 гг.), региональных конкурсах исследовательских работ и творческих проектов дошкольников и младших школьников «Я – исследователь-2012», «Эврика» (2011, 2012 гг.), региональном открытом конкурсе юношеских исследовательских работ им. В.И. Вернадского по секции «Физика-2013», XIX Всероссийской научной конференции молодых исследователей «Шаг в будущее-2013» (лауреат), XX Всероссийских юношеских чтениях им. В.И. Вернадского (2013 г.), II международной НПК «Инновационные технологии и экология-2013». Сын – юрист, два внука. Хобби: путешествия.

# Проект организации связи, транспорта и энергообеспечения лунных баз



Предложены и обоснованы альтернативные подходы к решению комплекса проблем, связанных с созданием исследовательских и производственных баз на Луне.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** конкурс имени В.И. Вернадского, ученический проект, колонизация Луны



- Выполнили ученики  
**ПРОНИНА МАРИЯ**  
mashapronina2010@mail.ru (10 кл.),  
**ПРОХОРОВ ВЛАДИМИР**  
prokarav71@rambler.ru (11 кл.),  
**ШЕКУНОВ ВЛАДИСЛАВ**  
9livees@mail.ru (11 кл.),  
(ГУВПО «Белорусско-Российский университет», г. Могилёв, Респ. Беларусь)
- Научные руководители:  
учителя физики  
**С.В. Гусев** lab302@mail.ru,  
**А.Э. Плетнёв** a-pletnev@mail.ru,  
**А.Г. Сугакевич** sugakevich@mail.ru

транспортного устройства, способного двигаться по лунной поверхности • Предложить способ преобразования солнечной энергии в другие её виды.

## 1. Связь

Устойчивая радиосвязь между удалёнными на значительные расстояния друг от друга объектами на Земле успешно решается с помощью геостационарных спутников. Однако на окололунную орбиту стационарные спутники связи вывести нельзя вследствие гравитационного воздействия Земли. Мы предлагаем модель, которая позволила бы организовать устойчивую связь с лунными базами, в том числе и с находящимися на её обратной стороне, с помощью видимого светового излучения. Отметим, что предлагаемый способ связи учитывает опыт и возможности существующей лазерной локации Луны [7].

Ведущие космические агентства мира разрабатывают программы по исследованию Луны. Целью этих программ является как развитие науки в целом, так и решение многих практических задач. Подобные проекты, как правило, предполагают создание на Луне нескольких исследовательских и промышленных баз, расположенных на значительных расстояниях друг от друга.

Для успешного функционирования таких баз необходимо решить ряд проблем. В первую очередь, это организация устойчивой связи с Землёй, решение проблем энергоснабжения и транспорта. К настоящему времени выработаны некоторые подходы к решению данных задач, которые уже можно считать традиционными.

**Цель проекта:** предложить и обосновать альтернативные подходы к решению комплекса проблем, связанных с созданием исследовательских и производственных баз на Луне.

**Задачи проекта:** • Предложить систему связи с лунными базами, где для передачи информации применяется видимый диапазон электромагнитного излучения • Создать действующую модель самодвижущегося

## Основы оптической передачи информации.

Комплекс мероприятий, связанных с преобразованием электромагнитного излучения оптического диапазона в электрический ток и обратно включает в себя: генерацию, направленную передачу оптических сигналов, управление полем излучения (возможность направленного изменения параметров оптической волны) и приём сигнала [4, 6, 10].

Функцию генерации и направленной передачи оптического сигнала выполняет излучатель. В излучателе происходит преобразование электрической энергии возбуждающего сигнала в энергию оптического излучения заданного спектрального состава и пространственного распределения. Оптимальным источником излучения оптического диапазона является лазер [10]. Приём оптического излучения осуществляется с помощью оптоэлектронного приёмника (фотодетектора).

## Модель системы связи со станцией на обратной стороне Луны.

Для практической реализации проекта на Земле устанавливается несколько передающих устройств – излучателей. Такие устройства могут быть установлены, например, в Евпатории, на базе НЦУИК в рамках проекта «Луноход-1», в обсерватории Апаچی-Пойнт, (Нью-Мексико, США),

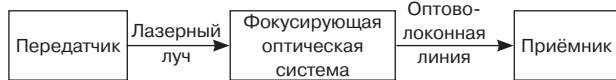
Работа была представлена на XX Всероссийском конкурсе юношеских исследовательских работ им. В.И. Вернадского 2012/2013 уч. г. (№ 130500) и отмечена дипломом 1-й степени и грамотой «Лучшие иллюстрационные материалы». Печатается в доработанном и сокращённом виде. Оригинальный текст, презентация, постер и отзыв официального рецензента конкурса см. ЭП. – Ред.

JPL NASA (Калифорния, США), обсерватории Лазурного берега (Ницца, Франция). Требования к местам размещения установок: максимальное число ясных дней, чистый и сухой воздух.

На Луне устанавливается фокусирующая оптическая система, оптоволоконная линия, которая обеспечивает передачу сигнала к станции, находящейся на обратной стороне Луны, и приёмное устройство.

## 2. Транспорт

Очевидно, транспортировка грузов между исследовательскими и производственными базами на Луне будет осуществляться за счёт управляемых человеком или автоматизированных транспортных средств, подобных советским луноходам или американским лунным роверам. Мы считаем, что для эффективного использования такие транспортные средства должны обладать искусственным интеллектом.



Анализ литературы показал, что идея создания робота, способного анализировать ситуацию и выполнять примитивные действия, далеко не нова [5]. Создано множество роботов для движения по линии [8, 13, 3], описаны роботы, способные огибать препятствия [14], реагировать на звук [15] и управляться при помощи ИК-излучения [11].

В этой связи мы создали действующую модель транспортного средства, способного без участия человека передвигаться из одного заданного пункта в другой. Применение подобных транспортных средств позволит на первоначальном этапе освоения Луны отказаться от срочной прокладки дорог, связывающих отдельные объекты, а также выполнять транспортные работы без участия человека.

**Принцип работы.** Для движения по визуальной траектории робот оснащён датчиком, способным излучать и принимать отражённый от поверхности луч. В качестве источника света используется светодиод, приёмником служит фототранзистор. Полученные сигналы передаются на микроконтроллер.

Для движения вдоль натянутого троса используются два контактных датчика, выполненных на микропереключателях. Восприятие траектории осуществляется гибкими рычагами, которые включают либо выключают микропереключатели. Коммутируемые сигналы передаются на микроконтроллер.

Для дистанционного управления движением робот оснащён ИК-фотоприёмником, принимающим сигналы от ИК-пульта. Дополнительно

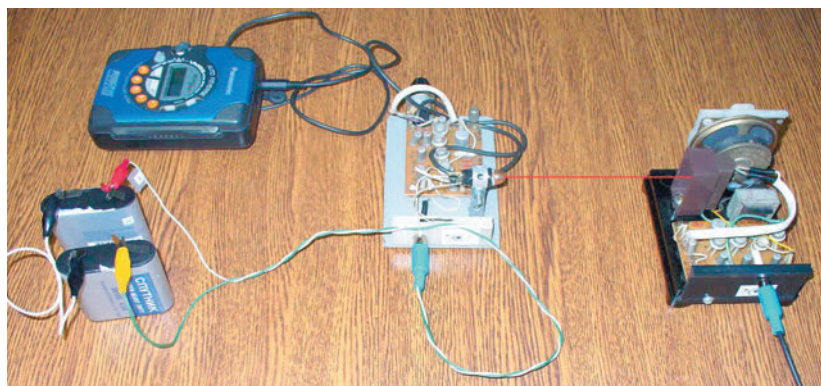
фотоприёмник используется для переключения режимов движения.

**Практическая реализация.** Мы использовали AVR-микроконтроллер **Atmega8** (тактируемый от внутреннего генератора частотой 8 МГц), так как он дешевле других, более распространён, а программатор для него можно собрать из разъёма *LPT*-порта и пяти резисторов. Но так как такой программатор не рекомендуется часто использовать, а *LPT*-порт сейчас не установлен практически ни на одном ПК, то решено было изготовить *USB*-программатор **AVR910** [12]. Для управления двигателями используются полевые транзисторы IRFZ44N.

В конструкции робота использовались гусеничное шасси, гусеницы правой и левой стороны имеют привод от отдельных электродвигателей напряжением питания 8 В. Поворот осуществляется за счёт разности скоростей правой и левой гусеницы. Датчики касания сделали из микропереключателей.

Модель может двигаться по траектории, которая представляет собой чёрную линию на светлом фоне. Линия идентифицируется с помощью датчика, состоящего из светодиода и фототранзистора (см. принципиальную электрическую схему робота в ЭП. – *Ред.*). Для изменения чувствительности датчика была собрана схема с использованием аналогового компаратора LM311 [9], который сравнивает опорное напряжение и напряжение с коллектора фототранзистора. При совпадении напряжений либо превышении эталонного напряжения на выходе компаратора логический сигнал меняется на противоположный. Чувствительность регулируется подстроечным резистором. Смена режимов осуществляется с помощью пульта дистанционного управления по протоколу **RC-5**. Программа написана на языке **C** в среде разработки **Atmel Studio**.

В ходе испытаний робота выяснилось, что он удовлетворительно движется по линии толщиной от 3 мм и способен совершать повороты на угол от 0 до 180°. В настоящее время мы исследуем возможности управления моделью с помощью светового излучения, а также адаптируем модель к специфике лунных условий (вакуум, мелкая пыль, большие перепады температур, неровный рельеф).



### 3. Энергетика

Традиционно в качестве основного источника энергии на начальном этапе освоения Луны рассматривается солнечная энергия – получение электроэнергии с помощью солнечных батарей. Мы же хотели показать, что солнечную энергетику можно развивать на основе радиометрического эффекта.

Радиометрический эффект – это самопроизвольное движение неравномерно нагретых тел в направлении от более нагретой стороны к менее нагретой [16]. В сильно разреженных газах этот эффект вызывается тем, что молекулы газа при отражении от более нагретой стороны тела сообщают телу больший импульс, чем при отражении от менее нагретой стороны.

Экспериментальная установка состоит из радиометра Крукса в стеклянном корпусе и лампы накаливания мощностью 100 Вт на подставке. Радиометр представляет собой четырёхлопастную крыльчатку, уравновешенную на игле внутри стеклянной колбы. При попадании на лопасть светового луча крыльчатка начинает вращаться. Частоту вращения определяли с помощью скоростной камеры. Нам удалось оценить кинетическую энергию крыльчатки, а также её зависимость от падающего светового потока.

$$W_k = \frac{J\omega^2}{2},$$

где  $J$  – момент инерции крыльчатки,  $\omega = 2\pi\nu$  – её угловая скорость вращения,  $\nu$  – частота вращения. Если представить крыльчатку в виде четырёх материальных точек, расположенных на расстоянии  $r$  от оси, то её момент инерции можно рассчитать по формуле  $J = 4mr^2 = 4\rho a^2hr^2$ , где  $m$  – масса «лопасти» крыльчатки,  $\rho$  – её плотность,  $h$  – толщина,  $a$  – длина стороны «лопасти»,  $r$  – расстояние до оси вращения, а кинетическую энергию записать в виде:

$$W = 8\pi\nu^2 a^2hr^2\rho.$$

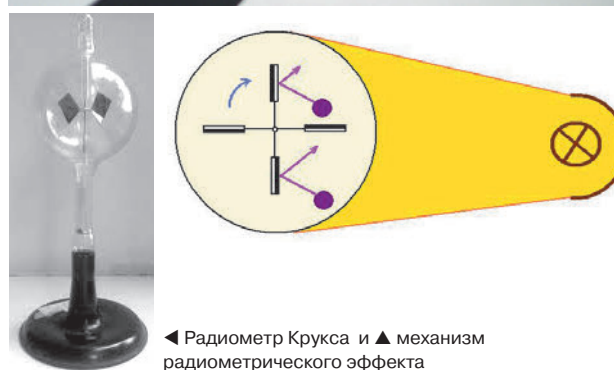
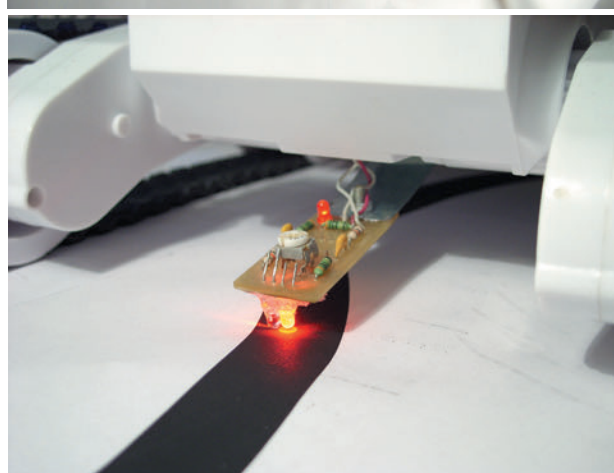
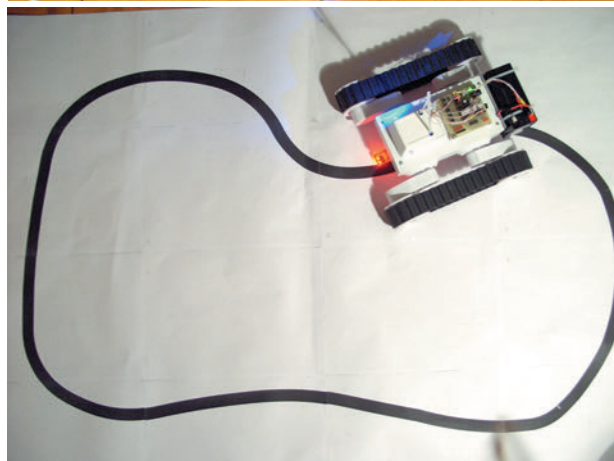
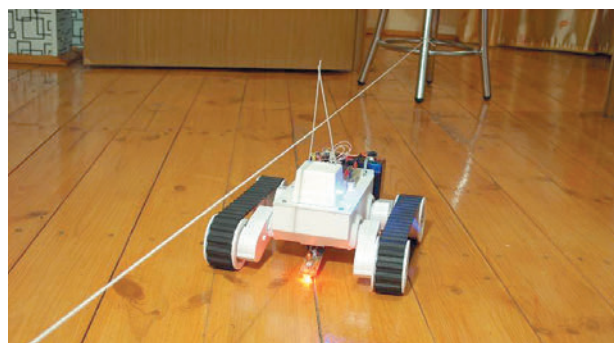
Так как лопасти радиометра устанавливали перпендикулярно световым лучам, мощность светового потока  $P_{св} = E_0 a^2$ , где  $E_0 = 1367 \text{ Вт/м}^2$  – солнечная постоянная.

$$\text{КПД установки мы оценили по формуле } \eta = \frac{W}{P_{св}t},$$

где  $t$  – время, за которое разгоняется крыльчатка. Расчёты показывают, что КПД предложенной установки пока менее 1%. Однако, с учётом того, что производство подобных устройств экологически чище производства солнечных батарей, продолжение исследований в данном направлении представляется целесообразным.

#### Выводы

1. Предложены альтернативные системы организации связи, транспорта и энергообеспечения,



◀ Радиометр Крукса и ▲ механизм радиометрического эффекта

которые могут быть реализованы при создании лунных исследовательских и производственных баз.

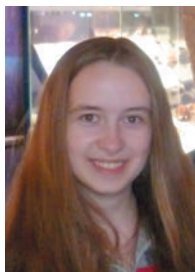
2. Созданы соответствующие действующие модели, с помощью которых показана практическая

осуществимость наших предложений, а также проведены экспериментальные исследования, по результатам которых сформулированы направления работы по усовершенствованию созданных моделей.

3. Полученные в ходе реализации проекта результаты могут быть полезными при создании баз не только на Луне, но и на Марсе.

### Литература

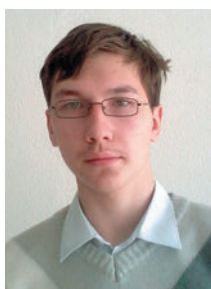
1. Астронет. Прозрачность земной атмосферы. URL: <http://www.astronet.ru>
2. Глава Роскосмоса назвал дату полёта на Марс.// Лента.ру, 26.11.2010 г. URL: <http://www.lenta.ru/news/2010/11/26/mars/>
3. Драйвер двигателей L293D URL: [http://www.myrobot.ru/stepbystep/el\\_driver.php](http://www.myrobot.ru/stepbystep/el_driver.php)
4. Дронов А. Детская экспериментальная лаборатория радиоэлектроники. // Радио. 2003. № 9.10.
5. История робототехники: первый BEAM-робот URL: [http://myrobot.ru/articles/hist\\_first\\_beambot.php](http://myrobot.ru/articles/hist_first_beambot.php).
6. Козлова Н.Д. Полупроводниковые источники излучения.// Физика (ИД «Первое сентября»). 2006. № 14.
7. Кокурин Ю.Л. Лазерная локация Луны. 40 лет исследований. // Квантовая электроника. 2003. № 1. С. 45–47.
8. Лечкин А. Робот, движущийся по линии // Радио. 2008. № 10. С. 41–43.
9. Модуль датчика линии на основе компаратора LM311. URL: <http://robozone.su/2008/03/13/modul-datchika-linii-na-osnove.html>
10. Носов Ю.Р. Оптоэлектроника. М.: Радио и связь, 1989. 360 с.
11. Пример работы с протоколом RC5 decoder на AVR-микроконтроллере ATmega8. URL: <http://avrlab.com/node/74>
12. Программаторы для микроконтроллеров Atmel URL: <http://radiokot.ru/lab/controller/29/>
13. Робот с фотодатчиком для следования по линии. [http://myrobot.ru/stepbystep/r\\_firstbot2.php](http://myrobot.ru/stepbystep/r_firstbot2.php)
14. Жимарши Ф. Сборка и программирование мобильных роботов в домашних условиях. М.: НТ Пресс, 2007. 288 с.
15. Свита С. Робот, идущий по линии // Радио. 2008. № 3. С. 48–49.
16. Сивухин Д.В. Термодинамика и молекулярная физика: учеб. пособие для вузов. М.: Наука. Гл. ред. ФМЛ. 1990. 592 с.



**Мария Пронина** – сейчас учится в Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники. Любимые предметы – астрономия, математика. Любимые учителя – руководители проекта.



**Сергей Викторович Гусев** – учитель физики высшей квалификационной категории, окончил Могилёвский ГПИ им. А.А. Кулешова (1992). Педагогическое кредо: не навреди. Автор двух книг по методике работы с одарёнными детьми и более 10 статей. Подготовил победителей ряда международных и республиканских конференций и конкурсов научно-исследовательских работ учащихся, республиканских и областных олимпиад. Женат, два взрослых сына. Хобби: разгадывание сканвордов и судоку, велосипедные прогулки.



**Владимир Прохоров** – сейчас учится в 11-м классе. Любимые предметы: астрономия, физика. Любимые учителя: А.Г. Сугакевич, С.В. Гусев. Хочет стать инженером-электриком.



**Александр Эдуардович Плетнёв** – учитель физики высшей квалификационной категории. Окончил физико-математический (1997), а потом и экономический (2003) факультеты Могилёвского ГПУ им. А.А. Кулешова. Педагогическое кредо: работать с удовольствием. Автор более 20 учебных, методических и научно-популярных книг, а также более 30 статей и докладов, победитель многих педагогических конкурсов разного уровня (подробнее см. сайт <http://pletnev.moy.su>). Женат, дочери 10 лет. Хобби: сайтостроение, плавание, баня, общение с друзьями.



**Владислав Шекунов** – сейчас учится в 11-м классе. Любимый учитель – С.В. Гусев. Хобби: электроника.



**Александр Георгиевич Сугакевич** – учитель высшей квалификационной категории, окончил физмат (1991) и аспирантуру Могилёвского ГПУ им. А.А. Кулешова (2008). Педагогическое кредо: ученик – не сосуд, который нужно наполнить, а факел, который нужно зажечь. Автор более 20 учебных, методических и научно-популярных книг, а также более 50 статей. Женат, две взрослые дочери. Хобби: научная фантастика.

# Звёздное небо в марте

Описано звёздное небо, даны звёздные карты в зените, южной и северной частях горизонта, фазы Луны, планеты, метеорные потоки. Приведено изображение созвездия Скорпиона и Весов из звёздного атласа Джона Флэмстеда, а также астрофотография туманности Шлем Тора.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** астрономия, звёздное небо, звёздные карты, туманность Шлем Тора, тихоходки (Tardigrade)

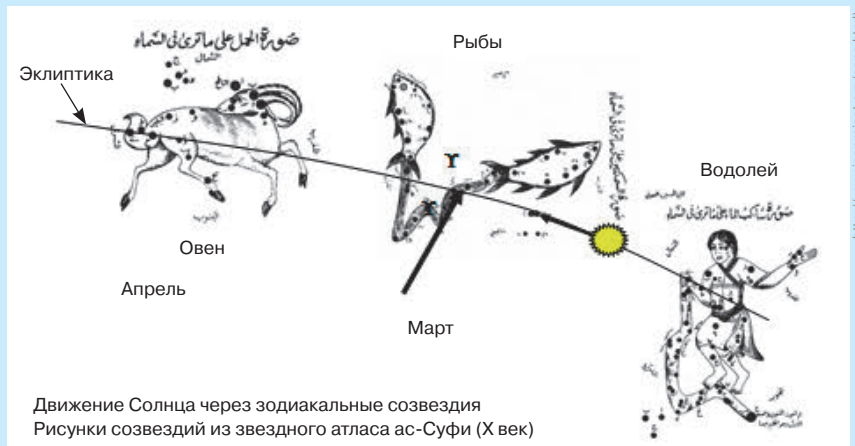
Проф. В.М. ЧАРУГИН,  
академик РАКЦ  
charugin2010@mail.ru,  
МПУ, г. Москва

1 марта (2 456 717-й день по юлианскому календарю) восход Солнца произойдёт в  $8^{\text{h}} 21^{\text{m}}$ , а заход – в  $19^{\text{h}} 05^{\text{m}}$  по московскому времени. Продолжительность дня  $10 \text{ ч } 44 \text{ мин}$ , а ночи –  $13 \text{ ч } 16 \text{ мин}$ . В день весеннего равноденствия, 20 марта, начнётся астрономическая весна. В этот день Солнце при своём движении по эклиптике среди зодиакальных созвездий пересечёт в  $20^{\text{h}} 58^{\text{m}}$  по московскому времени небесный экватор в точке весеннего равноденствия  $\Upsilon$ , расположенной в созвездии Рыб. В этот день Солнце восходит точно в точке востока и заходит точно в точке запада, причём продолжительность дня сравнима с продолжительностью ночи. Возвращение Солнца в точку весеннего равноденствия знаменует конец тропического года, продолжительность которого  $T_{\text{г}} = 365^{\text{d}} 5^{\text{h}} 48^{\text{m}} 46,08^{\text{s}}$  и который короче звёздного (сидерического) года на  $20^{\text{m}} 24^{\text{s}}$  ( $T_{\text{с}} = 365^{\text{d}} 6^{\text{h}} 09^{\text{m}} 10^{\text{s}}$  равна периоду обращения Земли вокруг Солнца). 31 марта (2 456 747-й юлианский день) Солнце взойдёт в Москве в  $7^{\text{h}} 03^{\text{m}}$  и зайдёт в  $20^{\text{h}} 07^{\text{m}}$ , то есть день будет уже длиннее ночи почти на час.

При своём движении по эклиптике Солнце в начале месяца движется по созвездию Водолея, а 11 марта переходит в созвездие Рыб. Что касается знаков зодиака, то Солнце до 20 марта движется по знаку Рыб, а далее – по знаку Овна.

Самое заметное созвездие вблизи зенита, которое в данное время находится в верхней кульминации, – Близнецы. Оно выделяется двумя очень яркими звёздами, расположенными близко друг к другу: это Кастор ( $\alpha$ ,  $2^{\text{m}}$ ) и Поллукс ( $\beta$ ,  $2^{\text{m}}$ ). В древности эта группа звёзд называли ещё *Аполлоном* и *Геркулесом*, или *Диоскурами* (буквально – *детьми Зевса*). Ещё одна звезда ( $\gamma$ ,  $2^{\text{m}}$ ) лежит в ногах у Поллукса и указывает на Бетельгейзе ( $\alpha$  Ориона). Кастор представляет собой красивейшую двойную звезду: яркая  $2^{\text{m}}$  с более слабой  $3^{\text{m}}$  на расстоянии около  $5''$ . Они обращаются друг вокруг друга с периодом 420 лет. Доста-

Звёздные карты и описания звёздного неба даются примерно на  $20^{\circ}$  15 марта в Москве.



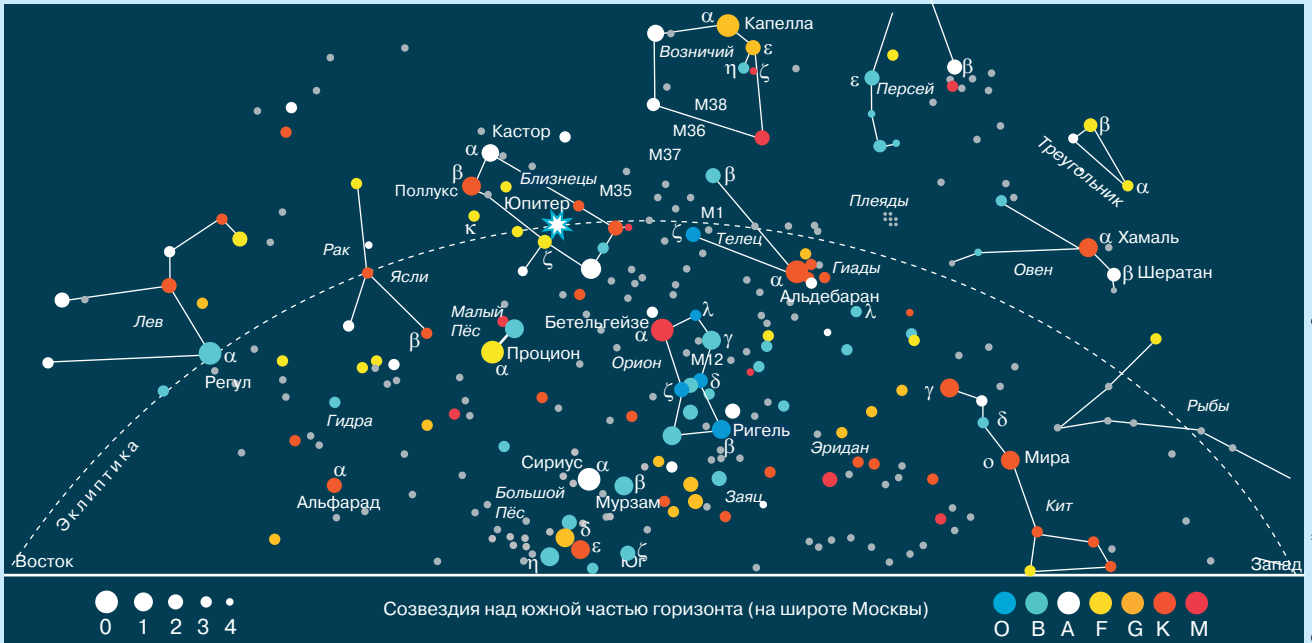
точно небольшого телескопа с увеличением в 20 раз, чтобы разглядеть эту двойную.

Несколько выше  $\mu$  и  $\eta$  Близнецов хороший наблюдатель в бинокль сможет различить слабенькое пятнышко  $5,3^{\text{m}}$  – рассеянное скопление звёзд М35, диаметром около  $40'$ . В нём можно насчитать до 120 звёзд. Расстояние до этого скопления 270 св. лет. Рядом находится слабенькая звездочка  $4^{\text{m}}$  – Пропус (1 Близнецов, *подошва*), блеск которой меняется. Звезда  $\zeta$  Близнецов меняет свой блеск с  $3,6^{\text{m}}$  до  $4,2^{\text{m}}$  с периодом 10,2 суток; эта переменная звезда относится к типу пульсирующих короткопериодических цефеид.

Звезда  $\kappa$  Близнецов, прямо под Поллуксом, принадлежит к ярким и красивым двойным звёздам. На расстоянии  $7''$  от главной звезды ( $3,6^{\text{m}}$ ) находится спутник величиной  $8^{\text{m}}$ . Уже в небольшой телескоп  $\kappa$  Близнецов представляет удивительное зрелище: будто рядом сверкают два драгоценных камня – оранжевый (главная звезда) и зелёный (спутник).

Следующее созвездие – Возничий, его ярчайшая звезда Капелла ( $\alpha$ ) находится почти в зените. В этом созвездии можно различить вытянутый треугольник из трёх звезд как раз под Капеллой:  $\epsilon$ ,  $\eta$ ,  $\zeta$  – Козлята, причём  $\epsilon$  и  $\zeta$  и переменные, и двойные звёзды.

Под Возничим, на юго-западе, виден хорошо нам знакомый Телец с ярко оранжевым Альдебараном ( $\alpha$ ). На западе хорошо различимо созвездие Персея с яркой звездой Мирфак ( $\alpha$ ,  $1,9^{\text{m}}$ ). На северо-западе видно W-образное созвездие Кассиопеи. Между Кассиопеей и Персеем видим два близко расположенных рассеянных звёздных скопления:  $\chi$  ( $4^{\text{m}}$ ) и  $h$  Персея ( $5^{\text{m}}$ ).

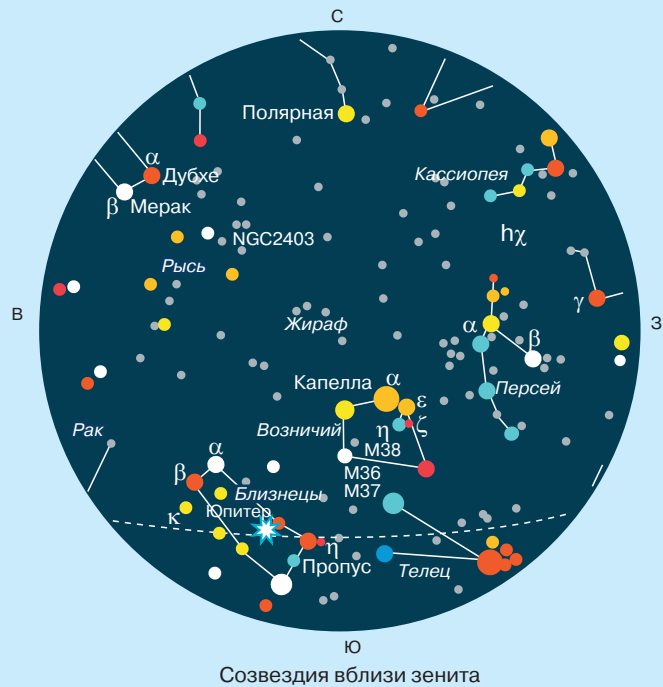


Почти на юге (и несколько западнее) виден во всей красе мифический охотник Орион. Над тремя вытянутыми в цепочку звёздами его пояса блистает красновато-оранжевая Бетельгейзе ( $\alpha$ ), а низко над горизонтом – яркий Ригель. Вытянутое туманное светящееся пятнышко под поясом – знаменитая туманность Ориона, газопылевой комплекс, в который погружены молодые и горячие звёзды спектральных классов O и B. Под Орионом, над точкой юга, можно попытаться рассмотреть небольшой неправильный четырёхугольник созвездия Зайца.

Пояс Ориона указывает на ярчайшую звезду земного неба – Сириус ( $\alpha$  Большого Пса, блеск  $-1,3^m$ ). В Древнем Риме эта звезда называлась Каникула – *собачья звезда*. Созвездие Большого Пса находится как раз в верхней кульминации низко над горизонтом. Выше оно уже никогда не поднимется.

Согласно древнегреческим легендам, это пёс охотника Ориона, который всегда сопровождал его на охоте и был помещён на небо Зевсом. Вот как описывает вид этого созвездия Эратосфен из Кирены живший в III в. до н. э.: «Пёс содержит звёзды: на голове или на языке одну, называемую Сириусом – она велика и ярка (звездочёты подобные звёзды называют сириусами вследствие опаляющего зноя); на обоих плечах по одной тусклой; на груди две; на передней лапе три; на животе две; на левом бедре одну; на крае ступни одну; на правой лапе одну; на хвосте одну. Всего тринадцать».

Название *Сириус* происходит от греческого  $\sigma\epsilon\acute{\iota}\rho$  – *жечь, палить, блистать*. В те далёкие времена, так же называли и Солнце, тем самым подчёркивая небывалую яркость этой звезды. Неудивительно, что прилагательное *сириус* ( $\sigma\epsilon\acute{\iota}\rho\iota\omicron\varsigma$ ) часто встречается у древнегреческих поэтов как синоним всякого яркого и жгучего. Если пойти ещё дальше вглубь веков, то узнаем, что греческий корень [сир] происходит от санскритского *сиар* (ср. с русским *сиять*), имеющего то же значение – *блистать, сиять*, а народы Средней Азии и



само небо называли этим словом. На санскрите Солнце называли *сирия*. От слова *сиар* произошло слово *сир* (в средние века – титул короля).

Около пяти тысяч лет назад, примерно спустя полтора века после строительства гигантской пирамиды Хеопса, по Сириусу был установлен египетский календарь. В то время гелиакический (предутренний) восход этой звезды совпал с летним солнцестоянием и с первым днём месяца пахона (месяца разлива), когда начинался разлив Нила. Это яркая звезда-вестница по-египетски называлась Сотис, что также соответствовало представлениям о сиянии и лучезарности. Возвещение разлива Нила этой звездой было затем символизировано образом лающего Пса, сторожевой собаки, то есть созвездием, в котором находился Сириус – созвездием Большого Пса.

Продолжение см. на с. 34

# Цветная Вселенная

Изложен способ получения спектра вспышки Солнца и расчёт линий поглощения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: спектроскопия, спектр вспышки Солнца

Продолжение. См. № 1/2014

В. Ф. КАРТАШОВ  
kartash44@yandex.ru,  
ЧИПС, г. Челябинск

**2. Спектр вспышки.** На изображении, полученном 3 ноября 2013 г., приведён так называемый *спектр вспышки (справа)*, то есть спектр всего Солнца в затмении (*слева*): на фоне цветной полосы видно несколько дуг.

*Вопрос.* Как было получено такое изображение?

*Ответ.* Спектр (лат. *spectrum* – *видение*) в физике – распределение значений физической величины (обычно энергии, частоты или массы), в данном случае – интенсивности излучения по длинам волн. В научный обиход термин спектр ввёл Ньютон в 1671–1672 гг. для обозначения многоцветной полосы, которая получается при прохождении солнечного луча через треугольную стеклянную призму. Та же картина получается, если заменить призму дифракционной решёткой [1, с. 126]. Спектр светящихся объектов получают с помощью специального устройства – спектрографа, направляя на его щель излучение объекта. Не углубляясь в теорию и тонкости эксперимента, скажем лишь, что спектр звезды получается в виде узкой разноцветной полоски, пересечённой тёмными линиями поглощения.

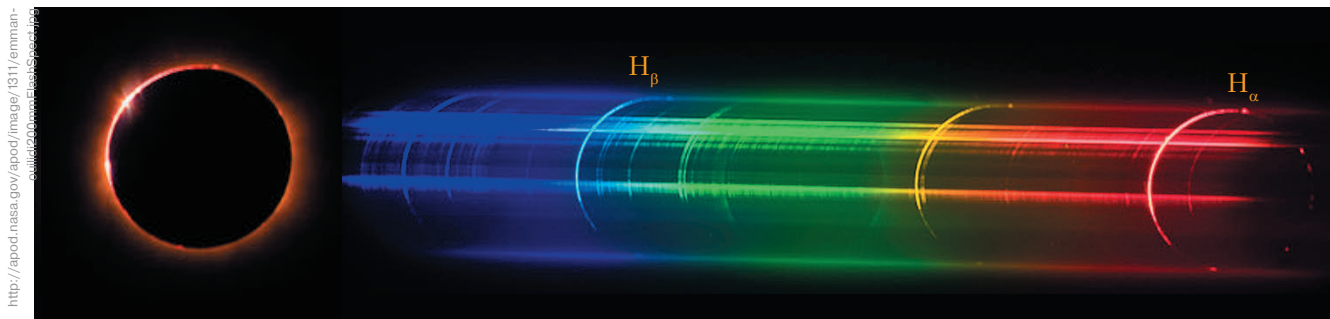
В бесщелевом спектрографе свет от небесного тела падает непосредственно на призму или решётку, и спектр многократно повторяется в разных длинах волн, так что изображения накладываются друг на друга. Посмотрите на предметы через обычную призму, и вы увидите размытое многократное изображение в разных цветах, чёткое только по краям.

Бесщелевым спектрографом пользуются значительно реже, так как чистота спектра хуже, зато он ярче, да и сам прибор более доступен.

На астрофото слева показано закрытое Луной Солнце за 1–2 с до полной фазы затмения. Фотосфера уже полностью закрыта, и виден только тонкий слой хромосферы. Вскоре Луна полностью закроет и хромосферу – появится солнечная корона. После окончания полной фазы затмения снова на 1–2 с появится хромосфера (теперь уже справа), затем яркая фотосфера. Появление на мгновение тонкого слоя хромосферы называется *вспышкой*, а её спектр, показанный справа, – *спектром вспышки*.

Хорошо заметно, что спектр вспышки состоит из непрерывной части (цветная полоса), на фоне которой видны линии излучения в виде серпов – это излучают разреженные газы, нагретые до десятка тысяч кельвинов! Самые яркие линии излучения хромосферы связаны с атомами водорода: переходам с 3-го уровня на 2-й соответствует линия излучения  $H_{\alpha}$  (она видна справа, в красной области спектра), а переходам с 4-го уровня на 2-й – линия  $H_{\beta}$  (слева, в синей области спектра). Длины волн этих линий 6563 Å и 4861 Å. В 1868 г. при наблюдении солнечного затмения П.-Ж. Жансен и Д.-Н Локьер обнаружили в жёлтой области спектра солнечной короны линию (D3), которую не удалось отождествить ни с одной линией из известных к тому времени химических элементов. В 1871 г. Локьер верно интерпретировал линию присутствием в атмосфере Солнца нового элемента. Почти через четверть века химик У. Рамзай выделил из природной руды клевеита газ, в спектре которого присутствовала обнаруженная на Солнце линия. Так как элемент был сначала открыт на Солнце, то Локьер дал ему имя *гелий* (др. греч. ἥλιος – *солнце*).

*Задание.* Как убедиться, что одна из линий спектра вспышки принадлежит гелию? Каким элементам принадлежат другие линии?



Слева – Солнце в момент вспышки: за 1–2 с до начала полной фазы затмения фотосфера полностью закрыта, виден тонкий слой хромосферы; справа – спектр вспышки

<http://apod.nasa.gov/apod/image/1311/emman-03111300www.nasa.gov>



**Выполнение.** В спектре вспышки лишь одна из ярких линий сравнима с  $H_{\alpha}$  и  $H_{\beta}$ , поэтому сделаем предположение, что именно она образована гелием. Чтобы убедиться в этом, следует определить её длину волны и сравнить с табличными данными. Спектр был получен с помощью дифракционной решётки, дисперсия (то есть масштаб – количество ангстрем в 1 мм) которой не зависит от длины волны. Длины волн  $H_{\alpha}$  и  $H_{\beta}$  известны:  $6563 \text{ \AA}$  и  $4861 \text{ \AA}$ , их разность  $\Delta\lambda = 1702 \text{ \AA}$  надо поделить на расстояние между ними  $\Delta x$  (мм). Поскольку компьютерное изображение легко увеличивать, сделаем  $\Delta x = 135 \text{ мм}$ . Вычисляем дисперсию:  $D = 12,6 \text{ \AA/мм}$ . Измеряем положения двух ярких линий, расположенных между  $H_{\alpha}$  и  $H_{\beta}$ : их расстояния от  $H_{\beta}$  составляют 25 и 80 мм. Находим длины волн этих линий: умножаем на масштаб и к результатам прибавляем  $4861 \text{ \AA}$ . Получаются  $5176 \text{ \AA}$  и  $5869 \text{ \AA}$ . Сравнивая с таблицей спектральных линий [2, с. 240], видим, что эти линии принадлежат магнию и гелию!

При идентификации линий следует учитывать точность измерения положения линий спектра ( $\delta x \approx \pm 0,5 \text{ мм}$ ), то есть точность измерения длины волны:  $\delta\lambda = D \cdot \delta x \approx 6 \text{ \AA}$ . Предел точности измерений определяется свойствами дифракционной решётки и камеры, с помощью которых был получен спектр: числом штрихов на мм, порядком спектра и диаметром камеры. Точность может быть существенно увеличена, если использовать точные приборы, например, измерительные машины, которые есть в любой обсерватории, да и в любой спектральной лаборатории.

#### Литература

1. Мартынов Д.Я. Курс практической астрофизики. – М.: Наука, 1977. 544 с.
2. Аллен К.-У. Астрофизические величины. – М.: Мир, 1977. 448 с.

## Новости науки и техники

Дан обзор последних сообщений в Интернете. Расширенный обзор см. ЭП.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** трёхмерный принтер, космические базы на Луне

### Космические базы на Луне будут строиться с помощью трёхмерного принтера?

Итальянский изобретатель Энрико Дини (*Enrico Dini*), один из основателей компании *Monolite UK Ltd*, разработал большой трёхмерный принтер *D-Shape*, с помощью которого можно буквально печатать здания из песка и неорганического связующего, распыляя эту смесь из сотен сопел. Этот принтер может построить здание в четыре раза быстрее, чем обычно, из-за чего стоимость строительства может снизиться буквально вдвое. Может легко изготовить конструкции любой неправильной формы, что чрезвычайно трудно сделать с использованием обычных строительных технологий.



Головка принтера перемещается по двум горизонтальным направляющим и по четырём вертикальным, за один проход печатается слой толщиной 5–10 мм. Управляет принтером компьютер с CAD-программой, его разрешающая способность 25 точек на дюйм. Материал напечатанных конструкций по структуре и виду напоминает мрамор, но он крепче бетона, поэтому армирование железом не требуется.

В настоящее время уже ведутся переговоры с компаниями, которые собираются заказать принтеры *D-Shape* для применения в строительстве и архитектурном дизайне. Самый интересный заказчик – компания *Alta Space*: она в рамках программы Европейского космического агентства *Aurora* хочет получить приспособленный для космоса вариант принтера, который в качестве рабочего материала будет использовать реголит (лунную пыль). Из такого материала и предполагается строить лунную космическую станцию. Испытания будут проводиться в вакуумной камере с целью проверки работоспособности в условиях, близких к лунным.

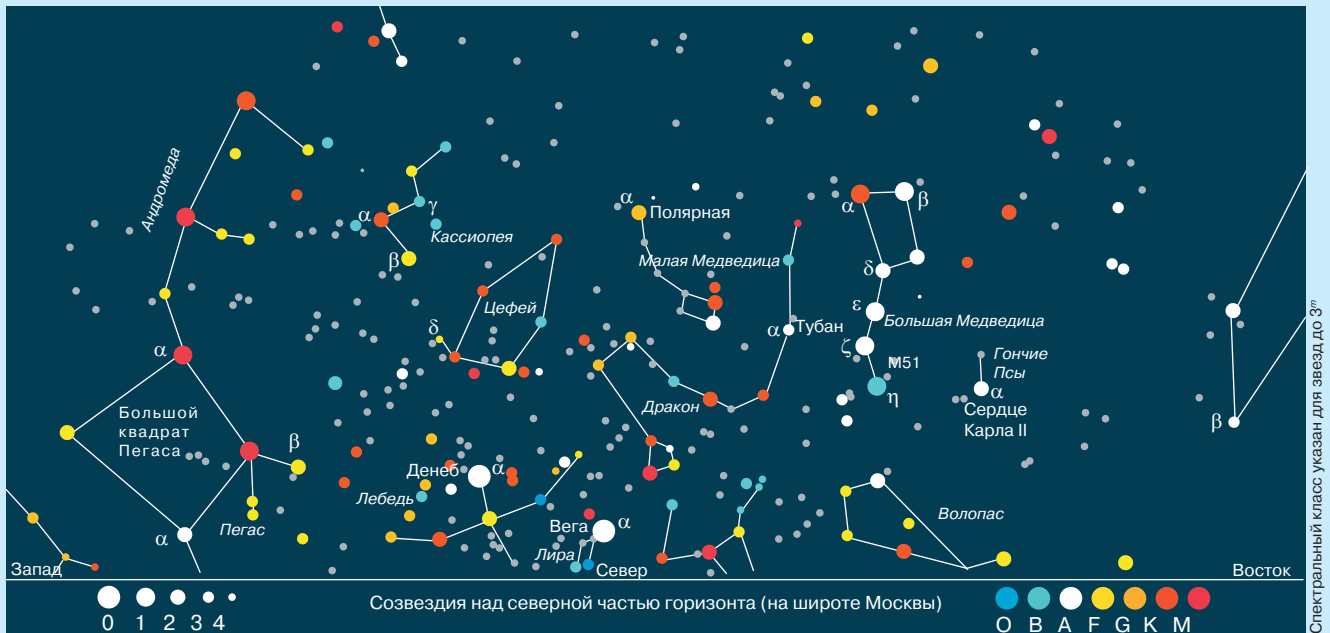
<http://www.dailytechinfo.org/news/1237-kosmicheskie-bazy-na-lune-mogut-byt-postroeny-s-pomoshhyu-trexmernogo-printera.html>

См. в ЭП «Новости в мире 3D-принтеров»: • Первый трёхмерный принтер, способный печатать расплавленным металлом • «Шоколадный» трёхмерный принтер – печатает конфеты любой формы • Самый маленький в мире трёхмерный принтер для домашнего использования • Флейта, изготовленная с помощью 3D-принтера, звучит не хуже обычной • Трёхмерная печать кровеносных сосудов • Трёхмерный биопринтер создаёт новые органы и другие части тела • Гигантский 3D-принтер за 20 ч может напечатать целый дом • Трёхмерный принтер строит дом за сутки.



<http://www.dailytechinfo.org/news/2604-shokoladnyj-trexmernyj-printer-pozvolyaet-pechatat-konfety-luboj-formy.html>

**Л.В. ПИГАЛИЦЫН** [levp@rambler.ru](mailto:levp@rambler.ru),  
МОУ СОШ № 2, г. Дзержинск, Нижегородская обл. [www.levpi.narod.ru](http://www.levpi.narod.ru)



Продолжение. Начало см. на с. 30

Правее Сириуса видна звезда Мурзим ( $\beta$ ,  $2^m$ ) что в переводе означает *предвестник*, так как она восходила на небе несколько раньше Сириуса, предупреждая о его появлении. Бёдра Большого Пса отмечены треугольником звёзд второй величины  $\delta$ ,  $\epsilon$  и  $\eta$  – Алудра, Адара и Весен соответственно. В хорошую погоду между Сириусом и этим треугольником невооружённым глазом можно различить туманное пятнышко около  $5^m$  – рассеянное звёздное скопление M51. Только благодаря Сириусу, наблюдениям за которым в античные времена придавали большое значение, это скопление уже тогда было известно. Аристотель в 325 г. до н. э. обращал внимание на это загадочное туманное пятнышко.

В нижней кульминации в данное время находятся созвездия Цефея, Лебеда, Лиры и часть созвездия Дракона. Самая яркая в Голове Дракона звезда –  $\gamma$  – Этамин (*ал Рас ал Тинин – голова Дракона*), несколько слабее  $\beta$  – Раstabан (тоже переводится как *голова Дракона*). Над горизонтом находятся незаходящая часть Лебеда с Денебом ( $\alpha$ ) и Вега ( $\alpha$  Лиры). Большая Медведица своим Хвостом указывает на Арктур – ярчайшую звезду созвездия Волопаса, которое только что взойшло.

В китайской мифологии есть поэтичная легенда, согласно которой в созвездии Цефея увековечен возничий одного из древних императоров. Когда-то очень далеко, в самой центральной части Земли находилась гора бессмертия Куэнь-Лунь. На ней был чудесный сад Хозяйки бессмертных богов и Земли богини Западного неба Си-ванму. Там росли сказочные деревья, изобиловавшие плодами. Самым чудесным считалось одно персиковое дерево, которое плодоносило раз в три тысячи лет, а плоды обладали божественной силой увеличивать продолжительность жизни тому, кто ел их. Раз в три тысячи лет, когда созревали эти чудодейственные персики, Хозяйка волшебного сада приглашала богов и некоторых смертных людей вкушать плодов бессмертия. И вот, когда наступил этот день, возничий запряг в колесницу восемь буйных коней, императрица уселась на неё, и они улетели в чудесный сад. Там

императрица и возничий, вкусив плодов бессмертия, потеряли представление о времени и желание вернуться обратно... Никто больше не видел их на Земле. Возничий же вместе с колесницей вознёсся на небо, где боги превратили его в созвездие Цефея, а его колесницу – в созвездие Большой Медведицы. И теперь люди на всей Земле каждую ясную ночь видят на небе бессмертного возничего (созвездие Цефея) и его колесницу – созвездие Большой Медведицы [2].

На северо-западе коснулся горизонта Пегас, а Андромеда ещё высоко над горизонтом. В созвездии Андромеды можно увидеть ближайшую к нам спиральную галактику – Туманность Андромеды. Она находится на расстоянии почти в 2,5 млн св. лет, что в 25 раз превышает размеры нашего Млечного Пути и самой Туманности Андромеды. С этой точки зрения большой интерес представляет группа из шести галактик в созвездии Змеи (см. фотографию) – Секстет Сейферта, названная в честь астронома Карла Сейферта, исследовавшего её. В действительности из шести галактик только четыре находятся рядом друг с другом и физически взаимодействуют между собой. Спиральная галактика в центре, видимая плашмя, в действительности расположена значительно дальше остальных и попала в эту группу случайно. Вытянутое образование выше и левее вообще не является отдельной галактикой, а представляет собой так называемый *приливной хвост* из звёзд, вытянутый приливной силой из яркой галактики справа. Этот хвост образовался за счёт гравитационного взаимодействия двух галактик, расположенных вверх. Природа приливного выступа у галактики та же, что и у приливных горбов в земных океанах – они вызваны гравитационным притяжением Луной водной оболочки Земли. Хотя масштабы приливных явлений в системе взаимодействующих галактик и в системе Земля–Луна несопоставимы, но физическая природа у них одна. Таким образом, из всего секстета только четыре галактики представляют собой реально связанную общим гравитационным взаимодействием систему. Эта группа галактик находится в созвездии Змеи на расстоянии 190 млн св. лет и плотно упакована в области раз-



Скопление галактик Секстет Сейферта (*Seyfert's Sextet*)

мером около 100 000 св. лет. Наш Млечный Путь имеет такой же размер, так что эта группа является одной из самых плотных групп галактик, они чуть ли не касаются друг друга. Расчёты показывают, что под действием взаимного тяготения через несколько миллиардов лет эти галактики сольются в одну гигантскую галактику.

Между Андромедой и Цеефом расположилась Кассиопея. Здесь находится необычная туманность «Пузырь», которая в Новом общем каталоге находится под номером 7635 (*New General Catalog*, NGC7635). Этот пузырь выдувается мощным звёздным ветром, который генерируется молодой звездой спектрального класса О, масса которой в 45 раз превышает массу Солнца, а светимость – в несколько сотен тысяч раз. На фотографии она видна в виде яркой звёздочки чуть выше и правее центра пузыря. Сильный звёздный ветер и мощное ультрафиолетовое излучение звезды, сталкиваясь с плотным веществом гигантского молекулярного облака, в которое погружена звезда, генерируют плотную и сравнительно тонкую ударную волну и вызывают специфическое свечение газа на этом фронте. Такие массивные звёзды долго не живут, они быстро исчерпывают своё ядерное горючее и через несколько миллионов лет взрываются как сверхновые звёзды II типа. Пузырь расположен на расстоянии от нас 11 000 св. лет и имеет диаметр около 10 св. лет.

### ПЛАНЕТЫ

**Меркурий** движется по созвездию Овна. Несмотря на то, что 14 марта произойдёт максимальная западная элонга-



Туманность Пузырь (NGC7635)

ция ( $28^\circ$ ), а 28 марта стояние, планета на территории России не видна.

**Венера** ( $-4,5^m$ ) движется по созвездию Козерога и хорошо видна в течение 1,5–2 ч в лучах утренней зари. 23 марта планета достигнет максимальной западной элонгации. В небольшой телескоп Венеру можно увидеть в фазе, близкой к 0,5.

**Марс** ( $-1^m$ ) движется по созвездию Девы, меняя прямое движение на попятное 2 марта. Появляется после  $20^h$  и виден всю ночь.

**Юпитер** ( $-2,3^m$ ) движется по созвездию Близнецов, меняя прямое движение на попятное после стояния 6 марта. Он виден вечером и ночью вплоть до  $3^h$ . Угловой диаметр планеты составит почти  $40''$ , так что в небольшой телескоп можно будет рассмотреть детали его поверхности и, конечно, его четыре галлиевых спутника.

**Сатурн** ( $+0,3^m$ ) движется по созвездию Весов, меняя после стояния 3 марта прямое движение на попятное. Он хорошо виден после полуночи и до утра. В небольшой телескоп можно увидеть не только кольца Сатурна, но и его диск.

**Уран** ( $+5,9^m$ ) движется по созвездию Рыб рядом с Солнцем, и его с трудом можно попытаться найти в первой половине месяца в течение часа перед восходом Солнца. Для этого нужна подробная карта окрестностей планеты [1].

**Нептун** движется по созвездию Водолея. Так как в конце февраля произошло соединение Нептуна с Солнцем, в этом месяце его наблюдать нельзя.

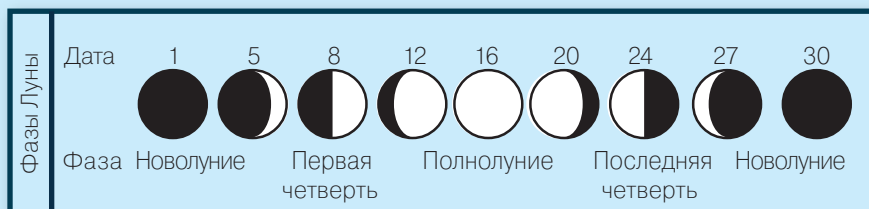
### МЕТЕОРНЫЕ ПОТОКИ

**Боотиды** – поток активен почти целый месяц с максимумом 10 марта (до 5 мет./ч). Метеоры быстрые.

**Виргиниды** – активны 12–22 марта, максимум 12 марта (до 4 мет./ч). В этом потоке много медленных ярких метеоров и болидов. Поток связан с кометой, которую наблюдали в 1834 г.

### Литература

1. Школьный астрономический календарь на 2013/2014 уч. г. Вып. 64: пособие для любителей астрономии. / Авт.-сост. М.Ю. Шевченко, О.С. Угольников. – М.: Дофа, Скайгрупп, 2013. 112 с.
2. ЦЕФЕЙ, КАССИОПЕЯ, АНДРОМЕДА и КИТ <http://www.prao.ru/Constellations/mif/tcefey.htm>



# Эффект муара и установка для лабораторных измерений деформации при изгибе



Рассмотрен линейный эффект муара на двух сетках параллельных прямых. При наложении таких сеток возникает муаровый узор, полосы которого смещаются при перемещении одной из сеток, но со значительно большим шагом. Построена модель установки для измерения стрелы прогиба стержней по сдвигу муаровых полос. Проведены измерения и расчёт модуля Юнга металлических стержней с приемлемыми результатами.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** конкурс имени В.И. Вернадского, ученический проект, эффект муара, стрела прогиба стержней, модуль Юнга



- Выполнил ученик 9-го класса **АРЛЯПОВ НИКИТА**  
arliarova67@mail.ru  
(МОУ Верх-Уймонская СОШ,  
с. Верх-Уймон,  
Усть-Коксинский р-н,  
Республика Алтай).
- Руководитель: учитель  
математики и  
информатики **М.С. Бугаев**  
bugaeza@inbox.ru,  
пенсионер, г. Челябинск

Многие промышленные конструкции испытывают значительные нагрузки на изгиб. В отсутствие регулярного контроля за качеством эксплуатируемых построек происходят аварии зданий, мостов, эстакад и других построек. Государственными стандартами предусмотрены периодические испытания деревянных, металлических, железобетонных и других конструкций на их соответствие нормативным данным по эксплуатации. Однако эти испытания непросты и недешевы.

В работах [1–5] описываются или перечисляются способы и приборы для измерения прогиба металлических и железобетонных изделий. На практике используются: ● тензометрические приборы (измеряется изменение электросопротивления проводника в виде струны при его растяжении под нагрузкой) [1, 5] ● акустический локатор (измеряется время между зондирующим и принимаемым сигналами, которое зависит от длины стрелы прогиба) [4] ● лазерные сканеры объектов [2]. Прогибы конструкций измеряются также индикаторами часового типа – мессурами, прогибомерами Аистова, Максимова, системами

Работа была представлена на XX Всероссийском конкурсе юношеских исследовательских работ им. В.И. Вернадского 2012/2013 уч. г. (№ 131675, рекомендована оргкомитетом регионального, Алтайского, этапа конкурса) и отмечена грамотой «Лучшая работа по мнению комиссии учащихся». Печатается в доработанном и сокращённом виде. Оригинальный текст см. ЭП. – Ред.

ЛИСИ [5] (под действием прогибающейся конструкции смещается подвижный стержень, его смещение передаётся стрелке прибора). В качестве измерителя прогибов используются также прогибомеры на основе сообщающихся сосудов [5] (стеклянные трубки, соединяемые гибким шлангом с водой).

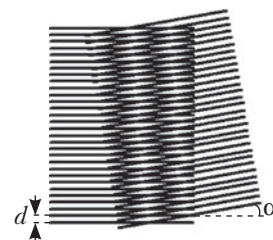
Работая с компьютерными и натуральными моделями муара, мы заметили, что полосы муара очень чутко реагируют на относительное смещение сеток. Поэтому мы решили подробнее рассмотреть эту связь. В результате математических исследований выяснилось, что, например, вертикальное смещение одной из сеток инициирует почти горизонтальное смещение полос муара на значительно большее расстояние. Соотношение этих смещений зависит от угла взаимного разворота исходных сеток или от величины периодов сеток.

В данной работе делается попытка смоделировать простой прибор на эффекте муара для измерения в лабораторных и промышленных условиях стрелы прогиба стержней, балок и других конструкций. Хотелось, чтобы этот прибор можно было сконструировать, используя подручные материалы даже дома или в школе.

## 1. Теория

При наложении двух сеток параллельных прямых с одинаковым периодом  $d$ , повернутых под малым углом  $\alpha$  друг относительно друга, образуется множество ромбов, создающих муаровый узор. Большая диагональ каждого ромба наклонена к горизонтали под углом  $\alpha/2$ , а малая (и соответственно полоса муара) – под углом  $90^\circ - \alpha/2$ . Светлые

Муаровый узор (муар, от фр. *moir*) — узор, возникающий при наложении двух периодических сетчатых рисунков. Явление обусловлено тем, что повторяющиеся элементы двух рисунков следуют с немного разной частотой и то накладываются друг на друга, то образуют промежутки [http://ru.wikipedia.org/wiki/Муаровый\\_узор](http://ru.wikipedia.org/wiki/Муаровый_узор)



(тёмные) полосы муара повторяются с периодом

$$N = \frac{d_1}{2} = \frac{d}{2\sin(\alpha/2)} \approx \frac{d}{\alpha}$$

Из формулы видно, что малые перемещения первой сетки (шаг  $d$ ) можно наблюдать по достаточно большим перемещениям полос муара (шаг  $N$ ). Это свойство можно использовать для измерений малых осадок мостов, зданий и других конструкций, если одну сетку жёстко прикрепить к подвижному объекту, а вторую жёстко прикрепить к независимой конструкции. Тогда при незначительном колебании исследуемого объекта мы можем наблюдать значительные движения полос муара. Также это свойство можно использовать для измерения модуля Юнга металлических стержней при изгибе.

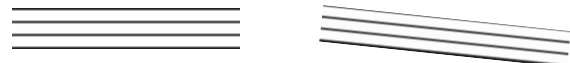
## 2. Установка для измерения прогиба стержня и методика расчета модуля Юнга

Сконструированная нами установка для измерения стрелы прогиба стержня в пределах области упругой деформации представляет собой две вертикальные стойки  $M$  и  $T$ , жёстко закреплённые на платформе. В отверстия с пазами на верхних концах стоек укладываются исследуемые стержни прямоугольного сечения. К середине стержня крепится платформа, на которую кладутся грузы, вызывающие прогиб стержня. Стрела прогиба измеряется с помощью нашего прибора «муар».

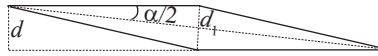
Прибор представляет собой две плоские жёсткие пластины, на одной из которых наклеена бумажная модель одной сетки, а на другой – модель другой сетки, выполненная на прозрачной плёнке. Как показали предварительные исследования и рисованные, и металлические сетки, и сетки из тюлевой ткани дают малый сдвиг, и муаровые полосы получаются размытыми. И только очень аккуратно сделанные на компьютере и распечатанные потом на бумаге и прозрачной плёнке сетки позволяют получить хорошие результаты.

**Порядок выполнения измерений:**

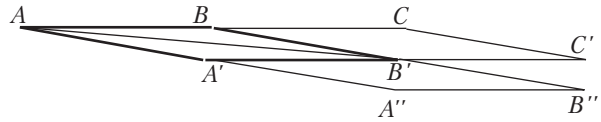
- Измеряем период  $d$ , мм исходных решёток. Получаем муаровый узор и измеряем его период  $N$ , мм
- Находим отношение  $N/d$  (увеличение шага муара по отношению к перемещению подвижной решётки)
- Измеряем длину  $L$ , мм исследуемого стержня с точностью  $\pm 1$  мм
- Штангенциркулем в нескольких местах измеряем толщину  $b$  и ширину  $a$  стержня и определяем их средние значения
- Кладём стержень в пазы стоек
- На платформу помещаем груз ( $m = 500$  г) и измеряем перемещение полосы муара  $x$
- Отношение  $x/N$  есть число периодов муара, пройденных полосой муара. Оно равно числу периодов сетки, пройденных сеткой. Вычисляем стрелу прогиба  $\lambda = d \cdot x/N$
- Нагружаем стержень другим грузом ( $m = 1000$  г) и повторяем все вычисления
- Повторяем действия с грузами массой 1500 г и 2000 г.
- Строим график зависимости стрелы про-



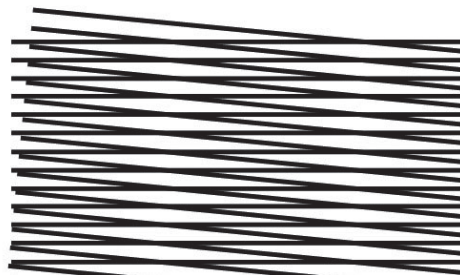
Две сетки параллельных прямых с периодом  $d$



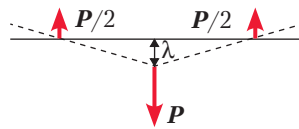
Большая диагональ ромба  
 $d_1 = \frac{d}{\sin(\alpha/2)}$



Период муара  $N = \frac{d_1}{2} = \frac{d}{2\sin(\alpha/2)}$

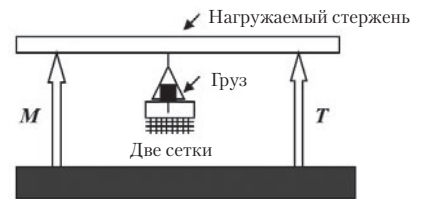


Муаровый узор при  $\alpha \approx 5^\circ$

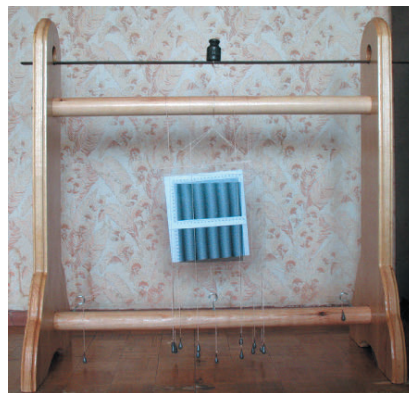


Силы, действующие на стержень при нагрузке

Схема установки для измерения стрелы прогиба



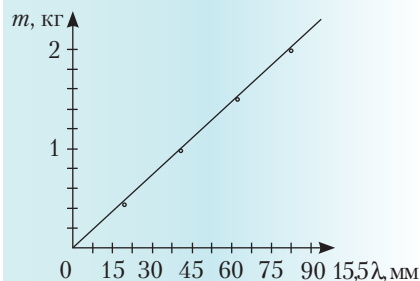
Внешний вид установки



гиба от массы нагрузки  $\lambda = f(m)$

- Испытываем разные стержни, результаты заносим в таблицу (см. ЭП. – Ред.)
- Пересчитываем стрелу прогиба в метрах
- Вычисляем модуль Юнга, Па, по формуле  $E = P \cdot \frac{L^3}{4\lambda ab^3}$ , где  $P = mg$  – нагрузка, Н;  $L$  – длина стержня, м;  $a$  – ширина, м;  $b$  – высота, м;  $\lambda$  – стрела прогиба, м [3]
- Находим среднее значение модуля упругости для каждого стержня.

**Результаты.** Полученная линейная зависимость стрелы прогиба от массы груза свидетельствует о том, что измерения проводились в пределах области

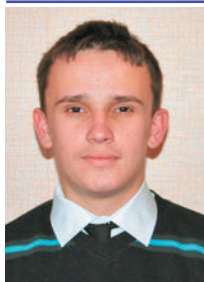


упругой деформации, где выполняется закон Гука [3]. Вычисленные модули Юнга для стали  $(2,17...2,25) \cdot 10^{11}$  Па совпадают со справочными данными  $(2 \cdot 10^{11}$  Па) с приемлемой точностью (11%).

Прибор «муар» легко сконструировать, его можно использовать для проведения лабораторной работы, а также для измерения стрелы прогиба некоторых промышленных объектов.

#### Литература

1. Агафонов И., Славин С. Пусть здания мелодия звучит! // Юный техник. 2005. № 11. С. 12–15.
2. Анисимов А. Виртуальное метро. Как инвентаризировали метро. // Наука и жизнь. 2008. № 1. С. 65–67.
3. Дик Ю.И., Кабардин О.А. и др. Физика. 10 кл.: учебник для общеобразоват. учреждений. М.: Просвещение, 1993. 415 с.
4. Приборы для линейных измерений. <http://magak.ru/architekt/tehnologiya-vozvedeniya-zdaniy/140-5-?showall=1>
5. Тензометрические измерения. Теория. [www.zetlab.ru/support/articles/tenzo/tenzo\\_theory.php](http://www.zetlab.ru/support/articles/tenzo/tenzo_theory.php)



**Никита Арляпов** – сейчас учится в 10-м классе. Изучает эффект муаратри года. За доклады по этой теме награждался дипломами I степени на районной конференции и Алтайском региональном туре Чтений. В младших классах любимым предметом была история, но после знакомства с учителем М.С. Бугаевым «заболел» физикой и математикой. Планирует продолжать обучение в университете.



**Михаил Сергеевич Бугаев** – к. ф.-м. н., окончил в 1963 г. Красноярский ГПИ. 20 лет преподавал высшую математику в вузах, затем 20 лет – математику и информатику в гимназии № 26 г. Челябинска, год – в селе Верх-Уймон. Сейчас на пенсии, но по интернету руководит творческой работой Никиты Арляпова.

Педагогическое кредо: для успешного решения задачи надо образно представить описанную в условии ситуацию и найти образ пути её решения. Награды: благодарность губернатора Челябинской области, губернаторский грант за вклад в воспитание юных дарований. С 2004 г. ученики ежегодно получали дипломы I–III степеней на конференциях российского уровня. Семья – жена и двое взрослых детей.

## Чистое небо



Предложен способ очищения воздуха от вызванного лесными пожарами смога путём распыления заряженных частиц размером порядка 100 мкм в облаках этого смога. Заряженные частицы за счёт электростатического взаимодействия могут вызвать агрегацию частиц смога, что приведёт к их относительно быстрому осаждению на землю и очищению воздуха. Приведены численные оценки, показано, что 1 м<sup>3</sup> порошка заряженных частиц позволит агрегировать частицы смога в объёме 10<sup>3</sup> м<sup>3</sup>.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** конкурс имени В.И. Вернадского, ученический исследовательский проект, очистка воздуха, смог



• Выполнили ученики 9-го класса  
**КУЗНЕЦОВА АННА**

[ann\\_kuz@inbox.ru](mailto:ann_kuz@inbox.ru),

**ОРЕХОВ ДАНИЛА**

[tylys96@yandex.ru](mailto:tylys96@yandex.ru),

(ГБОУ лицей № 1511 при НИЯУ МИФИ, г. Москва).

• Руководитель: учитель физики

**Ф.В. Григорьев** [fedor.grigoriev@gmail.com](mailto:fedor.grigoriev@gmail.com),

к. х. н. (МБОУ лицей № 1511, НИЯУ МИФИ, НИВЦ

МГУ, им. М.В. Ломоносова, г. Москва)

■ Смог, образующийся в результате лесных и, особенно, торфяных пожаров, представляет серьёзную угрозу здоровью, а при определённых условиях – и жизни людей. Так, в конце июля-начале августа 2010 г. смертность в Москве увеличилась вдвое по сравнению с обычными показателями, что было вызвано воздействием жары и сильного смога из-за пожаров в Центральной России (отмечалось превышение ПДК по взвешенным веществам в 16 раз [1]).

Одно из наиболее серьёзных воздействий смога на здоровье связано с наличием в нём небольших частиц размера порядка микрометра и меньше. Эти частицы, содержащие, в частности, асбест, тяжёлые металлы, мышьяк, не задерживаются в носовой полости и могут свободно проникать в лёгкие, а оттуда в кровеносную систему, оказывая негативное воздействие на здоровье. Вследствие своих малых размеров такие частицы довольно долго остаются в воздухе, не осажаясь на землю.

Работа была представлена на XX Всероссийском конкурсе юношеских исследовательских работ им. В.И. Вернадского 2012/2013 уч. г. (№ 130779). Печатается в доработанном и сокращённом виде. Оригинальный текст и отзыв официального рецензента конкурса см. ЭП. – Ред.

В настоящее время нет технологий осаждения частиц смога на землю; очищение воздуха происходит только естественным образом, с переменной погодой, когда на смену антициклону приходит циклон, несущий осадки. Между тем уже довольно давно существует и успешно применяется технология «разгона облаков», суть которой заключается в стимулировании выпадения осадков путём распыления в облаке определённых веществ. Возможно, аналогичный метод может применяться и для осаждения облаков смога.

*Цель работы:* проработка физических основ метода осаждения облаков смога.

### Оценка возможности агрегации частиц смога распылением заряженного порошка

Основной принцип «разгона» обычных облаков – управляемое выпадении осадков из них. Это достигается путём введения в облака веществ, способных быть центрами кристаллизации (жидкий азот, мелкий порошок, например, цемент). К сожалению, непосредственное применение такого подхода к облакам смога вряд ли даст результат, поскольку мелкие частицы сажи из-за разнообразия своей пространственной структуры и химического состава не образуют кристаллов.

Основная идея нашей работы заключается в том, чтобы стимулировать агрегацию частиц смога посредством их электростатического взаимодействия с центрами агрегации. В роли последних могут выступать микроскопические заряженные частицы, распыляемые способом, сходным с тем, как это делается при разгоне облаков (рис. 1).

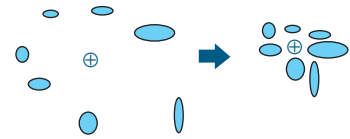


Рис. 1. Агрегация частиц смога за счёт электростатического взаимодействия

Хотя частицы смога в целом электронейтральны, они могут взаимодействовать с заряженными

центрами вследствие электростатической индукции. Технология распыления заряженных частиц микроскопического размера в настоящее время широко распространена и используется, в частности, при покраске. Величина удельного заряда достигает при этом  $q = 10^{-3}$  Кл/кг [2].

Заряженная частица создаёт вокруг себя электростатическое поле. Оценим, при каком её размере произойдёт пробой воздуха, что может привести к нейтрализации частицы. Напряжённость поля пробоя составляет порядка  $3 \cdot 10^6$  В/м [3]. Пусть радиус частицы порошка  $r_m$  (мкм), средняя плотность  $\rho \approx 1$  г/см<sup>3</sup>.

Тогда заряд на частице равен  $Q = qm = \frac{4}{3}\pi r_m^3 \rho$ , напряжённость поля вблизи сферической поверхности частицы  $E = \frac{kQ}{r_m^2} = \frac{kq4\pi r_m \rho}{3}$ . Учитывая чис-

ловые значения, получаем  $E \approx 4 \cdot 10^4 r_m$  В/м. Это означает, что максимальный размер частиц, при котором ещё не происходит пробоя, составляет около 100 мкм.

Оценим энергию взаимодействия  $U$  заряженной частицы порошка с нейтральной частицей смога (рис. 2). Рассмотрим плоскопараллельную диэлектрическую пластину, помещённую в однородное электрическое поле (рис. 3). Поскольку диэлектрическая проницаемость сажи достаточно велика (~18, см., например, <http://otvet.mail.ru/question/34860186>), для оценки можно считать, что поле внутри равно нулю. Тогда поле, создаваемое индуцированными зарядами  $E_{ind}$  должно компенсировать внешнее поле  $E_0$ . Отсюда:

$$E_0 = \frac{\sigma_{ind}}{\epsilon_0} = \frac{q_{ind}}{S\epsilon_0} = \frac{d_{ind}}{V\epsilon_0},$$

где  $q_{ind}$  – величина индуцированного заряда,  $q_{ind}$  – индуцированный дипольный момент,  $S$  – площадь поверхности,  $V$  – объём пластины. Тогда энергия взаимодействия заряда с плоскопараллельной пластинкой:  $U \approx -E_0 d_{ind} \approx -\epsilon_0 V \left( \frac{kQ}{r^2} \right)^2$ .

Предполагая, что плотность сажи и частиц порошка  $\rho_c$ ,  $\rho \approx 1000$  кг/м<sup>3</sup>, получим  $U \approx \frac{r_c^3 r_m^6}{r^4}$  (эВ) (выражение справедливо при  $r \gg \{r_c, r_m\}$ ).

При связывании частицы заряженным центром доступный для её движения объём пространства уменьшается (уменьшение энтропии). Соответствующий энергетический эквивалент в приближении идеального газа можно оценить как  $U_V = k_B T \ln \frac{V_1}{V_2}$ , где  $V_1, V_2$  – доступный частице объём до и после связывания соответственно,  $k_B$  – постоянная Больцмана,  $T$  – температура [4]. Для оценки отношение  $V_1/V_2$  можно взять равным обратному отношению плотностей газовой и твёрдой фаз  $\rho_r/\rho_g \sim 10^3$  (по порядку величины). Тогда при комнатной температуре получим:  $k_B T \ln \frac{V_1}{V_2} \approx 0,2$  эВ.

Необходимое условие связывания:  $U \gg U_V$ , то есть  $U$  должна быть порядка электровольта или больше. Если максимальный радиус частицы порошка  $r_m \approx 100$  мкм (при большем есть опасность пробоя), а радиус частицы смога  $r_c \approx 1$  мкм, то  $U \approx \frac{10^{12}}{r^4}$ .

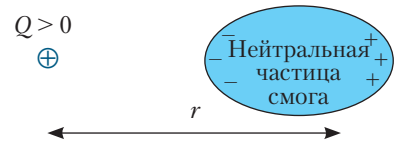


Рис. 2. Взаимодействие заряженной частицы порошка и нейтральной частицы смога

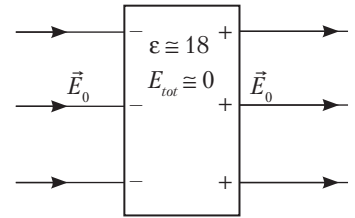


Рис. 3. Модель взаимодействия заряда с плоскопараллельной пластинкой

Таким образом, максимальное расстояние, на котором заряженная частица порошка размером 100 мкм будет связывать частички смога, можно оценить в  $10^3$  мкм. Отношение радиуса частицы к радиусу её действия равно 10, то есть при условии максимально эффективного использования  $1 \text{ м}^3$  порошка позволит агрегировать частицы смога в объёме  $10^3 \text{ м}^3$ . Другими словами, предложенный способ может быть эффективен при осаждении дыма над очагами пожаров, однако для массированного разгона облаков смога, например, над Москвой, потребует распылить слишком много порошка.

Приведённые выше оценки являются предварительными и демонстрируют лишь принципиальную возможность использования заряженного порошка для очистки воздуха от мелких частиц смога. Следующий шаг в проработке идеи – проведение численного моделирования процесса агрегации и осаждения смога в результате взаимодействия с заряженными центрами микроскопического размера. Такое моделирование может быть проведено методом классической молекулярной динамики, в рамках которого движение каждой частицы подчиняется законам Ньютона, а интегрирование проводится численно. Применительно к рассматриваемой задаче на частицу смога будут действовать сила тяжести, сила сопротивления со стороны воздуха, сила притяжения со стороны заряженного центра и силы, действующие на данную частицу со стороны других частиц смога.

Один из параметров моделирования – характерная скорость падения частицы смога. Её можно оценить из условия равенства действующих на частицу силы тяжести и силы сопротивления воздуха. Предположим, сила сопротивления пропорциональна квадрату скорости. Тогда  $m_c g = \gamma \rho_c S_c v^2 / 2$ , где  $m_c$  – масса падающей частицы смога,  $S_c$  – площадь её поперечного сечения,  $\gamma \cong 0,3$  – безразмерный коэффициент обтекания для шара. Для шарообразной частицы  $m_c = \frac{4}{3} \pi r_c^3 \rho_c$ , отсюда скорость  $v \approx \left( \frac{g r_c \rho_c}{\gamma \rho_a} \right)^{1/2} \approx 10 \text{ см/с}$ , что завышено.

Более реалистичная величина скорости падения получается, если предположить, что сила сопротив-

ления прямо пропорциональна скорости, как это должно быть при малых скоростях:  $m_c g = 6 \pi \eta r_c v$  (для шарообразного тела), где  $\eta \cong 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$  – коэффициент вязкости воздуха [5]. Тогда, с учётом числовых значений, получим скорость падения  $v \approx 10^8 r_c^2$ . Для микронной частицы 0,1 мм/с, что более реалистично, поскольку соответствует длительному – до нескольких недель – нахождению облаков смога в атмосфере. Таким образом, при моделировании агрегации частиц смога необходимо предполагать, что сила сопротивления прямо пропорциональна первой степени скорости.

(Схема численного моделирования представлена на ЭП. – *Ред.*)

## Выводы

Предложен способ очищения воздуха от вызванного лесными пожарами смога распылением заряженных частиц размером порядка 100 мкм в облаках этого смога. Заряженные частицы за счёт электростатического взаимодействия могут вызывать агрегацию частиц смога, что приведёт к их относительно быстрому осаждению на землю и очищению воздуха. Приведены численные оценки при реалистических параметрах, показано, что  $1 \text{ м}^3$  порошка заряженных частиц позволит агрегировать частицы смога в объёме  $1000 \text{ м}^3$ .

## Литература

1. О санитарно-эпидемиологическом состоянии территорий, пострадавших от пожара и мерах, принимаемых Роспотребнадзором по состоянию на 6 августа 2010 г. URL: [http://ecolopro.ru/index.php?eco/full\\_news/o-sanitarno-epidemiologicheskoy-sostoyanii-territorij-postradavshih-ot-pozhara-i-merah-prinimaemyh-rosпотреbnadzorom-po-sostoyaniyu-na-6-avgusta-2010-goda/](http://ecolopro.ru/index.php?eco/full_news/o-sanitarno-epidemiologicheskoy-sostoyanii-territorij-postradavshih-ot-pozhara-i-merah-prinimaemyh-rosпотреbnadzorom-po-sostoyaniyu-na-6-avgusta-2010-goda/)
2. Способ наведения электростатического заряда на порошок для использования таких порошков для изготовления покрытий. Патент US 95/13095 (03.10.1995) URL: <http://www.findpatent.ru/patent/216/2162375.html>
3. Китайгородский А.И. Введение в физику. М.: Наука, 1973.
4. Финкельштейн Е. Введение в физику белка. М., 2000.
5. Alexander J. Smits, Jean-Paul Dussauge Turbulent shear layers in supersonic flow, Birkhäuser, 2006, ISBN 0-387-26140-0 p. 46.



**Данила Орехов** – сейчас учится в 11-м классе. Любимый предмет: экспериментальная физика. Любимый учитель: Дмитрий Викторович Храмченков. Планирует продолжить образование в вузе. Хобби: моделирование.



**Анна Кузнецова** – сейчас учится в 11-м классе. Отец, Денис Юрьевич – программист, мама – Галина Александровна – проектировщик. Любимые предметы – физики и математика. Любимый учитель – Ф.В. Григорьев. Планирует поступать в МИФИ на КиБ.



# Рефераты конкурсных работ



• **Малаховская Светлана** (7 класс, МБОУ лицей № 3, г. Сургут, ХМАО-Югра, Тюменская обл). Рук. учитель математики **Т.М. Тананыкина** <http://lic3.admsurgut.ru>. **Замечательный конус, или Удивительный чум\*** (работа № 130326, отмечена грамотой «Самый юный участник»).

Мы живём на Севере и должны знать историю нашего края и обычаи коренных народов. Почему в эпоху новых технологий ханты до сих пор живут в чумах? В чём его преимущества перед другими жилищами? Почему он имеет коническую форму?

**Задачи проекта:** сделать обзор литературы по теме; изучить формулы для вычисления площади поверхности и объёма конуса, куба и полусферы; определить плюсы жилого помещения конической формы.

**Задачи проекта:** сделать обзор литературы по теме; изучить формулы для вычисления площади поверхности и объёма конуса, куба и полусферы; определить плюсы жилого помещения конической формы.



http://home1sthebest.ru/wp-content/uploads/2012/10/%D1%87%D1%83%D0%BC-%D1%8F%D0%BC.jpg

**Выводы.** Чум благодаря конической форме наиболее пригоден для проживания в суровых условиях Севера, так как он меньше отдаёт тепла в атмосферу, коническая форма препятствует скоплению снега на поверхности жилища, он возводится за полчаса и легко переносится на новое место. Это дом на века. Ему не страшны ни снег, ни ветер, ни дождь, ни мороз. Чум будет стоять до тех пор, пока пасутся стада оленей и живут в этом суровом крае люди, влюблённые в Север.

• **Захарова Ольга** [olusik3D@yandex.ru](mailto:olusik3D@yandex.ru) (10 класс, МБОУ СОШ «Школа будущего», г. Калининград). Рук. учитель экологии **А.В. Голубицкий**. **Эффективность мероприятий по защите от шумового загрязнения на Втором эстакадном мосту г. Калининграда** (работа № 131665, отмечена грамотой «Актуальное исследование»).

Оригинальные тексты и дополнительные материалы см. в электронных приложениях. – Ред.

\*В основу положен ученический исследовательский проект Е. Дьяконовой, Д. Малаховой «Гармония Севера. Замечательный конус, или Удивительный чум» (9 кл., 2005 г., МОУ СОШ № 9, г. Ноябрьск, ЯНАО), рук. учитель физики Л.Г. Бушуева. URL: [http://vio.uhim.info/Vio\\_34/cd\\_site/articles/art\\_2\\_7.htm](http://vio.uhim.info/Vio_34/cd_site/articles/art_2_7.htm) – Ред.



Второй эстакадный мост, г. Калининград

**Цель работы:** определение эффективности шумозащитных средств на Втором эстакадном мосту.

**Выводы:** • Измерен уровень шума с помощью шумомера «Актаком АТТ 9000» по шкале А (диапазон частот, воспринимаемым человеческим ухом) на уровне 1-го этажа ближайших жилых домов примыкающих к мосту эстакады, на самом мосту через каждые 150 м (фиксировалось наличие стыков плит моста), а также общий шумовой фон в данном районе (в центре жилого микрорайона на удалении от автодорог) • Уровень шума на эстакаде везде значительно больше предельно допустимого уровня (80 дБ). Наибольшая шумовая нагрузка зафиксирована на стыках плит моста (более 90 дБ), минимальная – в средней части моста (82,2 дБ) • Уровень шума (на высоте 1-го этажа) в районе ближайших по отношению к мосту жилых домов, защищённых шумоизоляционным экраном, нигде не превышает предельно допустимый (80 дБ). Среднее значение шума за шумозащитным экраном (66,9 дБ) значительно выше общего шумового фона в жилом районе (48,1 дБ), то есть вклад автомобильного транспорта в шумовую нагрузку составляет 18,8 дБ • Среднее значение уровня шума (на уровне 1-го этажа) в районе жилых домов, расположенных в 30 м от моста с его восточной стороны, не защищённой шумоизоляционным экраном, почти везде меньше предельно допустимого, но кое-где достигал 84,9 дБ • Шумозащитные мероприятия на Втором эстакадном мосту г. Калининграда требуют доработки и установки дополнительных шумозащитных экранов.



- – точки измерения уровня шума в районе жилых домов, примыкающих к мосту
- ┌ – расположение шумозащитного экрана
- ┌ – расположение эстакадного моста
- – стыки плит на мосту
- – измерение фонового шумового уровня
- – жилые дома, незащищённые экраном
- – точки измерения уровня шума на мосту

• **Островных Настя** [nenci\\_key@mail.ru](mailto:nenci_key@mail.ru), **Мосейчук Антон** (11 кл., МБОУ СОШ № 6, г. Троицк, Челябинская обл.). Рук. учитель физики **Калинская Н.В.** [tfizik6@mail.ru](mailto:tfizik6@mail.ru). **Мониторинг состояния атмосферы и экологической обстановки посёлка ГРЭС** (работа № 131610, отмечена грамотой «За изучение социально-важных проблем»).

Охрана атмосферного воздуха – ключевая проблема оздоровления окружающей природной среды. Атмосферный воздух занимает особое положение среди других компонентов биосферы. Человек может находиться без пищи пять недель, без воды – пять дней, а без воздуха – всего лишь пять минут. Причём воздух должен иметь определённую чистоту, любое отклонение от нормы опасно для здоровья. Последние несколько лет жители нашего посёлка озабочены загрязнением воздуха выбросами Троицкой ГРЭС. Выпавшие зимой осадки удерживают многие загрязняющие вещества, поэтому зимой цвет снега меняется с белого на тёмно-серый. В 2009 г. ученики нашей школы провели исследования и показали очень высокое содержание золы в атмосфере. За три года ОГК-2 направило значительные средства на оздоровление обстановки – снег стал чище, однако проведённое нами анкетирование показало, что только 11% жителей считает, что обстановка улучшилась. Мы решили узнать, как изменилась экология посёлка ГРЭС за эти годы.

**Задачи исследования:** ● изучить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу посёлка ● выяснить влияние загрязнения атмосферного воздуха на здоровье человека ● определить содержание золы в атмосфере посёлка методом снеговой съёмки и сравнить его с фоновым содержанием пыли в атмосфере ● измерить фоновый уровень радиации в посёлке и выявить участки с повышенным излучением ● изучить мнение жителей посёлка по данной проблеме ● провести мониторинг для оценки степени и характера воздействия выбросов в атмосферу за последние три года ● привлечь к проблеме внимание общественности и организаций, от которых зависит решение этой проблемы.

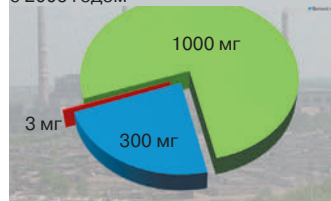
*Рабочая гипотеза:* мы предположили, что содержание золы в атмосфере посёлка ГРЭС уменьшилась за 3 года, но всё ещё превышает норму допустимой концентрации

Выводы: ● радиационный фон в посёлке ГРЭС соответствует норме ● содержание загрязняющих веществ, а именно золы, превышает фоновое содержание, что негативно влияет на экологическое равновесие воздушной системы посёлка и на здоровье жителей ● положительные тенденции: мониторинг состояния атмосферы показал, что за последние три года выбросы в атмосферу посёлка сократились ● в ОАО ОГК-2 Троицкая ГРЭС целенаправленно осуществляется система экологического менеджмента, направленная на минимизацию негативного воздействия, на окружающую среду и повышение уровня социальной ответственности, которая приносит свои положительные результаты ● общественность посёлка считает, что экологическая политика ТГРЭС малоэффективна.

(Полный текст проекта и презентацию см. в ЭП. – Ред.)



Количество золы, выпавшей на 1 м<sup>2</sup> в сутки за 2012 год в сравнении с 2009 годом



Снимок посёлка ГРЭС из космоса. На снимке указаны точки отбора



У стенда на конкурсе **Нина Владимировна Калинская**, **Настя Островных** и **Антон Мосейчук**



Работа электростанции № 8 с номинальной нагрузкой 450 МВт

Без подачи высокого напряжения на электрофильтры

С включёнными электрофильтрами

<http://alau.kz/news/econom-ics/11910/>

# Комплексное изучение природы



Рассмотрены основы методологии естественнонаучного изучения природы В.И. Вернадского, на базе которой были созданы его фундаментальные идеи биосферы и её перехода в ноосферу, намного опередившие развитие мировой научной мысли и приобретающие актуальность в наши дни.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** конкурс имени В.И. Вернадского, методология В.И. Вернадского, природа, биосфера, ноосфера



Проф. **Г.Б. НАУМОВ**  
 gbnaumov@yandex.ru,  
 д. г.-м. н., академик РАЕН и АГН  
 (Государственный  
 геологический музей  
 РАН, им. В.И. Вернадского  
 г. Москва)

«Синтетическое\* изучение объектов природы – её естественных тел и её самой, как «целого» – неизбежно вскрывает черты строения, упускаемые при аналитическом подходе к ним, и даёт новое».

*В.И. Вернадский\*\**

Владимир Иванович Вернадский, 150 лет со дня рождения которого мировая общественность отметила в 2013 г., жил и творил в самом начале периода «взрыва научного творчества», как он говорил, или *научно-технической революции*, как говорим мы теперь. Он одним из первых понял особенности переживаемого периода, подчёркивая, что: «Мы живём на повороте в удивительную эпоху истории человечества. События чрезвычайной важности и глубины совершаются в области человеческой мысли. <...> Никогда в истории человеческой мысли идеи и чувства единого целого, причинной связи всех научно наблюдаемых явлений не имели той глубины, остроты и ясности, какой они достигают сейчас в XX столетии» [1]. С этих слов начинается одно из первых его фундаментальных произведений «Очерки геохимии» – цикл лекций, прочитанных им в Сорбонне, старейшем университете. Это был уже целостный труд большого учёного. В нём чётко вырисовывается его методологический подход к *синтетическому* анализу взаимодействия «естественных тел природы». Но дадим слово самому автору.

Печатается по докладу на XX Всероссийском конкурсе юношеских исследовательских работ им. В.И. Вернадского 2012/2013 уч. г.

\*Синтез – процесс соединения или объединения ранее разрозненных вещей или понятий в целое.

\*\*Вернадский В.И. Мысли и замечания о Гёте как натуралисте. / В кн. «В.И. Вернадский о науке». Т. 1, Дубна: Феникс, 1997. С. 261.



**Владимир  
Иванович  
Вернадский**  
 12.03. 1863 г. –  
 06.01. 1945  
 Фото 1905 г.



## Логика понятий и логика вещей

«Естественным телом мы будем называть всякий логически ограниченный от окружающего предмет, образовавшийся в результате закономерных природных процессов. <...> Таким естественным телом будет каждая горная порода (и формы её нахождения – батолит, шток, пласт и т. д.), будет всякий минерал (и формы его нахождения), всякий организм как индивид и как сложная колония, биоценоз (простой и сложный), всякая почва, ил и т. д., клетка, ядро её, ген, атом, электрон и т. п., капитализм, класс, парламент, семья, община и т. п., планета, звезда и т. п. – миллионы миллионов всевозможных *естественных тел*. Как видно из приведённых примеров, здесь две категории понятий. Одни отвечают понятиям, предмет которых реально существует в природе и не является только созданием логического процесса. Например, определённая планета, определённая почва, организм и т. п. А с другой стороны, понятия, которые целиком или в основной своей части являются созданием сложного логического процесса, – обобщением бесчисленного множества фактов или логических понятий. Например, почва, горная порода, звезда, государство и пр.

Наука в действительности строится путём выделения *естественных тел*, и при научной работе

важно одновременно точно учитывать не только понятия, им отвечающие, но и реально существующие научно определённые естественные тела.

Для естественного тела слово и понятие неизбежно не совпадают.

Понятие, ему отвечающее, не есть что-нибудь постоянное и неизменное, оно меняется иногда очень резко и по существу с ходом научной работы, с ходом жизни человечества.

Слово, понятию естественного тела отвечающее, может существовать века и тысячелетия» [2, с. 151].

Эта достаточно длинная цитата хорошо отражает тот объект исследований, который интересует учёного. С одной стороны, здесь не ставится профессиональных ограничений, с единых позиций рассматриваются все естественные природные тела и их совокупности, с другой, чётко разделяются естественное природное тело и понятие, ему отвечающее, которое формируется в процессе развития науки. Первое не зависит от наших знаний и подходов к его анализу, второе с необходимостью меняется в ходе развития общества и самого научного знания.

Трудно что-либо добавить к приведённому выше чёткому и достаточно подробному определению исходного начала естествознания. Разве только то, что сама наука может быть определена как постоянно «развивающееся понятие», а объём и даже содержание понятия, выраженного одним и тем же словом в разные периоды, может быть далеко не одним и тем же. Этого нельзя сказать о естественных телах, которые остаются постоянными, меняются только наши представления о них. Отсюда Вернадский чётко разделяет логику *понятий* и логику *вещей*.

«Логика, построенная на вещах, – логика эмпирических обобщений – теснейшим образом связана с той сложной обстановкой, в которой живёт, работает и мыслит человек. <...> Натуралист не может с этим не считаться при своём сколько-нибудь глубоком охвате Природы» [3, с. 67].

Здесь вновь подчёркивается принципиальное различие между самой Природой и её отображением в наших теоретических построениях. Момент, очень часто упускаемый. И это относится ко всем телам природы от элементарной частицы до космических тел. А контроль за соответствием между логикой *понятий* и логикой *вещей* происходит через эмпирические факты и эмпирические обобщения.

### Эмпирические факты и эмпирические обобщения

В.И. Вернадский неоднократно подчёркивал, что основа научных построений и главное содержание науки – эмпирические факты. «По существу это есть неизбежное орудие нашей научной работы, но в то же время это есть искажённое выражение ре-

альности, если мы будем только его принимать во внимание, говоря о науке, научном мировоззрении, научном творчестве» [3, с. 21].

Эмпирические факты, полученные в результате непосредственных наблюдений, по своему определению единичны и всегда истинны, сами по себе, но не всегда в нашей интерпретации. Их множество безгранично и в таком виде трудно используется в науке и практике. «Всякий натуралист если не знает, то чувствует, что правила установления научного факта только в малой степени сейчас сведены в ясную логическую систему... что такое факт, научно установленный, и что такое факт или явление, им не являющийся, всегда обречено на неудачу».

Обычно эта сторона естествознания забывается и недостаточно учитывается» [3, с. 20].

С другой стороны *отдельный эмпирический факт*, не связанный в систему фактов, *ещё не создаёт знания*. Вот почему доказательства по типу «выборочных примеров», часто используемые в геологической литературе, довольно слабые доказательства. Однако устойчиво повторяющиеся научные факты, объединённые в некоторое множество, составляют уже эмпирические обобщения, которые и позволяют проводить дальнейшие операции, строить системы и получать практические результаты. Они будут иметь некоторую область устойчивости, внутри которой обнаруживают закономерную статистическую плотность распределения отдельных характеристик.

Так, если минералогический или химический состав конкретного образца горной породы даёт нам *эмпирический факт*, то средний состав пород, полученный из многих анализов, с установленными пределами колебаний отдельных компонентов, является типичным *эмпирическим обобщением*. Ф. Кларк «в своих “*Data of geochemistry*” стремился не к гипотезам и к широким обобщениям, а к сопоставлению и к критике точных числовых данных по истории химических элементов в земной коре». «Собрав факты и эмпирически обобщив их в новую науку – геохимию, Кларк закончил в XX в. работу Бишофа; книга его дала сводку огромной многолетней работы тысяч лиц. <...> Благодаря тому реальному значению, какое возымели числа Кларка в новых учениях об атомах, тому влиянию, какое они оказали на физическую и химическую мысль XX столетия, его работа целиком вошла в представления, слагавшиеся вне его кругозора» [1, с. 28]. И как бы ни менялись наши представления, эти значения могут только уточняться, всегда оставаясь фундаментальным эмпирическим обобщением.

Хрестоматийным примером эмпирических обобщений и их значения в развитии науки могут служить основные уравнения электродинамики. Они созданы в период господства флюидной теории

электричества. Флюидная теория ушла в прошлое, но все основные уравнения (законы Ома, параллельного и последовательного соединения и так далее) работают ничуть не хуже. Все они составлены как эмпирические обобщения, а не выведены из теории. Сюда же можно отнести законы Ньютона. Они работают, хотя объяснений явлений тяготения мы не имеем до сих пор.

«Эмпирическое обобщение опирается на факты, индуктивным путём созданные, *не выходя за их пределы и не заботясь о согласии или несогласии полученного вывода с другими существующими представлениями о природе.* <...>

Эмпирическое обобщение может очень долго существовать, не поддаваясь никаким гипотетическим объяснениям, являясь непонятным, и всё же оказывать благотворное огромное влияние. Но затем часто наступает момент, когда оно вдруг начинает освещаться новым светом, становится областью создания гипотез, начинает менять наши схемы мироздания и само меняется. Очень часто в эмпирическом обобщении мы имели не то, что думали, или в действительности имели много больше, чем думали» [1, с. 19].

Итак, надёжный фундамент науки – это *эмпирические факты и эмпирические обобщения.*

### Научные объяснения, гипотезы и модели

Но вернёмся к синтезу эмпирических фактов и обобщений. Научные объяснения, гипотезы и модели Вернадский называл «наши мимолётные творения разума», которые «необходимы и неизбежны, без них научная мысль работать не может, но они преходящи и в значительной, неопределимой для современников степени, всегда неверны и двусмысленны» [3, с. 33].

«Однако надо помнить, что без научных гипотез не могут быть поставлены эмпирические обобщения и критика фактов, значительная часть самих фактов, самого научного аппарата создаётся благодаря научным теориям и научным гипотезам». И в то же время: «Основное значение гипотез и теорий – кажущееся. Несмотря на то огромное влияние, которое они оказывают на научную мысль и научную работу данного момента они всегда более преходящи, чем непререкаемая часть науки, которая есть научная истина и переживает века и тысячелетия, может быть даже есть создание научного разума, выходящее за пределы исторического времени <...>» [2, с. 96]. «Ни научные теории, ни научные гипотезы не входят, несмотря на их значение в текущей научной работе, в эту основную и решающую часть научного знания» [2, с. 95].

«Огромное значение, которое в научном знании играют научные гипотезы и научные теории, определяет роль философского мышления в научной работе.

Ибо установка научных теорий и научных гипотез находится в тесной зависимости от философской мысли, ею в значительной мере определяются. И научные теории, и научные гипотезы, даже если в их создании философская мысль не играла большой роли, неизбежно входят в подавляющей своей части в философскую мысль. И очевидно, научная мысль должна считаться и принимать во внимание происходящую этим путём критическую и углублённую работу философии» [3, с. 95].

Следовательно «научные объяснения» также являются одним из трёх китов научного знания, но отличным от двух предыдущих. Они совершенно необходимы для развития науки. Без них учёные просто бы погрязли в сумме отдельных фактов. Но в отличие от фактов и обобщений, которые, если они правильно выведены, остаются неизменными в любой теоретической системе и исторически переходят из одной теории в другую, научные объяснения (гипотезы, теории, модели) с необходимостью изменяются в ходе эволюции научного знания. Кроме того, они не только систематизируют накопленные знания, но и прокладывают мост между наукой и практикой.

### Принципы и аксиомы

К ним Вернадский относит наиболее общие эмпирические обобщения. Он пишет: «Основные *принципы и аксиомы* вырабатываются наукой очень медленно. Проходят целые поколения, прежде чем новые научные открытия, эмпирические обобщения или философский и математический анализ, новые научные гипотезы заставляют учёных сознательно отнестись к этим основным положениям, бессознательно всегда лежащим в основе их научного знания» [3, с. 21].

«В течение времени медленно выделялся из материала науки её *остов, который может считаться общеобязательным и непреложным для всех, не может и не должен возбуждать сомнений*» [2, с. 106]. «<...> в течение долгих поколений, в течение тысячелетий аксиомы стали столь очевидными, что одним логическим процессом человек убеждается в их правильности» [2, с. 96].

Таким образом, аксиомы и принципы науки не выведены из теории, и тем более из модели, а являются наиболее общими эмпирическими обобщениями, полученными на протяжении опыта многих поколений. Но именно они образуют базис всего научного мышления. «В основе всей научной работы лежит аксиоматическое положение о реальности предмета изучения науки – о реальности Мира и его законообразности, т. е. возможности охвата научным мышлением. Только при признании этого положения возможна и приемлема для человека научная работа. Эта аксиома признаётся всяким на-

учным исследователем... Аналогичного единому реальному миру науки единого построения в философии или религии нет» [3, с. 91].

Однако здесь следует отметить отличие естественнонаучной аксиоматики не только от философской и религиозной, но и от математической. «В понятиях – объектах философии – всегда скрыт бесконечный ряд следствий. Развитие и уточнение философской мысли заключается всё в более тонком и глубоком анализе, открывающем новое в старом.

Этот пересмотр в ходе жизни совершается всё новыми методами глубочайшими умами человечества, в новых, несравнимых исторических оболочках. В старом и, казалось, законченном, открывается новое, раньше незамеченное. Но это новое не выходит из рамок словом выраженного понятия, есть только его углубление или уточнение, или то, что может возникать в уме при углублении и уточнении понятия. Новое, создаваемое философией, ограничено нацело словом. Понятие есть *слово* и за пределы слова, за его самый глубокий смысл и понимание выйти не может» [3, с. 91–92].

В математике все теоремы уже заложены в исходных аксиомах и выводятся логическими построениями из них и уже выведенных теорем, а, в конечном счёте, из аксиом. Новых эмпирических фактов и обобщений здесь не надо.

### Три синтеза Космоса

В связи с этим полезно вспомнить мысли В.И. Вернадского, опубликованные в сборнике «Живое вещество» [4]. Естественнонаучные представления о Мире в наиболее общем виде отражаются в существующих «картинах мира». Эти представления В.И. Вернадский называл «синтезом Космоса».

**Два синтеза** он сформулировал в своих «крымских текстах»: «Можно видеть в представлениях человека о Космосе два синтеза, по существу совершенно разных, находящихся на разных стадиях своего развития и едва ли совместимых между собой.

1. С одной стороны – отвлечённое представление физика или механика, где всё сводится, в конце концов, на <...> представления об эфире, энергии, квантах, электронах, силовых линиях, вихрях или корпункулах. В сущности, этот мир Космоса даёт нам совершенно чуждое, нас не трогающее впечатление, и,

очевидно, представляет схему, далёкую от действительности. Эта абстракция является удобной формой научной работы, входит в научное мировоззрение, но не охватывает его всего.

2. Наряду с этой – физической – картиной Космоса всегда существует другое о нём представление – натуралистическое, не разложимое на геометрические формы, более сложное и более для нас близкое и реальное, которое пока тесно связано не со всем Космосом, но с его частью – с нашей планетой. <...> В это представление всегда входит новый элемент, отсутствующий в построениях космогонии, теоретической физики или механики – *элемент живого*.» [4, с. 13]. «Между косным и живым веществом есть, однако, непрерывная, никогда не прекращающаяся связь, которая может быть выражена как непрерывный биогенный ток атомов из живого вещества в косное вещество биосферы, и обратно» [2, с. 17].

Эти два синтеза лежат в основе *учения о биосфере*, учения объединяющего косное и живое вещество планеты. Работа была впервые издана на русском языке в 1926 г. [5] и в дальнейшем переиздана на многих языках мира (французском – 1929, японском – 1933, сербохорватском – 1960, испанском – 1997, английском – 1998).

3. Третий синтез картины Мира подробно разбирается в фундаментальном труде «Научная мысль как планетное явление» [2]. Поскольку в наше время практическое значение геологических наук уже не ограничивается поисками полезных ископаемых, а становится необходимой базой для решения экологических проблем, этот *третий синтез* приобретает всё большее значение.

«Эволюционный процесс, – отмечал Вернадский, – получает особое геологическое значение благодаря тому, что он создал новую геологическую силу – научную мысль социального человечества.

В последние тысячелетия наблюдается интенсивный рост влияния одного видового живого вещества – цивилизованного человечества – на изменение биосферы. Под влиянием научной мысли и человеческого труда биосфера переходит в новое состояние, в *ноосферу*» [2, с. 20].

С появлением человека мыслящего эволюционный процесс, отмечал Вернадский, получает особое значение благодаря тому, что он создал новую геологическую силу – научную мысль социального



человечества. Человек действительно стал геологической силой. Сравните: за год при извержениях вулканов из недр Земли в среднем выбрасывается лавы порядка  $65 \text{ км}^3/\text{год}$ , реки сносят с континентов в океан около  $25 \text{ км}^3$  твёрдого вещества, а добывая полезные ископаемые, строя дороги и города, человечество механически перемещает до  $100 \text{ км}^3$  горных пород.

Ноосфера включает все три синтеза – косную, живую и социальную компоненты биосферы. Эта роль приобретает всё возрастающее значение, но не может изменить направление развития природы. Цивилизация – не самостоятельная система, а только часть биосферы. Следовательно, любые политические, экономические и технические методы решения экологических проблем, которые не находятся в согласии с законами развития биосферы, не смогут быть эффективными.

### Стрела времени

Геология – наука историческая. В отличие от таких фундаментальных наук, как геометрия, механика, общая физика и химия, классическая термодинамика, где понятия *время* вообще отсутствует, а процессы, идущие во времени, либо не рассматриваются, либо выступают как полностью обратимые, квазистатические, геология имеет дело с историей земной коры.

«Время физика, – писал Вернадский, – несомненно, не есть отвлечённое время математика или философа, и оно в разных явлениях проявляется в столь разных формах, что мы вынуждены отмечать это в нашем эмпирическом знании» [6].

Палеонтология ввела понятие времени в геологические дисциплины, создала основу для биостратиграфии. Появилась строгая последовательность относительного времени формирования различных геологических тел. В начале XX в., после открытия радиоактивности появился второй (после астрономического) независимый радиологический эталон времени. Появление радиологических датировок впервые позволило ввести в геологию понятие об *интенсивности* геологических событий.

Историзм геологии принципиально отличается её от классических физики и химии, достижениями которых геолог не только может, но и *должен* пользоваться в своих исследованиях.

### Система научного знания

В естественных науках расширение и углубление знания требует новых эмпирических фактов и их эмпирических обобщений. Само понятие эмпирического обобщения, постоянно подчёркиваемое В.И. Вернадским, здесь играет ключевую роль. Игнорирование этой стадии научных исследований, непосредственный переход от отдельных фактов к моделям и широким теоретическим обобщениям, минуя кропотливый, но очень важный этап эмпирических обобщений, подчас искажает реальность и создаёт только иллюзию знания.

Попытаемся схематически изобразить всю цепочку получения и преобразования научного знания, как она вырисовывается из методологии В.И. Вернадского. В начале цепочки лежит непосредственное *наблюдение* природных объектов или их откликов на те или иные естественные и техногенные воздействия. В результате этих процедур формируется сумма *эмпирических фактов*. Они многочисленны, разрозненны и подчас противоречивы. Они нуждаются в систематизации и обобщении. На этой базе формируются эмпирические обобщения, суммирующие отдельные эмпирические факты, устойчивые в определённых условиях с некоторой долей вероятности. Последние два условия (область реализации и доверительный интервал) ограничивают сферу применимости любого эмпирического обобщения. Сами эмпирические обобщения наиболее устойчивы и сохраняются при изменении теоретических обобщений, но могут уточняться по мере накопления новых эмпирических фактов. В процессе своего формирования они многократно проверяются путём сопоставления с природными объектами через наблюдения и измерения по принципу обратной связи.

Данная стадия формирования научного знания весьма ответственна и совершенно необходима для построения научного объяснения. Все попытки её игнорирования и построения теоретических моделей на базе отдельных фактов (метод «выборочных примеров»), показанный на схеме пунктирной линией, часто приводит к печальным результатам.

На базе эмпирических обобщений исторически формируются научные принципы, постулаты и аксиомы. Это наиболее устойчивые эмпирические обобщения с широкой сферой применимости.

Продолжение на с. 50

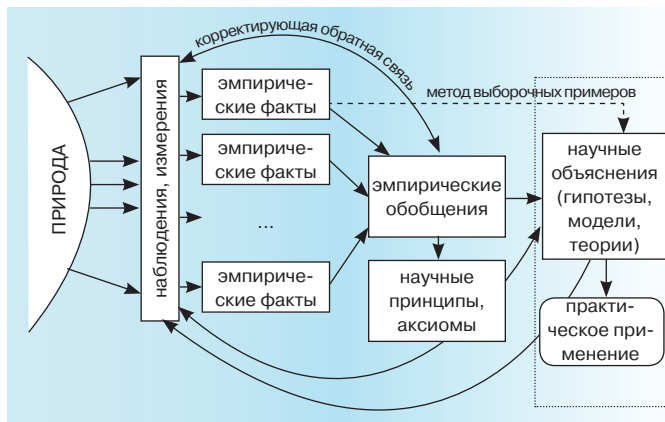
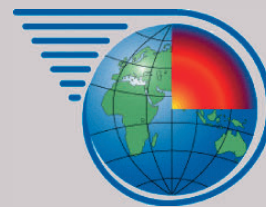


Схема получения и преобразования научного знания

## БИОСФЕРА И ЕЁ ПЕРЕХОД В НООСФЕРУ\*



Спасение России заключается в поднятии и расширении образования и знания.

*Владимир Вернадский\*\**

(Слайды 1, 2.) В последнее время имя Вернадского всё чаще и чаще встречается не только в научной литературе, но и на страницах газет и журналов, на радио и телевидении. Оно присвоено не только различным институтам, фондам, учебным заведениям.

(Слайд 3.) В Москве есть проспект Вернадского, станция метро его имени, в Симферополе его имя носит университет, где он был ректором, а 23 апреля 2013 г. открыт памятник, 12 марта 1981 г. поставлен памятник в Киеве, его имя носит московский Институт геохимии и аналитической химии РАН, хребет в Антарктиде и кратер на Луне.

(Слайд 4.) Меньше известно о его идеях. Современный этап развития представлений о биосфере связан с выходом в свет работы В.И. Вернадского «Биосфера», в которой он развил целостное представление о взаимодействии живого и косного вещества, о связи биосферы с космосом и роли биоты в эволюции земной коры.

(Слайд 5.) Такое целостное понимание «биосферы» приобретает особое значение в наши дни. Научно-технические успехи ушедшего столетия существенно изменили образ жизни людей, сделав их более комфортными.

(Слайд 6.) За всё надо платить, и мы платим тем, что всё острее начинаем ощущать и прямые, и косвенные последствия этого самого техническо-

го прогресса. Загрязнение окружающей среды, рост преступности, агрессивности, насилия, наркомании и тому подобное.

(Слайды 7, 8.) Причина не в технике, а в коллективном мышлении и подходе к решению экономических проблем.

(Слайд 9.) Вернадский в своём учении о биосфере и ноосфере рассматривает постоянное взаимодействие трёх крупных начал эволюции нашей планеты: неживого (косного), живого и социального.

(Слайд 10.) Косное и живое вещество находятся в постоянном непрерывном взаимообмене. Наблюдать это можно на каждом шагу. Любое растение не может жить, не обмениваясь веществом с окружающей средой, не поглощая нужные для жизни вещества и не выделяя отработанные.

(Слайд 11.) В живом и в косном веществе действуют одни и те же физические и химические законы. Так, иризация – оптический эффект сложения двух или большего числа световых волн – проявляется и у некоторых минералов в виде радужного цветового сияния на поверхности при ярком освещении, и на сколе некоторых камней, в перламутре, на чешуйках, покрывающих крылья бабочек, у перьев павлина и так далее. Таких наглядных примеров можно найти очень много.

(Слайд 12.) Биосфера, по Вернадскому, это область не просто существования, а активной деятельности живого вещества.

(Слайд 13.) Это не просто взаимодействие. В результате все вещества находятся в постоянном круговороте. Простейший из них, хорошо знакомый нам ещё с начальной школы, – круговорот воды в природе.

\*Текст к презентации, представленной в ЭП.

\*\*Вернадский В.И. Ближайшие задачи академической жизни. Право: 1905, С. 25



▲ Проспект Вернадского в Москве и станция метро его имени ▲



Памятник В.И. Вернадскому  
в Таврическом Национальном университете его имени ►  
(г. Симферополь, Украина)



(Слайд 14.) Время обмена в различных частях этого общего цикла весьма различно. Если среднее время обмена влаги в почвенном слое меньше одного года, то для океана оно составляет 2,5 тыс. лет. Такой же круговорот совершают все атомы земной коры. Только время этого оборота может исчисляться миллионами и сотнями миллионов лет.

(Слайд 15.) Верхняя граница распространения живых организмов ограничена озоновым слоем Земли, который защищает нас от губительного ультрафиолетового излучения. Нижняя граница распространения жизни простирается на сотни метров под землю. Отдельные микроорганизмы могут проникать на глубину 1–2 км.

(Слайд 16.) Появление *Homo sapiens* продолжило основные тенденции эволюционных биогеохимических процессов. На планете появилась новая «геологическая сила» – человек.

(Слайд 17.) По массам перемещаемого вещества деятельность человека соизмерима с естественными геологическими процессами.

(Слайд 18.) Распределение человека на земном шаре хорошо прослеживается из космоса.

(Слайд 19.) Все технические орудия человека созданы его разумом, научной мыслью, которая накапливает и преобразует полученную человечеством информацию.

(Слайд 20.) Накопление научного знания началось с появления «человека разумного». Это и есть начало перехода биосферы в сферу разума, ноосферу (от греч. νόος – разум, σφαῖρα – шар). Но почему мы только теперь начали говорить об этом? Дело в том, что в процессе эволюции происходит последовательное ускорение движения элементов в земной коре. В неживой природе процессы идут очень медленно. Живое вещество ускоряет это движение. Дальнейшее увеличение скорости круговорота идёт в технических процессах. Но это ускорение не линейно, а экспоненциально, что легко проиллюстри-

ровать на примере скорости перемещения человека. На заре человечества – это только лошадь и лодка. Паровоз появился лишь в начале XIX в., автомобиль – в его конце, самолёт – в первой половине XX в., а к его концу – уже ракеты.

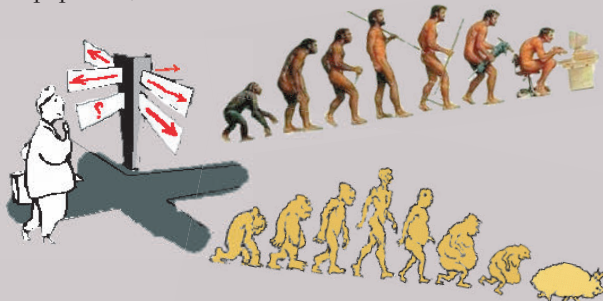
(Слайды 21, 22.) Ускоряется накопление и техногенных, и бытовых отходов.

(Слайд 23.) Ни одна система не может только потреблять! Экосистема, потребляя продукты жизнеобеспечения, должна и выделять эквивалентные количества веществ. Иначе её грозит взрыв!

(Слайд 24.) Нельзя забывать, что человек находится на вершине пирамиды жизни, а в основании её – бактерии, грибы, растения и так далее. И разрушение основания пирамиды чревато её обрушением.

(Слайд 25.) Решения проблем развития цивилизации, не основанные на естественнонаучных законах развития биосферы, не могут дать эффективных результатов.

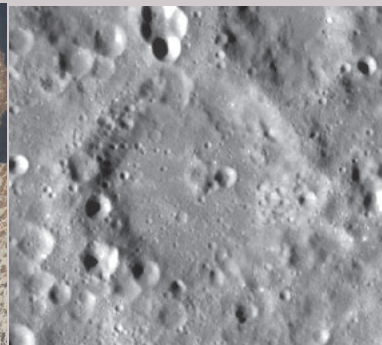
(Слайд 26.) Будущее человечества, как части единой системы биосферы, зависит от того, когда оно поймёт свою связь с Природой (Богом, Духом, Высшим Разумом, Мировой Информацией) и примет на себя ответственность не только за развитие общества (к чему стремились все утописты), но биосферы в целом.



(Слайд 27.) Благодарю за внимание, профессор Б.Г. Наумов



▲ Институт геохимии и аналитической химии РАН. ▲ Хребет в Антарктиде



▲ Большой ударный кратер *Vernadsky* на обратной стороне Луны (диаметр 91,97 км, глубина 2,83 км)

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/73/Vernadsky\\_LPO\\_WAC.png/280px-Vernadsky\\_LPO\\_WAC.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/73/Vernadsky_LPO_WAC.png/280px-Vernadsky_LPO_WAC.png)

Их влияние не ограничивается процессом формирования научных объяснений. По принципу обратной связи они направляют исходный процесс наблюдений и измерений. На эту же процедуру влияют и создающиеся на каждый данный момент теоретические представления. Особое значение теоретических моделей заключается ещё и в том, что именно через них вся система научного знания работает на её практическое применение. На рисунке эта область выделена пунктиром.

Подводя итог, следует отметить, что интерес к методологии естественных наук, проявляющийся в последнее время, и продиктованный современным состоянием научного знания, требует не начинать всё с нуля, а внимательно анализировать труды наших великих предшественников и, прежде всего, В.И. Вернадского, внимательно рассматривавшего эти вопросы. Общедоступное изложение жизни, творчества и основных идей учёного изложены в недавно вышедшей в издательстве URSS книге «Три синтеза космоса. Владимир Вернадский, история жизни и мысли».



Культура любого общества складывается из культуры его членов, культуры в широком понимании этого слова, включающего в себя культуру быта, социальных отношений, земледелия, техники, в конечном счёте, культуру личности. «Я глубоко убеждён, – писал Вернадский своей жене Наталье Егоровне, – и всё более убеждаюсь, что есть единственная

возможность сделать культуру прочною – это возвысить массы, сделать для них культуру необходимою» (7 июня 1893 г.).

Процесс смены парадигм фактически уже начался, но находится в зачаточном состоянии. Мышление всегда консервативно, тем более общественное. В настоящее время его развитие отстаёт от развития технического, которое является стимулом современного развития цивилизации. Это несоответствие порождает те кризисные состояния, которые мы ощущаем. Ускорение процесса смены парадигм зависит от активности всех звеньев образования и просвещения.

Система ноосферного мышления должна сыграть одну из главных ролей в развитии цивилизации. Только таким путём возможно глубокое осознание основного вывода концепции ноосферы: *будущее человечества, как части единой системы биосферы, зависит от того, когда оно поймёт свою связь с Природой (Богом, Духом, Высшим Разумом, Мировой информацией, ...) и примет на себя ответственность не только за развитие общества (к чему стремились все утописты), но биосферы в целом.*

#### Литература

1. Вернадский В.И. Очерки геохимии. Избранные сочинения. Т. 1, М.: Наука, 1953. С. 11.
2. Вернадский В.И. Научная мысль как планетное явление. М.: Наука, 1991. 271 с.
3. Вернадский В.И. Размышления натуралиста. М.: Наука, 1975.
4. Вернадский В.И. Живое вещество. М.: Наука, 1978, 358 с.
5. Вернадский В.И. Биосфера. Л.: НХТИ, 1926. 146 с.
6. Вернадский В.И. Изучение явлений жизни и новая физика. Труды по биогеохимии и геохимии почв. М.: Наука, 1992. С. 193.



**Георгий Борисович Наумов** – профессор, доктор геолого-минералогических наук, советник директора Государственного геологического музея РАН им. В.И. Вернадского, академик РАЕН и АГН. Окончил Московский геологоразведочный институт по специальности инженер-геолог. Работал в Институте геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского АН СССР (сейчас ГЕОХИ РАН). Основное направление деятельности – геохимия процессов формирования месторождений полезных ископаемых. Сфера научных интересов: глобальная экология, вернадоведение, геохимия биосферы, ноосферное просвещение, техносфера. Автор учебного пособия «Геохимия биосферы» 2010 г. Награды: «Орден Трудового Красного знамени» (1973), «Заслуженный деятель науки Российской Федерации» (1999) и «Почётный разведчик недр» (2003), «Горняцкая слава III степени» (2012), нагрудный знак «Орден В.И. Вернадского» (2013) и «Почётный знак имени В.И. Вернадского» (Украина, 2013). Хобби – эволюция космоса и биосферы.

# Физические основы нанотехнологий



На доступном для учеников старших классов средней (полной) общеобразовательной школы уровне изложены общие научные принципы, главные идеи, физические теории, лежащие в основе представлений наномира, основные понятия и достижения нанотехнологий в области практических приложений, рассмотрены основные принципы работы главных инструментов нанотехнологии.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** нанотехнологии, корпускулярно-волновой дуализм, интерференция, дифракция, фотоэффект

■ Дорогие читатели!

Представляем вашему вниманию цикл лекций, которые читает Наталья Виленовна Латухина в рамках своего элективного курса в Самарском лицее информационных технологий. Цель курса – изложить достаточно популярно общие научные принципы, главные идеи, физические теории, лежащие в основе представлений наномира, познакомить старшеклассников и их учителей с основными понятиями и современными достижениями нанотехнологий в области практических приложений. Главная особенность – курс рассчитан именно на учителей физики, а не как обычно, на учителей химии. Изучение подобного курса позволит выработать образовательную стратегию по инновационной нанотехнологической тематике в средней школе и сократить разрыв между учебными планами и программами подготовки специалистов по нанотехнологическим направлениям вузов и представлениями сегодняшних выпускников о специфике областей знания, необходимых для получения соответствующего высшего образования. Курс раскрывает роль фундаментального **физического** знания в развитии нанотехнологической отрасли. Ознакомление с ним будет способствовать мотивации школьников к выбору профессий, востребованных высокотехнологичными отраслями экономики, в том числе использующими нанотехнологии.

**Лекции могут лечь в основу дистанционного курса Педагогического университета «Первое сентября». Дело за вами: курс будет заявлен, если мы будем уверены, что он будет востребован школьными учителями.**

**Ждём ваши отзывы.**

## Учебный план

**Лекция 1. История формирования квантовых основ наномира. Корпускулярно-волновой дуализм излучения.** Сравнение масштабов нано- и макромира, формирование понятия кванта. Явления интерференции и дифракции света. Фотоэффект.

**Лекция 2. История формирования квантовых основ наномира. Корпускулярно-волновой дуализм вещества.** Гипотеза де Бройля о волновых свойствах частиц. Модель атома водорода по Бору. Сравнение описаний движения частицы в классической и квантовой механике.

**Лекция 3. Основные типы наноматериалов и наноструктур.** Принцип квантово-размерного эффекта.

Основные типы квантово-размерных структур: квантовые ямы, нити, точки, сверхрешётки. Композитные и пористые материалы.

**Лекция 4. Углеродные наносистемы.** Особенности электронного строения углерода. Основные типы углеродных наносистем: графен и его производные, фуллерены, углеродные нанотрубки.

**Лекция 5. Инструменты нанотехнологий.** Принципы работы современных микроскопов: сканирующего туннельного, атомно-силового, просвечивающего и растрового электронных, ближнепольного и конфокального оптических.

**Лекция 6. Технологии изготовления наноматериалов и наносистем.** Два подхода к технологии изготовления наноматериалов и наноструктур. Основные виды эпитаксии и литографии. Роль самоорганизации в формировании наносистем.

**Лекция 7. Наноэлектроника.** Принципы работы ряда устройств наноэлектроники: резонансно-туннельного диода, лазеров на квантово-размерных структурах, гетероструктурных солнечных элементов, элементов спинтроники.

**Лекция 8. Нанотехнологии в медицине. Нанотехнологии вокруг нас: реальность и перспективы.** Основные направления наномедицины: визуализация патологических процессов в организме, системы адресной доставки медикаментов, биосенсоры, подложки для роста биотканей, микрочипы и нанороботы. Наноматериалы в химической и пищевой промышленности. Катализаторы и фильтры. Нанопокрывтия. Использование нанотехнологий в строительстве, энергетике, машино- и приборостроении.

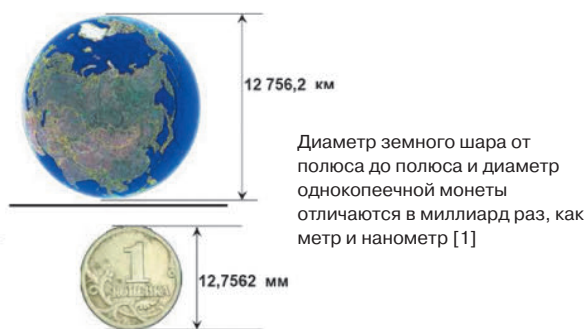


**Наталья Виленовна Латухина** – к. т. н., доцент кафедры полупроводниковой электроники и нанотехнологий СамГУ, преподаёт в лицее информационных технологий, лицее авиационного профиля, МОУ СОШ № 132, Самарском муниципальном университете системы непрерывного образования. Общий научно-педагогический стаж 33 года. Педагогическое кредо: всё сложное просто, если есть желание понять. Вместе с мужем вырастили трёх сыновей.

## Лекция 1. История формирования квантовых основ наномира. Корпускулярно-волновой дуализм излучения

**1.1. Масштаб наномира.** Мир наноматериалов и нанотехнологий поистине необъятен и чрезвычайно разнообразен. В лексикон учёных, инженеров, технологов всего мира прочно вошли термины с приставкой «нано»: *нанохимия, наноэлектроника, нанотрубки, нанокластеры, нановолокна, нанокристаллы, нанокomпьютер, наноробот* и так далее (слайд 1). Непосредственное отношение к наномиру имеют и термины без этой приставки, как, например, *квантовая точка, фуллерен, графен, сверхрешётки, вискеры, кантилевер*. Так что такое «нано»?

Греческое *νόμος* – означает *карлик, гном* (слайд 2). Интересно, что в легендах многих европейских народов гномы или карлики являются хранителями несметных подземных сокровищ. Можно сказать, что, овладев нанотехнологиями, человек получит ключ к сокровищам, которые таит в себе наномир.

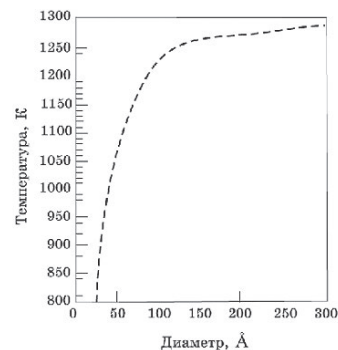


«Нано» – это одна миллиардная часть, то есть например,  $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ . Представить себе масштаб нанообъектов может не каждый. *Нановолокно* толщиной 1 нм почти в миллион раз тоньше человеческого волоса ( $\sim 0,05 \text{ мм}$ ). Если бы *нанокластер* диаметром 1 нм увеличился до размера макового зёрнышка (1–2 мм), то само зёрнышко заняло бы площадь в несколько квадратных километров!

Чем же интересен нанометровый масштаб и почему к нему такое внимание? Главная причина в том, что именно на этом уровне начинают проявляться новые, особые свойства вещества. В первую очередь это связано с *квантовой* природой составляющих вещество атомов и молекул. Поведение отдельных атомов и молекул описывается законами *квантовой механики*. Поэтому многие объекты наномира имеют прилагательное «квантовый» (*квантовая точка, квантовый провод,...*).

Печатается в сокращении. Презентацию и полный текст с контрольными тестовыми заданиями, задачами с решениями и задачами с ответами для самостоятельного решения к каждому подразделу см. ЭП. – Ред.

Свойства тела при плавном уменьшении его размеров в макроскопическом масштабе – от метров к сантиметрам и миллиметрам – изменяются плавно (например, уменьшаются масса тела, его электрическое сопротивление), но свойства вещества, из которого сделано тело, остаются практически неизменными: сантиметровый кубик льда начнёт таять при той же температуре, что и метровая льдина, и даже огромный айсберг – при  $0^\circ\text{C}$ . Однако при достижении некоторого критического размера свойства тела начинают меняться радикально, скачками. Для большинства известных веществ этот предел порядка сотен нанометров, что и определяет примерные границы наномира. В этом мире кусочек вещества размером 1 нм резко отличается от кусочка того же вещества размером 10 нм, у них разная температура плавления, разный цвет, упругость, электрические и магнитные характеристики и так далее. Например, золотой шарик диаметром 0,5 нм начнёт плавиться при температуре 1050 К, а диаметром 1 нм – уже при температуре 1250 К.



Зависимость температуры плавления сферических наночастиц золота от их диаметра [2]

Основной материал полупроводниковой электроники – кремний (слайд 3) – имеет серый металлический цвет и по своим фундаментальным качествам мало пригоден для излучения света (люминесценции). А вот нанокристаллы кремния могут иметь любой цвет, от красного до фиолетового, и люминесцировать не хуже традиционных кристаллов, используемых в световых приборах. Если откалибровать нанокристаллы по размеру, мы получим образцы кремния красного, жёлтого, зелёного, синего цвета.

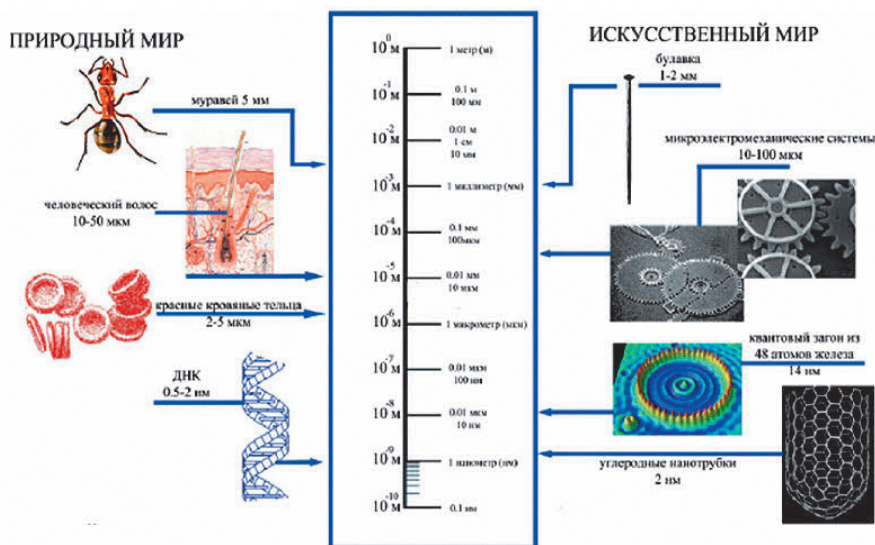


Внешний вид кремния: слева – образцы из нанокристаллов различного размера [3], справа – монокристаллический слиток кремния

Вспомним, что характерный атомный размер – это *ангстрем* ( $\text{Å}$ ),  $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ м}$ . Таким образом, например, *нанокластер* или *фуллерен*, может содержать десятки, сотни и даже тысячи атомов, тем не

менее его поведение и его свойства будут описываться квантовыми законами, подобно отдельному гигантскому атому. Вещество, образованное такими «атомами», также будет иметь особые свойства и с полным правом может называться наноматериалом. Лауреат Нобелевской премии по физике Ж.И. Алфёров, с чьих работ началось развитие одной из наиболее важных ветвей нанoeлектроники – полупроводниковых лазеров, так определил понятия наноматериала и нанотехнологий (слайд 4): «Если при уменьшении объёма какого-либо вещества по одной, двум или трём координатам до размеров нанометрового масштаба возникает новое качество или это качество возникает в композиции из таких объектов, то эти образования следует отнести к наноматериалам, а технологии их получения и дальнейшую работу с ними – к нанотехнологиям» [4].

Таким образом, к характерным свойствам наноматериала можно отнести: размер хотя бы по одной из координат менее 0,1–0,2 мкм и новые (помимо чисто квантовых проявлений) свойства по сравнению с «объёмным» телом, например, высокую реакционную способность, уникальные механические свойства, способность к самоорганизации и самосборке. Ещё одной замечательной особенностью наноматериалов является их специфическое взаимодействие с живыми системами. Если сопоставить масштабы объектов живой природы и объектов, созданных человеком, можно видеть, что наноматериалы находятся на одном уровне с крупными органическими молекулами, такими как ДНК, РНК, молекулы белков (слайд 5). Владение нанотехнологиями, создание наноматериалов и наноинструментов привело к развитию внутриклеточной *генной инженерии*, дало учёным возможность вмешиваться в работу отдельных *клеток*, манипулировать *генами*. Переход к наноразмерным элементам позволил полупроводниковой электронике не только освоить новые области применения в биологии и медицине



и существенно увеличить доли компонент электроники в медицинских и биологических технологиях, но и применять биологические материалы для создания элементов нанoeлектроники (слайд 6).

## 1.2. История возникновения понятия «квант».

Итак, уникальные свойства наноматериалов определяются *квантово-размерными эффектами*, суть которых заключается в том, что, начиная с некоторого размера, на свойства вещества начинают сказываться квантовые эффекты, характерные для отдельных атомов и молекул. Чем меньше размеры частицы, чем меньше она содержит атомов и молекул, тем заметнее её «квантовые» качества. Само слово «квант» (от лат. *quantum* – количество) означает некоторое количество, неделимую порцию чего-либо, а слова «квантовый», «квантование» – разделение какой-либо физической величины, характеризующей систему (энергии, импульса), на неделимые порции – кванты. Раздел физики, описывающий движение и взаимодействие отдельных атомов и молекул, а также объектов наномира, называется *квантовой механикой*. Основные представления о квантах сформировались в начале XX в. при попытках объяснить некоторые наблюдаемые на опыте свойства света.

Свет предоставляет человеку более 90% информации об окружающем мире, однако природа самого света вызывала споры со времён Ньютона и Галилея (слайд 7). Сам Ньютон, основоположник классической механики, чей авторитет в мире науки был очень высок, считал свет потоком частиц, *корпускул*. Ньютон проводил многочисленные опыты со световыми лучами. Различие цветов спектра, получающегося при разложении белого света в призме, он объяснял различной скоростью движения корпускул: «фиолетовые» движутся быстрее всех, «красные» – самые медленные, белый свет представляет собой поток частиц, движущихся с разными скоростями. Но другие учёные, такие как Х. Гюйгенс (1629–1695), Т. Юнг (1773–1829), О. Френель (1788–1827) считали, что свет – это волна, и разный цвет световых лучей обусловлен разной длиной волны: самые короткие волны у фиолетового света, самые длинные – у красного.

Распространяются же все световые волны с одинаковой скоростью. Эта точка зрения подтверждалась такими чисто волновыми явлениями как *интерференция* и *дифракция* света. Интерференционная картина возникает при наложении двух одинаковых волн (слайд 8). Если в некотором

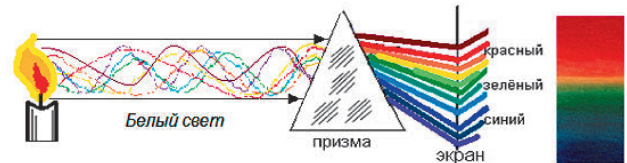
месте пространства встречаются волны, движущиеся *в фазе*, то есть гребень одной волны совпадает с гребнем другой, а впадина – со впадиной, то в этом месте волны усиливают друг друга, наблюдается максимум. В том месте пространства, где гребень одной волны встречается со впадиной другой, то есть волны движутся в *противофазе*, волны гасят друг друга, наблюдается минимум. Обе волны, пройдя место встречи, распространяются в прежнем направлении, не претерпев никаких изменений. Для света в месте максимума колебаний наблюдается светлое пятно, а в месте минимума – тёмное, то есть интерференционная картина будет представлять собой чередование светлых и тёмных областей, что и было блестяще продемонстрировано в опытах Юнга и Френеля.

Понятно, что при встрече двух потоков частиц никакой интерференции быть не может, так что корпускулярная теория света объяснить интерференцию световых лучей не может. Не может эта теория объяснить и дифракцию света – явления огибания волной препятствия, сравнимого по размерам с длиной волны (*слайд 8*). Световой луч может заходить за край своей геометрической тени, отклоняясь от прямолинейного направления, как волна. Частица же, налетев на препятствие, будет упруго от него отражаться, она не может «завернуть за угол».

В то же время такие явления, как отражение и преломление светового луча волновая теория света объясняет не менее успешно, чем корпускулярная. Волновой природой света обусловлены многие красивейшие явления в окружающем нас мире, от радуги в небе до окраски мыльных пузырей. Поэтому, несмотря на авторитет Ньютона, волновая теория света к началу XX в. имела более прочные позиции, чем корпускулярная. Великий британский физик Дж. Максвелл теоретически показал, что свет является *электромагнитной волной*. Действием электрического поля световой волны на электроны, входящие в состав атома, впоследствии удалось объяснить почти все явления взаимодействия света с веществом.

Однако в конце XIX в. были открыты некоторые световые явления, которые никак не укладывались в рамки волновой теории. Первые трудности возникли при анализе *спектров* из-

лучения и поглощения некоторых газов. Все вещества, нагретые до определённой температуры, начинают излучать свет. Согласно волновой теории, свет – это электромагнитные волны, которые излучаются колеблющимися заряженными частицами (электронами), при этом вся совокупность частиц порождает непрерывный набор электромагнитных волн разной частоты, так что спектр излучения вещества должен быть сплошным (*слайд 9*).



Разложение в спектр белого света от пламени свечи

В большинстве случаев так и есть для веществ, находящихся в конденсированном состоянии, твёрдом или жидком. Однако для самого простейшего вещества – газа атомарного водорода – это совсем не так! Его спектр является дискретным, линейчатым, то есть излучаются волны лишь строго определённой длины волны. В видимом диапазоне это всего три линии: синяя (410,2 нм), голубая (486,1 нм) и красная (656,3 нм) [5]. Эта серия линий в спектре водорода получила название «серия Бальмера» по имени швейцарского учёного И.-Я. Бальмера, впервые детально её изучившего.



Подобные серии линий наблюдаются и в ультрафиолетовой части электромагнитного спектра (серия Лаймана), и в инфракрасной (серия Пашена). Положение линий в спектре строго определено и почти не подвержено никаким внешним воздействиям (в сильных электрических полях наблюдается расщепление линий). А в спектре поглощения, если пропустить белый свет через газообразный атомарный водород, на месте этих линий будут наблюдаться тёмные «щели» в сплошном спектре, то есть газ будет поглощать те же длины волн, которые излучает. Аналогичная картина наблюдается и для других газов.

[http://img-floki.yandex.ru/get/6441/64643573\\_1c9/0\\_912ba\\_7aa20c23\\_orig](http://img-floki.yandex.ru/get/6441/64643573_1c9/0_912ba_7aa20c23_orig)



<http://vetit77.ucoz.ru>

◀ Явления, обусловленные волновой природой света: радуга в водяных брызгах водопада, окраска мыльного пузыря

Шведский учёный Ю. Ридберг выявил интересную закономерность. Оказывается, любая частота, которой соответствует наблюдаемая линия в какой-либо серии спектра водорода, может быть выражена через пару целых чисел и общую для всех константу  $R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$ , получившую название *постоянной Ридберга*:

$$\nu_{mn} = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right). \text{ Для всех линий серии}$$

Лаймана  $m = 1$ , а  $n$  начинается с двойки ( $n = 2, 3, \dots$ ). Для видимых линий серии Бальмера  $m = 2$ , а  $n$  начинается уже с тройки ( $n = 3, 4, \dots$ ). Линии серии Пашена имеют  $m = 3$ , соответственно  $n$  начинается с четвёрки ( $n = 4, 5, \dots$ ).

Лишь в 1910-е гг. дискретный характер спектров излучения удалось объяснить на основании гипотезы о *квантовании* энергии осциллятора – электромагнитного излучателя, выдвинутой немецким учёным М.Планком. Согласно ей, тела излучают энергию света порциями – *квантами*. Энергия каждой порции строго определена, она пропорциональна частоте излучения и вычисляется по формуле  $E = h\nu$ , где  $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$  – *квант действия* или *постоянная Планка*. Эта короткая формула стала краеугольным камнем новой, квантовой, физики, а постоянная Планка – одной из главных фундаментальных физических констант. День 14 декабря 1900 г., когда Макс Планк на заседании Немецкого физического общества изложил свою гипотезу, считается днём рождения *квантовой механики*. А. Эйнштейн писал о М. Планке: «...Он убедительно показал, что кроме атомистической структуры материи существует своего рода атомистическая структура энергии, управляемая универсальной постоянной  $h$ , введённой Планком. Это открытие стало основой для всех исследований в физике XX в. и с тех пор почти полностью обусловило её развитие» [6].

Гипотеза М. Планка дала толчок дальнейшему развитию квантовой теории. Следующий важный шаг был сделан А. Эйнштейном в работах, посвящённых объяснению закономерностей такого светового явления, как фотоэффект.

**1.3. Фотоэффект.** *Фотоэффектом* называется явление высвобождения электронов, находящихся в веществе в связанном состоянии, под действием падающего на вещество света. Различают внутренний и внешний фотоэффект. При внешнем фотоэффекте происходит испускание электронов с поверхности твёрдого тела, обычно металла, в окружающую среду. Внутренний фотоэффект – это переход электрона внутри вещества, обычно полупроводника или диэлектрика, из связанного состояния

в свободное, что приводит к увеличению электропроводности или возникновению электрического тока [7].

Внешний фотоэффект был открыт немецким физиком Г. Герцем и тщательно изучен выдающимся русским учёным А.Г. Столетовым и немецким учёным Ф. фон Ленардом. (*Объясняется схема установки Столетова для изучения внешнего фотоэффекта, слайд 10, основные параметры фотоэффекта, их взаимосвязь, три эмпирических закона фотоэффекта\**, иллюстрируемые с помощью флэш-анимации. Этот материал изложен подробно см. ЭП. – Ред.)

С точки зрения волновой теории света легко объясним лишь первый закон фотоэффекта (*закон Столетова*): зависимость силы фототока от интенсивности освещения. Действительно, интенсивность падающего света определяется амплитудой колебаний электромагнитной волны: чем выше амплитуда волны, тем больше электронов она «вырывает» из вещества. (Вспомните, как размывает песчаный берег сильный прибой!) Однако почему же энергия выбитых электронов не зависит от амплитуды, то есть от энергии волны (*второй закон фотоэффекта*)? И почему красный свет даже очень большой интенсивности вообще не выбивает из цинка электроны (*третий закон фотоэффекта*)? А вот фиолетовый, даже слабый, вызывает появление пусть небольшого числа, но очень энергичных фотоэлектронов.

Для объяснения законов фотоэффекта великий немецкий физик Альберт Эйнштейн привлек гипотезу Планка о квантовании энергии электромагнитного излучения (*слайд 11*). Он предположил, что свет не только излучается, но и поглощается отдельными порциями – квантами. Электроны в

\*В отечественной учебной литературе три закона фотоэффекта упорно называют *законами Столетова*, что неправильно, и вряд ли бы глубоко уважаемый русский профессор согласился с приписыванием ему результатов, которых он не получал. В некоторых случаях, в частности в распространённом учебнике Мякишева Г.Я., Буховцева Б.Б., Чаругина В.М. «Физика. 11 класс. Классический курс» (М.: Просвещение, 2009) прямо именно так не говорится, но подразумевается по расположению материала. Профессор А.Г. Столетов провёл точные количественные эксперименты, описываемые теперь первым законом фотоэффекта (URL: <http://nn.mi.ras.ru/GetPDF.dll?Seid?70710276768243>) Электронная природа фотоэффекта была открыта Дж.-Дж. Томсоном и Ф. фон Ленардом в 1898 г. (уже после смерти Столетова), а его спектральные характеристики исследованы ещё позже. Рекомендуем обратиться к очень интересной статье Н.С. Хлебникова «Работы А.Г. Столетова по фотоэффекту» (УФН, 1939. Т. XXII., вып. 4. URL: [http://ufn.ru/ufn39/ufn39\\_8/Russian/r398b.pdf](http://ufn.ru/ufn39/ufn39_8/Russian/r398b.pdf).) Кроме того, вакуумный фотоэлемент был изобретён позже опытов А.Г. Столетова. Исторический прибор Столетова можно увидеть на сайте музея Столетовых во Владимире <http://www.museum.vladimir.ru/exhibition/vladimir/brothers?menu=vladimir>. Рекомендуем ознакомиться с публикацией в журнале «Физика» («Первое сентября»): Петровская Е.Д. Фотоэффект. № 16/2011, с. 56–57. – Ред.

веществе могут взаимодействовать только с одним квантом, поглотиться может только вся порция целиком. Энергия каждого кванта определяется частотой излучения по формуле Планка  $E = h\nu$ . Часть этой энергии расходуется на то, чтобы вырвать электрон из катода. Эта величина определяется *работой выхода материала*  $A_{\text{вых}}$ , то есть работой, которую надо совершить, чтобы извлечь электрон из металла, преодолев силы кулоновского притяжения. Работа выхода  $A_{\text{вых}}$  является одной из характеристик вещества. Оставшаяся часть энергии кванта составляет кинетическую энергию электрона  $E_k$ . Закон сохранения энергии для фотоэффекта запишется в виде уравнения (*уравнение Эйнштейна*):

$$h\nu = A_{\text{вых}} + E_{k, \text{ макс.}}$$

Если энергия кванта падающего излучения меньше работы выхода, её не хватает для извлечения электрона из металла, и фотоэффект не наблюдается. В этом случае поглощённое металлом излучение лишь разогревает его, энергия излучения переходит в тепловую энергию. Таким образом, значение работы выхода материала определяет его «красную границу»:  $h\nu_{\text{кр}} = A_{\text{вых}}$ .

Квантовая теория успешно объясняет все три закона фотоэффекта: ● Энергия потока излучения представляет собой сумму энергий отдельных квантов, так что интенсивность света определяется числом квантов ● Поскольку каждый электрон взаимодействует с одним квантом, число вылетевших с катода электронов определяется числом поглощённых квантов, а число фотоэлектронов определяет величину тока насыщения ● Энергия поглощенного кванта пропорциональна частоте излучения, поэтому и энергия вылетевших электронов зависит от частоты излучения. При частоте излучения ниже  $\nu_{\text{кр}}$  энергии кванта не хватает на совершение работы против сил кулоновского притяжения электрона в металле, и фотоэффекта не происходит.

Однако успехи квантовой теории в объяснении законов фотоэффекта совсем не означали возврата к корпускулярной теории света Ньютона. В других световых явлениях, связанных с распространением света, его, несомненно, удобнее представлять как электромагнитную волну. Поэтому с начала двадцатого века в физику вошло понятие *корпускулярно-волнового дуализма*, или двойственности природы света. Свет нельзя адекватно описать с позиций только волновой или только корпускулярной теории, он проявляет свойства одновременно и волны, и корпускулы. Луч света можно представить как поток корпускул –

*фотонов*, летящих со скоростью  $c$ , равной почти 300 000 км/с (скорость света в вакууме), но этот поток будет огибать препятствия (дифрагировать), как волна, и при встрече двух потоков одинаковых фотонов будет наблюдаться волновая интерференционная картина. Каждый фотон, как любая другая частица, обладает импульсом и энергией, но их значения определяются волновыми характеристиками электромагнитного излучения: частотой, длиной волны. Используя формулу Планка, а также известное из механики соотношение между энергией и импульсом частицы, можно выразить энергию  $E$  и импульс  $p$  фотона через частоту излучения  $\nu$  или длину волны  $\lambda$ :

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}, \quad p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}.$$

Дальнейшее развитие физики показало, что корпускулярно-волновой дуализм является фундаментальным свойством материи, и двойственность присуща не только излучению, но и веществу.

#### Литература

1. Мякишев Г.Я., Синяков А.З. Физика. Оптика. Квантовая физика. М.: Дрофа, 2010; Глазунов А.Т., Кабардин О.Ф. /Под ред. А.А. Пинского. Физика. 11 класс. М.: Просвещение, 2012; Кабардин О.Ф. Углублённое изучение физики в 10–11 классах. М.: Просвещение, 2002.
2. Старостин В.В. Материалы и методы нанотехнологий. / М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. 431 с.
3. Головань Л.А., Кашкаров П.К., Тимошенко В.Ю. И в решетке поплыли они // Химия и жизнь. 2008. № 4.
4. Алфёров Ж.И., Асеев А.Л., Гапонов С.В., Копьёв П.С., Панов В.И., Полторацкий Э.А., Сибельдин Н.Н., Сурис Р.А. Наноматериалы и нанотехнологии // Микросистемная техника. 2003. № 8. С. 3–13.
5. Серия Бальмера <http://academic.ru/dic.nsf/ruwiki/682020>.
6. Храмов Ю.А. Физики: биографический справочник. М.: Наука, 1983. URL: <http://ritz-btr.narod.ru/Hramov.html>

ОТ РЕДАКЦИИ. Рекомендуем также посмотреть видеоролик <http://m.youtube.com/watch?v=MB03zWIQO1Q&hl=en-GB&gl=RU&client=mv-google> Для тех, кто не знает английского разговорного языка, даём перевод, см. ЭП.



Интерактивная доска, проектор или приставка?

# MimioClassroom

Выбирайте интерактивное оборудование,  
которое нужно именно вам!



Интерактивная приставка  
**MimioTeach**



Интерактивный  
короткофокусный проектор  
**MimioProjector**

Есть интерактивная версия с возможностью  
одновременной работы и обычная версия  
без интерактивных функций

Интерактивная доска

## MimioBoard

ME78 — диагональ 78"

ME87 — диагональ 87"



Приобретайте интерактивные устройства для своего класса, исходя из ваших педагогических потребностей, удачно дополняя тот набор оборудования, который уже есть у вас.

### У вас уже есть:

### Дополните следующим оборудованием:

Меловая доска

MimioTeach, обычный проектор MimioProjector и накладка FlexCover\*

Интерактивный проектор MimioProjector и накладка FlexCover\*

Меловая доска и проектор

Приставка MimioTeach и накладка FlexCover\*

Маркерная доска

Интерактивный проектор MimioProjector

Приставка MimioTeach и обычный проектор MimioProjector

Маркерная доска и проектор

Приставка MimioTeach

Если в вашем классе есть только меловая доска и достаточно места для установки — рекомендуем обратить внимание на интерактивную доску MimioBoard.

\* FlexCover — гибкий магнитный лист с антибликовой белой поверхностью и покрытием для рисования маркером

Продажа оборудования, консультации и обучение:

<http://www.mimioclass.ru>

8 (800) 5555-33-0

Звонок по России бесплатный

ООО «Рене» — генеральный дистрибьютор Mimio в России



**mimio**  
a better way to learn

# Рефераты электронных публикаций



**АЛЕКСЕЕВА Е.В.** p-ever@ya.ru (ЧУ Первая школа, г. Москва) • «Физика вокруг нас» Пропедевтический учебный курс, 5–6 кл., 34 еженедельных полу-часовых (20–25 мин) занятия во внеурочное время. (Продолжение. См. № 7–12/2013; № 1/2014): • Пояснительная записка и полный комплект учебного материала к первым 4 темам блока 3 «Тепловые явления», изучаемым в феврале, – мультимедийные презентации с видеофрагментами в сопровождении послайдового текста к каждой теме: **3.5. Виды теплопередачи** (Теплопроводность. Конвекция. Излучение. Характеристики всех видов излучения). **3.6. Занимательная физика** (Возможные варианты конца света. Земля без человека). **3.7. Конкурсная игра** (Все темы раздела + интегрированный материал). Для тех, у кого медленный интернет, на Яндекс-диске выкладываются полные версии каждого занятия с возможностью скачать каждый файл отдельно. Адреса см. в файлах с пояснительной запиской и с послайдовыми текстами.

**ДАММЕР М.Д.** dammermd@yandex.ru, проф. (ЧГПУ, г. Челябинск). **Всероссийская олимпиада студентов по теории и методике обучения физике.** Фоторепортаж. В апреле 2013 г. к нам, в ЧГПУ, приехали студенты из 12 вузов (география – от Санкт-

Петербурга до Благовещенска). Были проведены личные и командные соревнования, а также конкурсы научных докладов, цифровых ресурсов и самодельного оборудования. Хотя за 20 лет проведения олимпиад (с 1994 г.!) сложились хорошие традиции, но всегда появляется и что-то новенькое. Например, в прошлом году мы обновили программы конкурса самодельного оборудования и командных соревнований. В последних наиболее интересными оказались два задания.

*Первое задание:* описать проблемную ситуацию, способы её разрешения при изучении рычага, а также условия его равновесия, имея закреплённый на штативе рычаг, один груз и лабораторный динамометр. Предполагаемые действия студенты должны были описать в следующей последовательности: • Фронтальный опыт (какой?), получение противоречивого результата (какого?) • Формулировка проблемы • Предположения учащихся о способах разрешения противоречия • Экспериментальная проверка предположения. Формулировка выводов • Обоснование необходимости введения нового понятия «плечо силы» • Самостоятельная работа учащихся по усвоению существенных признаков рассмотренных понятий («рычаг», «плечо силы») и условия равновесия рычага.

## ПОРА ИЗУЧАТЬ МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА

Приближается изучение темы «Магнитное поле» (см. Грачёв А.В. Физика: 8 класс: учебник для учащихся общеобразоват. учреждений / А.В. Грачёв, В.А. Погожев, Е.А. Вишнякова. М.: Вентана-Граф, 2011; Пёрышкин А.В. Физика. 8 кл.: Учеб. для общеобразоват. учеб. заведений. М.: Дрофа, 2012; др.) с очень интересными экспериментами, где используются железные опилки: «Линии магнитного поля прямого тока», «Силовые линии магнитного поля катушки с током», «Постоянные магниты», «Взаимодействие магнитных полей постоянных магнитов», «Магнитные линии магнитного поля двух магнитов, обращённых друг к другу одноимёнными или разноимёнными полюсами» и др.). Мы их «просеиваем» через самодельное металлическое ситечко, а потом быстро собираем с помощью магнита – ведь работа с железными опилками требует повышенной осторожности для соблюдения всех требований техники безопасности.

**Е.П. СУХАНЬКОВА**  
elena517@mail.ru  
МОУ СОШ № 12  
им. Героя Советского  
Союза И.Н. Машкарин,  
г. Орёл.



## ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА СТУДЕНТОВ ПО ТЕОРИИ И МЕТОДИКЕ ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКЕ 14–16 АПРЕЛЯ 2014 Г., ФГБОУ ВПО ЧГПУ

Просим сообщить о намерении принять участие в олимпиаде до **20 февраля** 2014 г. **электронной почтой:** rogozinsa@cspu.ru, dammermd@yandex.ru, **письмом по адресу:** 454080 г. Челябинск, пр. Ленина 69, к. 441 или по телефону 8 (351) 239-36-61; 239-36-57.

В вузы, пожелавшие принять участие в олимпиаде, будет отправлено информационное письмо, содержащее сроки проведения, характеристику заданий и критерии оценки, условия участия и подведения итогов.

Конкурсанты изобретательно описывали возможные проблемные ситуации, но на самостоятельную работу по усвоению существенных признаков вновь введённых понятий практически уже не обращали внимания. Можно сказать, «выдохлись» к концу, хотя можно это рассматривать и как показатель недостатков в методической подготовке наших студентов.

*Второе задание:* придумать и продемонстрировать различные опыты, имея в распоряжении воздушный шарик, скотч и нитки.

Полёт фантазии был безграничен: опыты по электризации трением и с помощью клейкой ленты (г. Самара), по трению, реактивному движению, стабилизации хаотичного реактивного движения (г. Глазов), измерению объёма лёгких (г. Красноярск), «воздушный парадокс» (г. Чебоксары), эффект Магнуса (г. Уфа) и даже опыты по акустике. Студенты из г. Кирова за полчаса придумали и продемонстрировали 17 (!) различных вариантов эксперимента.

Смелыми и современными оказались и студенческие работы. Так, например, *Василий Кузьмин* (Чувашский ГПУ им. И.Я. Яковлева) на конкурсе цифровых образовательных ресурсов представил обучающую программу о явлении Челябинского метеорита, а это было событие всего месячной давности!

Члены жюри олимпиады с удовлетворением отметили, что участники олимпиады – настоящие современные учителя физики, умные, творческие, горячо любящие свой предмет.

Места распределились так:

- в командных соревнованиях (участвовала вся команда): I – ВятГГУ, II – Чувашский ГПУ им. И.Я. Яковлева, г. Чебоксары, III – Благовещенский ГПУ;
- в личном первенстве: I – *Курочкин Александр* (Уральский ГПУ, г. Екатеринбург), II – *Залялиева Юлия* (ЧГПУ), III – *Дульцев Михаил* (ЧГПУ);
- в конкурсе научных докладов: I – *Горбанёва Маргарита* (ЧГПУ), II – *Ермошкин Виктор* (Алтайская ГПА, г. Барнаул), III – *Елина Светлана* (Красноярский ГПУ);



<http://www.vggu.ru/content/luchshie-po-teori-i-metodike-fiziki-studenty-vatogu>

Команда ВятГГУ: *Ольга Витальевна Коршунова* (руководитель), *Марина Позолотина*, *Артём Клименко*, *Татьяна Шеромова*



Команда ЧГПУ им. И.Я. Яковлева: *Павел Емельянов*, *Виктория Орлова*, *Эдуард Яковлев*, *Василий Кузьмин*

- в конкурсе цифровых ресурсов: I – *Дюкина Ольга* (ГППИ им. В.Г. Короленко, г. Глазов), II – *Кузьмин Василий* (ЧГПУ им. И.Я. Яковлева), III – *Позолотина Марина* (ВятГГУ);
- в конкурсе самодельного оборудования: I – *Конев Александр* (УрГПУ), II – *Клименко Артём* (ВятГГУ), III – *Васильев Иван* (ГППИ);
- в командном первенстве (итоговый результат команды – за все туры и конкурсы): I – ВятГГУ; II – ЧГПУ им. И.Я. Яковлева; III – УрГПУ.



Команда УрГПУ: *Владимир Кузьянов*, *Игорь Трайнин*, *Александр Курочкин* (победитель олимпиады в личном первенстве), *Александр Конев*, *Анна Паюсова*



Команда ЧГПУ: *Юля Залялиева*, *Владислав Новосёлов*, *Павел Баландин*, *Михаил Дульцев*



Модель опыта Резерфорда на конкурсе самодельного оборудования демонстрируют:

▲ Иван Берлизов (Алтайская ГПА)

◀ Павел Емельянов (ЧГПУ им. И.Я. Яковлева)



Командные соревнования: **Виктор Дубов** (Благовещенский ГПУ) демонстрирует эхо на воздушном шаре председателю жюри проф. М.Д. Даммер, заведующей кафедрой физики и методики обучения физике ЧГПУ

В ЭП выложены также статьи участников конкурса: • *Дымников А.* Форма на языке VBA: методы определения расстояний в астрономии (3 курс, ПГСГА, рук. В.Ю. Анисимов) • *Клименко А.* Моделирование опыта Резерфорда по рассеянию  $\alpha$ -частиц (ВятГГУ, рук. Г.А. Бутырский, к. т. н.) • *Конев А.* Разработка самодельной установки для демонстрации опыта Э. Резерфорда по изучению строения атома (УрГПУ) • *Кулешова Е.* Тьюторское сопровождение одарённых учащихся в процессе обучения физике (КГПУ им. В.П. Астафьева, рук. проф. Е.И. Тесленко, д. п. н.) • *Курочкин А.* Компьютерная программа для обработки статистических данных педагогических исследований (4 курс, УрГПУ) • *Паюсова А.* Реализация межпредметных связей физики с иностранным языком при проведении внеклассных мероприятий в школе (3 курс, УрГУ, рук. О.Г. Надеева, к. п. н.) • *Позолотина М.* (ВятГГУ), *Сорокин А.* ant.p.s@yandex.ru (ЦДООШ), г. Киров. Расширение практики использования нестандартных задач по физике с применением цифровых образовательных ресурсов.

**КОВАЛЕВА С.Я.** svekova@mail.ru (ГБОУ ВПО АСОУ МО, г. Москва). **Курс интенсивной (годовой) подготовки к ЕГЭ.** (Продолжение, см. № 7–12/2013; 1/2014) • Общие рекомендации к организации курса • **Тема 9. Электромагнитные колебания и волны. Занятие 14. Электромагнитные колебания: 1-14.** Рекомендации к занятию. **2-14.** Задачи. **3-14.** Дополнительные задания базового уровня (апробированы учителем физики Дюндиковой Н.П., г. Можайск). **4-14.** Задачи с подсказками («облаками воспоминаний»). **5-14.** Ответы к заданиям *A, B*, задаче *C1* и заданиям дополнительного тренинга. **6-14.** Дополнительный тренинг.

**НАЛИВАЙКОВ П.** nvrnvr@gmail.com (МГУСИ, МБОУ лицей № 1550, НОУ ЦО «Новое образование», г. Москва). **НОУ «Игры разума».** Именно так названо НОУ, которое сложилось в 2002 г. Вот неполный перечень проблем, решением которых увлечены его члены: • Можно ли взглянуть на мир «глазами пчелы»? • В чём секрет мореходного искусства викингов? • Разрешимы ли «загадки» Бермудского

Экспериментальный тур:

Михаил Дульцев (ЧГПУ); ▶

▼ Марина Позолотина (ВятГГУ)



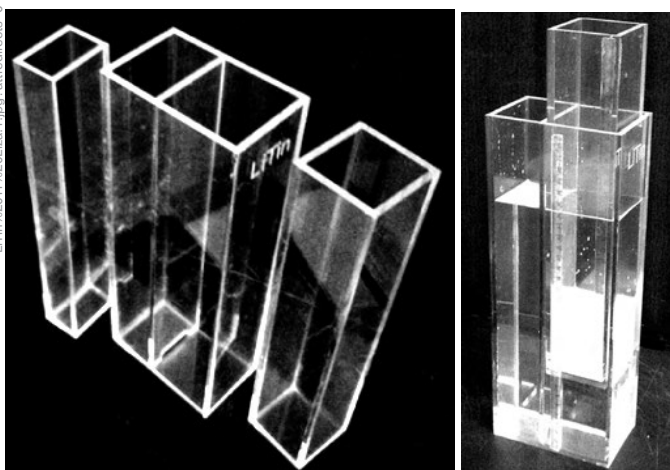
Конкурс научных докладов: **Маргарита Горбанёва** (ЧГПУ)





Лиза  
и  
Тина,

9-й класс,  
на конкурсе  
*Google  
Science  
Fair-2013*



Прибор Ли-Тин: два поплавка, свободно перемещающиеся в сообщающихся сосудах: зная начальные и конечные уровни жидкости, можно рассчитать массу тела, плотность неизвестной жидкости и твёрдого тела, а также давление и температуру атмосферы, пользуясь авторской программой в режиме он-лайн на сайте: <https://sites.google.com/site/2013litin/program>

треугольника? • Какова физическая подноготная явления миража? Можно ли «пощупать его руками»? • Как измерить диаметр эритроцитов? • Как смоделировать в лаборатории выброс нефти из скважины? • Каков «физический механизм» гнездового паразитизма кукушки? • Можно ли с помощью звука управлять распадом жидкого жгута на капли?

Тематика работ выходит за рамки программы курса физики средней школы, включая в себя материал по биологии, геофизике и физике атмосферы. Это, с одной стороны, позволяет показать широту и многообразие мира через одно какое-то явление, а с другой – способствует осознанию нашей планеты как единого организма, в котором все процессы тесно взаимосвязаны. Подробнее об этом рассказано в презентации, приведённой в ЭП, где по гиперссылкам можно выходить на видеofilмы-презентации работ, персональные сайты проектов и видеофрагменты опытов. Да, поиск ответов «перерос» в исследовательские работы учащихся с оригинальными результатами. Более 20 ребят стали лауреатами всероссийских и международных конкурсов исследовательских работ учащихся (*Intel ISEF, Google Science Fair*), двое – лауреатами премии

Президента России. О созданном девятиклассницами *Лизой Сосновой* и *Тиной Кабир* приборе «ЛиТин», позволяющем простой линейкой (!) измерять массу тела, плотность жидкости и твёрдого тела, а также давление и температуру атмосферы мы уже рассказали на с. 18–22 этого номера.

*Анна Пахлеваян* участвовала в международном конкурсе *Intel®ISEF-2007* (г. Альбукерк, США). А вот ещё один замечательный проект участников конкурса «*Google Science Fair-2011*» *Дианы Тазиевой, Тамары Стужиной* и *Артёма Асатряна* «Лазерная дифрактометрия микроструктуры биологических объектов». Под общим названием были объединены три работы, в которых исследовались сложные глаза стрекоз, креветок, крабов, а также микроструктура споронного слоя трутовых грибов (см. одноимённую статью в № 10/2013). Анализ дифракционных картин позволил с высокой точностью определить размеры фасеток глаз членистоногих, а также диаметр пор гименофора. Эти результаты нашли применение при определении видовой принадлежности насекомых и грибов.

Узнать, как с помощью обычной лазерной указки измерить микронные объекты в домашних

## РАБОТА НАД ОШИБКАМИ

• В статье «Нижегородский кружок любителей физики и астрономии: страницы истории» (№ 1/2014, с. 53) неверно указано место работы одного из соавторов.

Следует читать: Б.В. Булобаш [borisbu@sandy.ru](mailto:borisbu@sandy.ru) (НГТУ им. Р.Е. Алексеева), С.М. Пономарёв [s\\_m\\_pon@mail.ru](mailto:s_m_pon@mail.ru), (ННГУ им. Н.И. Лобачевского) г. Н. Новгород.

Приносим извинения авторам и читателям.

• Учитель физики А.Б. Рыбаков (г. С.-Петербург), прочитав статью Л.А. Аристарховой (№ 1/2013), увидел неточности: • «Эти красивые формулы теперь известны во всём мире как уравнения Максвелла». Оригинальные формулы Максвелла выглядели чу-до-вищ-но – он же

не пользовался векторами! • «Через 10 лет после смерти Максвелла электромагнитные волны были получены экспериментально. Сделал это немецкий физик Генрих Герц». Г. Герц первым не получил электромагнитные волны, а исследовал их! • «Почему же природа сотворила нас так, что ни один орган наших чувств не реагирует на это природное явление (электромагнитные волны), в некоторой степени для нас вредное?» У меня по меньшей мере два таких органа: кожа и глаза. • Эксперимент с диском Максвелла имеет отношение не к физике оптики, а к физиологии, он демонстрирует особенности восприятия.

Ваша редакция

условиях, можно, посмотрев видеофильм Тамары Стужиной <https://www.youtube.com/watch?v=WEmjaHgiHic>, <https://sites.google.com/site/gimenofor/>

### ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ГАЛАКТИКА «INTEL». ПРЕСС-РЕЛИЗЫ:

- Образовательный саммит Intel • STEM-центры.
- Победители конкурса «Учитель-блогер и мобильные технологии»
- Клуб молодых талантов Intel® ISEF
- Первые российские финалисты Intel® ISEF-2014
- Победители очного этапа конкурса «Учёные будущего-2013»
- Компьютер, будь человеком!
- Первый детский android-планшет на базе технологий Intel
- Носимые цифровые устройства на базе технологий Intel («умные» наушники с поддержкой биометрических функций и функций для занятия спортом, «умную» гарнитуру, интегрирующуюся с существующими персональными технологиями, и «умное» беспроводное решение для зарядки).

Дополнительную информацию о корпорации Intel можно найти на веб-сайте [www.intel.ru/newsroom](http://www.intel.ru/newsroom) и на русскоязычном сервере (<http://www.intel.ru>).

**ПИГАЛИЦЫН Л.В.**, Народный учитель России [levp@rambler.ru](mailto:levp@rambler.ru) (МОУ СОШ № 2, г. Дзержинск, Нижегородская обл.).

- **Микро-ЭВМ «Ардуино» в школьном физическом эксперименте:** 5 (продолжение). Работа с цифровыми выходами
- **Тематические тестовые задания в форме ГИА, 9 кл.** (8 заданий в двух вариантах):
- 6. Тепловые явления. 7. Магнитное поле. Электромагнитная индукция.**

**РАДЧЕНКОТ.И.** [fizika-tehnika@rambler.ru](mailto:fizika-tehnika@rambler.ru) (МОУ СОШ № 26, г. Владикавказ, Республика Северная Осетия-Алания). «Физика для школьника» (продолжение):

- Стенгазета «Вектор и скаляр»:
- 5. Кванты • Плакат «Фотоэффект» (11 кл.).**

## ПРОСТОЙ ВОПРОС И... КРАСИВЫЕ ОТВЕТЫ



Заканчивая курс лекций «Концепции современного естествознания» на гуманитарных – социологическом, психологическом, экономическом и филологическом факультетах Саратовского госуниверситета, провёл письменный опрос и получил много удовольствия от чтения листочков с творчеством студентов. Орфографию и пунктуацию сохранил – а ведь все сдали ЕГЭ по русскому языку!

### Что такое газ?

**Ответы:**

- Воздушная жидкость в виде воздуха
- Возгорающаяся жидкость
- Газ – состояние вещества, которое характеризуется очень слабыми связями между частицами и их большой подвижностью
- Газ представляет собой лёгкой прозрачной тканью, от которого идет тепло (*так и написано!*)
- Молекулы, атомы
- Колич-во частиц, хаотически двигающихся в пространстве, заполняющее данный им объем
- Газ – вещество газообразного состояния
- Газ представляет собой ионизированный гелий
- Органическое вещество
- Газ – сжатый воздух, у которого есть св-во – горение. Не имеет запаха.

### Что такое идеальный газ?

**Ответы:**

- Идеальный газ – это газ, у которого а) скорости всех молекул одинаковы б) импульсы всех молекул одинаковы (*честное слово, на лекциях об этом не говорил!*)
- «разряженный газ» (*точно так недавно написал один профессор в журнале «Высшее образование сегодня!»*)
- Идеальный газ – это когда объём молекул мал.

### Вода практически несжимаема, потому что...

**Ответы:**

- вода обладает большой плотностью, т. е. имеет тесную связь между молекулами и плотную их «компановку» из чего – крайне малую степень сжимаемости
- коэффициент сжатия воды очень маленький
- она состоит из молекул водорода, который горит, и кислорода, который поддерживает горение
- у воды маленькая плотность
- число авогадро  $N_A = 6,02214076(18)10^{23}$  моль<sup>-1</sup>
- потому что плотность воды не позволяет
- из-за расстояния между молекулами
- написано во всех учебниках
- у воды на поверхности есть функ-я натяжения. Вот именно она обеспечивает очень маленькую степень сжатия
- жидкость не сжимается т. к. ей мешают силы действующие в молекуле
- вода жидкая (она недостаточно плотна)
- вода обладает функцией поверхностного натяжения
- в воде очень много молекул и он очень тесно расположены друг с другом
- она находится в жидком состоянии, а в этом сост-ий вещ-ва сжимаются плохо
- молекулы жидкости имеют один заряд, они поэтому отталкиваются.

Поскольку среди моих слушателей были студенты социологического и экономического факультетов, да и журналисты почти взрослые, 4-й курс, решил предложить задачу, которую заметил в печати несколько лет назад (конечно, в виде политической информации): «В Никарагуа за пять лет неграмотность снижена в 5 раз. А как изменилась неграмотность за один год? за первый год? за любой другой? Давайте предположим, что процесс шёл равномерно».

Естественно, задачу не решил никто, но многие, не мудрствуя лукаво, написали:

- в год на один раз
- в два раза
- не изменилась
- не изменилась, они все неграмотные (*конечно, не то что мы!*)
- ни на сколько, они и были не особо грамотные
- $11,2 \cdot 5 \cdot \sqrt{5}$  (*квадратный корень, видимо, сосчитать не мог с помощью простого калькулятора*)
- в промежутке от (1; 5] (*именно с такими скобками*)
- всё зависит от действий властей и учителей, могла снизиться и на 0,5 и на 2 (*нам бы тоже подучиться, а не слушать радио!*)
- $\sqrt[5]{5} \cdot \sqrt[5]{5} \cdot \sqrt[5]{5} \cdot \sqrt[5]{5} \cdot \sqrt[5]{5}$  (*юноша и две девицы, одна продолжила: «в 2 раза»*).

М.А. СТАРШОВ [mastarshov@mail.ru](mailto:mastarshov@mail.ru),  
СГУ им. Н.Г. Чернышевского, МБОУ СОШ № 6, г. Саратов



ДЕПАРТАМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ Г. МОСКВЫ  
ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ «ПЕРВОЕ СЕНТЯБРЯ»  
МОСКОВСКИЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

# 2014

24 МАРТА – 18 АПРЕЛЯ

## РАСПИСАНИЕ ДНЕЙ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО МАРАФОНА

<b>24 марта</b>	День учителя технологии *	<b>4 апреля</b>	День учителя информатики
<b>25 марта</b>	<b>Открытие Марафона</b> День классного руководителя	<b>5 апреля</b>	День учителя физики
<b>26 марта</b>	День школьного психолога День учителя ОБЖ	<b>6 апреля</b>	День учителя математики
<b>27 марта</b>	День здоровья детей, коррекционной педагогике, логопеда, инклюзивного образования и лечебной физической культуры	<b>8 апреля</b>	День учителя истории и обществознания
<b>28 марта</b>	День учителя начальной школы (день первый)	<b>9 апреля</b>	День учителя МХК, музыки и ИЗО
<b>29 марта</b>	День учителя начальной школы (день второй)	<b>10 апреля</b>	День школьного и детского библиотекаря
<b>30 марта</b>	День дошкольного образования	<b>11 апреля</b>	День учителя литературы
<b>1 апреля</b>	День учителя географии	<b>12 апреля</b>	День учителя русского языка
<b>2 апреля</b>	День учителя химии	<b>13 апреля</b>	День учителя английского языка
<b>3 апреля</b>	День учителя биологии	<b>15 апреля</b>	День учителя французского языка
		<b>16 апреля</b>	День школьной администрации
		<b>17 апреля</b>	День учителя физической культуры
		<b>18 апреля</b>	День учителя немецкого языка <b>Закрытие</b>

[marathon.1september.ru](http://marathon.1september.ru)



Обязательная предварительная регистрация на все дни Марафона с 20 февраля 2014 года на сайте [marathon.1september.ru](http://marathon.1september.ru)



Каждый участник Марафона, посетивший три мероприятия одного дня, получает официальный именной сертификат (6 часов)

В дни Марафона ведущие издательства страны представляют книги для учителей  
Начало работы каждого дня – 9.00. Завершение работы – 15.00

УЧАСТИЕ БЕСПЛАТНОЕ. ВХОД ПО БИЛЕТАМ

**РЕГИСТРИРУЙТЕСЬ, РАСПЕЧАТЫВАЙТЕ СВОЙ БИЛЕТ И ПРИХОДИТЕ!**

Место проведения Марафона: МПГУ, ул. Малая Пироговская, дом 1, стр. 1 (в 5 минутах ходьбы от ст. метро «Фрунзенская»)

\* Место проведения Дня учителя технологии: ЦО № 293, ул. Касаткина, 1а (ст. метро «ВДНХ»)

По всем вопросам обращайтесь, пожалуйста, по телефону **8-499-249-3138** или по электронной почте [marathon@1september.ru](mailto:marathon@1september.ru)



# Общероссийский проект Школа цифрового века

Интернет-обеспечение проекта – Издательский дом «ПЕРВОЕ СЕНТЯБРЯ»

Общероссийский проект «Школа цифрового века» по комплексному обеспечению образовательных учреждений предметно-методическими материалами направлен на вовлечение педагогических работников в цифровое образовательное пространство.

В рамках проекта каждому работнику образовательного учреждения предоставляются **23 журнала** по всем учебным дисциплинам и направлениям школьной жизни с дополнительными материалами для практического использования (презентации, раздаточные материалы, образовательное видео), **методические брошюры, журнал для родителей, модульные 6-часовые курсы** из циклов «Навыки профессиональной и личной эффективности» и «Инклюзивный подход в образовании».

## Открыт прием заявок от образовательных учреждений на 2014/15 учебный год

### На новом этапе проекта

- Каждому педагогическому работнику образовательного учреждения будет предоставлена возможность выбрать и пройти один из десяти 36-часовых дистанционных курсов по общей педагогике с выдачей удостоверения установленного образца
- Расширится линейка модульных курсов

Стоимость участия в проекте для образовательного учреждения – 6 тысяч рублей за весь учебный год независимо от количества педагогических работников.

**Участие образовательного учреждения и педагогических работников в проекте удостоверяется соответствующими документами. Для дошкольных учреждений предусмотрен свой набор удостоверяющих документов.**

Срок действия проекта в 2014/15 учебном году: с 1 августа 2014 года по 30 июля 2015 года

**Прием заявок и подробности  
на сайте**

[digital.1september.ru](http://digital.1september.ru)