

## Уважаемые читатели!

Подписка на электронные версии журналов не дает подписчику права на их дальнейшее распространение без письменного согласия правообладателя. Любое распространение подписчиками электронной версии запрещается. ООО «Школьная Пресса» является правообладателем всех редакционных материалов, опубликованных в печатных СМИ и (или) размещенных в интернет-проектах соответствующих СМИ, кроме материалов, в содержании которых имеется ссылка на другого правообладателя. Продолжив работу с электронной версией, вы тем самым соглашаетесь с вышеизложенным.



ISSN 2074-5303

*научно-практический журнал*

# **ФИЗИКА** **для школьников**

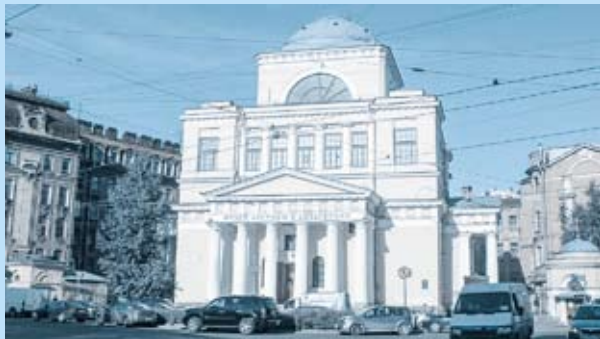
**3**  
**2018**

**Естественнонаучная тематика в пьесах  
М. Горького и Л. Андреева**

**Создание сейсмографа в домашних условиях**

**Формирование наноструктурированных  
покрытий**

## Российский государственный музей Арктики и Антарктики (РГМАА) в Санкт-Петербурге



Музей Арктики был открыт для посетителей 8 января 1937 г., однако решение о его создании было принято значительно раньше. Уже в 1920-х годах в связи с активным исследованием Арктики многие видные полярники и ученые выступали с предложениями об организации постоянно действующего полярного музея.

Активное участие в организации музея принимали ученые и исследователи Арктики: первый начальник Главного управления Северного морского пути О.Ю. Шмидт, первый директор ВАИ Р.Л. Самойлович, академик Ю.М. Шокальский, научные сотрудники ВАИ В.Ю. Визе, Я.Я. Гаккель, А.Ф. Лактионов, Н.В. Пинегин и др.



С момента открытия музея его сотрудники стремились оперативно реагировать на все важные события в Арктике. Так, уже в сентябре 1938 г. открылась экспозиция, посвященная работе первой дрейфующей станции Северный полюс-1 (май 1937 г. — февраль 1938 г.). В ней была представлена жилая палатка папанинцев, их личные вещи, приборы и оборудование.



# ФИЗИКА для школьников

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ

В НОМЕРЕ:

3

2018

## Из истории науки

**Б.Л. Дружинин**

ТАБЛИЦА МЕНДЕЛЕЕВА ОТ ЦЕЗИЯ ДО ГАФНИЯ . . . . . 2

## ФИЗИКА+

**Н.Н. Барабанов**

ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНАЯ ТЕМАТИКА В ПЬЕСАХ М. ГОРЬКОГО И Л. АНДРЕЕВА . . . . . 16

## МОЕ ПОРТФОЛИО

**В. Очков, К. Попова, М. Камалов**

ЦЕПНАЯ ЛИНИЯ . . . . . 24

**Д.М. Круть, Ю.В. Казакова**

СОЗДАНИЕ СЕЙСМОГРАФА В ДОМАШНИХ УСЛОВИЯХ И ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ . . . . . 33

**В.С. Нехорошева, Ю.В. Казакова, С.В. Сидорова**

ФОРМИРОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО ИСПАРЕНИЯ В ВАКУУМЕ. . . . . 42

Журнал зарегистрирован в базе данных Российского индекса научного цитирования  
Распространяется в печатном и электронном виде

### Научно-практический журнал для старшеклассников «Физика для школьников»

Рукописи, поступившие в редакцию, не рецензируются и не возвращаются. Редакция не несет ответственности за содержание объявлений и рекламы

Главный редактор  
**Е.Б. Петрова**

Заведующая редакцией  
**Е.Н. Стояновская**

Редакционный совет:  
**В.В. Альминдеров,  
Э.М. Браверман, М.Ю. Демидова,  
Д.А. Исаев, О.В. Коршунова,  
Л.П. Мошейко, О.А. Поваляев,  
В.В. Шахматова**

Корреспонденцию  
направлять по адресу:  
**127254, г. Москва, а/я 62**

Телефоны:  
**8 (495) 619-52-87, 619-83-80**  
Интернет  
**<http://www.школьнаяпресса.рф>**  
E-mail  
**[fizika@schoolpress.ru](mailto:fizika@schoolpress.ru)**

Журнал зарегистрирован Министерством РФ  
по делам печати, телерадиовещания  
и средств массовых коммуникаций  
Свидетельство о регистрации  
ПИ № 77-9203 от 14 июня 2001 г.  
Формат 84x108/16  
Усл. п. л. 3,0. Изд. № 3232. Заказ  
Отпечатано в АО «ИПК «Чувашия»  
428019, г. Чебоксары, пр. И. Яковлева, 15  
Телефон 8(8352)28-77-98, 57-01-87,  
сайт: [www.volga-print.ru](http://www.volga-print.ru)  
© ООО «Школьная Пресса»,  
© «Физика для школьников», 2018, № 3

## ТАБЛИЦА МЕНДЕЛЕЕВА ОТ ЦЕЗИЯ ДО ГАФНИЯ

Б.Л. Дружинин,  
Москва



**Ключевые слова:** таблица Менделеева, химический элемент

В статье приведен рассказ об элементах таблицы Менделеева. Из текста вы узнаете не только о свойствах химических элементов, но и интересные истории, которые сопровождали их открытие и использование

### № 55 Цезий (Cs)

Цезий – пятьдесят пятый элемент таблицы Менделеева.  $^{133}\text{Cs}$  – единственный стабильный изотоп цезия. Ядро атома  $^{133}\text{Cs}$  состоит из пятидесяти пяти про-



Рис. 1. Роберт Бунзен (слева) Густав Кирхгоф (в центре)

тонов и семидесяти восьми нейтронов, в электронной оболочке – пятьдесят пять электронов. Также известны тридцать девять радиоактивных изотопа цезия.

В 1857-59 годах Густав Кирхгоф и Роберт Бунзен установили, что каждый химический элемент имеет свой неповторимый линейчатый спектр излучения. В науке появился спектральный анализ, мощный метод определения химического состава вещества. И уже в 1860 году те же Бунзен и Кирхгоф при помощи этого метода открыли в водах Бад-Дюркхаймского минерального источни-

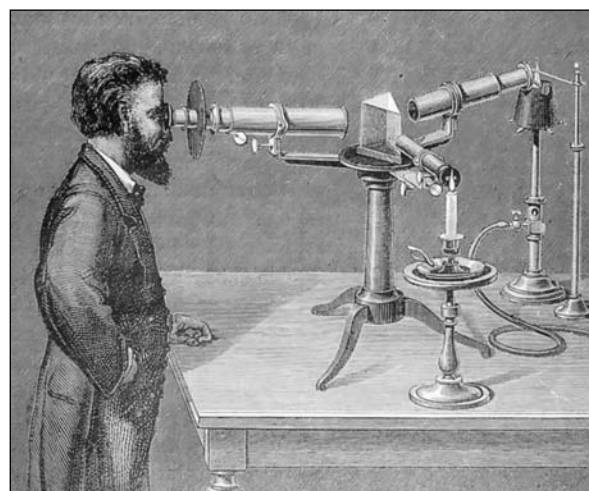


Рис. 2. Схема опыта по исследованию спектра веществ

ка новый элемент. Они обнаружили его по двум ярким линиям в синей области спектра и назвали его «цезий» от латинского «caesius», что означает «небесно-голубой».

Так цезий стал первым элементом, открытым спектральным анализом. А на следующий год они открыли еще и рубидий. В чистом виде цезий впервые выделил в 1882 году Карл Сеттерберг при электролизе расплава смеси цианида цезия (CsCN) и бария.

Мировые запасы цезия весьма ограничены. Общие выявленные ресурсы составляют около 180 тыс. тонн, и они очень распылены. Вся мировая добыча цезия за год – 20 тонн – легко перевезет в кузове БелАЗ. Потребление же цезия составляет свыше 100 тонн в год, и оно постоянно растёт, отсюда и высокие цены на него.

Эти тонны расходятся миллиграммами по различным приборам. Дело в том, что у цезия самая маленькая среди всех металлов работа выхода электронов, всего 1,8 эВ или  $2,9 \cdot 10^{-19}$  Дж. Поэтому фотоэлектрические приборы на основе цезия обладают самой высокой чувствительностью к световому воздействию. В фотоэлементах чрезвычайно дорогой цезий обычно применяется в виде сплавов с сурьмой, кальцием, барием, алюминием, или серебром для его экономии. Диапазон работы таких фотоэлементов очень широк, перекрывает всю видимую часть спектра и проникает далеко за его границы в ультрафиолетовую и инфракрасную области электромагнитного излучения.

Иодид CsI и бромид цезия CsBr применяются в качестве оптических материалов в приборах ночного видения, прицелах, в приборах наблюдения за земными объектами из космоса.

Цезий проявляет исключительно высокую химическую активность. Даже при комнатной температуре реакции цезия с

фтором, хлором и другими галогенами сопровождаются воспламенением, а с серой и фосфором – даже взрывом.

Лекарства на основе соединений цезия лечат язвенные и психические заболевания, раздражительность, вспыльчивость.

## № 56 Барий (Ba)

Барий – пятьдесят шестой элемент таблицы Менделеева. Существует семь стабильных изотопов бария –  $^{130}\text{Ba}$  (0,106%),  $^{132}\text{Ba}$  (0,101%),  $^{134}\text{Ba}$  (2,417%),  $^{135}\text{Ba}$  (6,592%),  $^{136}\text{Ba}$  (0,07854%),  $^{137}\text{Ba}$  (11,232%) и  $^{138}\text{Ba}$  (71,698%). Ядро атома  $^{130}\text{Ba}$  состоит из пятидесяти шести протонов и семидесяти четырех нейтронов, в электронной оболочке – пятьдесят шесть электронов. В ядре атома  $^{132}\text{Ba}$  на два нейтрона больше, в ядре  $^{134}\text{Ba}$  – на четыре, в ядре  $^{135}\text{Ba}$  – на пять, в ядре  $^{136}\text{Ba}$  – на шесть, в ядре  $^{137}\text{Ba}$  – на семь, в ядре  $^{138}\text{Ba}$  – на восемь. Также имеется тридцать три радиоактивных изотопа бария.

В 1774 году Карл Шееле и Юхан Ган обнаружили оксид бария BaO, а металлический барий получил Гемфри Дэви в 1808 году. Оксид бария имеет необычно высокую для таких веществ плотность, поэтому барий получил имя от греческого βαρύς – «тяжелый».

Барий – очень активный металл, на воздухе быстро окисляется, образуя смесь оксида бария BaO и нитрида бария  $\text{Ba}_3\text{N}_2$ , а при незначительном нагревании воспламеняется. Весьма энергично реагирует с водой, образуя гидроксид бария  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ . Из-за высокой активности в земной коре бария в чистом виде нет, хотя его больше, чем свинца, олова, меди или ртути. Металлический барий хранят в керосине или в парафине.

Чистый металлический барий применяется довольно редко, разве что как газопоглотитель в вакуумной технике. А вот соединения бария весьма популярны.

В 1655 году аптекарь Сеньет открыл двойную калиево-натриевую соль винной кислоты, которую до XX века применяли только как слабительное. И только в 1918 году физик Андерсон обратил внимание на то, что при температуре от  $-15$  до  $+22^\circ\text{C}$  эта соль имеет необычно большую диэлектрическую проницаемость. Такие вещества сейчас называются сегнетоэлектриками.

Сегнетоэлектрики применяются при изготовлении малогабаритных конденсаторов с большой удельной емкостью, диэлектрических усилителей, модуляторов и других управляемых устройств, счетно-вычислительной техники в качестве ячеек памяти.

Лидирует здесь титанат бария  $\text{BaTiO}_3$ , сегнетоэлектрические свойства которого открыл советский физик Бенцион Моисеевич Вул. Титанат бария сохраняет сегнетоэлектрические свойства в очень большом интервале температуры – от абсолютного нуля до  $+125^\circ\text{C}$ . Это обстоятельство, а также большая механическая прочность и влагостойкость титаната бария сделали его одним из самых важных сегнетоэлектриков.

Все соли бария, кроме сульфата, ядовиты. Хорошо растворимые в воде соли бария быстро всасываются в стенки кишечника, и смерть может наступить уже через несколько часов от паралича сердца. А сульфат бария  $\text{BaSO}_4$  в воде не растворяется и применяется как рентгеноконтрастное вещество при медицинском обследовании желудочно-кишечного тракта.

Нитрат бария  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  и хлорат бария  $\text{Ba}(\text{ClO}_3)_2$  используются в пиротехнике для получения зеленого цвета. Сернокислый барий  $\text{BaSO}_4$  обязательно входит во все дорогие сорта бумаги. Кроме того, сульфат бария широко используется в производстве белой краски.

## № 57 Лантан (La)

Лантан – пятьдесят седьмой элемент таблицы Менделеева. Есть два стабильных изотопа лантана –  $^{138}\text{La}$  (0,090%) и  $^{139}\text{La}$  (99,910%). Ядро атома  $^{138}\text{La}$  состоит из пятидесяти семи протонов и восьмидесяти одного нейтрона, в электронной оболочке – пятьдесят семь электронов. В ядре атома  $^{139}\text{La}$  на два нейтрона больше. Также имеется тридцать семь радиоактивных изотопов лантана.

В 1803 году Йенс Берцелиус исследовал минерал церит и обнаружил в нем соединения неизвестного элемента. Но выделить этот элемент удалось только в 1839 году ученику Берцелиуса Карлу Мозандеру. Поскольку элемент не могли получить целых 36 лет, Мозандер предложил назвать его Lanthanum от греческого  $\lambda\nu\theta\alpha\nu\epsilon\upsilon\nu$  – скрываться, забываться. Берцелиус согласился. Лантан долго считали двухвалентным и с атомным весом около 92. Но Дмитрий Иванович Менделеев на основании свойств своей системы доказал, что лантан трехвалентен, его атомный вес 138 и поместил его в клетку № 57. Дальнейшие исследования подтвердили правоту Менделеева, еще раз доказав его гениальность.

Но почему сразу после клетки № 57 с лантаном в таблице следует клетка № 72 с гафнием? Куда делись 14 элементов? Эти следующие за лантаном 14 элементов имеют настолько схожие свойства, что их определили в отдельное семейство под общим именем «лантаниды». Эти элементы имеют одинаковое с лантаном строение внешних электронных слоев, что и определяет их свойства.

Лондонский «Челси» часто в комментариях именуют командой Жозе Мауринью. Этот Мауринью в футбол играет плохо, но тренирует самых дорогих игроков в мире. Так и лантан – его именем названа «команда», состоящая из 14 элементов: церия,

празеодима, неодима, прометия, самария, европия, гадолиния, тербия, диспрозия, гольмия, эрбия, тулия, иттербия и лютеция, но сам лантан в число лантанидов не входит. Впрочем, в минералах лантан и лантаноиды неизменно сопутствуют друг другу.

Вообще-то, лантаниды, выпадающие из строгой последовательности периодической системы, доставляли неприятности Менделееву. Но профессор Пражского университета Богуслав Браунер предложил вынести лантаноиды за пределы основной части таблицы – и все встало на свои места.

Цена чистого лантана порядка 5 тысяч долларов за килограмм, поэтому вместо него часто применяется сплав с содержанием лантана 20-45%. Этот так называемый мишметалл является компонентом жаропрочных и коррозионностойких сплавов.

Оксид  $\text{La}_2\text{O}_3$  и борид  $\text{LaB}_6$  лантана используются в электронно-вакуумных лампах как материал «горячего катода», т.е. катода с высокой интенсивностью потока электронов.

Изотоп  $^{139}\text{La}$  образуется в атомных реакторах при делении урана и активно захватывает тепловые нейтроны, поэтому считается «реакторным ядом». Но зато жидким лантаном извлекают плутоний из расплавленного урана.

Карбонат лантана  $\text{La}_2(\text{CO}_3)_3$  используется как лекарство, имеющее собственное название Fosrenol, применяющееся для поглощения избытка фосфатов в организме.

## № 58 Церий (Ce)

Церий – пятьдесят восьмой элемент таблицы Менделеева. Есть четыре стабильных изотопа церия –  $^{136}\text{Ce}$  (0,185%),  $^{138}\text{Ce}$  (0,251%),  $^{140}\text{Ce}$  (88,450%) и  $^{142}\text{Ce}$  (11,114%). Ядро атома  $^{136}\text{Ce}$  состоит из пятидесяти восьми протонов и семидесяти восьми ней-

тронов, в электронной оболочке – пятьдесят восемь электронов. В ядре атома  $^{138}\text{Ce}$  на два нейтрона больше, в ядре  $^{140}\text{Ce}$  – на четыре, в ядре  $^{142}\text{Ce}$  – на шесть. Также имеется тридцать пять радиоактивных изотопов церия.

Церий открыли в 1803 году практически одновременно Мартин Клапорт и Йенс Берцелиус с Вильгельмом фон Хизингером. Клапорт назвал новый элемент «церерий» в честь самой большой из карликовых планет в поясе астероидов внутри Солнечной системы – Цереры (Ceres). Но Берцелиус счел это название трудным для произношения и настоял на более простом – «церий».

Сплав многих металлов с 1–2% цезия делает эти металлы гораздо прочнее, даже традиционно хрупкий чугун. Лучше всех проводят электричество медь и алюминий, а церий еще повышает их электропроводность.

Хотим мы этого или не хотим, но на атомных станциях повышенный уровень радиации, и от этого обычные стекла постепенно тускнеют. А содержащие церий стекла не тускнеют и изготавливаются необходимой толщины для защиты персонала.

Диоксид церия  $\text{CeO}_2$  входит в состав полирита – самого эффективного порошка для полировки оптического и зеркального стекла.

А еще соли церия применяются для лечения «морской болезни» и предотвращения ее последствий.

При съемках кинофильмов и их демонстрации применяются дуговые лампы. Чтобы сделать их свет еще ярче, в состав углей, между которыми вспыхивает дуга, вводят трифторид церия  $\text{CeF}_3$ .

## № 59 Празеодим (Pr)

Празеодим – пятьдесят девятый элемент таблицы Менделеева.  $^{141}\text{Pr}$  – един-



ственный стабильный изотоп празеодима. Ядро атома  $^{141}\text{Pr}$  состоит из пятидесяти девяти протонов и восьмидесяти двух нейтронов, в электронной оболочке – пятьдесят девять электронов. Также известны тридцать восемь радиоактивных изотопов празеодима.

В 1839 году Карл Мосандер обнаружил новый элемент лантан и скоро еще один, названный им «дидим» от греческого  $\delta\acute{\iota}\delta\iota\mu\omicron\varsigma$  – «близнец», так как его свойства удивительно напоминали свойства лантана. В первые варианты своей системы Менделеев включал его под символом «Di». Но в 1885 году Карл фон Вельсбах установил, что дидим состоит из смеси двух элементов с близкими физическими и химическими свойствами. Он назвал их празеодим  $\pi\rho\acute{\alpha}\varsigma\iota\omicron\varsigma\delta\acute{\iota}\delta\iota\mu\omicron\varsigma$  – «светло-зеленый близнец» и неодим  $\nu\epsilon\omicron\varsigma\delta\acute{\iota}\delta\iota\mu\omicron\varsigma$  – «новый близнец».

И хотя элемент с именем «дидим» прекратил свое существование, название это сохранилось для смеси неодима и празеодима. Стекла с добавками дидима применяются в специальных защитных очках, так как хорошо задерживают ультрафиолетовые лучи. Причем стекла эти практически бесцветны. В цветной металлургии для улучшения свойств некоторых сплавов также пользуют дидим. Смесь солей празеодима и неодима входит в состав антисептического средства «дималь».

Празеодим, как и его «родитель» лантан, представляет из себя «реакторный яд». Правда, в отличие от лантана, не такой вредный: и в осколках деления урана его не так много, и он хуже поглощает тепловые нейтроны.

В науке и технике огромное внимание уделяется явлению сверхпроводимости. Сплавы празеодима с германием и кремнием используются как сверхпроводящие материалы уже при температуре жидкого азота 77 К или  $-196^\circ\text{C}$ . А жидкий азот

гораздо дешевле жидкого гелия, при котором впервые обнаружили сверхпроводимость.

Самый легкий изотоп празеодима  $^{133}\text{Pr}$  впервые получил в 1969 году в лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований в Дубне коллектив ученых под руководством Георгия Николаевича Флерова.

## № 60 Неодим (Nd)

Неодим – шестидесятый элемент таблицы Менделеева. Третий в семействе лантанидов. Есть семь стабильных изотопов неодима –  $^{142}\text{Nd}$  (27,07%),  $^{143}\text{Nd}$  (12,17%),  $^{145}\text{Nd}$  (8,30%),  $^{146}\text{Nd}$  (17,22%),  $^{148}\text{Nd}$  (5,78%),  $^{144}\text{Nd}$  (23,78%), и  $^{150}\text{Nd}$  (5,67%). Ядро атома  $^{142}\text{Nd}$  состоит из шестидесяти протонов и восьмидесяти двух нейтронов, в электронной оболочке – пятьдесят электронов. В ядре атома  $^{143}\text{Nd}$  на один нейтрон больше, в ядре  $^{144}\text{Nd}$  – на два, в ядре  $^{145}\text{Nd}$  – на три, в ядре  $^{146}\text{Nd}$  – на четыре, в ядре  $^{148}\text{Nd}$  – на шесть, в ядре  $^{150}\text{Nd}$  – на восемь. Также имеется тридцать один радиоактивный изотоп неодима.

Неодим от греческого  $\nu\epsilon\omicron\varsigma\delta\acute{\iota}\delta\iota\mu\omicron\varsigma$  – «новый близнец» одновременно с празеодимом открыл в 1885 году Карл фон Вельсбах.

Из всех лантаноидов неодим лучше всего влияет на свойства различных сплавов. Предел длительной прочности при повышенных температурах у таких сплавов намного больше, чем у сплавов с добавками других элементов. Так 5%-ная добавка неодима почти вдвое увеличивает предел прочности алюминия. Во много раз возрастает и твердость сплава. А добавка 1,2% неодима увеличивает предел прочности титана с 32 до 50 кг/мм<sup>2</sup>. Неодим также применяется при изготовлении мощных постоянных магнитов.

Есть такой драгоценный камень – александрит, открытый в 1834 году Нильсом

Норденшельдом в день совершеннолетия будущего российского царя Александра II. Александрит меняет окраску от темной сине-зеленой при дневном свете до красно-фиолетовой при вечернем или искусственном свете. Стекла, содержащие не менее 4,3% окиси неодима, обладают «александритовым эффектом» – они меняют окраску в зависимости от освещения. Художественные изделия из сортового неодимового стекла советского производства не раз с успехом демонстрировались на международных выставках.

Стекло с добавками неодима используют не только для изготовления красивых ваз и художественных изделий. Применяется оно и в лазерах. Дело в том, что окись неодима  $Nd_2O_3$  дает лазерное излучение в инфракрасной области спектра. Для этого используют окись неодима чрезвычайно высокой чистоты – 99,996%.

Из всех соединений неодима чаще всего употребляется его окись  $Nd_2O_3$ . Она обладает комплексом превосходных физико-химических свойств и, кроме того, достаточно доступна. Важное применение нашла она, в частности, в электрических приборах как диэлектрик, отличающийся минимальными коэффициентами теплового расширения.

Соединения неодима применяются в сельском хозяйстве для обработки семян с целью ускорения всхожести и повышения урожайности. Также применяются соединения неодима в производстве стекла, керамики, глазури.

### **№ 61 Прометий (Pm)**

Прометий – шестьдесят первый элемент таблицы Менделеева. Четвертый в семействе лантанидов. Не имеет стабильных изотопов. Все тридцать четыре изотопа прометия радиоактивные, в составе ядра каждого шестьдесят один протон, в электронной оболочке – шесть-

десят один электрон, нейтронов разное количество.

Долгое время клетка № 61 оставалась пустой. Менделеев полагал, что между неодимом и следующим за ним самарием просто обязан стоять еще один элемент, но открыть его никому не удавалось. Уже после 1896 года, когда Антуан Беккерель открыл явление радиоактивности, предполагалось, и вполне обоснованно, что у элемента № 61 стабильных изотопов нет, а его радиоактивные изотопы имеют очень маленькие периоды полураспада. Это означает, что все изотопы за время существования Земли просто распались и при всем желании найти их в земной коре невозможно.

Дальше события развивались так. В 1913-14 годах Генри Мозли исследовал рентгеновские спектры химических элементов и открыл закон, связывающий частоту спектральных линий с порядковым номером излучающего элемента. Этот закон имел большое значение для утверждения периодического закона химических элементов и установления физического смысла атомного номера элемента. Оказалось, что не атомный вес определяет положение элемента, а величина заряда ядра. Правильное распределение элементов в таблице Менделеева объясняется тем, что атомный вес увеличивается одновременно с самим зарядом. Этот факт несколько не умаляет гениальности Менделеева.

Мозли предсказал рентгеновские спектры некоторых элементов, в том числе и № 61. В 1917 году Эдер опубликовал статью о том, что в дуговом спектре препарата самария он обнаружил серию линий, принадлежащих, по его мнению, неизвестному элементу № 61, но заполнять клетку символом не стал. Спустя девять лет сотрудники Иллинойского университета Б. Гопкинс, Л. Интема и Дж. Гаррис объяви-

ли об открытии элемента № 61 и назвали его «иллиний» (Plinium) в честь родного Иллинойского университета. Так в клетке № 61 появился символ Pl. И тут же у него появился конкурент. Он имел символ Fl и назывался флоренцием (Florentium). Химики из Флорентийского университета Л. Ролла и Л. Фернандес заявили, что они еще в 1924 году нашли элемент № 61. Статью о сделанном открытии они поместили в запечатанный конверт и сдали на хранение во Флорентийскую академию Линчей.

Прошло несколько лет, и в 1931 году Эрнест Лоуренс с сотрудниками соорудили циклотрон – устройство для ускорения элементарных частиц. В 1941 году сотрудники университета штата Огайо Курбатов и Квилл разгоняли в циклотроне дейтроны и направляли их в мишени из неодима и самария. В результате они получили много разных радиоактивных изотопов, среди которых, как они думали, имелся и изотоп элемента № 61. Так в клетке № 61 появился новый символ – Cy, что означало «циклоний» (Cyclonium), так как новый элемент получили с помощью циклотрона. Правда, идентифицировать циклоний никому не удалось ни химическими, ни какими другими методами.

Наконец, в 1945 году сотрудники Национальной Лаборатории Оак Ридж Якоб Марински, Лоуренс Гленденин и Чарльз Корьел выделили из осколков деления урана, облученного медленными нейтронами, первые изотопы прометия. Название новому элементу предложила жена Чарльза Мэри Кориэлл – «прометей» по имени мифического героя Прометея, похитившего у богов огонь и передавшего его людям. Так в клетке № 61 появился новый символ Pm.

В 1950 году Комиссия по атомным весам IUPAC немного изменила название элемента № 61, но сохранила символ Pm.

И поныне элемент № 61 называется «прометей».

На практике применяется только изотоп  $^{147}\text{Pm}$  с периодом полураспада 2,64 года. Его используют в миниатюрных атомных батареях, способных давать электроэнергию в течение нескольких лет, а также в радиоизотопных стимуляторах сердечной деятельности, слуховых аппаратах и часах.

### № 62 Самарий (Sm)

Самарий – шестьдесят второй элемент таблицы Менделеева. Пятый в семействе лантанидов. Есть семь стабильных изотопов самария –  $^{144}\text{Sm}$  (3,07%),  $^{147}\text{Sm}$  (14,99%),  $^{148}\text{Sm}$  (11,24%),  $^{149}\text{Sm}$  (13,82%),  $^{150}\text{Sm}$  (7,38%),  $^{152}\text{Sm}$  (26,75%),  $^{154}\text{Sm}$  (22,75%). Ядро атома  $^{144}\text{Sm}$  состоит из шестидесяти двух протонов и восьмидесяти двух нейтронов, в электронной оболочке – шестьдесят два электрона. В ядре атома  $^{147}\text{Sm}$  на три нейтрона больше, в ядре  $^{148}\text{Sm}$  – на четыре, в ядре  $^{149}\text{Sm}$  – на пять, в ядре  $^{150}\text{Sm}$  – на шесть, в ядре  $^{152}\text{Sm}$  – на восемь, в ядре  $^{154}\text{Sm}$  – на десять. Также имеется тридцать один радиоактивный изотоп самария.

Как-то в Саянской тайге встретили группу туристов из Куйбышева. Вечером у костра они заметили, что в таблице Менделеева нет Москвы, зато есть их славный город под прежним именем «Самара» – элемент № 62 самарий. Увы, они ошибались.

В 1839 году Густав Розе описал черный минерал, найденный в Ильменских горах на Урале, и назвал его уранотанталом. Его брат профессор химии Берлинского университета Генрих Розе также исследовал этот минерал. Заканчивая сообщение о своих новых результатах, Генрих Розе писал в 1847 году: «Я предлагаю изменить название уранотантал в самарскит, в честь полковника Самарского, по благо-

*склонности которого я был в состоянии производить над этим минералом все изложенные наблюдения».*

Василий Евграфович Самарский-Быховец – русский горный инженер, генерал-лейтенант, начальник штаба Корпуса горных инженеров, председатель совета Корпуса горных инженеров. Это в его честь, тогда еще полковника, Генрих Розе назвал новый минерал из Ильмен – самарскит, а в 1879 году в этом минерале Лекок де Буабодран открыл новый химический элемент и назвал его самарием.

Впрочем, фамилия Самарский наверняка произошла от названия города, так что куйбышевцам было чем гордиться.

Среди осколков деления урана довольно часто встречаются изотопы самария. Изотоп  $^{149}\text{Sm}$  занимает третье место среди всех изотопов по способности захватывать тепловые нейтроны, на которых работают многие атомные реакторы, поэтому, как и  $^{139}\text{La}$  и  $^{141}\text{Pr}$  он считается «реакторным ядом». Но, с другой стороны, из-за способности самария захватывать тепловые нейтроны окись самария входит в керамические материалы, используемые в реакторостроении.

Самарий входит в состав стекол, способных люминесцировать и поглощать инфракрасные лучи. Соединение самария с кобальтом  $\text{SmCo}_5$  – отличный материал для сильных постоянных магнитов.

Биологическая роль самария пока изучена слабо. Известно только, что он способствует обмену веществ в организме.

### **№ 63 Европий (Eu)**

Европий – шестьдесят третий элемент таблицы Менделеева. Шестой в семействе лантанидов. Есть два стабильных изотопа европия –  $^{151}\text{Eu}$  (47,81%) и  $^{153}\text{Eu}$  (52,19%). Ядро атома  $^{151}\text{Eu}$  состоит из шестидесяти трех протонов и восьмидесяти восьми нейтронов, в электронной оболочке – шесть-

десят три электрона. В ядре атома  $^{153}\text{Eu}$  на два нейтрона больше. Также имеется тридцать шесть радиоактивных изотопов европия.

К концу XIX века ученые с успехом пользовались спектральным анализом. В 1886 году Эжен Демарсэ выделил из спектра оксида самария  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  линии, принадлежащие новому элементу. Одновременно с ним то же самое сделал Уильям Крукс.

Иногда Нобелевский комитет присуждает премию не за конкретное достижение, а по совокупности работ. Так получили премию: Джозеф Томсон – «*в знак признания его теоретических и экспериментальных исследований, посвященных проводимости электричества газам*», Альберт Майкельсон – «*за создание точных оптических инструментов и спектроскопические и метрологические исследования, выполненные с их помощью*», Альберт Эйнштейн – «*за заслуги перед теоретической физикой и особенно за открытие закона фотоэлектрического эффекта*».

Так вот, Уильям Крукс вполне мог бы получить премию за изобретение «трубок Крукса» и радиометра, за исследование катодных лучей и электрической проводимости в газах, открытие сцинтилляции, открытие таллия и получение гелия, за изучение плазмы. Список впечатляющий.

В 1901 году Демарсэ после подробного спектроскопического анализа доказал, что этот элемент новый и дал ему имя «европий», естественно, в честь «старушки Европы». Металлический европий впервые был получен лишь в 1937 году.

Европий – самый легкий из лантаноидов, его плотность  $5,245 \text{ г/см}^3$ . А еще он наименее устойчивый к воздействию влажного воздуха и воды. Ионы многих лантаноидов могут быть использованы для возбуждения лазерного излучения.

Но из всех их только ион  $\text{Eu}_{3+}$  дает излучение в воспринимаемой человеческим глазом части спектра – оранжевый луч.

Положительно заряженные ионы европия успешно используются в медицинской диагностике в качестве излучающих зондов. Радиоактивные изотопы европия применяются при лечении злокачественных образований.

### № 64 Гадолиний (Gd)

Гадолиний – шестьдесят четвертый элемент таблицы Менделеева. Седьмой в семействе лантанидов. Есть семь стабильных изотопов гадолиния –  $^{152}\text{Gd}$  (0,20%),  $^{154}\text{Gd}$  (2,18%),  $^{155}\text{Gd}$  (14,80%),  $^{156}\text{Gd}$  (20,47%),  $^{157}\text{Gd}$  (15,65%),  $^{158}\text{Gd}$  (24,84%) и  $^{160}\text{Gd}$  (21,86%). Ядро атома  $^{152}\text{Gd}$  состоит из шестидесяти четырех протонов и восьмидесяти восьми нейтронов, в электронной оболочке – шестьдесят четыре электрона. В ядре атома  $^{154}\text{Gd}$  на два нейтрона больше, в ядре  $^{155}\text{Gd}$  – на три, в ядре  $^{156}\text{Gd}$  – на четыре, в ядре  $^{157}\text{Gd}$  – на пять, в ядре  $^{158}\text{Gd}$  – на шесть, в ядре  $^{160}\text{Gd}$  – на восемь. Также имеется двадцать восемь радиоактивных изотопов гадолиния.

В 1794 году Юхан Гадолин обнаружил оксид иттрия, чем положил начало изучению редкоземельных элементов, большинство из которых составляют лантаниды. В 1880 году Жан де Мариньяк при помощи спектрального анализа обнаружил новый элемент, который в 1896 году Лекок де Буабодран назвал гадолинием (Gadolinium). В одной из химических энциклопедий написано: *«это был первый случай в истории науки, когда химический элемент назвали в память об ученом – Юхане Гадолине, одном из первых исследователей редких земель. Лишь через 64 года появится второй элемент-памятник – кюриий, а затем эйнштейний, фермий, менделевий...»*. Увы, авторы энциклопедии ошиблись, еще в 1879 году в таблице

Менделеева клетку № 62 занял самарий, названный в честь нашего соотечественника Василия Евграфовича Самарского-Быховца.

Изотоп  $^{157}\text{Gd}$  лучше всех стабильных изотопов всех элементов захватывает тепловые нейтроны. Поэтому во многих атомных реакторах управляющие стержни делают из нержавеющей стали с добавками гадолиния. Из сплава гадолиния и никеля изготавливают контейнеры для захоронения радиоактивных отходов.

Добавки гадолиния в титановые сплавы заметно повышают их прочность и предел текучести. Гадолиний обладает магнитными свойствами так же, как железо, никель и кобальт, но уже при  $17^\circ\text{C}$  их теряет. Зато эти магнитные свойства у некоторых соединений гадолиния весьма своеобразны: размагничиваясь, они заметно охлаждаются. Это свойство используют для получения сверхнизких температур, вплоть до  $0,001^\circ\text{K}$ .

Некоторые сплавы гадолиния, особенно с кобальтом и железом, позволяют создавать носители электронной памяти с колоссальной плотностью записи около 1 ГБ на  $1\text{ см}^2$ .

### № 65 Тербий (Tb)

Тербий – шестьдесят пятый элемент таблицы Менделеева. Восьмой в семействе лантанидов.  $^{159}\text{Tb}$  – единственный стабильный изотоп тербия. Ядро атома  $^{159}\text{Tb}$  состоит из шестидесяти пяти протонов и девяноста четырех нейтронов, в электронной оболочке – шестьдесят пять электронов. Также известны тридцать шесть радиоактивных изотопов тербия.

Тербий (Terbium) – один из четырех элементов, получивших свое название по шведскому поселку Иттербю (Ytterby). Впервые оксид тербия  $\text{Tb}_4\text{O}_7$  выделил Карл Мосандер в 1843 году. Чистый тербий получил Жорж Урбен в 1907 году.



В 1842 году Джеймс Джоуль открыл интересный эффект. Если у тела меняются намагниченность, то его линейные размеры и объем также изменяются. Эффект этот получил название «магнитострикция». Лучший магнитострикционный материал – сплав железа с тербием. Он используется для сверхмощных приводов малых перемещений, когда требуется огромную массу подвинуть чуть-чуть, но с большой точностью, для мощных источников звука и ультразвука. Титанит тербия и еще некоторые другие соединения тербия также проявляют большую магнитострикцию.

Теллурид тербия – хороший термоэлектрический материал. Уже сейчас мы могли бы иметь удобные термоэлектродгенераторы, но, к сожалению, тербий слишком дорогой материал.

Некоторые соединения тербия обладают прекрасными люминесцентными характеристиками — высокой интенсивностью люминесценции и малой полушириной линий спектра.

Сплавы тербия с гадолинием при разматывании сильно охлаждаются, что позволяет надеяться на появление в будущем бытовых магнитных холодильников.

### № 66 Диспрозий (Dy)

Диспрозий – шестьдесят шестой элемент таблицы Менделеева. Девятый в семействе лантанидов. Есть семь стабильных изотопов диспрозия –  $^{156}\text{Dy}$  (0,06%),  $^{158}\text{Dy}$  (0,10%),  $^{160}\text{Dy}$  (2,34%),  $^{161}\text{Dy}$  (18,9%),  $^{162}\text{Dy}$  (25,5%),  $^{163}\text{Dy}$  (24,9%),  $^{164}\text{Dy}$  (28,2%). Ядро атома  $^{156}\text{Dy}$  состоит из шестидесяти шести протонов и девяти сотен нейтронов, в электронной оболочке – шестьдесят шесть электронов. В ядре атома  $^{158}\text{Dy}$  на два нейтрона больше, в ядре  $^{160}\text{Dy}$  – на четыре, в ядре  $^{161}\text{Dy}$  – на пять, в ядре  $^{162}\text{Dy}$  – на шесть, в ядре  $^{163}\text{Dy}$  – на семь, в ядре  $^{164}\text{Dy}$  – на восемь. Также имеется двадцать девять радиоактивных изотопов диспрозия.

В 1886 году Лекок де Буабодран при помощи спектрального анализа открыл новый элемент и назвал его диспрозий (Dysprosium) от греческого *δυσπροσιτος* – «труднодоступный». В чистом виде диспрозий получил Жорж Урбен в 1907 году.

Надеюсь, учащимся и уже окончившим школу знакомо слово «вольфрам», хотя бы по материалу нитей в лампочках накаливания. А вот слово «диспрозий» вряд ли кто вспомнит, хотя диспрозия в земной коре содержится почти в пять раз больше, чем вольфрама.

Диспрозий, так же как и тербий, обладает огромным магнитострикционным эффектом, поэтому его сплав с железом тоже используется для сверхмощных приводов малых перемещений. Оксид диспрозия  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  используется при производстве сверхмощных магнитов.

Оксид диспрозия  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  также входит в состав люминофоров – веществ, способных преобразовывать поглощаемую ими энергию в световое излучение. Ортоферрит диспрозия  $\text{DyFeO}_3$  успешно применяется в электронике. Люминофоры с оксидом диспрозия дают красное свечение.

Диспрозиевые лазеры, излучающие волны длиной 2,36 мкм, применяются в медицине для лечения глаукомы и злокачественных заболеваний кожи.

### № 67 Гольмий (Ho)

Гольмий – шестьдесят седьмой элемент таблицы Менделеева. Десятый в семействе лантанидов.  $^{165}\text{Ho}$  – единственный стабильный изотоп гольмия. Ядро атома  $^{165}\text{Ho}$  состоит из шестидесяти семи протонов и девяноста восьми нейтронов, в электронной оболочке – шестьдесят семь электронов. Также известны тридцать пять радиоактивных изотопов гольмия.

В 1879 году швейцарцы Жак Луи Соре и Марк Делафонтен и швед Пер Теодор Клеве обнаружили методом спектраль-

ного анализа новый элемент в недавно найденном минерале. Поскольку этот минерал нашли недалеко от Стокгольма, Клеве назвал его гольмин (holmium) по старинному латинскому названию Стокгольма (Holmia).

Гольмий ничем не примечателен в семействе лантанидов. Соединения гольмия можно использовать как катализаторы многих химических реакций, но и другие лантаниды хорошие катализаторы. Ионы гольмия возбуждают лазерное излучение в инфракрасной области, но ионы других лантанидов тоже возбуждают лазерное излучение с другими длинами волн. Гольмий – прекрасный парамагнетик, но подобные магнитные свойства наблюдаются и у большинства редкоземельных элементов.

В марте 1959 года в Москве на 8-ом Менделеевском съезде муж знаменитой Иды Ноддак, первой догадавшейся о расщеплении ядер урана нейтронами, Вальтер Ноддак жаловался, что для получения 10 мг чистой окиси гольмия ему пришлось проделать 10 тысяч фракционных кристаллизаций. С тех пор технологии значительно усовершенствовались, и теперь легко получают сотни килограммов окиси гольмия чистотой более 99,99%.

Но пока соединения гольмия используются только в исследовательских целях.

### № 68 Эрбий (Er)

Эрбий – шестьдесят восьмой элемент таблицы Менделеева. Одиннадцатый в семействе лантанидов. Есть шесть стабильных изотопов эрбия –  $^{162}\text{Er}$  (0,14%),  $^{164}\text{Er}$  (1,56%),  $^{166}\text{Er}$  (33,40%),  $^{167}\text{Er}$  (22,90%),  $^{168}\text{Er}$  (27,10%) и  $^{170}\text{Er}$  (14,90%). Ядро атома  $^{162}\text{Er}$  состоит из шестидесяти восьми протонов и девяноста четырех нейтронов, в электронной оболочке – шестьдесят восемь электронов. В ядре атома  $^{164}\text{Er}$  на два нейтрона больше, в ядре  $^{166}\text{Er}$  – на четыре, в ядре  $^{167}\text{Er}$  – на пять, в ядре  $^{168}\text{Er}$  – на шесть,

в ядре  $^{170}\text{Er}$  – на восемь. Также имеется двадцать девять радиоактивных изотопов эрбия.

Эрбий (erbium) – один из четырех элементов, получивших свое название по шведскому поселку Йттербю (Ytterby). Впервые окись эрбия  $\text{Er}_2\text{O}_3$  выделил Карл Мосандер в 1843 году. Чистый металлический эрбий получили А. Даан и Ф. Спеддинг только в 1953 году. Линии эрбия присутствуют в спектре Солнца.

2 декабря 1942 года интернациональная группа ученых во главе с Энрико Ферми впервые в истории запустила управляемую цепную ядерную реакцию. Для этого они под трибуной стадиона Чикагского университета соорудили атомный реактор. Этот и следующие реакторы использовались для выработки плутония – начинки атомной бомбы. А 26 июня 1954 года у нас в СССР, в небольшом городке Обнинске Калужской области начала работать первая в мире атомная электростанция.

Топливом таких ядерных реакторов служит уран или его оксид  $\text{UO}_2$ . Небольшая добавка к топливу оксида эрбия  $\text{Er}_2\text{O}_3$  резко улучшает работу реакторов, а именно: энергораспределение, технико-экономические параметры, и главное безопасность работы реакторов.

Оксид эрбия добавляют в кварцевый расплав при производстве оптических волокон. В очень длинных оптических волокнах свет естественно затухает, но оксид эрбия возвращает его интенсивность. А еще стекла, в состав которых входит эрбий, отлично поглощают инфракрасные лучи.

Среди всех лантанидов эрбий выделяется несколько большими плотностью и твердостью да розовым цветом многих его соединений.

### № 69 Тулий (Tm)

Тулий – шестьдесят девятый элемент таблицы Менделеева. Двенадцатый в се-

мействе лантанидов.  $^{169}\text{Tm}$  – единственный стабильный изотоп тулия. Ядро атома  $^{169}\text{Tm}$  состоит из шестидесяти девяти протонов и ста нейтронов, в электронной оболочке – шестьдесят девять электронов. Также известны тридцать четыре радиоактивных изотопа тулия.

В 1879 году Пер Клеве изучал примеси оксида эрбия  $\text{Er}_2\text{O}_3$  и обнаружил зеленого цвета оксид неизвестного элемента. Новый элемент он назвал «тулий» (thulium) в честь расположенного на севере Европы сказочного острова Туле (от древнегреческого  $\Theta\upsilon\lambda\eta$ ), описанного греческим путешественником Пифеем в IV веке до н.э. в сочинении «Об океане». А жаль. Очень хотелось, чтобы наша Тула тоже имела к этому отношение.

В 1911 году Теодор Ричардс получил тулий в чистом виде и измерил его атомный вес. Вообще-то, это было его любимое занятие – определять атомные веса элементов. За это в 1914 году Ричардс первым их химиков США получил Нобелевскую премию «за точное определение атомных масс большого числа химических элементов».

Тулий можно назвать вечно вторым среди лантанидов. Реже него в земной коре из лантанидов встречается только прометий, у которого вообще нет стабильных изотопов. Плотность тулия  $9,32 \text{ кг/м}^3$ , больше только у лютеция ( $9,84 \text{ кг/м}^3$ ). Температура плавления тулия  $1545^\circ\text{C}$  уступает опять же только температуре плавления лютеция ( $1663^\circ\text{C}$ ).

Если спаять обоими концами два провода из разных металлов и один спай нагреть, а другой охладить, то между спаями возникнет разность потенциалов, называемая термоэлектродвижущей силой (термо-э.д.с.). У комбинации тулий-теллур термо-э.д.с едва ли не рекордная –  $0,7 \text{ мВ/град}$ . Как только технологи понизят цены на тулий, его применение в производстве

термоэлементов резко возрастет, но пока он остается самым редким и самым дорогим из всех лантанидов [1].

Соединения тулия используются при производстве современных носителей информации.

Изотоп  $^{170}\text{Tm}$  применяется для изготовления портативных рентгеновских установок медицинского назначения, а также в металлодефектоскопии. В отличие от привычных рентгеновских установок тулиевые аппараты не нуждаются в электропитании, они намного компактнее, легче, проще по конструкции. Портативные тулиевые приборы позволяют проводить рентгенодиагностику в тех тканях и органах, которые трудно, а порой и невозможно просвечивать обычными рентгеновскими аппаратами.

Однажды археологи нашли бронзовый шлем, изготовленный 3000 лет назад. Предполагалось, что на нем имелись рисунки и письма. Шлем обернули фотопленкой и поместили внутри ампулу с изотопом  $^{170}\text{Tm}$ . Когда пленку проявили, на ней ясно обозначились стертые временем знаки.

Кроме того, идут исследования, где изотоп  $^{170}\text{Tm}$  используется в качестве топлива радиоактивных источников энергии.

## № 70 Иттербий (Yb)

Иттербий – семидесятый элемент таблицы Менделеева. Тринадцатый в семействе лантанидов. Есть семь стабильных изотопов иттербия –  $^{168}\text{Yb}$  (0,14%),  $^{170}\text{Yb}$  (3,03%),  $^{171}\text{Yb}$  (14,31%),  $^{172}\text{Yb}$  (21,82%),  $^{173}\text{Yb}$  (16,13%),  $^{174}\text{Yb}$  (31,84%) и  $^{176}\text{Yb}$  (12,73%). Ядро атома  $^{168}\text{Yb}$  состоит из семидесяти протонов и девяноста восьми нейтронов, в электронной оболочке – семьдесят электронов. В ядре атома  $^{170}\text{Yb}$  на два нейтрона больше, в ядре  $^{171}\text{Yb}$  – на три, в ядре  $^{172}\text{Yb}$  – на четыре, в ядре  $^{173}\text{Yb}$  – на пять, в ядре  $^{174}\text{Yb}$  – на шесть, в ядре  $^{176}\text{Yb}$  – на во-

семь. Также имеется двадцать семь радиоактивных изотопов иттербия.

Иттербий (ytterbium) – один из четырех элементов, получивших свое название по шведскому поселку Иттербю (Ytterby). Иттербий открыл Жан де Мариньяк в 1878 году. Но открытый им элемент оказался смесью двух элементов, что доказал в 1907 году Жорж Урбен. Одному элементу он сохранил имя «иттербий», другой назвал лютецием.

Иттербий – довольно скучный элемент, разве только выделяется среди других лантанидов электропроводностью, которая у него вдвое больше [2]. Соединения иттербия применяются в лазерной технике. Иттербий также является весьма перспективным материалом для термопары. На основе иттербия производятся разнообразные магнитные сплавы.

### № 71 Лютеций (Lu)

Лютеций – семьдесят первый элемент таблицы Менделеева. Четырнадцатый и последний в семействе лантанидов. Есть два стабильных изотопа лютеция –  $^{175}\text{Lu}$  (97,40%) и  $^{176}\text{Lu}$  (2,6%). Ядро атома  $^{175}\text{Lu}$  состоит из семидесяти одного протона и ста четырех нейтронов, в электронной оболочке – семьдесят один электрон. В ядре атома  $^{176}\text{Lu}$  на один нейтрон больше. Также имеется двадцать четыре радиоактивных изотопа лютеция.

Лютеций (lutetium) открывали долго и мучительно. В 1792 году Юхан Гадолин нашел новый минерал, названный впоследствии «гадолинит». В 1797 году Андерс Эксберг выделил из гадолинита окись иттрия. В 1843 году Карл Мосандер выделил из примеси окиси иттрия окись эрбия. В 1878 году Жан де Мариньяк выделил из примеси окиси эрбия окись иттербия. В 1907 году Жорж Урбен выделил из примеси окиси иттербия окись нового элемента, который он назвал «лютеций».

Все-таки Урбен был французом и ему очень хотелось, чтобы в таблице Менделеева появились и французские имена. Поскольку элемент № 67 носил древнее название Стокгольма, то он назвал элемент № 71 старинным латинским именем столицы Франции «Lutetia».

Практически одновременно с Урбеном к тем же результатам независимо друг от друга пришли Чарльз Джеймс и Карл фон Вельсбах, назвавший новый элемент «кассиопей». Международная комиссия по атомным весам в 1914 году вынесла решение именовать элемент все-таки лютецием, но еще много лет в литературе, особенно немецкой, встречалось название «кассиопей».

Лютеций из всех лантанидов самый тяжелый (9,849 г/м<sup>3</sup>) и самый тугоплавкий, температура его плавления около 1700°C. Ничем другим лютеций особенно не выделяется.

### № 72 Гафний (Hf)

Гафний – семьдесят второй элемент таблицы Менделеева. Есть шесть стабильных изотопов гафния –  $^{174}\text{Hf}$  (0,18%),  $^{176}\text{Hf}$  (5,20%),  $^{177}\text{Hf}$  (18,50%),  $^{178}\text{Hf}$  (27,14%),  $^{179}\text{Hf}$  (13,75%) и  $^{180}\text{Hf}$  (35,23%). Ядро атома  $^{174}\text{Hf}$  состоит из семидесяти двух протонов и ста двух нейтронов, в электронной оболочке – семьдесят два электрона. В ядре атома  $^{176}\text{Hf}$  на два нейтрона больше, в ядре  $^{177}\text{Hf}$  – на три, в ядре  $^{178}\text{Hf}$  – на четыре, в ядре  $^{179}\text{Hf}$  – на пять, в ядре  $^{180}\text{Hf}$  – на шесть. Также имеется двадцать девять радиоактивных изотопов гафния.

Несколько раз химики находили в минералах циркония неизвестный элемент, который называли: Иоанн Брейтхаупт в 1825 году – «остраний», Ларс Сванберг в 1845 году – «норий», Генри Сорби в 1869 году – «джаргоний», Уильям Чарч в 1869 году – «нигрий», Фриц Гофман и Людвиг Прандтль в 1901 году – «эвксений», Жорж

Урбен в 1911 – «кельтий». Однако ни одно из этих открытий не подтвердилось.

В 1920 году отец квантовой механики Нильс Бор, используя разработанную им теорию, пришел к выводу, что последним лантанидом должен быть лютеций (№ 71), а элемент № 72 должен походить на цирконий. Почти сразу, в 1923 году, Дирк Костер и Дьердь де Хевеши тщательно проанализировали норвежские и гренландские соединения циркония и, наконец-то, действительно открыли новый элемент, свойства которого совпадали с предсказаниями Бора, и назвали его «гафний» (hafnium) в честь города, где было сделано открытие (Hafnia – латинское название Копенгагена).

Урбен принялся отстаивать у Костера и Хевеши первенство в открытии элемента № 72. И только в 1949 году Международный союз теоретической и прикладной химии признал приоритет Костера и Хевеши и утвердил название «hafnium».

Почему же химики так долго «возились» с гафнием? Дело в том, что гафний и цирконий (№ 40) очень близки по своим химическим свойствам. До сих пор не найдено ни одной реакции, в которую вступал бы один из них и не вступал другой. Цирконий открыл Мартин Клапорт в конце XVIII века, и еще более ста лет гафний надежно прятался за цирконием. У гафния нет собственных минералов, поэтому его приходится добывать из руд других элементов.

Поскольку у циркония и гафния одина-

ковые химические свойства, то один другому никак не мешал. Но так было только до 1942 года. Дело в том, что гафний в тысячу раз лучше циркония поглощает тепловые нейтроны. Поэтому цирконий, который используется в атомных реакторах, требуется тщательно очищать от малейших примесей гафния. Зато гафний добавляют в стержни, при помощи которых регулируется работа реакторов, причем эффективность таких стержней со временем почти не меняется.

Гафний обладает хорошей механической прочностью, высокой термостойкостью и исключительной коррозионной стойкостью в горячей воде; облучение не влияет на коррозионную стойкость гафния. Еще лучшими свойствами обладает сплав гафния с цирконием (4,5%), железом, титаном и никелем (по 0,02%).

Содержание гафния в земной коре около 4 г/т. Ввиду отсутствия у гафния собственных минералов и постоянного сопутствия его цирконию, его получают путем переработки циркониевых руд. В мире в год в среднем добывается около 100 тонн гафния.

### Литература

1. Чулкова Г.М., Петрова Е.Б. Использование механических и электронных датчиков в современной бытовой технике// Школа и производство. 2016. № 5. С. 47-54.
2. Галкина Т.А., Петрова Е.Б. Новые возможности лабораторной работы «Определение удельного сопротивления проводника»// Физика в школе. 2012. № 1. С. 65-66.







## ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНАЯ ТЕМАТИКА В ПЬЕСАХ М. ГОРЬКОГО И Л. АНДРЕЕВА

**Н.Н. Барабанов,**  
преподаватель ЦРА МГТУ «СТАНКИН»,  
Москва



Статья, предлагаемая вниманию читателя, представляет собой результат обобщения педагогического опыта автора – по образованию учителя физики, проводившего в начале и в середине девяностых годов в средней школе №175 г. Москвы уроки, в том числе и открытые, целью которых было показать школьникам старших классов, что, в конечном счете, наука и искусство занимаются решением одной и той же задачи (несмотря на принципиальные различия в методах решений) – задачи познания мира, окружающего людей

В письме К.П. Пятницкому (директору-распорядителю демократического книжного издательства товарищества «Знание») от 21-22 октября 1903 года Горький писал о первом впечатлении от «Вишневого сада» следующее: *«Слушал пьесу Чехова – в чтении она не производит впечатления крупной вещи. Нового – ни слова. Все настроения, идеи – если можно говорить о них – лица, – все это уже было в его пьесах. Конечно, – красиво, и – разумеется, – со сцены повеет на публику зеленой тоской. А – о чем тоска – не знаю»* [2, т. 28, с. 291]. А спустя неделю в следующем письме Пятницкому мы читаем: *«С Андреевым тоже буду писать пьесу «Астроном». Леонид вдохновился Клейном и хочет изображать человека, живущего жизнью всей вселенной среди нищенски серой обыващины. За это его треснут в 4-м акте телескопом по башке»* [2, т. 28, с. 292-293]. Творческий союз М. Горького

и Л. Андреева в силу очень многих причин не состоялся. В итоге в 1905 году появились сразу две пьесы: «Дети Солнца» М. Горького и «К звездам» Л. Андреева. «Дети Солнца» были поставлены в Художественном театре в октябре 1905 года, и сценическая жизнь пьесы была сравнительно недолгой. Пьеса Андреева также была предназначена для Художественного театра, но была запрещена цензурой. Оценка Горького (опять-таки в письме к К.П. Пятницкому от 7-8 ноября 1905 года после премьеры «Детей Солнца») была краткой: *«Андреев написал пьесу «К звездам». Очень плохо»* [2, т. 28, с. 395]. В театре к этим пьесам отнеслись, однако, иначе. Владимир Иванович Немирович-Данченко о пьесе «К звездам»: *«...громоздкое впечатление, сильное, тяжелое и радостное»* [3, с. 645]. О.Л. Книппер-Чехова в письму брату, В.Л. Книпперу (Нардову) от 16 ноября 1905 года: *«Леонид Андреев*

написал удивительную пьесу «К звездам», пропитанную современным движением, но не а la Горький. Вне времени и пространства, действие происходит где-то за границей, в горах, наверху, в обсерватории, а внизу где-то революция... И реально и нереально все. Много красивого» [4, с. 74]. Она же – о горьковской пьесе во время репетиций (письмо М.П. Чеховой от 1 октября 1905 года): «Неужели «Дети Солнца» будут иметь успех? То есть для материальной стороны дай бог, а для художественной – не пойму тогда ничего» [4, с. 70]. После премьеры, в письме М.П. Чеховой (27 октября 1905 года): «Начали играть «Дети Солнца». Хвалят исполнение, пьесу не очень. Мне скучно играть, хотя роль удалась» [4, с. 72] (в «Детях Солнца» Книшпер-Чехова играла купчиху Меланию, а исполнителем главной роли Павла Протасова был В.И. Качалов).

Итак: взволнованность в Художественном театре пьесой Андреева и прохладное отношение к пьесе Горького, написанной в принципиально иной манере. Это не случайно, ибо в театре еще помнили скандал вокруг «Дачников» и не могли не почувствовать их взаимосвязанность с «Детями Солнца», ибо «Дачники» писались Горьким в начале 1904 года, отодвинув начатую им работу над «Детями Солнца». О «Дачниках» же Горький в декабре 1904 года писал следующее: «Быстро вырождающееся буржуазное общество бросается в мистику, в детерминизм – всюду, где можно спрятаться от суровой действительности, которая говорит людям: «Или вы должны перестроить жизнь, или я вас изуродую, раздавлю». И многие из интеллигенции идут за мещанами в тесные углы мистической или иной философии, все равно куда – лишь бы спрятаться» [2, т. 28, с. 345].

Драма интеллигенции, отгораживающейся от общественных потрясений, равно

как и объективная невозможность отгородиться от них – вот о чем писал Горький в 1905 году. И «получает по башке» в 4-м акте горьковской пьесы эта интеллигенция отнюдь не телескопом. Толпу городских обывателей во время холерного бунта бьет по головам дворник Роман выломанной из забора доской (ремарка Горького: «Делает он это молча, сосредоточенно, без раздражения») [2, т. 6, с. 370] – вот кто противостоит в пьесе ученому-биологу и живописцу, вот кто перечеркивает их искренний идеализм, в немалой степени воспитанный «Астрономическими вечерами» Клейна. Тезис «человек – это звучит гордо» в «Детях Солнца» читается не с восклицательным, а, скорее, с вопросительным знаком. И финальное безумие Лизы, сестры главного героя пьесы, вызвано не только самоубийством любимого человека. Порождением ее душевной болезни является потрясение, вызванное видом пролитой безвинной крови, которую не видит и не желает видеть ее брат, биолог Павел Федорович Протасов, человек, свято верящий в великую гуманистическую преобразующую силу науки и одновременно абсолютно не способный к восприятию людской боли. В какой-то мере то, о чем говорит Лиза, перекликается с философией ньютика Рюмина из «Дачников», не приемлющего «страшное лицо правды» с той, однако, разницей, что истерия Рюмина не имеет под собой того трагического жизненного опыта, через который прошла Лиза. Там, где Рюмин предлагает уйти от жизненной правды, отгородиться от реальности, Лиза кричит совсем о другом: «Вы оставили людей далеко сзади себя... вы одинокие; несчастные, маленькие... неужели вам не понятен ужас этой жизни?... Ведь вы окружены врагами... повсюду звери!.. Нужно уничтожить жестокость... победить ненависть... Поймите же меня! Поймите!» [2, т. 6, с. 330]. И разговор по

поводу воображаемой Еленой, женой Протасова, картины (свободные гордые люди на корабле, идущем сквозь бурю) есть продолжение этой же темы. Мечта о сильных людях перечеркивается конкретным горем Якова Трошина, у которого раздавлены поездом жена и ребенок. На вопрос Лизы: «Какое место на картине будут занимать ЭТИ люди?» последует ответ: «Их там не будет», ибо, по словам Протасова, такие люди – «лишь мертвые клетки в организме» [2, т. 6, с. 320]. В определенном смысле Протасов перекликается с адвокатом Басовым из «Дачников», ибо он, как и Басов, «человек красивого слова» – не циник, не пошляк, но нравственный слепец. И одновременно Протасов – философ-гуманист в своей научной работе.

Монологи Протасова в горьковской пьесе в 1-м и 2-м актах о величии человека – преобразователя природы на научной основе – с одной стороны, развивают то, о чем говорили, размышляя о будущем человечества, герои «Трех сестер» и «Вишневого сада». Кроме того, под обоснование тезиса «Человек – это звучит гордо» здесь подводится такая естественнонаучная база, что вряд ли можно согласиться с ранее упоминавшейся нелестной характеристикой Пастернака («риторические ходули»). Можно как угодно относиться к его словам во втором акте пьесы: «Понимаешь – когда волокно химически обработанного дерева можно будет прясть – тогда мы с тобой будем носить дубовые жилеты, березовые сюртуки» [2, т. 6, с. 323]. Отметим попутно, что эти слова тематически продолжают монолог Протасова из первого акта о роли и значении химии, равно как и то, что они появились вместо первоначального: «Человек все еще не умеет использовать энергию, рассеянную в природе» [2, т. 28, с. 381]. Сожаление о несовершенстве человека заменено верой в то, что завтра будут достигнуты такие результаты, которые се-

годня кажутся фантастикой. Более того. «Когда-то под лучом Солнца вспыхнул к жизни ничтожный и бесформенный кусок белка, размножился, сложился в орла и льва и человека; наступит время, из нас, людей, из всех людей возникнет к жизни величественный, стройный организм – человечество! Человечество, господа! Тогда у всех клеток его будет прошлое, полное великих завоеваний мысли, – наша работа! Настоящее – свободный дружный труд для наслаждения трудом, и будущее – я его чувствую, я его вижу – оно прекрасно. Человечество растет и зреет. Вот жизнь, вот смысл ее!» [2, т. 6, с. 325].



**В.И. Вернадский (1863-1945)**

Это не только продолжение чеховской темы труда из «Трех сестер», не только продолжение опять-таки чеховской темы единства прошлого, настоящего и будущего человечества, но и предвосхищение того, о чем много позже говорил В.И. Вернадский в связи с концепцией ноосферы, в которой человечество также рассматривалось как единое целое. «Человечество, взятое в целом, становится мощной геологической силой. И перед ним, перед его мыслью и трудом, ставится вопрос о ПЕРЕСТРОЙКЕ БИОСФЕРЫ В ИНТЕРЕСАХ СВОБОДНО

МЫСЛЯЩЕГО ЧЕЛОВЕЧЕСТВА КАК ЕДИНОГО ЦЕЛОГО. Это новое состояние биосферы, которому мы, не замечая этого, приближаемся, и есть «ноосфера» [5, с. 391]. В 1905 году воспринять такие идеи могли весьма немногие. Вот почему тогдашние исполнители «Детей Солнца», равно как и зрители, отнеслись к горьковской пьесе достаточно сдержанно, особенно, если учесть ее явную «заземленность» по сравнению с пафосом пьесы Леонида Андреева.

Рамки этой публикации не позволяют нам дать сколько-нибудь развернутую характеристику еще одной пьесы Горького, «Варвары», которая была написана сразу после «Детей Солнца», летом 1905 года. Умолчать о ней, однако, нельзя, ибо речь в пьесе идет также об интеллигенции как выразителе и носителе не только плодов научно-технического прогресса, но и порождаемой этим прогрессом новой морали. Вернее – о том, во что превращается образованный человек, от моральных основ освобожденный. «Для меня знания ценнее нравственности», – заявляет в начале второго акта пьесы один из главных героев «Варваров», инженер Егор Черкун. А в финале пьесы кончает жизнь самоубийством обманутая им женщина, которая его полюбила и которая оказалась для него лишь игрушкой. Варварами в пьесе являются не только жители глухого провинциального городка, куда прокладывается железная дорога, но и те, кто ее прокладывает – образованные столичные инженеры, притом, варварами в своем роде изошренными в силу образованности и приобщенности к достижениям и благам цивилизации. Достаточно вспомнить, например, такое откровение инженера Цыганова из третьего акта пьесы, спаивающего провинциальную молодежь: «Приятно, знаете, немножко развратить этих двух поросят... может быть, порок сделает

их более похожими на людей...а?» [2, т. 6, с. 439].

Человек, свободный от моральных устоев, страшен для общества, особенно будучи образованным. В этом смысле «Варвары» воспринимаются как пьеса-предупреждение, в высшей степени актуальное для нас сегодняшних, с учетом нынешних достижений научно-технического прогресса.



Л.Н. Андреев (1871-1919)

А что же пьеса Леонида Андреева? После цензурного запрета в России она была с большим успехом поставлена осенью 1906 года в Австрии, в июне 1907 года – в Харбине, а в мае того же года в Териоках (Финляндия) Всеволодом Мейерхольдом. Этот спектакль прошел лишь один раз: второе представление было отменено, и опять-таки – по политическим мотивам.

Современному читателю и зрителю эта пьеса практически неизвестна, и тем интереснее и важнее представляется разговор о ней. Андреев написал две редакции пьесы. В первой редакции столкновение народа и интеллигенции было дано непосредственно на сцене: в последнем акте разъяренная толпа громит обсерваторию в тот момент, когда главный герой пьесы, астроном Терновский, наблюдает солнечное затмение. Последними его словами перед гибелью были слова: «Не смей трогать моих стекол!» (Так, с криком «Не смей трогать моих чертежей!» погиб когда-то Архимед.) Во второй же редакции погибает не сам Терновский, а его сын, профессиональный революционер, сходящий с ума после пыток в тюрьме. Восставший народ в этой редакции на сцене не появляется вовсе – революционные события происходят не вокруг обсерватории, находящейся высоко в горах, а в удаленном от нее городе. Внимание автора теперь приковано к нравственно-философской оценке, которую дают революционным событиям люди науки. Подчеркнем: астрономы, люди, применяющие к земным потрясениям космические мерки. Другое дело, что применяют они их по-разному и вряд ли можно в этих оценках однозначно принимать сторону какого-то одного из героев пьесы. (За исключением, пожалуй, Житова – подчеркнуто равнодушного, пассивного наблюдателя всего происходящего, оценка которого «интересно» распространяется решительно на все вокруг, без какого бы то ни было деления на доброе и злое. Реплика «У меня воспоминаний не бывает» в начале второго акта – вот его суть).

Можно понять ассистента обсерватории еврея Лунца. Начало третьего акта: «А я сегодня не могу смотреть на звезды. Я не знаю, куда бы от них ушел, я спрятался бы в подвал, но и там я буду их чувствовать. Понимаете: как будто нет расстояний. Как

будто все эти громады, живые и мертвые, столпились над землей и приближаются к ней; и что-то такое в них есть...». И далее: «Я сегодня боюсь звезд. Я думаю: какие они огромные, какие равнодушные и как им нет никакого дела до меня, и я становлюсь такой маленький, такой жалкий... Меня пугает бесконечность. Какая бесконечность? Зачем бесконечность? Вот я смотрю на звезды: одна, десять, миллион и все нет конца. Боже мой, кому же я жаловаться буду?» [3, с. 69-70]. Итогом для него будет душевный слом, который приведет его к отвержению научного знания вообще. Крик Лунца в третьем акте «Долой науку!» вызван в немалой степени тем, что в его восприятии Вселенная представляется равнодушным наблюдателем к бедствиям людей – в частности, на национальной почве. «И я вижу – всех, всех, кого жгли, убивали, рвали на части, Били за то, что среди нас родился Христос, что среди нас были пророки и Марк» [3, с. 74]. Можно понять в известной мере педантичного ассистента Поллака, устраивающего свою спокойную личную жизнь в сознании того, что «в мои тридцать два года я уже довольно много сделал для науки, и мое имя...» [3, с. 71], человека, который в научном труде превыше всего ценит дисциплину. Именно поэтому восторг перед работой своего руководителя выражен им словами: «Трение, это возмутительное трение, отсутствует в нем, как в наших инструментах. И работает он с правильностью часового механизма: я убежден, что в его вычислениях за тридцать лет нельзя найти ни одной ошибки... У него числа и цифры – живые и движутся, как солдаты... Без дисциплины нет победы, дорогой Лунц», на что Лунц иронически замечает: «Какая юнкерская поэзия!» [3, с. 71]. Объяснить это можно, оправдать – нет.

Сложнее, однако, обстоит дело с главным героем пьесы – астрономом Сергеем



Николаевичем Терновским. Именно труд ученого определяет все без исключения в его жизненном поведении – порой даже то, что производит отталкивающее впечатление. И действительно, как относиться к человеку, который плачет, видя комету Биэлла, и спокоен, получив известие о том, что едва не погиб его сын? Как относиться к человеку, который философствует о бесконечности Вселенной, когда жена и невеста сына говорят ему о том, что после истязаний в тюрьме его сын навсегда останется идиотом? Как относиться к его словам во втором акте пьесы: «В мире каждую секунду умирает по человеку, а во всей вселенной каждую минуту разрушается целый мир. Как же я могу плакать и приходить в отчаяние из-за смерти одного человека?» [3, с. 62]. Может быть, прав его зять, который говорит по этому поводу: «Что значит – заткнуть уши астрономической ватой! Хорошо, спокойно. Пусть весь мир взвоят, как собака...» [3, с. 62]. А все дело в том, КАК этот человек понимает жизнь людей, исходя из воззрений, которые сформировало в нем познание мира в масштабах Вселенной. Его слова, обращенные к сыну в последнем акте о поющих звездах – гораздо больше чем эмоция. Напомним: «Они поют, и песнь их таинственна, как вечность. Кто хоть раз услышит их голос, идущий из глубины бесконечных пространств, тот становится сыном вечности! Сын вечности! – да, Петя, так когда-нибудь назовется человек» [3, с. 81]. Вот что определяет его позицию – то, о чем он скажет на последней странице пьесы: «Смерти нет». Поэтому в его восприятии бессмертен Джордано Бруно, ибо «...умирают только звери, у которых нет лица. Умирают только те, кто убивает, а те, кто убит, кто растерзан, кто сожжен, те живут вечно. Нет смерти для человека, нет смерти для сына вечности» [3, с. 87]. И его слова «У меня нет детей. Для меня одинаковы все люди» [3, с. 86]

основаны не на равнодушии к гибели одного конкретного человека, а на отвержении самого факта такой гибели. Когда Терновский в числе своих друзей называет в третьем акте пьесы [3, с. 75] неизвестных ему людей (астронома из Южной Африки, обитателя Бразилии, еще одного, кто умер полтора года назад, и даже того, кто должен родиться через 750 лет, и кто должен по поручению его, Терновского, проверить результаты его наблюдений), то это – также результат его самоопределения в мире. «Я думаю о прошлом и будущем, и о земле, и о тех звездах – обо всем. И в тумане прошлого я вижу мириады погибших; и в тумане будущего я вижу мириады тех, кто погибнет; и я вижу космос, и я вижу везде торжествующую, безбрежную жизнь – и я не могу плакать об одном!» [3, с. 86]. Показательно, что тезис «все живет и всюду жизнь» утверждается и в пьесе Горького, и в пьесе Андреева, хотя утверждается он разными учеными на разной естественнонаучной основе: биологом – в одном случае и астрономом – в другом.

Максим Горький, пьеса «Дети Солнца». Протасов: «...Все живет, всюду жизнь и всюду – тайны. Вращаться в мире чудесных глубоких загадок бытия, тратить энергию своего мозга на разрешение их – вот истинно человеческая жизнь, где неисчерпаемый источник счастья и животворной радости! Только в области разума человек свободен, только тогда он человек, когда разумен, и если он разумен. Он честен и добр! Добро создано разумом, без сознания нет добра!» [2, т. 6, с. 306]

Леонид Андреев, пьеса «К звездам». Сергей Николаевич: «Да, все живет. И когда поймет это человек, ему станет радостно жить, как греку, как язычнику. Явятся снова дриады и нимфы, и вот, эльфы запляшут в лунном свете. Человек будет ходить по лесу и разговаривать с деревьями и цветами. Он никогда не будет один, ибо все

живет: и металл, и камень, и дерево» [3, с. 80-81]. «В тот миг, как при случайной встрече двух неведомых сил зародилась первая жизнь – маленькая, крохотная жизнь, протоплазмы, уже в этот миг все эти сверкающие громады нашли своего господина. Это мы – те, кто здесь, и те, кто там» [3, с. 87]. Итог в обоих случаях один и тот же: вечное и единое человечество, хотя породило его у Горького Солнце, а у Андреева – «случайная встреча двух неведомых сил». О том, что здесь предвосхищаются идеи В.И. Вернадского, выше уже было сказано.

Отметим попутно следующее. «Смерти не будет» – таким был один из возможных вариантов заглавия романа Бориса Пастернака «Доктор Живаго». Заглавие конкретизировалось эпитафией из «Откровения Иоанна Богослова»: «И отер бог всякую слезу с очей их, и смерти не будет уже...» [6, с. 224]. Мироощущение главных героев романа Пастернака, о котором ранее говорилось («соотнесенность с Вселенной»), перекликается с тем, о чем идет речь как у Андреева, так и у Горького, с оговорками. У Пастернака – взгляд на человека, как на «микроэлемент» грандиозной картины Мироздания. Главный же герой пьесы «К звездам» цитирует стихи выдающегося датского астронома Тихо Браге (1546-1601) о Копернике (в переводе Ф. Корша), где, в частности, о польском астрономе говорится: «Законы наложил на весь небес простор» [3, с. 82]. Формула, разумеется, идеалистическая; однако для профессора Терновского она имеет принципиальное значение, ибо в ней идет речь о прославлении человека, сильного своим единением с Вселенной.

В заключение представляется необходимым отметить следующее. То, что в пьесах Горького и Андреева в числе ведущих тем была тема познания мира – самоочевидно. Принципиально, однако, то, что образ мыслей литератора и ученого по поводу данной

проблематики также могут быть схожими. В начале этой работы упоминалась книга Р. Фейнмана «Характер физических законов». Так вот, в пятой главе книги, озаглавленной «Различие прошлого и будущего», Фейнман, по сути, говорит о том же, о чем идет речь в вышеназванных пьесах, когда, завершая главу, пишет об «иерархической лестнице» понятий. На одном конце такой лестницы Фейнман помещает основные законы физики. Затем им предлагаются термины для некоторых наиболее близких понятий, которые можно объяснить на базе этих основных законов, таких, например, как «теплота», когда о хаотическом движении молекул исследователь уже забывает. Выше по этой лестнице у Фейнмана располагаются явления типа преломления света и поверхностного натяжения и понятия которые эти явления объясняют. При этом механизм этих явлений на уровне микромира ученого часто уже не волнует. Еще выше – такие понятия, как «вода», «волны», «шторм»; еще выше – «сокращение мускулов» или «нервные импульсы»; еще выше – «лягушка». «Все дальше и дальше, и вот уже перед нами понятия «человек», «история», «политическая целесообразность» и другие понятия, которыми мы пользуемся для того, чтобы разбираться на еще более высоком уровне. А затем наступает черед таким вещам, как «зло» и «красота», и «надежда...» [1, с. 135].

При этом: «Ни понимание природы зла, добра и надежды, ни понимание основных законов в отдельности не могут обеспечить глубокого понимания мира» [1, с. 135]. Такое понимание возможно только при комплексном подходе к рассмотрению указанных проблем. «Какой же конец этой лестницы ближе к богу, если мне будет позволена религиозная метафора. Красота и надежда – или основные законы? Мне, конечно, кажется, что для нас важнее всего понять внутреннее структурное единство

мира; что все науки, да и не только науки, любые интеллектуальные усилия направлены на понимание взаимосвязей между явлениями, стоящими на разных ступенях нашей иерархической лестницы, на то, чтобы найти связь между красотой и историей, историей и человеческой психологией, психологией и механизмом мозга, мозгом и нервными импульсами, нервными импульсами и химией, так далее, как вверх, так и вниз. Сегодня мы еще не можем (и что толку притворяться, будто это не так) провести непрерывную линию от одного конца до другого, ибо лишь вчера увидели существование такой иерархии» [1, с. 135].

### Литература

1. *Фейнман Р.* Характер физических законов. М.: Мир, 1968.
2. *Горький М.* Собр. соч. в 30 томах. М.: ГИХЛ, 1949–1956.
3. *Андреев Л.Н.* Пьесы. М.: Сов. писатель, 1991.
4. *Книппер-Чехова О.Л.* Переписка. В двух томах. М.: Искусство, 1972.
5. *Вернадский В.И.* Научная мысль, как планетное явление. М.: Наука, 1991.
6. *Борисов В., Пастернак Е.* Материалы к творческой истории романа Б. Пастернака «Доктор Живаго»// Новый мир. 1988. № 6.

### Приложение

Приводим полный текст стихотворения Тихо Браге, которое упоминается в пьесе Леонида Андреева.

Тот, солнцу кто сказал: «Сойди с небес и стой»,  
Кто землю на небо, луну на землю вскинул,  
И, весь перевернув порядок мировой,  
Скреп мира не расторг нигде и не раздвинул,  
А проще не в пример представил и стройней  
Нам твердь, знакомую по опыту очей, —  
Тот муж, Коперник сам, кого я разумею  
Вот эти палочки в простой сложив прибор  
И им осуществив столь дерзкую затею

Законы наложил на весь небес простор,  
Светила горния во славе их теченья  
Кусочкам дерева ничтожным подчинил,  
К самим проник богам, куда со дня творенья  
Рок смертным всем почти дорогу возбранил.  
Каких преодолеть преград не может разум!  
Нагроможденные когда-то Пелион  
И Осса с Этною, Олимп с другими разом  
Горами многими вотще со всех сторон -  
Свидетели тому, что силой тела дикой  
Гиганты мощные, но слабые умом,  
Не достигли звезд. Он, он один, великий,  
Искавший помощи лишь в разуме своем,  
Не мышцы крепкие, а тоненькие жерди  
Орудием избрав, — возвысился до тверди.  
Каких могучих здесь произведенье дум!  
Хотя по существу в нем стоимости мало,  
Но золото само, когда б имело ум,  
Такому дереву завидовать бы стало!..

**Комментарий.** Под палочками и жердочками в стихотворении подразумеваются примитивные самодельные деревянные инструменты, с помощью которых Коперник моделировал движение планет Солнечной системы.



Тихо Браге (1546–1601)



## ЦЕПНАЯ ЛИНИЯ

**В.Ф. Очков**, д.т.н., профессор,  
Национальный исследовательский университет «МЭИ»; ochkov@tw.t.  
mpei.ac.ru

**К. Попова**,  
ГБОУ Школа 1502 при МЭИ, Москва

**М. Камалов**,  
ГБОУ Школа 1502 при МЭИ, Москва



В статье описана лабораторная работа в русле междисциплинарных связей на стыке информатики, математики и физики: исследование провисания цепи – свободной и нагруженной, а также моделирование канатной подвесной дороги

В [1] было сказано, что если взять в руки за два конца металлическую цепь, растянуть ее, показать провисание цепи школьникам или студентам и спросить их, на что это похоже с точки зрения математики, то большинство ребят скажут, что это *парабола*. И в этом нет ничего удивительного – даже Галилей так считал. И только полвека спустя, в конце XVII века, три великих математика – швейцарец Иоганн Бернулли (1667-1748), немец Готфрид Лейбниц (1646-1716) и голландец Христиан Гюйгенс (1629-1695) – почти одновременно и независимо друг от друга доказали, что это не так. Давайте и мы попытаемся это доказать, проведя несложные физические эксперименты с реальной провисающей цепью и с последующей компьютерной обработкой результатов опытов!

### 1. Как провисает цепь?

Два школьника прижали к доске металлическую цепь за два ее конца так, чтобы она свободно провисала, но не покачивалась.

Сделаем фото цепи. Центральную часть изображения скопируем и перенесем в

среду Paint, где оцифруем ее следующим образом. К элементу цепи подведем курсор мышки, координаты которого (в пикселях) показаны в левом нижнем углу этого графического редактора (рис. 1).

Из рисунка 1 видно, что курсор мышки находится на левом конце цепи – на 238-м пикселе от левого края картинке и на 252-м

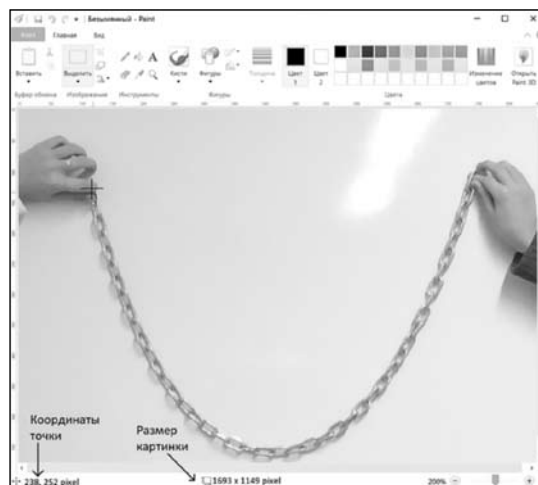


Рис. 1. Изображение провисающей цепи в среде графического редактора Paint

пикселе от ее верхнего края. Эти два числа запишем как первые элементы векторов  $X$  и  $Y$  в среде математического пакета Mathcad 15 (рис. 2). (Оператор  $\text{ORIGIN} := 1$  предписывает вести нумерацию элементов вектора от единицы, а не от нуля, как это имеет место по умолчанию.)

$$\text{ORIGIN} := 1 \quad X := \begin{pmatrix} 238 \\ 386 \\ 833 \\ 1297 \\ 1477 \end{pmatrix} \quad Y := 1149 - \begin{pmatrix} 252 \\ 680 \\ 1107 \\ 735 \\ 252 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 897 \\ 469 \\ 42 \\ 414 \\ 897 \end{pmatrix}$$

**Рис. 2.** Два вектора с координатами провисающей цепи

Затем курсор мышки (рис. 1) переместим на другую точку изображения провисающей цепи, и новую пару чисел (386 и 680) занесем в векторы  $X$  и  $Y$ . Подобным образом снимем координаты и других точек вплоть до последней (1477 и 252 – точка крепления цепи в правом ее конце). Мы «оцифровали» только пять точек. Их число можно увеличить, но это не сильно скажется на результатах нашего физико-математического компьютерного эксперимента. Можно определить длину между пикселями (рис. 1) и оперировать уже не их безразмерными координатами, а реальными расстояниями в миллиметрах, сантиметрах или метрах. Но это также не поменяет суть нашего расчета. Далее будем обмеривать изображение цепи на фоне миллиметровой бумаги и работать уже не с пикселями, а непосредственно с единицами длины – с сантиметрами.

Следует упомянуть, что есть специальные программы, автоматизирующие процесс «оцифровки» таких изображений: пользователь последовательно щелкает мышкой по кривой линии и автоматически получает два вектора с координатами точек. Но у нас всего лишь пять точек, поэтому такую работу мы сделали вручную,

воспользовавшись самым распространенным графическим инструментом – графическим редактором Paint.

На рисунке 2 показано, что значения элементов вектора  $Y$  вычитаются из величины 1149 (высота в пикселях картинки на рис. 1). Это сделано для того, чтобы «перевернуть» ось  $Y$ : точка с нулевыми координатами на рисунке 1 находится в *верхнем* левом углу, а на наших последующих графиках она будет находиться в *нижнем* левом углу (точка начала координат в прямоугольной системе).

Известно, что упомянутую нами параболу можно провести через три точки. Каноническое уравнение параболы в прямоугольной системе координат имеет вид  $x^2 = 2p \cdot y$ , где  $p$  – это фокальный параметр, который равен расстоянию от фокуса до директрисы параболы [1]. Есть и более привычная («школьная») квадратичная формула для этой кривой:  $y = ax^2 + bx + c$ . Но мы будем использовать еще одну – менее известную, но более подходящую для нашей задачи формулу (см. первый оператор на рис. 3). У функции с именем  $y_p$  один аргумент  $x$  и три параметра:  $a$ ,  $x_h$  и  $h$ . Конечно, с позиций математики и информатики у этой функции просто четыре аргумента:  $x$ ,  $a$ ,  $x_h$  и  $h$ . Деление аргументов на собственно аргумент и параметры мы сделали с позиций физики задачи. Параметр  $a$  отвечает за форму и «крутизну» кривой: при  $a > 0$  мы имеем «провисающую» параболу, а при  $a < 0$  – параболу в виде арки. При значении  $a$ , стремящемся к нулю, парабола будет «снизу или сверху» стремиться к прямой, параллельной оси  $X$ . Параметры  $x_h$  и  $h$  фиксируют координаты вершины параболы: минимум провисающей кривой или максимум кривой в виде арки. На рисунке 3 показано, как были найдены значения параметров  $a$ ,  $x_h$  и  $h$ , при которых парабола проходит через первую (левый край цепи), третью (ниж-

ний край) и пятую (правый край) точки, координаты которых хранятся в векторах  $X$  и  $Y$ . Для этого была составлена система из трех алгебраических уравнений, которые решаются численно в среде пакета *Mathcad 15* с использованием встроенной функции *Find* и ключевого слова *Given*. Функция *Find* меняет значения своих аргументов, начиная от первого предположения, заданного пользователем ( $a := 1 \quad x_h := 800 \quad h := 50$ ), так, чтобы три уравнения превратились в три тождества. Вернее, почти в тождества: правые и левые части уравнений должны отличаться друг от друга не более, чем на заданную малую величину. По умолчанию (а мы его не меняли) эта величина равна 0.001. Первые предположения для параметров  $x_h$  и  $h$  взяты, исходя из предполагаемых координат минимума искомой параболы: 800 и 50. Для параметра  $a$  – первое предположение (единица) взято слегка «наобум». Главное, чтобы оно было больше нуля («провисающая» парабола, а не арка). Если бы мы использовали привычную квадратичную формулу для параболы  $y = ax^2 + bx + c$ , то задавать первые предположения для коэффициентов  $a$ ,  $b$  и  $c$  было сложнее. Этим и объясняется применение нами несколько необычной формы записи параболы на рисунке 3. Полученное решение системы уравнений

$$y_p(x, a, x_h, h) := a \cdot (x - x_h)^2 + h$$

$$a := 1 \quad x_h := 800 \quad h := 50$$

Given

$$Y_1 = y_p(X_1, a, x_h, h) \quad Y_5 = y_p(X_5, a, x_h, h)$$

$$Y_3 = y_p(X_3, a, x_h, h)$$

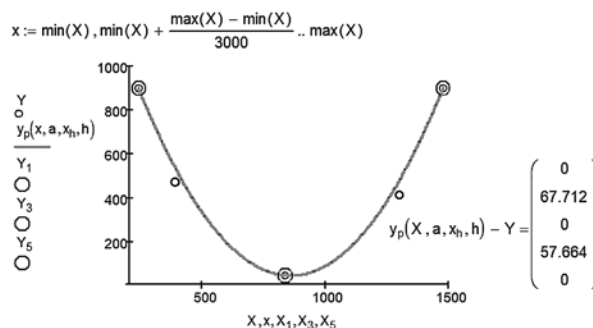
$$\begin{pmatrix} a \\ x_h \\ h \end{pmatrix} := \text{Find}(a, x_h, h) = \begin{pmatrix} 2.231 \times 10^{-3} \\ 857.5 \\ 40.661 \end{pmatrix}$$

**Рис. 3. Решение системы трех уравнений с тремя неизвестными**

можно перенести на место первого предположения и убедиться, что решение не изменится.

На рисунке 4 можно видеть, как наша парабола проходит через точки, «снятые» с фотографии цепи: три точки она «пронизывает» (они обведены двойными кружочками), а около двух точек кривая проходит рядом. Это следует и из графика, и из значений, показанных правее графика: вторая точка отстает от параболы по вертикали на 68 пикселей, а четвертая – на 58 пикселей. Отсюда вывод: цепь провисает не по параболе, а по какой-то другой кривой, достаточно близкой к параболе (см. начало статьи).

Рисунок 4 отображает процесс *интерполяции*: кривая проходит через три точки. А рисунок 5 иллюстрирует процесс *аппроксимации* (приближения): кривая проходит не через три избранные точки, а *вблизи* всех пяти точек.



**Рис. 4. Парабола проходит через три точки**

На рисунке 5 решается *переопределенная* система – система пяти<sup>1</sup> алгебраических уравнений с тремя неизвестными  $a$ ,  $x_h$  и  $h$ . Функцию *Find* здесь уже нельзя

<sup>1</sup> В решении на рис. 5 записано одно уравнение  $Y = y_p(X, a, x_h, h)$ . Но переменные  $X$  и  $Y$  – это не скаляры (как на рис. 4:  $X_1, Y_1, X_3, Y_3, X_5$  и  $Y_5$ ), а векторы с пятью элементами. Пакет *Mathcad* может так интерпретировать уравнение с векторами.

использовать – она вернет не решение задачи (корень системы – вектор с тремя численными значениями – см. рис. 3), а сообщение об ошибке: «Решение не найдено». Для таких случаев в пакете *Mathcad* предусмотрена функция *MinErr* (минимальная ошибка). Ее также можно применить для решения систем уравнений, но в случае отсутствия решения (а это наш случай на рис. 5) функция *MinErr* возвращает не сообщение об ошибке, а значения своих аргументов, которые наиболее близки к решению – дают минимальную ошибку, минимальное отклонение левых и правых частей уравнений (неувязка системы уравнений).

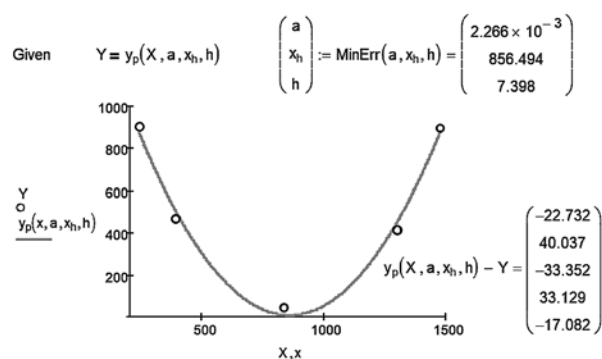


Рис. 5. Парабола проходит вблизи пяти точек

Но опять же наша новая парабола, параметры которой ненамного отличаются от параметров первой параболы, прошла не через точки, а вблизи них, что заметно и на графике, и по числам, показанным правее него.

Через точки, расположенные на цепи, нужно проводить не параболу, а линию, которая так и называется – *цепная* линия, которую открыли три вышеупомянутые великие математика. Ее каноническая формула имеет один аргумент  $x$  и один параметр  $a$ :  $a \cdot \cosh(x/a)$ . В этой формуле задействован гиперболический косинус  $\cosh$ . Что это за функция? Есть такое ред-

кое животное *овцебык*. С овцой его роднит густая шерсть, а с быком – размеры. Гиперболический косинус перенял от отдельной ветви гиперболы свою «провисающую» форму или форму арки. Но не от традиционной «школьной» гиперболы  $y = 1/x$ , а от «школьной» гиперболы, повернутой на  $90^\circ$ . Косинусом же функция  $\cosh$  называется и потому, что она подобно обычному косинусу имеет первую производную, равную синусу, гиперболическому синусу  $\sinh$  [2], но без смены знака. В свою очередь производная гиперболического синуса равна гиперболическому косинусу. Гиперболический косинус – это  $(e^x + e^{-x})/2$ , где  $e$  – это основание натурального логарифма. Гиперболический же синус – это  $(e^x - e^{-x})/2$ . Правда, гиперболические функции, в отличие от своих тригонометрических «тезок», периода не имеют. «Период» имеет цепь, подвешенная на ряд столбиков – на ограду памятника, например.

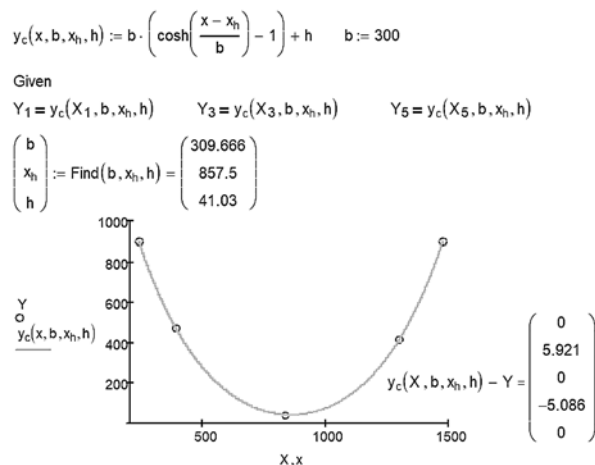


Рис. 6. Цепная линия проходит точно через пять точек

В решении на рисунке 6 мы задействовали не каноническое уравнение цепной линии, а уравнение, где присутствуют параметры  $b$ ,  $x_h$  и  $h$ , фиксирующие минимум цепной функции, когда она отображает провисающую цепь ( $b > 0$ ), или максимум

цепной функции, когда она отображает арку в виде цепи ( $b < 0$ ). Имя параметра  $a$  заменено на  $b$ , чтобы не было путаницы с параболой.

Из рисунка 6 видно, что если в нашей задаче параболу заменить на цепную линию, то кривая *точно* пройдет через все пять точек провисающей цепи! Вернее, почти точно: тут нужно учитывать погрешности, связанные с не совсем точным ручным определением координат цепи (рис. 1) и с возможными искажениями при ее фотографировании.

Само же уравнение цепной линии получается в результате решения дифференциального уравнения, описывающего баланс сил, действующих на элементарный участок цепи: силы, растягивающие (провисающая цепь) или сжимающие его (арка в виде цепи), уравниваются весом самого этого участка. Вывод уравнения цепной линии можно найти здесь [3].

Векторы  $X$  и  $Y$  можно дополнить новыми элементами, значения которых снимаются так, как показано на рисунке 1. Все эти новые точки должны точно лечь на кривую цепной функции, показанную на рисунке 6. Вернее, почти точно – с учетом вышеописанных погрешностей.

## 2. Цепные весы.

На рисунке 7 показано изображение провисающей цепи, снятой на фоне миллиметровой бумаги. К цепи подвешена гирька массой 10 г. Требуется определить (оценить) длину цепи и ее массу, сняв и обработав ее дискретные координаты. *Примечание.* Фотография цепи выглядит не совсем горизонтальной из-за не совсем горизонтального положения фотоаппарата (смартфона) при съемке. Но линии на миллиметровке вполне горизонтальные и вертикальные, что очень важно для нашего эксперимента. Положение бумаги проверялось уровнем, который встроен в смартфон.

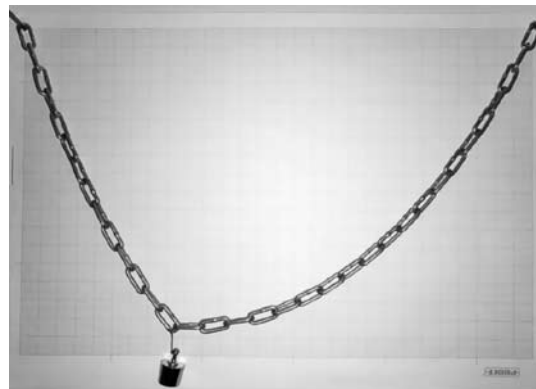


Рис. 7. Фотография цепи с грузом на фоне миллиметровой бумаги

На рисунке 8 показан *Mathcad*-документ с расчетом параметров двух отрезков цепной линии справа и слева от грузика. Координаты отдельных точек цепи хранятся в четырех векторах  $X_1 - Y_1$  и  $X_2 - Y_2$ . Здесь индексы 1 и 2 не фиксируют номера элементов в векторе, как это показано на рисунке 3, а являются просто текстовыми индексами – частью имени переменной, сдвинутой вниз. Векторы  $X_1 - Y_1$  и  $X_2 - Y_2$  хранят величины не в пикселах, а в единицах длины – в сантиметрах, снятых непосредственно с миллиметровки. Вследствие этого найденные параметры двух участков цепной линии  $b_1, xh_1, h_1, b_2, xh_2$  и  $h_2$  стали также размерными.

Функция *MinErr* в паре с ключевым словом *Given* помогла нам определить параметры  $b_1, xh_1, h_1, b_2, xh_2$  и  $h_2$  для цепной функции и построить соответствующие линии, проходящие через точки на рисунке 8.

На рисунке 9 показан расчет линейной массы цепи, к которой подвешена десятиграммовая гирька. Задача сводится к решению системы четырех алгебраических уравнений, описывающих следующие моменты.

Сумма вертикальных проекций сил, удерживающих цепь с гирькой в точках



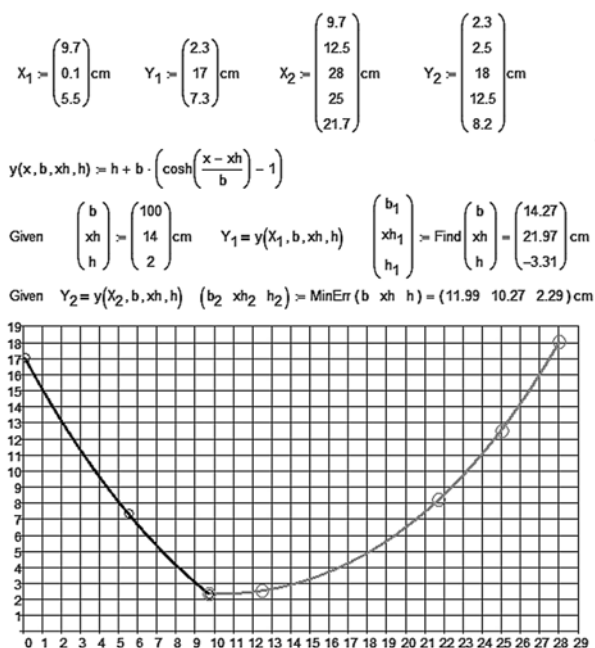


Рис. 8. Геометрия провисающей цепи с грузиком

крепления ( $F_{y1}$  и  $F_{y2}$ ), равна весу цепи и весу гирьки. Масса цепи – это произведение искомой линейной массы цепи  $g_c$  на ее длину  $S$ . Длина цепи определяется по известной формуле с интегралом, где фигурирует первая производная цепной линии  $y'$ , вид которой задан первым оператором на рисунке 9. В этой формуле фигурирует уже упоминавшийся нами гиперболический синус  $\sinh$ . Горизонтальные проекции сил, удерживающих цепь с гирькой в точках крепления ( $F_x$ ), равны друг другу.

В левой точке подвеса цепи отношение силы  $F_{y1}$  к силе  $F_x$  равно косинусу угла, с которым цепь крепится к опоре, т.е. значению производной цепной функции в этой точке.

Вышеупомянутое равенство относится и к правой точке опоры цепи.

В точке крепления гирьки ее вес ( $Gg$  – произведение массы гирьки на ускорение свободного падения) уравновешивается двумя силами, направленными по

касательным к двум частям цепи в этой точке.

Функция *Find* в паре с ключевым словом *Given* на рисунке 9 находит значения четырех неизвестных  $g_c$ ,  $F_x$ ,  $F_{y1}$  и  $F_{y2}$ , превращающих четыре вышеописанные уравнения в тождества.

Расчет, показанный на рисунке 9, выдал ответ – линейная масса цепи, к которой подвешена гирька массой 10 г, равна 70.064 граммов на метр. На рисунках 10 и 11 показано, как эта величина проверена с помощью взвешивания цепи, снятой с миллиметровки, и измерения ее длины. Ответ: 110.02 г / 156.9 см = 70.12 г/см. Сравнение этих двух чисел (70.12 и 70.064) говорит о хорошей сходимости результата нашего эксперимента на стыке физики, математики и информатики.

Задачу на рисунке 9 можно слегка видоизменить – задать линейную массу цепи и определить массу груза, к ней подвешенного. Так мы смоделируем некие *цепные весы*, озаглавившие данную часть статьи.

### 3. Канатная дорога.

Выкладки, приведенные выше, позволяют нам сделать расчет и анимацию канатной подвесной дороги.

**Задача.** Берется абсолютно гибкий и нерастяжимый трос длиной 46.6 см и с линейной массой 70 г/см, концы которого подвешиваются на высотах 17 и 18 см. Расстояние между точками подвеса троса по горизонтали 28 см. На тросе на расстоянии  $x_0$  от левой опоры подвешивается груз массой 10 г (рис. 7 и 8). Спрашивается, как провиснет трос (какова будет его форма) и какие силы будут растягивать трос в точках его крепления при изменении расстояния  $x_0$  от нуля до 28 см. Примерно такую задачу (но не с сантиметрами и граммами, а с метрами и тоннами) решают инженеры при про-

$$y(x, b, xh) = \sinh\left(\frac{x - xh}{b}\right)$$

$$x_0 = \max(X_1) \quad L = \max(X_2) - \min(X_1) = 27.9 \text{ cm}$$

$$S = \int_{\min(X_1)}^{x_0} \sqrt{1 + (y'(x, b_1, xh_1))^2} dx + \int_{x_0}^L \sqrt{1 + (y'(x, b_2, xh_2))^2} dx = 43.031 \text{ cm}$$

Первое предположение

$$g_c := 100 \frac{\text{gm}}{\text{m}} \quad F_{1y} := \frac{g \cdot (G + S \cdot g_c)}{2} \quad F_{2y} := F_{1y} \quad F_x := F_{1y}$$

Given

$$F_{1y} + F_{2y} = (G + S \cdot g_c) \cdot g$$

$$\frac{F_{2y}}{F_x} = y'(X_{2_6}, a2, xh2) \quad \text{Левая точка}$$

$$g \cdot G = F_x (y'(X_{2_1}, a2, xh2) - y'(X_{1_4}, a1, xh1)) \quad \text{Середина}$$

$$\frac{F_{1y}}{F_x} = -y'(X_{1_1}, a1, xh1) \quad \text{Правая точка}$$

$$\begin{pmatrix} g_c \\ F_x \\ F_{1y} \\ F_{2y} \end{pmatrix} := \text{Find}(g_c, F_x, F_{1y}, F_{2y}) \quad g_c = 70.064 \frac{\text{gm}}{\text{m}}$$

Рис. 9. Расчет линейной массы цепи, к которой подвешен грузик

ектировании подвесной канатной дороги. Решая эту задачу в среде *Mathcad*, можно и нужно сделать анимацию: перемещать груз вдоль цепи, наблюдая, как меняется ее форма.

Ядро решения задачи показано на рисунке 12.

Задачу о подвесной канатной дороге с двумя отрезками цепной линии и грузом



Рис. 10. Определение массы цепи

можно свести к решению системы девяти нелинейных уравнений, четыре из которых учитывают геометрию (1–4), а пять – баланс сил и моментов сил (5–9). Вот эти уравнения.

1. Левая ветвь троса крепится у левого столба и заканчивается в точке подвеса груза.

2. Правая ветвь троса начинается в точке подвеса груза и крепится у правого столба.

3. Две ветви троса пересекаются в точке подвеса груза.

4. Сумма длин двух ветвей (частей) троса остается постоянной и равна заданному значению  $S$ .

5. Сумма вертикальных составляющих реакции опор ( $F_{y1} + F_{y2}$ ) равна сумме силы тяжести троса и силы тяжести подвешенного груза. Сразу отметим, что две горизонтальные составляющие реакции цепи у опор равны ( $F_{x1} = F_{x2} = F_x$ ), так как других горизонтальных сил в системе нет.

6 и 7. Если  $F_{x1} = F_{x2} = F_x$  и известны значения производных двух цепных функций в точках опоры, то можно рассчитать значения  $F_{y1}$  и  $F_{y2}$ , принимая во внимание, что значение производной — это тангенс угла наклона касательной в данной точке.

8. В точке пересечения двух ветвей



Рис. 11. Определение длины цепи

$$\begin{aligned}
 H_1 &= y(0m, b_1, x_{h1}, h_1) \quad \text{Левая точка - геометрия цепи} \\
 y(x_0, b_1, x_{h1}, h_1) &= y(x_0, b_2, x_{h2}, h_2) \quad \text{Середина - геометрия цепи} \\
 H_2 &= y(L, b_2, x_{h2}, h_2) \quad \text{Правая точка - геометрия цепи} \\
 S &= \int_{0m}^{x_0} \sqrt{1 + (y'(x, b_1, x_{h1}))^2} dx + \int_{x_0}^L \sqrt{1 + (y'(x, b_2, x_{h2}))^2} dx \quad \text{Длина цепи остается постоянной} \\
 F_{y1} + F_{y2} &= g \cdot (G + g_c \cdot S) \quad \text{Баланс вертикальных проекций сил} \\
 F_{y1} &= -y'(0m, b_1, x_{h1}) \cdot F_x \quad \text{Левая точка - баланс сил} \\
 Gg &= F_x(y(x_0, b_2, x_{h2}) - y(x_0, b_1, x_{h1})) \quad \text{Середина - баланс сил} \\
 F_{y2} &= y'(L, b_2, x_{h2}) \cdot F_x \quad \text{Правая точка - баланс сил} \\
 F_{y1}x_0 + F_x(H_2 - y(x_0, b_1, x_{h1}, h_1)) + \begin{matrix} M \leftarrow 0 \\ n \leftarrow 1000 \\ \Delta L \leftarrow \frac{L - x_0}{n} \\ \text{for } i \in 1..n \\ | \leftarrow \frac{\Delta L i + \Delta L(i-1)}{2} \\ \Delta m \leftarrow g_c \Delta L \sqrt{1 + (y'(x_0 + 1, b_2, x_{h2}))^2} \\ M \leftarrow M + g \Delta m l \\ M \end{matrix} &= F_{y2}(L - x_0) + F_x(H_1 - y(x_0, b_1, x_{h1}, h_1)) + \begin{matrix} M \leftarrow 0 \\ n \leftarrow 1000 \\ \Delta L \leftarrow \frac{x_0}{n} \\ \text{for } i \in 1..n \\ | \leftarrow \frac{\Delta L i + \Delta L(i-1)}{2} \\ \Delta m \leftarrow g_c \Delta L \sqrt{1 + (y'(x_0 - 1, b_1, x_{h1}))^2} \\ M \leftarrow M + g \Delta m l \\ M \end{matrix} \quad \text{Баланс моментов сил}
 \end{aligned}$$

Рис. 12. Математическая модель подвешенного троса с грузом

троса вес груза уравнивается двумя вертикальными проекциями сил от левой и правой ветвей цепи. В этом уравнении тоже участвуют значения производных, с помощью которых вертикальные составляющие сил выражаются через горизонтальные составляющие.

9. Равенство моментов сил, действующих на систему в точке пересечения ветвей цепи: три силы ( $F_{y1}$ ,  $F_x$  у правой опоры и сила тяжести правой ветви троса) разворачивают систему по часовой стрелке, а три другие силы ( $F_x$  у левой опоры,  $F_{y2}$  и силы тяжести левой ветви троса) разворачивают систему против часовой стрелки. Тут используется программирование: трос разбивается на отдельные маленькие элементы, моменты сил которых суммируются.

На рисунке 13 показаны три кадра анимации, полученные в результате решения задачи о тросе с подвешенным грузом. Сам файл с решением можно скачать с сайтов статьи.

Физический и компьютерный экспери-

мент с цепью (тросом) можно усложнить, если к цепи подвесить несколько грузиков в разных точках цепи. Эту провисающую конструкцию нужно будет также сфотографировать, оцифровать на компьютере, обсчитать и сравнить результаты расчета с фотографией цепи. При этом концы провисающей цепи можно крепить посредством ручных динамометров (безмена), который продается в хозяйственных магазинах. Эти устройства раньше были пружинными, а сейчас стали электронными, что существенно повысило их точность. В нашем эксперименте динамометры покажут, какие силы действуют на цепь в местах ее крепления.

Эту лабораторную работу можно усложнить в таких направлениях.

1. Скачать *Mathcad*-файл с решением задачи, показанной на рисунке 7, и усложнить ее, подвесив к цепи не один груз, а несколько, приблизившись тем самым к решению задачи о цепном висячем (вантовом) мосте.

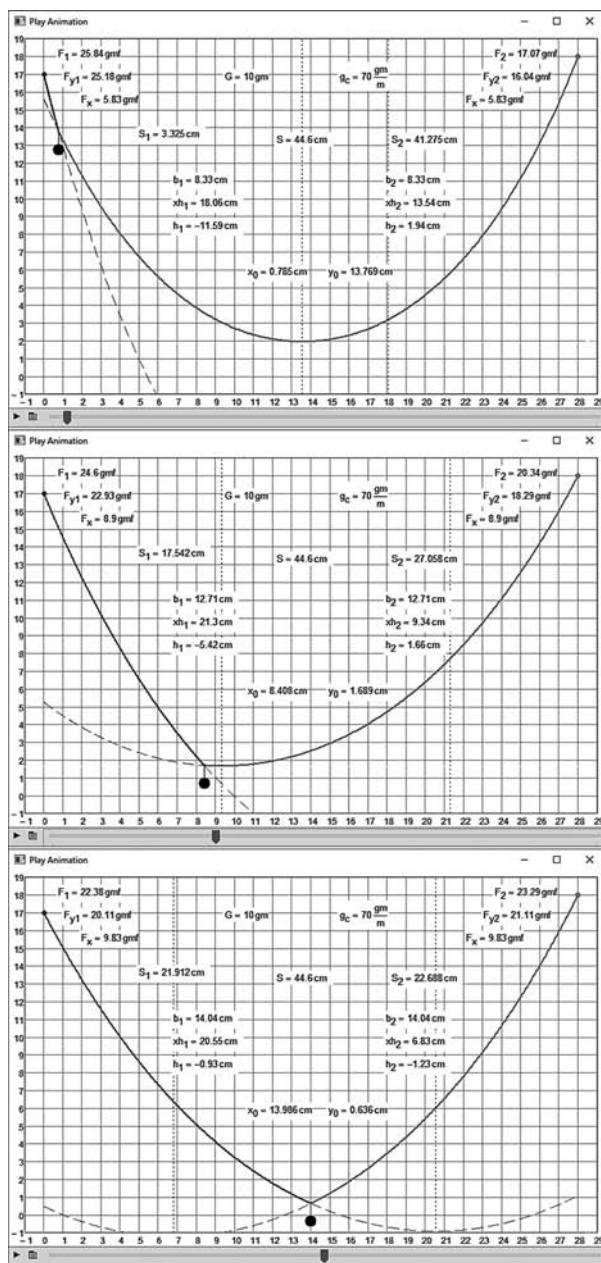


Рис. 13. Кадры анимации провисающего троса цепи с грузом. Второй (центральный) кадр фиксирует положение цепи и гирьки, показанные на рис. 7 и 8

2. Оттянуть груз, показанный на рисунке 7, влево или вправо и смоделировать качание такого маятника. Тут при-

дется решать не только алгебраические, но и дифференциальные уравнения.

3. Смоделировать движение грузов на цепи (материальных точек) при обрыве цепи. Тут получится классический одиночный или множественный маятник.

Подход к решению этих задач дан в [5]. Такие эксперименты можно проводить не только на компьютере, но и реально, раскачивая подвешенную цепь и фиксируя ее движение видеосъемкой.

## Литература

1. *Очков В.Ф., Цуриков Г.Н., Чудова Ю.В.* Осторожно: цепная функция // Информатика в школе. 2017. № 4. С. 58-62. (<http://twt.mpei.ac.ru/ochkov/Chain.pdf>)
2. *Янпольский А.Р.* Гиперболические функции. Избранные главы высшей математики для инженеров и студентов вузов. М.: Физматлит, 1960. <https://books.google.ru/books?isbn=545825953X>
3. *Меркин Д.Е.* Введение в механику гибкой нити. М.: Физматлитиздат, 1980. [http://know.alnam.ru/book\\_gth.php?id=10](http://know.alnam.ru/book_gth.php?id=10)
4. *Очков В.Ф., Богомолова Е.П., Иванов Д.А.* Физико-математические этюды с Mathcad и Интернет. М.: Лань, 2016 (этюды 7 «Цепная функция или пятый элемент»).
5. *Очков В.Ф., Ленер Ф., Чудова Ю.В., Капитонец В.К., Тараканова Д.Ю.* Физика vs информатика: веревочный многоугольник с гирьками в статике, кинематике и динамике Или Ньютон vs Лагранж // Cloud of Science. 2017. Т. 4. № 2. С. 147-180 (<http://twt.mpei.ac.ru/ochkov/Polygon.pdf>)

Сайты статьи с «исходниками» и анимациями:

1. <https://community.ptc.com/t5/PTC-Mathcad-Questions/Catenary-Physic-Math-IT/m-p/494899>
2. <https://community.ptc.com/t5/PTC-Mathcad-Questions/Find-and-an-array-as-argument/m-p/497397>

## СОЗДАНИЕ СЕЙСМОГРАФА В ДОМАШНИХ УСЛОВИЯХ И ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

**Д.М. Круть,**  
ученица 9 класса, ГБОУ  
Лицей № 1580, Москва  
Научный руководитель:  
Ю.В. Казакова, к.п.н., учитель  
физики ГБОУ Лицей № 1580,  
Москва



В статье описан самодельный сейсмограф и некоторые эксперименты, которые можно провести с ним в школе и дома

Сложно себе представить, но ежегодно на нашей планете происходит около миллиона землетрясений! Разумеется, в основном это слабые подземные толчки. Землетрясения разрушительной силы случаются значительно реже: в среднем, раз в две недели. К счастью, большинство из них происходят на дне океанов и не приносят никаких неприятностей человечеству, если только в результате сейсмических смещений не возникает цунами.

О катастрофических последствиях землетрясений знает каждый: тектоническая активность пробуждает вулканы, гигантские приливные волны смывают в океан целые города, разломы и оползни разрушают строения, вызывают пожары и наводнения и уносят сотни и тысячи человеческих жизней. Поэтому люди во все времена стремились изучить землетрясения и предотвратить их последствия.

Первая известная попытка изготовить прибор, предсказывающий землетрясения, принадлежит китайскому философу и астроному Чжан Хэну. Чжан Хэн изобрел устройство, которому дал имя Хоуфэн «флюгер землетрясений» (рис. 1). Оно могло фиксировать колебания земной поверхности и направление их распро-

странения. Хоуфэн и стал первым в мире сейсмографом.

Сейсмограф (от др.-греч. σεισμός – землетрясение и др.-греч. γράφο – записывать), или сейсмометр, – измерительный прибор, который используется в сейсмологии для обнаружения и регистрации всех



Рис. 1. Сейсмоскоп Чжан Хэна

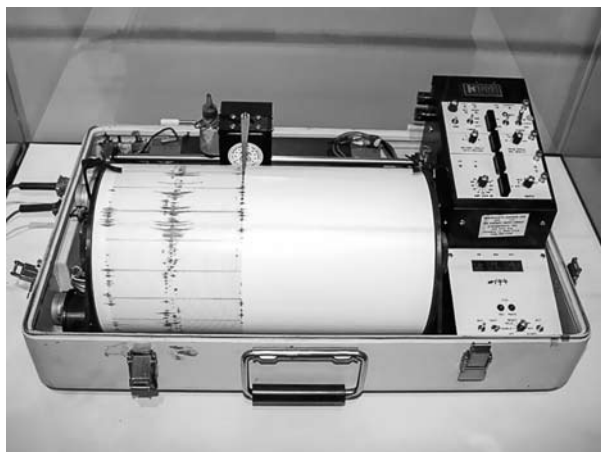


Рис. 2. Барабанный сейсмограф

типов сейсмических волн. Это прибор для определения силы и направления землетрясения.

**Цель работы:** изучить возможность создания сейсмографа в домашних условиях для обнаружения и регистрации механических колебаний различного происхождения.

#### Задачи исследования

1. Изучить конструкции самодельных сейсмографов.
2. Собрать вертикальный механический сейсмограф.
3. Повести регистрацию колебаний при помощи сейсмографа.
4. Провести анализ сейсмограмм.

#### Методы исследования:

1. Поиск и анализ информации по данной теме в разных источниках.
2. Посещение геологического музея им. В.И. Вернадского в Москве и изучение работы сейсмографа.
3. Конструирование.
4. Проведение экспериментов.

### 1. Устройство механического сейсмографа

В сейсмологии в зависимости от решаемых задач используются различные виды сейсмографов: механический, оптический или электрический с различными видами усилений и методами обработки сигнала (рис. 3).

В зависимости от направления регистрируемых колебаний сейсмографы подразделяются на вертикальные и горизонтальные.

В природе не существует сугубо горизонтальных или вертикальных колебаний. К сожалению, механический сейсмограф не может регистрировать оба вида колебаний одновременно, поэтому обычно их используют совместно.

Для нашего проекта нами был выбран механический сейсмограф, так как он наиболее прост в сборке и поэтому доступен для изготовления в условиях школы и дома.



Рис. 3

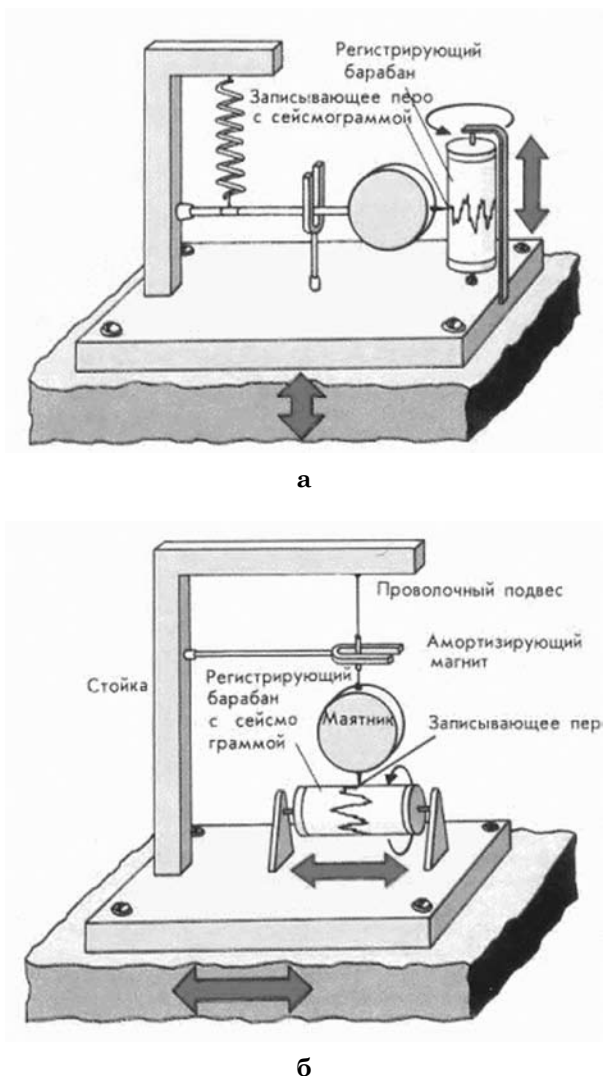


Рис. 4. Модели механических сейсмографов

Наш будущий прибор будет регистрировать вертикальные колебания, так как их проще воссоздать в лабораторных условиях. В повседневной жизни вертикальная составляющая колебаний, как правило, имеет большие амплитуды. Кроме того, именно вертикальные колебания почвы несут основные разрушения.

Конструкция вертикального сейсмографа, как правило, включает чувствительный элемент (обычно маятник и демпфер) и са-



Рис. 5

мописец. Основание сейсмографа жестко связано с исследуемым объектом, при колебаниях которого возникает движение груза относительно основания. Полученный сигнал записывается в аналоговой форме на самописцах механического типа.

## 2. Изучение литературы и действующих моделей

Чтобы больше узнать о конструкциях сейсмографов, я отправилась в музей геологии им. В.И. Вернадского, в котором находится единственная работающая общедоступная модель сейсмографа. Представленный в этом музее сверхчувствительный сейсмограф – вертикальный, имеет принцип работы механического сейсмографа и электронную оцифровку полученного результата.

Также я изучила отрывки из книги William H.K. Lee – «International Handbook of Earthquake & Engineering Seismology». Книга помогла лучше продумать устройство будущего прибора (рис. 6).

## 3. Схема и сборка сейсмографа

В итоге, я составила схему установки (см. рис. 8).

Наш сейсмограф будет иметь две рабочие плоскости, располагающиеся относительно друг друга в виде буквы «Г».

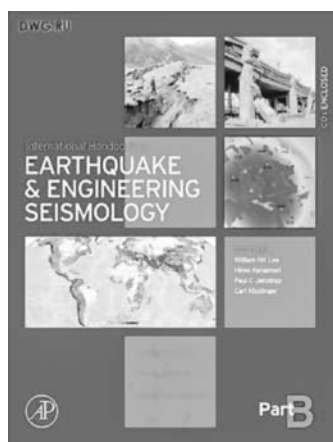


Рис. 6

В сборке будущего сейсмографа мы будем использовать следующие элементы.

— Различные скобяные изделия для создания основания.

— Три пружины, соединенные последовательно (для уменьшения коэффициента упругости). Позже были заменены чуть более мягкой пружиной для увеличения чувствительности.

— Петля, присоединенная к легкому алюминиевому пруту (так как настоящего демпфера найти не удалось).

— Бумажная лента.

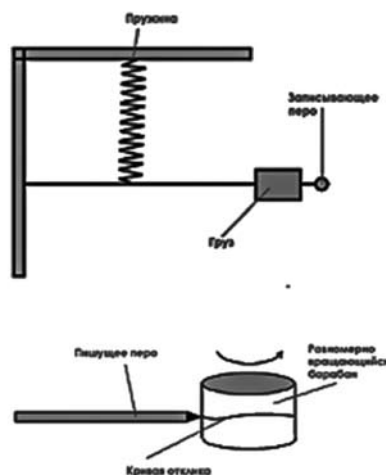


Рис. 7

— Лайнер, который при движении бумажной ленты составляет с бумагой минимальное трение.

— Установка из равномерно вращающегося барабана, приводимого в движение небольшим мотором, и блока питания для мотора.

#### 4. Как работать с полученными сейсмограммами?

Теперь, когда сейсмограф собран, нужно научиться обрабатывать его показания,

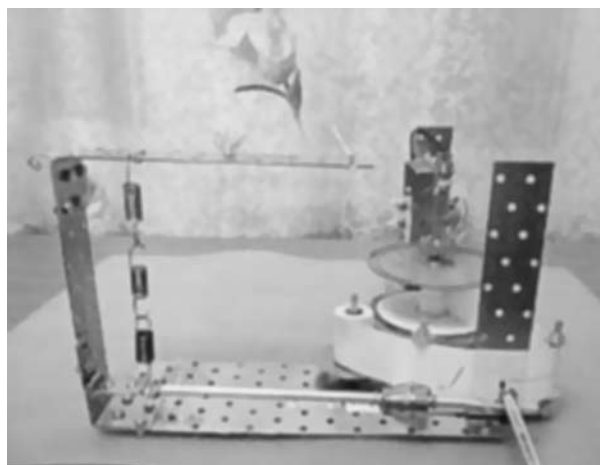


Рис. 8. Фотографии готового сейсмографа



чтобы выявлять опасные колебания. Усиление данного сейсмографа – 2. Это значит, что каждые 2 миллиметра высоты первого отклонения кривой сейсмограммы соответствуют 1 миллиметру смещения поверхности, колебания которой фиксирует сейсмограф. Усиление сигнала было необходимо для увеличения чувствительности прибора.

Для определения силы землетрясения в баллах по шкале Меркалли, которая используется по всему миру, необходимо сначала вычислить сдвиг поверхности, разделив высоту максимального отклонения кривой сейсмограммы на 1,5. Затем полученное значение подставить в рабочую таблицу, составленную институтом физики земли РАН (см. Приложение 1).

Зная количество баллов по шкале Меркалли, мы можем узнать количество баллов по шкале Рихтера с помощью таблиц соответствия (см. Приложение 2).

Также, используя таблицы соответствия, можно примерно вычислить максимальное ускорение, которое приобретает почва во время колебаний и высвобождающуюся энергию (применимо только для колебаний земли).

## Экспериментальная часть

### 1. Изучение колебаний, вызываемых работой стиральной машины

*Цель эксперимента:* зафиксировать колебания и оценить их интенсивность по шкале Меркалли.

*Ход эксперимента*

Сейсмограф поместили на столе над стиральной машиной, работающей на максимальных оборотах (900 Гц) (рис. 9).

*Результат*

Максимальные колебания, которые возникают при работе стиральной машины, оцениваются в три балла по шкале Меркалли.



Рис. 9

### 2. Изучение колебаний кабины лифта в начале его движения и при торможении

*Цель эксперимента:* изучить интенсивность колебаний, происходящих в кабине лифта.

*Ход эксперимента*

Сейсмограф был установлен в кабине лифта. Показания прибора фиксировались при совершении нескольких поездок в начале движения лифта и при его торможении.

*Результат* эксперимента представлен на рисунках 12 а и б. На сейсмограмме яв-

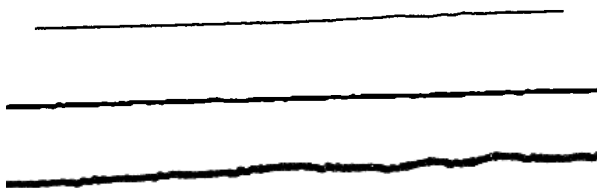


Рис. 10



Рис. 11

но заметны резкие изменения положения пишущего элемента.

### 3. Исследование колебаний лестницы в лицее

Я учусь во втором корпусе лицей № 1580 – в пятиэтажном здании старого образца, построенном еще в прошлом веке. Недавно

на лестницах лицея появилась разметка: она нужна не только для того, чтобы избежать беспорядков, но и для того, чтобы охранять лестницу от обрушения. Я решила провести исследование лестниц, чтобы выявить, какие перемещения по лестнице сильнее всего на нее действуют.

*Цель:* исследовать колебания, которые возникают на лестнице при движении по ней людей, и выработать правила перемещения по лестницам.

#### *Задачи*

Провести эксперименты на первом и четвертом пролете лестницы лицея (самый используемый и самый неиспользуемый пролеты), зарегистрировать колебания лестницы при движении по ней одного, пяти, десяти и двадцати человек шагом и бегом.

#### *Ход эксперимента*

Сейсмограф был установлен на середине лестницы во время движения помощников указанными способами.

Результаты приведены на графиках 13–17.

В процессе исследования выяснилось следующее.

Амплитуда колебаний лестниц возрас-



Рис. 12а

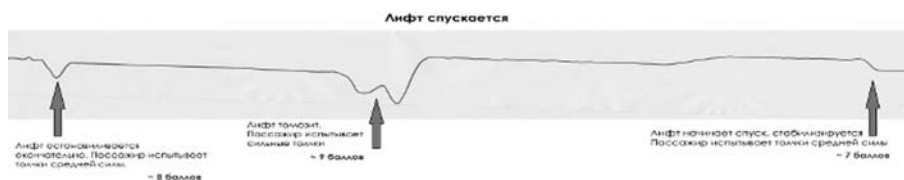


Рис. 12б



Рис. 13. Первый пролет, нижняя часть (соединяющаяся с фундаментом) (по оси Y отложена амплитуда колебаний в мм)

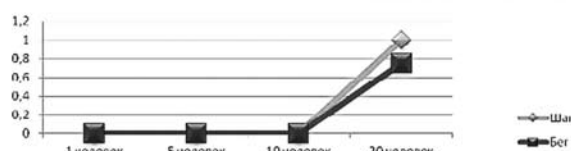


Рис. 14. Первый пролет, верхняя часть (по оси Y отложена амплитуда колебаний в мм)

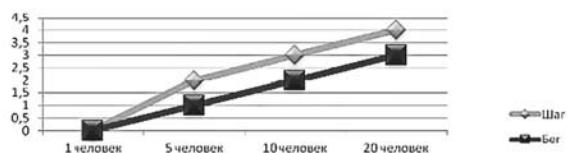


Рис. 15. Расчет баллов по шкале Меркалли

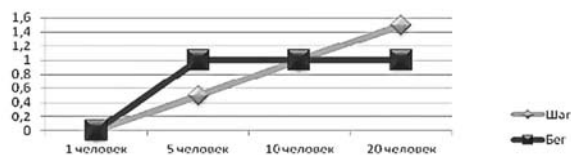


Рис. 16. Четвертый пролет, верхняя часть (по оси Y отложена амплитуда колебаний в мм)

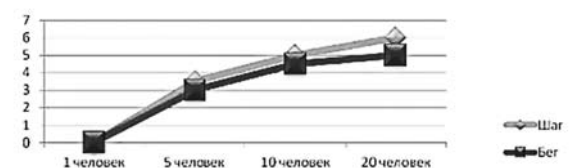


Рис. 17. Расчет баллов по шкале Меркалли

тает с подъемом от первого к пятому этажу. Можно предположить, что на нижнем этаже колебания меньше в результате того, что фундамент здания гасит колебания.

Марши шагом вызывают бóльшие колебания, чем бегом – из-за того, что при марше шагом наблюдается явление резонанса (вспомним известный всем пример о разрушении моста при перемещении строя солдат).

В результате эксперимента, чтобы уменьшить колебания лестницы, можно рекомендовать:

- не ходить маршем (нога в ногу), чтобы не вызывать явления резонанса;
- не ходить более чем по пятнадцать человек одновременно.

## Заключение

1. На основании изученной литературы выбрана как наиболее простая в исполнении модель механического сейсмографа и разработана схема его сборки.

2. Собранный вертикальный механический сейсмограф прошел испытания. С его помощью зарегистрированы колебания столешницы над стиральной машиной, колебания пола в лифте, пола в комнате при прыжках через скакалку и колебания лестничных маршей в здании лицея.

3. Полученные в ходе эксперимента сейсмограммы могут быть использованы для изучения механических колебаний разного происхождения.

**Вывод:** собранный нами в домашних условиях сейсмограф дешев и прост в использовании.

**Область применения:** сейсмограф применим для регистрации механических колебаний различной природы.

**Возможные потребители:** учителя и учащиеся. Сейсмограф пригоден для использования в школьном кабинете физики для проведения исследовательских работ, лабораторного практикума и демон-

страционного эксперимента при изучении темы «Механические колебания» в IX и X классах.

### Источники информации

1. Lee W.H.K. International Handbook of Earthquake & Engineering Seismology.

2. Сейсмограф <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D0%B9%D1%81%D0%BC%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84>

3. Сейсмограф своими руками <http://kazus.ru/forums/showthread.php?t=105275&page=3>

4. Сейсмограф своими руками <http://ou62.omsk.obr55.ru/files/averin/pod2page4.html>

### Приложение 1

#### Сейсмическая шкала Института физики Земли РАН

Балл	Смещение, $x_0$ в мм	Краткая характеристика землетрясения
1	–	Колебания почвы отмечаются приборами
2	–	Колебания почвы ощущаются в отдельных случаях людьми, находящимися в спокойном состоянии
3	–	Колебания почвы отмечаются немногими людьми
4	0,5	Землетрясения отмечаются многими людьми. Возможно колебание окон, дверей
5	0,5 – 1	Качание висячих предметов, скрип полов, дребезжание стекол, осыпание извести
6	1,1 – 2	Легкие повреждения в некоторых зданиях: тонкие трещины в штукатурке, трещины в печах и т.п.
7	2,1 – 4	Значительные повреждения в некоторых зданиях: трещины в штукатурке и откалывание отдельных кусков, тонкие трещины в стенах, повреждение дымовых труб
8	4,1 – 8	Разрушение в некоторых зданиях: большие трещины в стенах, падение карнизов, дымовых труб
9	8,1 – 16	Обвалы в некоторых зданиях, обрушение стен, перекрытий, кровли
10	16,1 – 32	Обвалы во многих зданиях. Трещины в грунтах около 1 м шириной
11	32	Многочисленные трещины на поверхности земли, большие обвалы в горах
12	–	Изменение рельефа в больших размерах

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**  
(обязательное)

**Явления землетрясений по шкалам Рихтера и Меркалли**

Т а б л и ц а В.1

Сила по шкале Рихтера, баллы	Интенсивность по шкале Меркалли, баллы	Воздействие на окружающую среду	Максимальное ускорение, м/с <sup>2</sup>	Свободная энергия, Дж
9	XII	Исключительно катастрофическое: общее разрушение, трещины в скалах, изменение ландшафта, много оползней	15,00	$>10^{17}$
8	XI	Катастрофическое: общее разрушение зданий, рельсы изогнуты, подземные кабели и трубопроводы разрушены	10,00	$5 \cdot 10^{15} + 10^{17}$
	X	Очень разрушительное: разрушение многих зданий, оползни и трещины в земной коре, опасность для дамб и плотин	5,00+10,00	
7	IX	Разрушительное: много зданий сильно повреждено, повреждение фундаментов, разрыв подземных трубопроводов	2,00+5,00	$10^{14} + 5 \cdot 10^{15}$
	VIII	Опасное: паника, общая опасность для зданий, легкие здания частично разрушены	1,00+2,00	$5 \cdot 10^{12} + 10^{14}$
6	VII	Очень сильное: опасность для большинства зданий — дымоходы разрушаются, волны в водоемах, звон церковных колоколов	0,50+1,00	
	VI	Сильное: испуг, в домах падают вещи, ломаются деревья, плохо построенные здания разрушаются	0,20+0,50	$10^{11} + 5 \cdot 10^{12}$
4	V	Довольно сильное: все ощущают, висящие вещи качаются, часы с маятником останавливаются	0,10+0,20	$5 \cdot 10^9 + 10^{11}$
	IV	Несильное: ощущают многие, вибрация как в транспорте, двери и окна дребезжат	0,05+0,10	
3	III	Слабое: только некоторые ощущают, вибрация, как от проходящего транспорта	0,02+0,05	$10^8 + 5 \cdot 10^9$
	II	Очень слабое: чувствуется только при очень хороших условиях	0,01+0,02	$5 \cdot 10^4 + 10^8$
2	I	Регистрируется только сейсмографом	0,01	$<5 \cdot 10^4$
1				

# ФОРМИРОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО ИСПАРЕНИЯ В ВАКУУМЕ



Работа, описываемая в данной статье, была выполнена на кафедре «Электронные технологии в машиностроении» (МТ-11), МГТУ им. Н.Э. Баумана

**В.С. Нехорошева,**

учащаяся 10 класса, ГБОУ Школа № 1862, Москва

Научный руководитель: Ю.В. Казакова, к.п.н., учитель физики, ГБОУ Школа № 1862, Москва

Консультант: С.В. Сидорова, к.т.н., доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении» (МТ-11), МГТУ им. Н. Э. Баумана

Наноструктурированные покрытия – это покрытия толщиной от 1 до 100 нм. Они предназначены для увеличения сроков эксплуатации оборудования нефтегазовой, авиационной, атомной, машиностроительной, металлургической, строительной и других отраслей промышленности. В зависимости от наносимого вещества поверхности приобретают следующие свойства: гидрофобность<sup>1</sup> (коррозионностойкость) –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; износостойкость – Ti и Ni; высокую отражающую способность – Cu.

**Цель работы:** получение наноструктурированных покрытий меди на твер-

<sup>1</sup> Термины «гидрофильность» и «гидрофобность» характеризуют межмолекулярные взаимодействия, возникающие при контакте вещества и воды. В частности, этот термин используется при описании модели клеточной мембраны, которая состоит из липидов с гидрофильной «головкой» и гидрофобным «хвостом». Фактически это описание показывает, что структура становится полярной. Применительно к тексту статьи термин используется, чтобы охарактеризовать покрытие, которое будет минимизировать контакт поверхности с водой и, как следствие, сделает ее более устойчивой к физическому и химическому воздействию окружающей среды (Прим. ред.).

дых подложках методом термического испарения в вакууме и изучение их структуры.

**Предмет исследования:** технологический процесс получения наноструктурированных тонкопленочных покрытий.

**Объект исследования:** образование и структура тонкопленочных покрытий (островковых пленок).

**Задачи:**

— изучить устройство малогабаритной вакуумной установки модульного типа;

— выделить этапы технологического процесса нанесения тонких покрытий методом термического испарения в вакууме;

— изучить физические явления, лежащие в основе метода термического испарения;

— выделить преимущества и недостатки метода термического испарения для нанесения тонких покрытий;

— изучить образование и структуру тонкопленочных покрытий меди.

**Методы исследования:**

1) анализ материалов по данной теме;

2) беседа с сотрудниками кафедры «Электронные технологии в машиностроении» (МТ-11), МГТУ им. Н.Э. Баумана;

3) наблюдение технологического процесса нанесения покрытий методом термического испарения;

4) анализ полученных экспериментальных данных.

### §1. Метод термического испарения

Процесс нанесения тонких пленок в вакууме состоит в создании потока частиц наносимого вещества и последующей их конденсации с образованием тонкопленочных слоев на поверхности подложки. Технологические способы нанесения пленок в вакууме различаются, в основном, по методу формирования этого потока частиц и делятся на термическое испарение и ионное распыление.

Метод термического испарения основан на нагреве вещества до температуры, при которой начинается заметный процесс испарения или возгонки. Температурой испарения принято считать такую температуру, при которой давление паров испаряемого вещества достигает  $10^{-2}$  мм рт. ст. Процессы, реализующие этот метод, можно разделить на три основных подгруппы: с резистивным, электронно-лучевым и индукционным нагревом. Выбор способа нагрева осуществляют в зависимости от характеристик испаряемого материала и требований, предъявляемых к наносимым пленкам.

Метод термического испарения реализуется в глубоком вакууме. Ему присущи большие скорости осаждения (до 200 нм/с), что способствует высокой чистоте пленок, но затрудняет получение сверхтонких пленок (~10 нм). Метод термического испарения позволяет наносить пленки как легкоплавких, так и

тугоплавких материалов. Тугоплавкие материалы получать достаточно сложно, так как трудно подобрать материал для тигля, имеющий еще большую температуру плавления. Кроме того, в силу различий в скоростях испарения компонентов сплавов, метод не обеспечивает воспроизводимости химического состава пленок. Метод термического испарения не может быть применен в среде реактивных газов, таких как кислород, азот и др. Причиной этого является то, что происходит взаимодействие материала тигля (испарителя) с газом. Это приводит к разрушению тигля и внедрению в пленку посторонних примесей.

**Основные этапы метода термического испарения:**

- 1) испарение вещества,
- 2) перенос вещества к подложке,
- 3) конденсирование паров вещества на подложке.

### § 2. Устройство малогабаритной вакуумной установки модульного типа

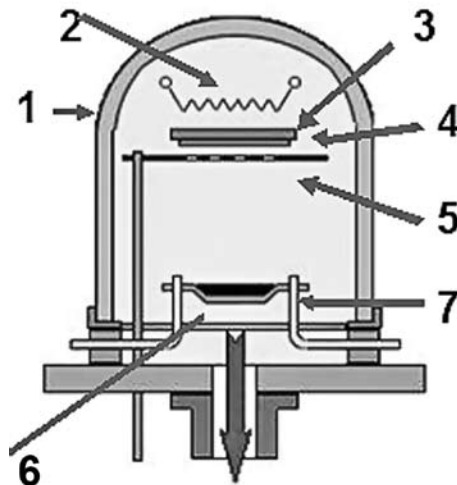


Рис. 1. Схема установки для термического испарения: 1 – колпак, 2 – нагреватель, 3 – подложкодержатель, 4 – подложка, 5 – заслонка, 6 – тигель, 7 – испаритель.



Рис. 2а. Испаритель с тиглем

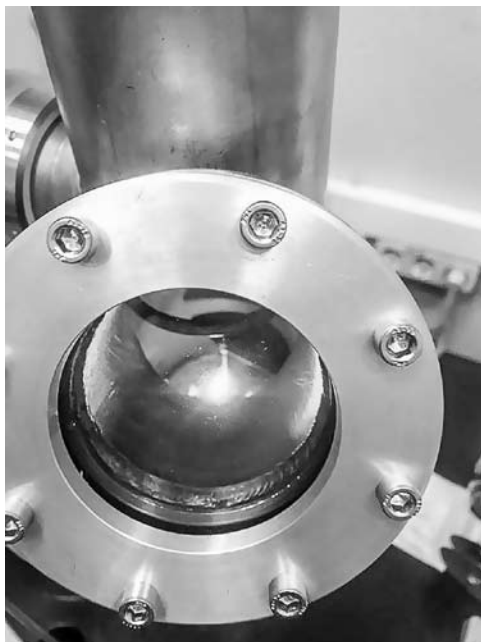


Рис. 2б. Испаритель в рабочем состоянии

### § 3. Этапы нанесения покрытий

1. Установка подложки из керамики, кремния, сапфира или ситалла  $Al_2O_3$  на подложкодержатель.
2. Установка фланца с подложкой в рабочую камеру.
3. Установка в рабочей камере вертикально-проволочного тигля из туго-



Рис. 2в. Фланец с подложкой на подложкодержателе



Рис. 3. Вид малогабаритной вакуумной установки модульного типа, которая состоит из рабочей камеры, системы откачки, системы управления и контроля. Рабочая камера (3) изготовлена из нержавеющей стали и имеет смотровое окно из кварцевого стекла для наблюдения за процессами. Двухступенчатая система откачки включает два насоса: форвакуумный (1) и турбомолекулярный (2). Система управления и контроля включает несколько приборов (4) и монитор (5).



плавкого металла (молибдена) с кусочком медной проволоки.

4. Закрепление фланцев байонетным<sup>2</sup> соединением.

5. Откачка камеры форвакуумным насосом от  $10^5$  Па до  $3 \cdot 10^1$  Па.

6. Откачка камеры турбомолекулярным насосом от  $3 \cdot 10^1$  Па до  $6,3 \cdot 10^{-3}$  Па (рабочее давление).

7. Нанесение медного покрытия.

8. Прекращение процесса.

9. Остановка турбомолекулярного насоса.

10. Остановка форвакуумного насоса.

11. Открытие рабочей камеры и извлечение фланца с образцом.

#### **§ 4. Методика изучения топологии поверхности островковых пленок меди на ситалловой подложке с помощью атомно-силового микроскопа (АСМ)**

Процесс напыления включает следующую последовательность операций.

1. Включить микроскоп и компьютер.

2. Запустить программу.

3. Открыть дверцу АСМ.

4. Установить образец на столик.

5. Вывести головку АСМ.

6. Закрыть дверцу.

7. Сфокусировать лазер на кантилевер<sup>3</sup>.

8. Подвести кантилевер к образцу в полуконтактном режиме.

9. Выбрать область сканирования  $5 \times 5$  мкм<sup>2</sup>.

2 Байонетное соединение – это соединение деталей, при котором происходит сначала их перемещение вдоль оси, а затем поворот одной из них относительно другой.

<sup>3</sup> Кантилевер – микромеханический зонд атомно-силового микроскопа.

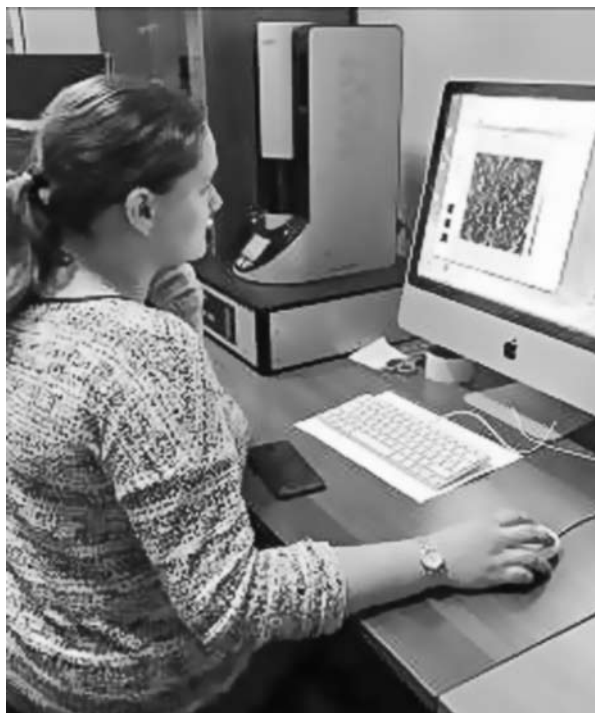


Рис. 4. Работа оператора в процессе напыления пленки

10. Начать сканирование (5-15 мин).

11. Сохранить данные в файл.

12. Открыть окно «дата» и файл эксперимента в этом окне.

13. Выбрать команду Section analysis.

14. Навести масштабный отрезок на измеряемую структуру (островок) и снять размеры по оси X (длина) и Z (высота).

15. Программа строит график (рис. 6), по которому определяется размер островка.

#### **§ 5. Получение островковых тонких пленок (ОТП) меди методом термического испарения при разном расстоянии от испарителя до подложки**

Процесс образования тонкой пленки на подложке при термическом испарении очень интересен. Пленка образуется на

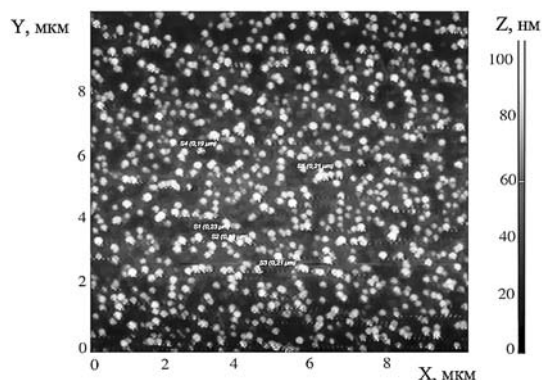


Рис. 5. Вид структуры пленки на мониторе

подложке не равномерно, а небольшими островками, которые постепенно увеличиваются в размерах и «сливаются» друг с другом. Островковая пленка – совокупность не соприкасающихся друг с другом крупинок вещества на твердой подложке.

На рисунке показаны этапы образования и роста тонкой пленки (рис. 7):

1. Образование зародышей.

2. Рост зародышей.

3. Коалесценция – слияние частиц на поверхности тела под действием сил межмолекулярного притяжения, приводящее к образованию островков. Это самопроизвольный процесс, сопровождается уменьшением свободной энергии системы.

4. Образование каналов (при слиянии островков).

5. Образование пор.

В таблице 1 представлены данные о росте островков при температуре подложки  $t = 20^\circ\text{C}$  и разном расстоянии от нагревательного элемента до подложки (25 мм и

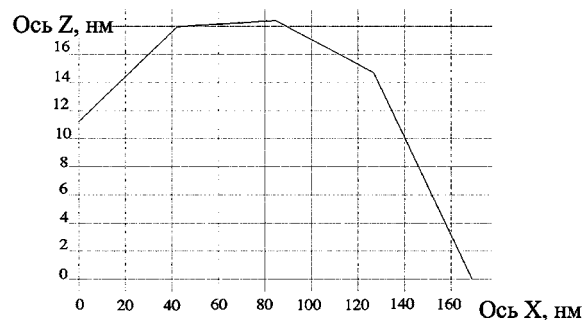


Рис. 6. График, позволяющий определить размер островка

45 мм). По данным таблицы построены графики зависимости размера ОТП от времени для двух процессов, проводимых при разных параметрах (рис. 8 и 9).

**Результаты эксперимента.** Характер наклона зависимости размера ОТП от времени для расстояния 45 мм на всех интервалах практически одинаков, что говорит о более равномерном росте ОТП, более регулярной структуре островков. Однако для более близкого расстояния (25 мм) изменение размера ОТП происходит не так равномерно: до 35 с происходит более плавный рост ОТП, от 40 до 65 с размеры островков быстрее увеличиваются (но их количество на подложке стабилизировано), а после 70 с рост островков продолжается, а количество островков на подложке уменьшается вследствие коалесценции (сливания) и образования каналов. На 2-ом временном промежутке происходит так же многократная коалесценция островков, тогда как на 3-ем промежутке рост «больших» образовавшихся

Таблица 1

Т, К	L, мм	Время [с]													
		20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
293	25	180	180	190	200	380	390	460	510	715	700	820	880	890	855
	45	115	150	150	180	340	360	410	450	510	530	810	850	880	900

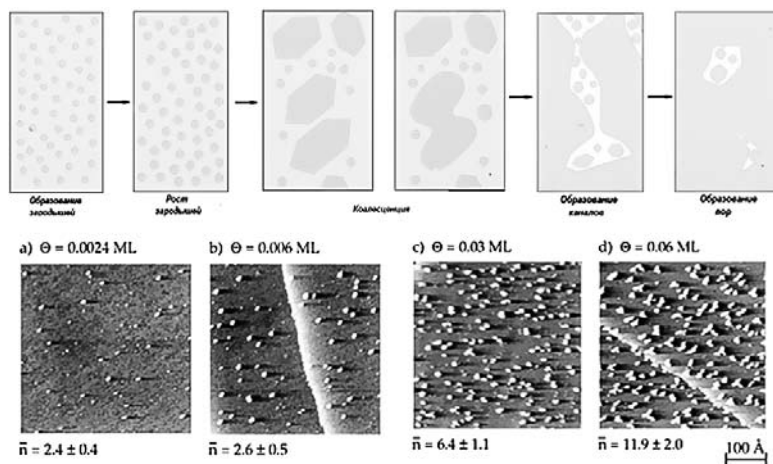


Рис. 7. Этапы образования и роста тонкой пленки

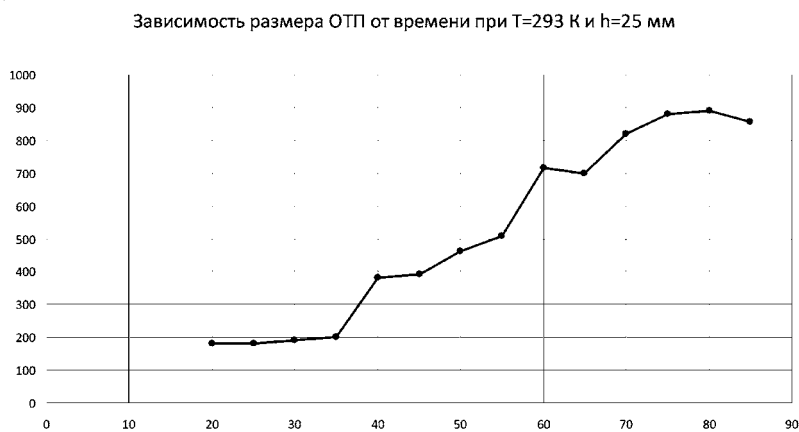


Рис. 8

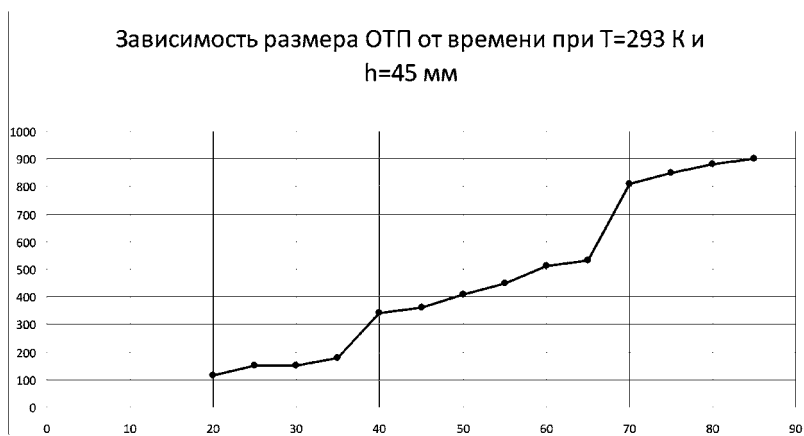


Рис. 9

островков уже не происходит так быстро из-за образования в каналах новых зародышей, которые тоже начинают расти.

### Результаты работы:

1. Описано устройство малогабаритной вакуумной установки модульного типа.

2. Выделено 11 этапов технологического процесса нанесения тонких покрытий методом термического испарения в вакууме.

3. Выделены преимущества и недостатки метода термического испарения для нанесения тонких покрытий.

4. При помощи АСМ изучена структура островковых пленок и процесс их образования.

**Вывод:** осаждение пленок на подложке при термическом испарении происходит

неравномерно и имеет свои закономерности, которые надо учитывать при проведении процесса.

**Дальнейшее развитие работы:** изучение роста островковых структур на нагретой подложке.

### Источники информации

1. *Панфилов Ю.В.* Конспект лекций по курсу «Элионные процессы и нанотехнологии»

2. <http://kirensky.ru/ru/info/study/dop/vak>

3. <https://domashke.net/referati/referaty-po-kommunikacii-i-svyazi/otchet-po-praktike-tehnologicheskie-processy-mikrosborki-plat>

4. <https://www.techeiscatel.ru/index.php/library/lection/180-metody-termicheskogo-ispareniya>



## Российский государственный музей Арктики и Антарктики (РГМАА) в Санкт-Петербурге

Музей быстро получил не только отечественное, но и международное признание. В 1937 г. на Всемирной выставке в Париже его экспонаты были удостоены Почетного диплома. В 1950-х годах начался новый этап в освоении полярных регионов земного шара — планомерное исследование Антарктиды. Коллекцию музея дополнили новые экспонаты из первых советских антарктических экспедиций. В июле 1958 г. музей получил новое название — Музей Арктики и Антарктики.



Через арктические воды проходит Северный Морской Путь, который в условиях потепления климата становится артерией, связывающей Европу и Азию.

Арктика занимает примерно шестую часть поверхности Земли. Две трети арктической территории приходится на Северный Ледовитый океан, самый маленький по размерам океан мира.

В настоящее время разрабатывается программа освоения Арктики. Завершена «уборка» арктических островов, в рамках которой были вывезены десятки тонн металла и прочих отходов, оставшихся в регионе от различных экспедиций и баз.



# ПОДПИСКА 2019 ГОДА

## I полугодие

**Журнал «ФИЗИКА ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ»**

Подписной индекс — 79011

по каталогу «Газеты. Журналы» агентства «Роспечать»

Обращаем ваше внимание на стоимость журнала  
при подписке в Издательстве!

● **Подписка в Издательстве:**

(на сайте [schoolpress.ru](http://schoolpress.ru) скидка 200 руб. с каждого номера)

Цена за 1 номер — **1750 рублей с доставкой по РФ.**

Цена на полугодие (2 номера) — **3500 рублей с доставкой по РФ.**

Доставка по России для физических лиц осуществляется за счет Издательства.

● **Подписка по каталогам:**

Цена за 1 номер — **1950 рублей + стоимость доставки.**

Цена на полугодие (2 номера) — **3900 рублей + стоимость доставки.**

Стоимость доставки вы можете узнать в каталогах  
или в почтовых отделениях связи.

**Подписка на комплект журналов  
«ФИЗИКА В ШКОЛЕ» и «ФИЗИКА ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ» по льготной цене**  
Подписной индекс — 79025  
по каталогу «Газеты. Журналы» агентства «Роспечать»

- «ФИЗИКА В ШКОЛЕ». Издается с 1934 года. Перечень ВАК (4 номера).

- «ФИЗИКА ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ» (2 номера).

Цена комплекта на полугодие в издательстве — **7800 рублей.**

(Доставка за счет Издательства при оформлении на сайте [schoolpress.ru](http://schoolpress.ru))

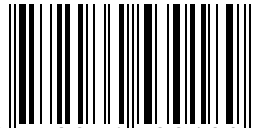
Цена комплекта на полугодие по каталогам — **9000 рублей + стоимость доставки.**

**Подписка на электронные версии печатных журналов  
оформляется только на сайте Издательства [schoolpress.ru](http://schoolpress.ru)**

Скидка на электронные версии печатных журналов  
при подписке в режиме он-лайн на сайте Издательства  
**на 200 руб. меньше за каждый номер!**

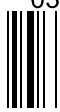
**Доставка журнала: pdf-файл на e-mail подписчика**

ISSN 2074-5303



9 772074 530189

03



Физика для школьников, 2018, № 3, 1–48



Школьная  
Пресса