

## 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.

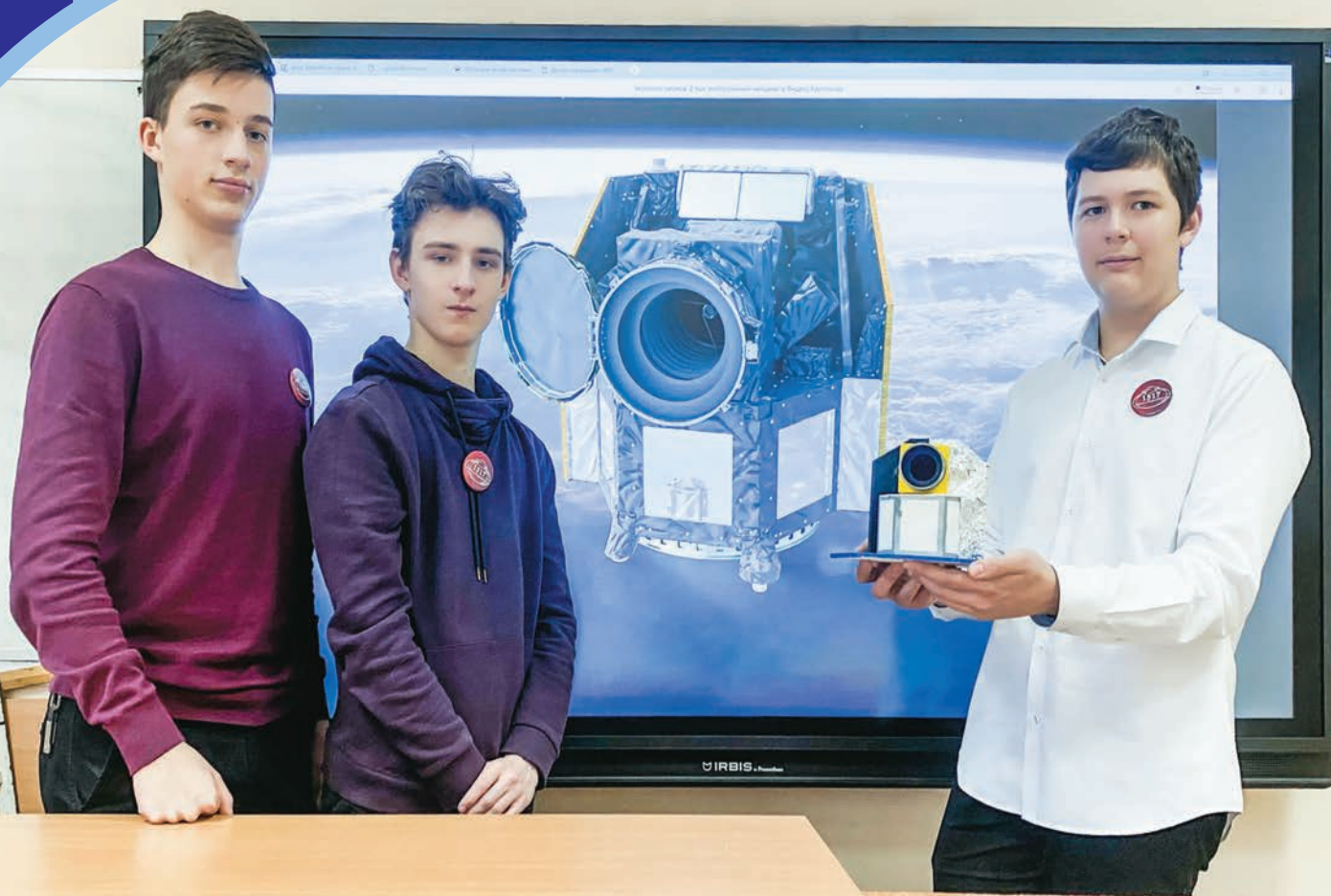


научно-методический журнал

ISSN 0130-5522

1  
2022

# ФИЗИКА В ШКОЛЕ



**Коллайдер LHC — грандиозный инструмент XXI века**

**Деятельность с экспериментальными задачами  
для формирования мышления и мировоззрения**

**Раздел «Астрономия»**

**Астрономический турнир как форма организации  
учебно-исследовательской работы школьников**

**НЕ  
ЗАБУДЬТЕ  
ПОДПИСАТЬСЯ  
НА ЖУРНАЛ  
ПО КАТАЛОГУ  
«ПОЧТА  
РОССИИ»!**

# Космические музеи России

## Музей «Самара космическая» (Самара, пр. Ленина, 21)

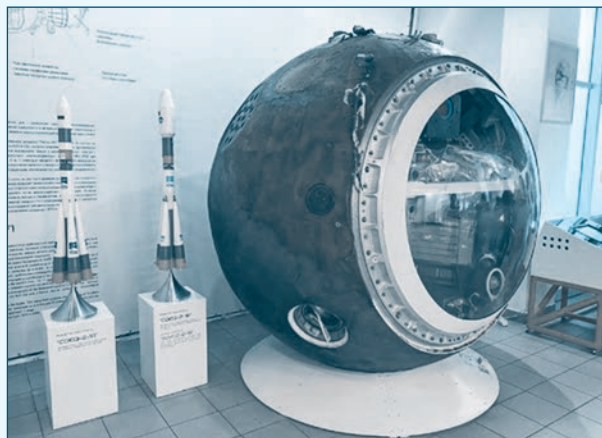
Музейно-выставочный центр «Самара Космическая» был открыт 12 апреля 2007 года. Музейный комплекс создан по проекту архитекторов В.Н. Чичерина, А.Ф. Темникова, В.И. Жукова

Фасад здания музея украшает подлинная ракета — это единственная в Европе вертикально-установленная ракета-носитель «Союз» в собранном виде! Высота ракеты вместе со зданием — почти 55 м.

Ракета-носитель «Союз» музейно-выставочного центра «Самара Космическая» установлен в Самаре на проспекте Ленина в честь юбилея полета Юрия Гагарина



Ракета-носитель «Союз»

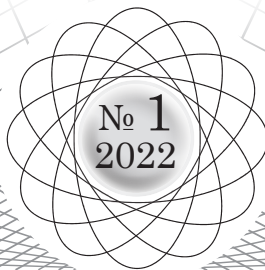


Макет корабля Союз

В музее можно узнать подробности о жизни космонавтов на орбитальной станции: об их работе и отдыхе, питании, особенностях гигиенических процедур, тренировках. Наиболее полезна информация о проводимых космонавтами экспериментах и их результатах



Ложемент космонавта



# ФИЗИКА В ШКОЛЕ

Образован в 1934 году Наркомпросом РСФСР. Учредитель — ООО «Школьная Пресса». Журнал выходит 8 раз в год

## ДОСТИЖЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ

- ▶ **Л.Н. Смирнова, В.В. Кудрявцев**  
Коллайдер LHC — грандиозный инструмент XXI века . . . . . 3

## МЕТОДИКА. ОБМЕН ОПЫТОМ

- ▶ **Г.Г. Никифоров, Ю.А. Сауров**  
Деятельность с экспериментальными задачами  
для формирования мышления и мировоззрения . . . . . 13
- ▶ **А.А. Белоусов**  
Роль измерений на практических занятиях по естествознанию . . . . . 21

## Информационные технологии

- ▶ **В.Ф. Очков**  
Комета 1812 года: проверим алгеброй гармонию . . . . . 26

## ЭКСПЕРИМЕНТ

- ▶ **С.П. Жакин, И.Н. Рогова**  
Прибор для изучения законов динамики вращательного движения  
твёрдых тел . . . . . 33
- ▶ **А.Ю. Милинский, С.В. Барышников**  
Творческий подход к проведению физического эксперимента  
на примере изучения закона сохранения энергии при ударе. . . . . 40
- ▶ **Т.Ю. Мартеньянова**  
Экспериментальный подход к изучению числа Пифагора  
в контексте научно-практического образования школьников . . . . . 44

## ЗАДАЧИ И ВОПРОСЫ

- ▶ **Л.Б. Лозовская, О.А. Морозов**  
К вопросу о решении задач на мостовые схемы  
по теме «Постоянный электрический ток» . . . . . 51

## АСТРОНОМИЯ

- **Н.Е. Шатовская, Р.Р. Акметдинов**  
Астрономический турнир как форма организации  
учебно-исследовательской работы школьников . . . . . 56

## Нам пишут

- **Д.Д. Михалицын**  
Индуктивность в цепи переменного тока . . . . . 63

Журнал рекомендован Высшей аттестационной комиссией (ВАК) Министерства образования и науки Российской Федерации  
в перечне ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы  
основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.  
Журнал зарегистрирован в базе данных Российского индекса научного цитирования.  
Распространяется в печатном и электронном виде.

Главный редактор **Е.Б. Петрова**, д.п.н., доцент / **Petrova, E.B.** DrSci in Education, Associate Professor  
Редактор **Э.М. Браверман**, к.п.н. / **Braverman, E.M.** PhD in Education  
Зав. редакцией **Е.Б. Перская** / **Perskaya, E.B.**

### Состав редколлегии

<b>Демидова М.Ю.</b> , д.п.н., доцент	<b>Demidova M.Yu.</b> , DrSci in Education, Associate Professor
<b>Засов А.В.</b> , д.ф.-м.н., академик МАН, профессор	<b>Zasov A.V.</b> , DrSci of Physics and Mathematics, Academician of the MAS, Professor
<b>Королев М.Ю.</b> , д.п.н., к.ф.-м.н., доцент	<b>Korolev M.Yu.</b> , DrSci in Education, PhD of Physics and Mathematics, Associate Professor
<b>Майер В.В.</b> , д.п.н., профессор	<b>Mayer V.V.</b> , DrSci in Education, Professor
<b>Наумов А.В.</b> , д.ф.-м.н., доцент, профессор РАН	<b>Naumov A.V.</b> , DrSci of Physics and Mathematics, Professor Russian Academy of Sciences
<b>Никифоров Г.Г.</b> , к.п.н., ведущий научный сотрудник	<b>Nikiforov G.G.</b> , PhD in Education, Leading researcher
<b>Пентин А.Ю.</b> , к.ф.-м.н.	<b>Pentin A.Yu.</b> , PhD of Physics and Mathematics
<b>Плахотник Т.В.</b> , к.ф.-м.н., приват доцент, школа математики и физики университета Квинсленда, Австралия	<b>Plakhotnik T.V.</b> , PhD of Physics and Mathematics, privat-docent, school of mathematics and physics, University of Queensland, Australia
<b>Сауров Ю.А.</b> , д.п.н., профессор, член-корреспондент РАО	<b>Saurov Yu.A.</b> , DrSci in Education, Professor, Associate member RAE
<b>Ханнанов Н.К.</b> , к.х.н.	<b>Khannanov N.K.</b> , PhD in chemical Sciences
<b>Царьков И.С.</b> , к.т.н., зам. директора	<b>Tsarkov I.S.</b> , PhD in Technology, associate Director
<b>Чулкова Г.М.</b> , д.ф.-м.н., доцент	<b>Chulkova G.M.</b> , DrSci of Physics and Mathematics, Associate Professor

### ООО «Школьная Пресса»

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

Тел.: 8 (495) 619-52-87, 619-52-89.

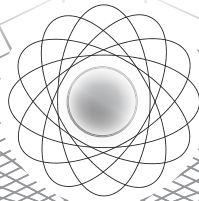
Интернет [http:// www.школьнаяпресса.рф](http://www.школьнаяпресса.рф) E-mail: [fizika@schoolpress.ru](mailto:fizika@schoolpress.ru)

Формат 84×108/16. Усл. п. л. 4,0. Изд. № 3622. Заказ

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия, свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-38550 от 21.12.09.

Издание охраняется Гражданским кодексом РФ (часть 4). Любое воспроизведение материалов, размещенных в журнале, как на бумажном носителе, так и в виде ксерокопирования, сканирования, записи в память ЭВМ, и размещение в Интернете запрещается.

Отпечатано в АО «ИПК «Чувашия», 428019, г. Чебоксары, пр. И. Яковлева, д. 13.



## ДОСТИЖЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ

# КОЛЛАЙДЕР LHC — ГРАНДИОЗНЫЙ ИНСТРУМЕНТ XXI ВЕКА

<b>Л.Н. Смирнова</b> , д.ф.-м.н., профессор, МГУ, участник эксперимента ATLAS и открытия бозона Хиггса, Москва; lidia.smirnova@cern.ch	<b>L.N. Smirnova</b> , DrSci (Physics and Mathematics), Professor, MSU, participant in the ATLAS experiment and the discovery of the Higgs boson, Moscow; lidia.smirnova@cern.ch
<b>В.В. Кудрявцев</b> , д.ф.-м.н., профессор, МПГУ, Москва; kudV-V@yandex.ru	<b>V.V. Kudryavtsev</b> , DrSci (Physics and Mathematics), Professor, MPSU, Moscow; kudV-V@yandex.ru
<b>Ключевые слова:</b> ускоритель заряженных частиц, коллайдер, Большой адронный коллайдер (БАК), эксперименты ATLAS, CMS, ALICE, LHCb, бозон Хиггса	<b>Keywords:</b> particle accelerator, collider, Large Hadron Collider (LHC), experiments ATLAS, CMS, ALICE, LHCb, Higgs boson
Приведена краткая хронология создания ускорителей заряженных частиц и коллайдеров. Рассмотрены ускорительный комплекс, основные детекторные установки и системы Большого адронного коллайдера (БАК). Описаны обработка сигналов детекторов БАК и направления дальнейшего развития этого коллайдера	A brief chronology of the creation of particle accelerators and colliders is presented. The accelerator complex, the main detector installations and systems of the Large Hadron Collider (LHC) are considered. The processing of signals from the LHC detectors and the directions of further development of this collider are described
<b>DOI 10.47639/0130-5522_2022_1_3</b>	

### Что такое ускорители заряженных частиц

До появления ускорителей заряженных частиц мир элементарных частиц исследовался с помощью радиоактивных источников и космических лучей. Космические лучи представляют собой поток заряженных частиц, ускоренных в космическом пространстве. Энергии этих частиц имеют очень широкий диапазон, — предельные значения существенно превышают те, которые достигнуты на ускорителях и коллайдерах.

Поток заряженных частиц из космоса взаимодействует с частицами в верхних слоях атмосферы Земли, подобно взаимодействию пучка в ускорителе с неподвижной мишенью. Однако информация об этих взаимодействиях, которую регистрируют специальные установки (детекторы), имеет весьма общий характер для того, чтобы вы-

яснить детали процесса взаимодействия и природу образованных в нем частиц. Кроме того, заранее неизвестна природа сталкивающихся частиц в конкретном взаимодействии, и количества регистрируемых актов взаимодействий недостаточно для изучения редких процессов.

В основе работы *ускорителя* лежит взаимодействие заряженных частиц с электрическими и магнитными полями [1, 2]. В ускорителях заряженные частицы приобретают энергию под действием электрического поля, направленного вдоль направления их движения. Магнитное поле, создавая магнитную составляющую силы Лоренца, только отклоняет частицы, не изменяя их энергии, и задает орбиту, по которой они движутся.

Пучки частиц могут обладать разной энергией, интенсивностью, пространствен-

ными размерами. В ускорителях могут использоваться разные по природе ускоренные частицы. На практике наиболее распространены ускорители электронов и протонов, но существуют также ускорители позитронов, антипротонов, многозарядных ионов. В результате взаимодействий с мишенью на ускорителях могут быть созданы вторичные пучки частиц разной природы: заряженных пионов ( $\pi^+$  и  $\pi^-$ ),  $K^+$ - и  $K^-$ -мезонов (каонов), мюонов, нейтрино, антинейтрино и других частиц.

Конструктивно ускорители можно разделить на две большие группы. В *линейных ускорителях* частицы движутся по прямой, а в *циклических ускорителях* — по замкнутой траектории с постоянным радиусом (синхротрон) или по раскручивающейся спирали (циклотрон или микротрон). В линейном ускорителе частица последовательно преодолевает ускоряющие промежутки с электрическим полем, а в циклическом — многократно проходит область ускоряющего электрического поля. При этом траектория частицы формируется магнитным полем.

### Хронология создания ускорителей и коллайдеров

Начало эпохи ускорителей заряженных частиц можно отнести к 1930 г. Первый линейный ускоритель прямого действия был создан в Англии в 1932 г. сотрудниками Э. Резерфорда Джоном Кокрофтом (1897–1967) и Эрнестом Уолтоном (1903–1995). Это был каскадный генератор (*генератор Кокрофта–Уолтона*) — устройство для преобразования относительно низкого переменного напряжения или пульсирующего напряжения в высоковольтное постоянное напряжение. Энергия частиц в ускорителе составляла 700 кэВ. С помощью этой установки ими была осуществлена первая в истории науки реакция расщепления ядра лития на две  $\alpha$ -частицы. В 1951 г. ученые были удостоены Нобелевской премии по физике «за исследовательскую работу по превращению атомных ядер с по-

мощью искусственно ускоряемых атомных частиц».

Энергии порядка 40–50 МэВ были достигнуты в *генераторе Ван-де-Граафа*. Его принцип действия основан на электризации движущейся диэлектрической ленты. Первый подобный генератор был разработан Робертом Ван-де-Граафом (1901–1967) в 1929 г. С его помощью можно было получать разность потенциалов до 80 кВ. В дальнейшем ученый построил более мощные генераторы, позволившие достигнуть значений напряжения 1 и 7 МВ. Однако в таких устройствах трудно обеспечить энергию частиц больше 40–50 МэВ для протонов, поэтому для достижения еще больших энергий используют линейные ускорители.

Самый крупный линейный ускоритель был построен в 1966 г. в Стэнфорде (США) и содержал 80 000 ускоряющих промежутков. Его длина составляла около 3 км, а энергии ускоренных электронов или позитронов достигали 50 ГэВ. Ускоритель SLAC<sup>1</sup> работал с 1989 по 1998 г. в режиме коллайдера, где сталкивались пучки ускоренных электронов и позитронов.

Первый циклический ускоритель — *бетатрон* — был создан в 1940 г. Дональдом Керстом (1911–1993). Он представляет собой индукционный ускоритель, в котором энергия электронов увеличивается за счет вихревого электрического поля, создаваемого изменяющимся магнитным потоком, направленным перпендикулярно к плоскости орбиты частиц. Бетатрон используют для создания пучков фотонов высокой энергии в диапазоне 20–50 МэВ, получаемых за счет торможения ускоренных электронов внутри камеры на специальной мишени.

Тяжелые заряженные частицы, такие как протоны и ионы, ускоряют в *циклотроне*. В нем частицы движутся в постоянном однородном магнитном поле, а для ускорения используется высокочастотное

<sup>1</sup> SLAC (Stanford Linear Accelerator Center) — центр Стэнфордского линейного ускорителя.

электрическое поле постоянной частоты. Ускорение движущихся частиц происходит в тот момент, когда они оказываются в зазоре между дуантами (двумя электродами специальной формы). В этой области на них действует электрическое поле, создаваемое электрическим генератором высокой частоты, которая совпадает с частотой обращения частиц внутри циклотрона (циклотронной частотой).

Первый циклотрон был создан в 1930 г. Эрнестом Лоуренсом (1901–1958)<sup>2</sup> и Милтоном Ливингстоном (1905–1986). Он представлял собой небольшой ускоритель 4-дюймового диаметра, рассчитанный на энергию 80 кэВ. В 1931–1932 гг. был разработан циклотрон диаметром 25 см (так называемый 11-дюймовый циклотрон). При этом достигнутая кинетическая энергия протонов в экспериментах Э. Лоуренса и М. Ливингстона составила 1,2 МэВ. В обычных циклотронах протоны можно ускорять до энергий порядка 20–25 МэВ. Дальнейшее увеличение энергии достигается с помощью различных технических усовершенствований.

В *синхротроне* используется резонансный принцип ускорения, т.е. циркулирующий сгусток частиц попадает в ускоряющее электрическое поле высокочастотного резонатора всегда в одной и той же фазе. Ускорение частиц происходит за счет многократного пролета ( $\sim 10^6$  раз в секунду) через ускоряющую секцию. Синхротрон может ускорять протоны, антипротоны, ионы, электроны и позитроны. Все современные циклические ускорители на максимальные энергии — это ускорители синхротронного типа. Их принцип<sup>3</sup> был предложен в 1944 г. Владимиром Иосифовичем Векслером (1907–1966) и независимо от него Эдвином Макмилланом (1907–1991) в 1945 г.

Переход к энергиям соударения протонов в 1000 ГэВ (1 ТэВ) произошел с появлением

<sup>2</sup> В 1939 г. за это изобретение Э. Лоуренс был удостоен Нобелевской премии по физике.

*коллайдеров*. В коллайдерах два ускоренных пучка частиц фокусируются и сталкиваются друг с другом. Столкновение пучков позволяет обеспечить взаимодействие частиц при значительно большей энергии в системе центра масс соударения, чем взаимодействие частиц выведенного из ускорителя пучка с неподвижной мишенью.

Преимущество коллайдеров над ускорителями, использующими неподвижную мишень, состоит в том, что вся энергия соударения расходуется на взаимодействие частиц, а не тратится частично на движение центра тяжести столкновения, как это происходит в ускорителе. Коллайдеры дали возможность наблюдать внутреннюю структуру протона, перейти к исследованиям кварков и глюонов.

В Национальной ускорительной лаборатории им. Э. Ферми (США) в период 1987–2011 гг. работал коллайдер Теватрон, в котором сталкивались пучки протонов и антипротонов, ускоренные на синхротроне почти до 1000 ГэВ (1 ТэВ). Энергия соударений частиц составляла 1960 ГэВ (1,96 ТэВ). Основным достижением Теватрона является открытие топ-кварка<sup>4</sup> в 1994 г. Преемником Теватрона стал Большой адронный коллайдер (БАК) в ЦЕРН, о котором будет рассказано ниже. Проектная энергия соударений протонов в нем составляет 14 ТэВ.

Параллельно с БАК с 2000 г. работает

<sup>3</sup> Речь идет о принципе автофазировки. Его сущность заключается в том, что нарушение синхронизации между частотой вращения частицы и частотой изменения ускоряющего поля не приводит к полному выводу частицы из режима синхронизации. Благодаря явлению автофазировки появляется возможность корректировать движение частиц путем периодического изменения частоты электрического поля или напряженности магнитного поля.

<sup>4</sup> В 2000 г. в Фермилаб на детекторе DONUT (Direct Observation of the NU Tau) впервые удалось напрямую наблюдать тау-нейтрино. Этот эксперимент был начат еще в 1997 г. на ускорителе Теватрон. Такая временная задержка объясняется большими энергиями сталкивающихся частиц, необходимых для образования данного типа нейтрино.



коллайдер RHIC<sup>5</sup> в Брукгейвенской национальной лаборатории (США). Он представляет собой туннель длиной 3,8 км, в котором расположены два идентичных кольца сверхпроводящих магнитов с шестью точками пересечений. В коллайдере RHIC сталкиваются протоны, ядра золота, меди, а также дейтроны с ядрами золота. При этом энергия ускоренных пучков составляет порядка 100 ГэВ на нуклон. На установке изучают структуру нуклонов и кварк-глюонную плазму<sup>6</sup>, возникающую в месте столкновения частиц. В экспериментах 2010 г. на коллайдере RHIC впервые были получены атомы антигелия-4.

В Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ) в г. Дубна готовится к запуску коллайдер ядерных пучков НИКА (NICA) [3]. С его помощью можно будет получать пучки разной природы: от протонных и дейтронных до пучков, состоящих из тяжелых ионов (ядер золота). Тяжелые ядра будут ускоряться до энергии вплоть до 4,5 ГэВ/нуклон, протоны — до энергии 12,6 ГэВ. Основа комплекса NICA — модернизированный ускоритель Нуклотрон (действует в ОИЯИ с 1993 г.).

После того, как коллайдер NICA будет запущен (по плану в 2022 г.), ученые ОИЯИ смогут воссоздать в лабораторных условиях кварк-глюонную плазму. Кроме того, на коллайдере будут проводиться исследования природы и свойств сильных взаимодействий между кварками и глюонами, поиск новых состояний барионной материи и др.

В мире работало и продолжает работать большое количество коллайдеров электронов и позитронов ( $e^+e^-$ ). С их помощью сделано множество открытий в физике элементарных частиц. К ним можно, например, отнести: обнаружение  $c$ - и  $b$ -кварков, глюона,

наблюдение струй адронов, образованных кварками. Коллайдер LEP<sup>7</sup> (ЦЕРН), работавший с 1989 по 2000 г., позволил провести измерения параметров  $W$ - и  $Z$ -бозонов при энергии столкновений в 100 ГэВ.

Отметим также некоторые отечественные коллайдеры. Установка ВЭПП-2000 представляет собой электрон-позитронный коллайдер. Он построен в Институте ядерной физики СО РАН (Новосибирск). Коллайдер строился для изучения физики легких мезонов, а также для прецизионных измерений сечения аннигиляции электрон-позитронной пары в адроны. Кроме того, успешно функционирует и модернизируется ускорительный комплекс ГИЦ ИФВЭ в Протвино.

### Ускорительный комплекс Большого адронного коллайдера

Большой адронный коллайдер (БАК, LHC) был построен Европейской организацией ядерных исследований (ЦЕРН, CERN) в период с 1998 по 2008 гг. в сотрудничестве с более чем 10000 ученых и сотнями университетов и лабораторий из разных стран [3–5]. Он назван «*Большим*» из-за своего размера (длина его ускорительного кольца составляет 26 659 м), «*адронным*» — так как он предназначен для ускорения протонов и тяжелых ядер, которые являются адронами (т.е. частицами, состоящими из кварков и глюонов), «*коллайдером*» — потому что его работа основана на столкновениях частиц, которые ускоряются в двух пучках, циркулирующих в нем в противоположных направлениях и сталкивающихся друг с другом в специальных местах.

Туннель с пучками частиц и установками БАК в местах соударений пучков расположен на глубине около 75–100 м (раньше в этом туннеле располагался коллайдер LEP). На рисунке 1 представлена схема БАК: це-

<sup>5</sup> RHIC (The Relativistic Heavy Ion Collider) — релятивистский коллайдер тяжелых ионов.

<sup>6</sup> Это особое состояние вещества или кварк-глюонной материи, в котором пребывала наша Вселенная в первые мгновения после Большого взрыва.

<sup>7</sup> LEP («Large Electron-Positron collider») — большой электрон-позитронный коллайдер.

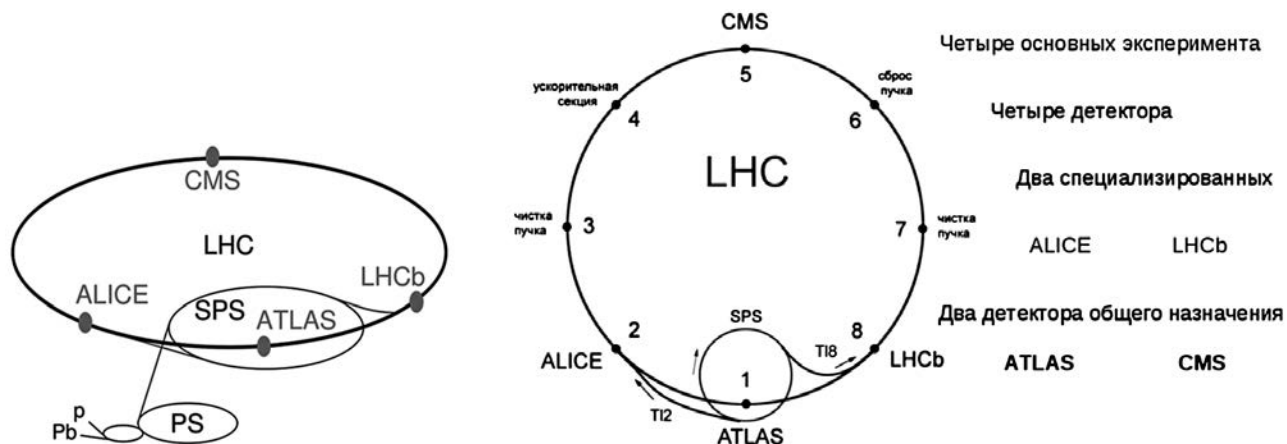


Рис. 1. Схема устройства БАК: PS — протонный синхротрон; SPS — «протонный суперсинхротрон»; ALICE (A Large Ion Collider Experiment) — детектор тяжелых ионов (ионов свинца); ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS) — многоцелевой детектор; CMS (Compact Muon Solenoid) — многоцелевой детектор; LHCb (The Large Hadron Collider beauty experiment) — детектор тяжелых кварков (b-кварков)

почка ускорителей — основных частей его инжекционной системы и детекторы.

Все ускорительное кольцо БАК поделено на 8 секторов (см. рис. 1), на границах которых расположены поворотные магниты, управляющие пучком протонов. Эти магниты формируют орбиту, по которой движутся протоны. Под действием магнитного поля пучки протонов постоянно поворачиваются, оставаясь внутри ускорительного кольца. В ускорительном кольце размещены также специальные фокусирующие магниты, которые подавляют поперечные колебания протонов относительно идеальной орбиты. Это не позволяет им задевать стенки довольно узкой (диаметром ~10 см) вакуумной трубы, в которой движутся частицы. В БАК таких труб две — они расположены рядом друг с другом, и по ним циркулируют встречные протонные пучки, каждый в своем направлении (рис. 2).

Эти две трубы объединяются в одну только в специально выделенных местах, где происходят столкновения встречных протонных пучков. Именно вокруг них построены четыре основных детектора БАК: два крупных — общего назначения, где был открыт

бозон Хиггса, — ATLAS и CMS, и два средних — для специальных задач по исследованию особых состояний ядерного вещества и свойств тяжелых кварков, в первую очередь b-кварков, — ALICE и LHCb. Вблизи двух крупных детекторов установлены два малых детектора — LHCf и TOTEM.



Рис. 2. Две трубы с пучками в диполе БАК и соединение диполов в тоннеле (фото ЦЕРН)

Протонные пучки попадают в БАК из предварительного ускорителя SPS (см. рис. 1). В ускорительное кольцо SPS протоны попадают из источника через цепочку

еще меньших ускорителей. В эту цепочку входит протонный синхротрон PS. Но вначале с помощью ионизации протоны извлекаются из резервуара с газообразным водородом, затем их разгоняют до энергии 50 МэВ в линейном ускорителе и впрыскивают в бустер PSB. Там протоны разгоняются до энергии 1,4 ГэВ, переводятся в протонный синхротрон PS, ускоряются до 25 ГэВ и только после этого попадают в SPS. В нем они разгоняются до 450 ГэВ и инжектируются в БАК.

Самой важной и самой дорогой частью ускорителя БАК является *магнитная система*. В ней для управления пучками протонов используется несколько тысяч магнитов различного назначения. Большая часть из них — сверхпроводящие, что свидетельствует о необходимости использования высококачественной криогенной системы гелиевого уровня охлаждения.

Как уже отмечалось, траекторией пучков управляют поворотные магниты, которые поворачивают пролетающий сквозь них пучок и удерживают его внутри кольцевой вакуумной трубы. Существуют еще фокусирующие магниты, не дающие пучку «расплываться», и корректирующие. Общее количество магнитов разного типа в кольце БАК составляет 9600, самые крупные из них — дипольные магниты, их количество составляет 1232.

Для того чтобы протонные пучки могли свободно циркулировать в БАК, внутри ускорительного кольца создан сверхглубокий вакуум. *Вакуумная система* коллайдера — одна из самых больших в мире. Давление остаточных газов в ней составляет порядка  $10^{-13}$  атм ( $10^{-8}$ – $10^{-9}$  Па). Несмотря на небольшой поперечный размер вакуумной трубы, она очень длинная (около 50 км). Объем, подлежащий вакуумированию для термоизоляции сверхпроводящих магнитов, велик ( $\sim 9000$  м<sup>3</sup>) и сопоставим с объемом крупного здания. Даже при реализации сверхвысокого вакуума время от времени происходят столкновения протонов с молекулами оста-

точного газа, что сокращает время жизни пучка до нескольких дней.

Рассказывая о технических характеристиках БАК, нельзя пройти мимо *криогенной системы*, которая обеспечивает функционирование значительного числа блоков коллайдера. Она является крупнейшей в мировой науке и технике. Криогенная система на БАК многоступенчатая, т.е. в ней осуществляется поэтапное охлаждение до аргонового ( $T = 87$  К), азотного ( $T = 77$  К) и гелиевого ( $T = 4,2$  К) уровней.

Для охлаждения одновременно используется 12 млн литров жидкого азота и около 1 млн литров жидкого гелия! Так как хладагенты постепенно теряют нужную температуру и испаряются, должно быть предусмотрено их возмещение. Поэтому БАК в ходе работы ежедневно потребляет 2–3 грузовика жидкого азота и порядка 500 л жидкого гелия.

*Инжекция протонов* в ускоритель происходит не непрерывно, а импульсами. В течение нескольких минут происходит серия импульсных включений и выключений быстрых магнитов на концах линии передачи протонов. При этом протонные сгустки переходят из кольцевого ускорителя SPS в БАК (см. рис. 1) и один за другим занимают свои «позиции» в пучке, не мешая уже циркулирующим в кольце сгусткам. Плановое количество сгустков в пучке составляет 2808, а количество протонов в каждом сгустке (банче) — порядка  $10^{11}$ . В наилучших рабочих условиях интервал между соударениями может достигать величины 25 нс.

Когда сгусток протонов пролетает сквозь резонатор, электромагнитное колебание находится в такой фазе, чтобы электрическое поле вдоль оси пучка подталкивало протоны вперед. Аналогичным образом в соответствующем эксперименте реализуется ускорение ионов свинца. В нормальном режиме пучок циркулирует внутри вакуумной камеры, не задевая ее стенок.

Однако если в управляющей магнитной системе произойдет сбой или траектория

пучка слишком сильно отклонится от расчетной, пучок станет опасен, и его нужно будет быстро нейтрализовать («сбросить»). Этим занимается *система сброса пучка*. В ней размещены специальные быстрые магниты, которые при необходимости включаются в считанные микросекунды и слегка отклоняют пучок протонов. В результате протоны сходят с круговой орбиты, пучок расфокусируется и по специальному каналу уходит из ускорителя.

Интересно отметить, что годовое потребление электроэнергии БАК и экспериментов, проведенных с его помощью в 2012 г. (год открытия бозона Хиггса), составило 650 гигватт-час (ГВт·ч). В ходе второго сеанса работы БАК (2015–2018 гг.) при энергии соударения протонов 13 ТэВ оно оказалось равным 750 ГВт·ч в год. Годовое энергопотребление ЦЕРН составляет 1,3 ТВт·ч, тогда как полное производство электроэнергии в мире оценивается примерно в 20 000 ТВт·ч, в ЕС — 3400 ТВт·ч, во Франции — около 500 ТВт·ч, в кантоне Женева — 3 ТВт·ч.

### Эксперименты ATLAS и CMS

Самыми крупными установками, имеющими широкий спектр задач, включающих исследование бозона Хиггса, являются детекторы экспериментов ATLAS и CMS [6]. В их конструкции включен внутренний детектор, предназначенный для измерения треков заряженных частиц, вылетающих из точки взаимодействия. Его окружают два типа ионизационных калориметров: электромагнитный — для измерений фотонов и электронов и адронный — для измерения энергии как заряженных, так и нейтральных адронов. За пределы калориметров вылетают только мюоны и нейтрино (анти-нейтрино).

Импульсы мюонов измеряются в магнитном спектрометре, окружающем установку. Калориметры позволяют определить энергии и направления вылета частиц. Они способны поглотить энергии частиц в не-

сколько ТэВ. Магнитное поле во внутреннем детекторе и магнитном спектрометре по кривизне треков заряженных частиц в магнитном поле позволяет измерить импульсы рожденных частиц. В детекторах регистрируются долгоживущие частицы со временем жизни более 30 нс.

Эксперименты ATLAS и CMS различаются, прежде всего, структурой магнитных полей. В ATLAS (рис. 3) внутренний детектор расположен внутри сверхпроводящего соленоида, создающего магнитное поле с величиной индукции 2 Т (Тесла). Длина соленоида 5,3 м, диаметр 2,5 м.

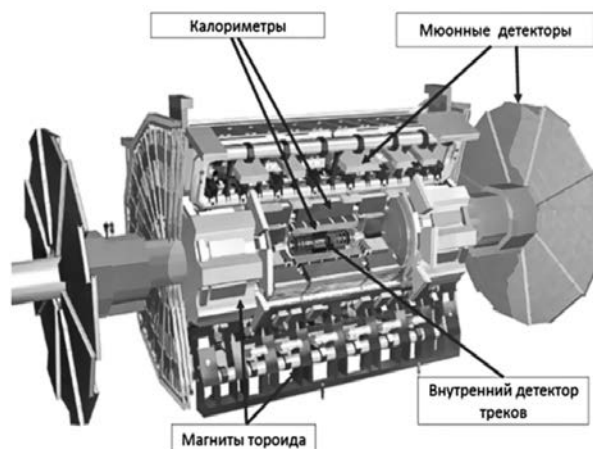


Рис. 3. Общая схема детекторов эксперимента ATLAS

Магнитное поле в мюонном спектрометре создается сверхпроводящими тороидальными магнитами с воздушными зазорами, внутри которых расположены три слоя детекторов мюонов. Тороидальные магниты содержат 8 центральных тороидов и по 6 тороидов на торцах установки. Размеры магнитов, создающих поле тороидов, определяют большие размеры установки ATLAS: 44 м в длину и 24 м в диаметре. Масса установки — 7000 т.

Эксперимент CMS имеет один сверхпроводящий соленоид, внутри которого размещены внутренний детектор и оба типа калориметров. Величина поля внутри соленоида — 4 Т. Диаметр соленоида — 6 м, длина

— 12,5 м, а запасаемая энергия составляет 2,6 ГДж. Такая конструкция установки соответствует ее названию — компактный мюонный соленоид (The Compact Muon Solenoid). Длина всей установки CMS составляет 21,6 м, диаметр — 14,6 м, масса — 14,5 т. Установки ATLAS и CMS имеют равные возможности исследования взаимодействий элементарных частиц. Отметим, что открытие бозона Хиггса было осуществлено одновременно в ходе экспериментов ATLAS и CMS.

Сектор детекторной установки CMS показан на рисунке 4. Трек мюона проходит детекторы и меняет кривизну, выйдя за пределы соленоида в поле обратного магнитного потока. Внутренний детектор CMS выполнен из 13–14 слоев прецизионных кремниевых детекторов, поэтому называется кремниевым трекером.

Особое внимание в конструкции детекторных установок ATLAS и CMS уделено идентификации и измерению электронов, фотонов, мюонов и адронных струй, образованных кварками и глюонами, в области импульсов от нескольких ГэВ до нескольких ТэВ. На этих установках также исследуются характеристики таких уникальных частиц

как векторные  $W^\pm$ - и  $Z$ -бозоны, бозон Хиггса и топ-кварки, распады тяжелых адронов, имеющих в составе  $b$ - и  $c$ -кварки, ведутся поиски новых тяжелых частиц, предсказываемых в теориях Новой физики: суперсимметрии, суперструн, дополнительных измерений и др.

Две меньшие по размерам установки ALICE и LHCb коллайдера БАК имеют больше возможностей для идентификации, т.е. определения природы рожденных частиц. На рисунке 5 изображены продольный и поперечный разрезы установки ALICE. Как и в CMS, центральные детекторы ALICE размещены внутри соленоида. Вблизи области пересечения пучков расположен небольшой полупроводниковый трековый детектор (ITC). Но измерения треков в основном проводятся в большой газовой времяпролетной камере TPC. Объем камеры составляет  $88 \text{ м}^3$ .

Уникальность камеры состоит в том, что она способна одновременно измерить до 20 000 треков заряженных частиц. Такая особенность обусловлена целью эксперимента — изучение свойств кварк-глюонной материи, образующейся при соударениях ускоренных тяжелых ядер (свинца, золо-

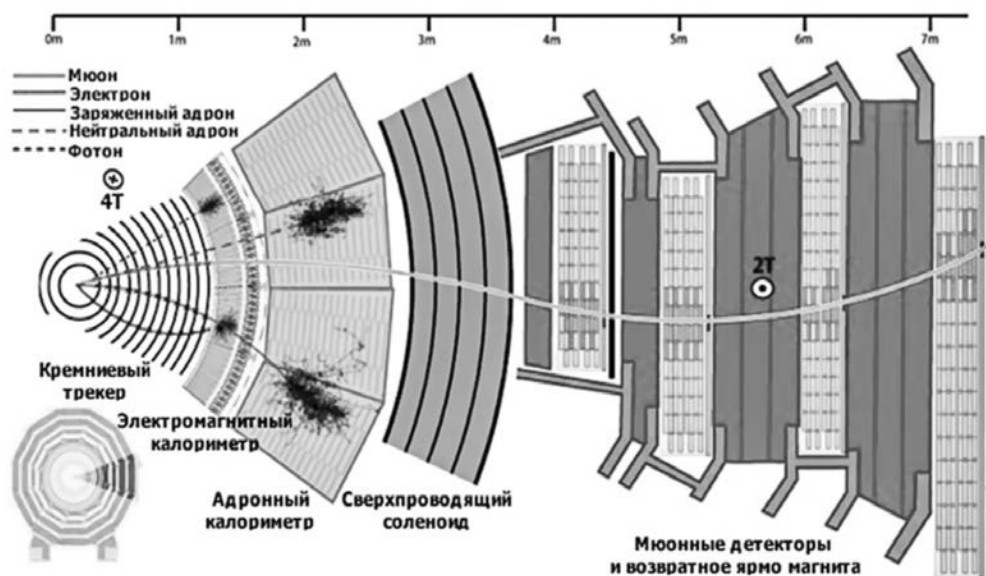


Рис. 4. Внутренние компоненты детектора CMS в поперечном сечении

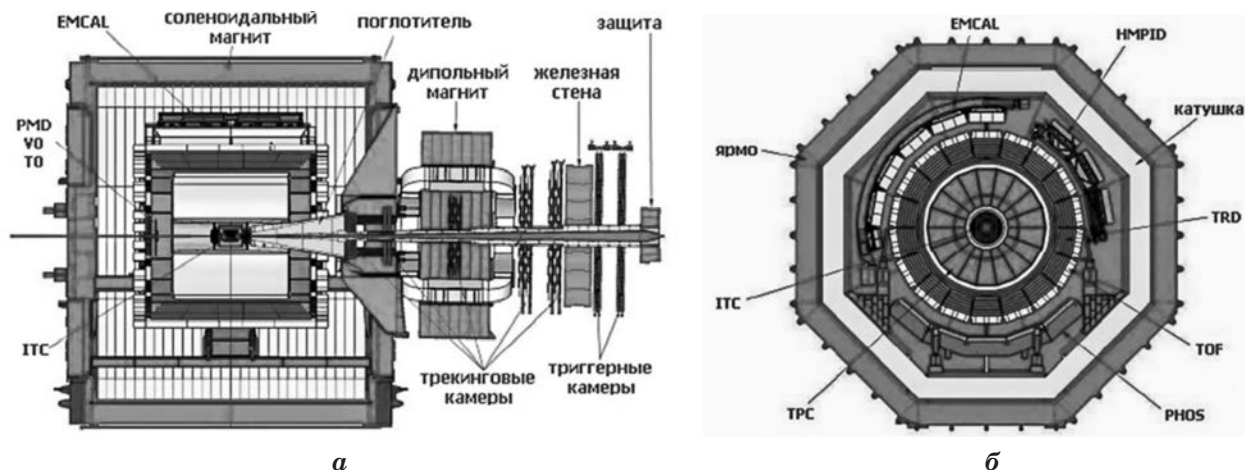


Рис. 5. Схема детекторной установки ALICE: *а* – в продольном направлении по пучку; *б* – в поперечном направлении к пучку

та) с рождением большого количества частиц. Размеры установки ALICE составляют  $16 \times 16 \times 26 \text{ м}^3$ , ее масса — около 10000 т.

Детекторная установка эксперимента LHCb не окружает область соударения пучков, а регистрирует рожденные частицы в сравнительно узком конусе с одной стороны от точки соударения. Данная конфигурация позволяет эффективно регистрировать распады тяжелых адронов, содержащих *b*- и

*s*-кварки, образующихся при соударениях протонов. Схема детектора LHCb приведена на рисунке 6.

Эксперимент LHCb позволяет не только выяснить природу образующихся частиц, но и установить возможные косвенные эффекты Новой физики при измерении характеристик их распадов. Для измерения координат точек рождения и распада частиц используется протяженный кремниевый

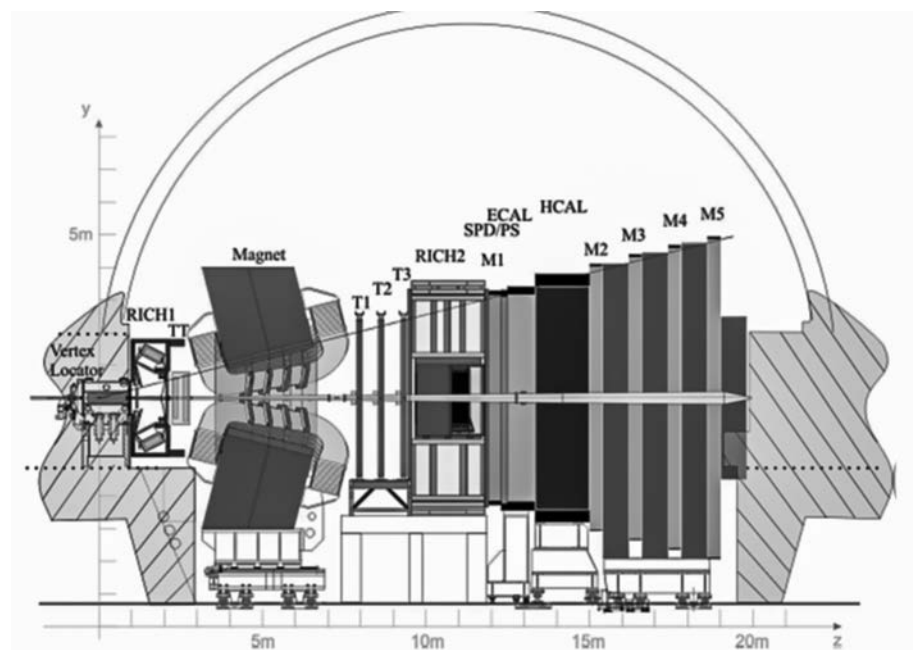


Рис. 6. Схема детекторной установки эксперимента LHCb

детектор VЕLO. Для измерения и идентификации частиц от распадов, помимо трековых детекторов, калориметров и мюонного спектрометра, используются уникальные черенковские детекторы RICH1 и RICH2. Они позволяют измерить скорость заряженной частицы и вместе с измеренным импульсом определить массу частицы, а значит ее природу.

Вблизи установок ATLAS и CMS расположены установки небольших экспериментов ALFA, LHCf и TOTEM. Их задачей является измерение упругих и дифракционных процессов взаимодействия протонов. Они измеряют рассеяния протонов на малые углы.

### Обработка сигналов детекторов

Сгустки протонов сталкиваются в точках размещения детекторов с интервалом 25 или 50 нс. При каждом соударении сгустков происходит несколько десятков взаимодействий протонов. Они вызывают появление сигналов со всех типов детекторов, которые передаются в компьютерный центр БАК, где и производится их обработка.

Однако не все поступающие сигналы несут полезную информацию. Ее обоснованный выбор делают триггеры. Они проводят грубый анализ каждого события и принимают решение о продолжении обработки и сохранении информации о событии со всех детекторов установки. Это позволяет уменьшить частоту регистрации интересных событий до  $\sim 1$  кГц. Время обработки события существенно превышает средний интервал между событиями, поэтому для адекватной обработки информации требуются большие вычислительные ресурсы.

Эти ресурсы сосредоточены в глобальной системе распределенных вычислений WLCG (Worldwide LHC Computing Grid), обеспечивающей хранение, распределение и обработку данных экспериментов БАК. Система имеет несколько уровней и обеспечивает связь всех университетов, институтов и лабораторий, участвующих в экспериментах.

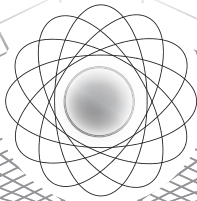
В заключение скажем несколько слов о будущем БАК. После 2036 г., возможно, будет запущен проект, предполагающий увеличение энергии соударений протонов до 27 ТэВ (проект «HE-LHC»). Его можно будет реализовать, если в тоннеле БАК разместить магниты, которые будут разработаны в процессе создания в ЦЕРН нового коллайдера, рассчитанного на энергию соударения протонов 100 ТэВ (проект Будущего кругового коллайдера, «Future Circular Collider», FCC, БКК), с длиной кольца 100 км. Значительное внимание также уделяется развитию вычислительных методов и компьютерной системе анализа данных.

По этой тематике учащимся могут быть предложены следующие темы **проектных и учебно-исследовательских работ**.

1. Важнейшие научные результаты, полученные с помощью ускорителей и коллайдеров.
2. Хронология создания и модернизации БАК.
3. Ускорительный комплекс и основные системы LHC.
4. Интересные факты о БАК, его будущее.

### Литература

1. Лебедев А.Н., Шальнов А.В. Основы физики и техники ускорителей: учебное пособие для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 528 с.
2. Ишиханов Б.С., Капитонов И.М., Кэбин Э.И. Частицы и ядра. Эксперимент. — М.: Издательство МАКС Пресс, 2013.
3. Ильин В.А., Кудрявцев В.В., Смирнова Л.Н. Магистральные направления физики XXI века: Физика технологий будущего для будущих физиков и инженеров: Современная микрофизика. — М.: ЛЕНАНД, 2021. — 304 с.
4. Ядерная физика в Интернете (проект кафедры общей ядерной физики физического факультета МГУ). — [Электронный ресурс]. — URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/index.html>.
5. Проект «Большой адронный коллайдер». — [Электронный ресурс]. — URL: <http://elementy.ru/LHC>.
6. Смирнова Л.Н. Детектор ATLAS большого адронного коллайдера. — М.: Университетская книга, 2010. — 216 с.



## МЕТОДИКА. ОБМЕН ОПЫТОМ

# ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ЗАДАЧАМИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ МЫШЛЕНИЯ И МИРОВОЗЗРЕНИЯ

<b>Г.Г. Никифоров</b> , к.п.н., старший научный сотрудник, ИСРО РАО, Москва; nikiforowgg@mail.ru	<b>G.G. Nikiforov</b> , PhD (Pedagogy), senior scientific employee of laboratory science education ISRO RAO, Moscow; nikiforowgg@mail.ru
<b>Ю.А. Сауров</b> , д.п.н., член-корреспондент РАО, профессор кафедры физики и методики обучения физике Вятского государственного университета, г. Киров; saurov-ya@yandex.ru	<b>Y.A. Saurov</b> , DrSci (Pedagogy), corresponding member of RAE, professor of physics and physics teaching of the Vyatka State University, Kirov; saurov-ya@yandex.ru
<b>Ключевые слова:</b> задачи, научный метод познания, экспериментирование, моделирование, творчество учителя и школьников	<b>Keywords:</b> tasks, scientific method of cognition, experimentation, modeling, creativity of teachers and schoolchildren
В статье задается рамка современного методического отношения к дидактическому потенциалу экспериментальных задач	The article sets the framework of the modern methodical attitude to the didactic potential of experimental tasks
<b>DOI 10.47639/0130-5522_2022_1_13</b>	

*Разрыв между теорией и экспериментом, между теорией и жизнью... есть симптомы серьезных нарушений нормального развития науки.*

П. Капица [2, с. 91]

**Постановка научно-методической проблемы.** С одной стороны, в реальности практики обучения десятилетиями фиксируется трудно излечимая «болезнь» в виде «формализма» знаний. И нас волнует: что это за феномен такой? Почему он так устойчив?

Приведем в обоснование образовательные факты. Первый пример: пятьдесят учащихся-абитуриентов одного из ведущих столичных технических университетов выполняли задание по измерению коэффициента трения, запуская шайбу с вершины наклонной плоскости (рис. 1). Правильно вывели формулу  $\mu = H/L$ , но половина из них написала, что пользовались при этом законом сохранения механической энергии.

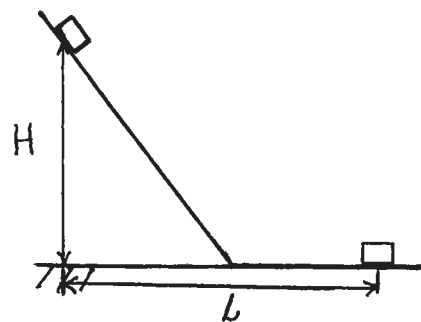


Рис. 1

Они не ставят и не понимают вопроса: куда же «подевалась» первоначальная потенциальная энергия тела? Это и есть проявление абстрактного (ограниченного) мышления и формализма в чистом виде: своими глаза-



ми ученик «видел», что в верхней точке наклонной плоскости шайба имела энергию  $mgH$ , «растеряла» ее всю и остановилась, но при этом пишет, что выполняется закон сохранения механической энергии.

Второй пример: ежегодно ученики измеряют ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока (рис. 2). Но не понимают и, естественно, не могут объяснить, почему при работе источника тока измеряемое напряжение (на полюсах источника) уменьшается и становится равным нулю при наибольшем токе. (В нашем случае при движении ползунка реостата влево.)

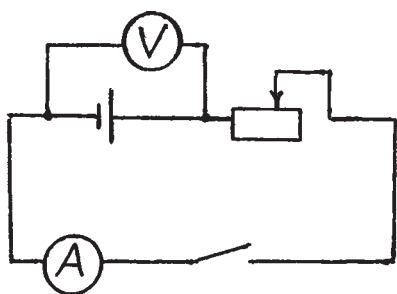


Рис. 2

С другой стороны, в методической науке разработано много отличных методических решений, но они на удивление медленно воспроизводятся в массовом обучении. Одним из таких явно недооцененных методических приемов является деятельность по решению экспериментальных задач [1–3, 6, 8, 18]. Чего нам здесь не хватает? Что делать?

**Выскажем радикальное предположение:** деятельность по решению экспериментальной задачи — фундаментальный методический прием, один из самых эффективных в борьбе за преодоление формализма знаний.

Обоснуем с разных сторон это утверждение, фактически вскрывая *дидактический потенциал современных школьных учебных физических экспериментальных задач.*

*Прежде всего — это, несомненно, учебная задача.* И фактически все ее дидактические функции распространяются и на экспериментальные задачи.

Доминирующей практико-ориентированной учебной работой в школе является решение тех или иных задач. Эта предметная работа максимально конкретна, прямо связана с содержанием фундаментальной науки и направлена на освоение физических знаний [2, с. 156]. Не случайно основная форма диагностики успехов — решение задач, которая типична и во всех формах олимпиадного движения. Словом, это важный методический инструмент. И повышение его коэффициента полезного действия при использовании экспериментальных задач — правильная во всех смыслах цель.

*Кратко определим сам объект внимания.* Что за объект «школьная учебная физическая задача»? Конечно, это рукотворный методический объект-прием. Жизненный цикл любой задачи типичен: рождение-конструирование — функционирование-жизнь — деградация, ассимиляция, умирание. Несомненно, учебная задача — это форма организации (представления) и средство освоения опыта деятельности в какой-либо предметной области, в нашем случае — физики. Изменение осваиваемого опыта деятельности требует изменения работы над задачами, изменения самих задач [10, 15–16].

*Есть ряд объективных характеристик учебных задач.* Различают задачи по сложности (прежде всего по объему условий и требований) и трудности (по внешним и внутренним многочисленным факторам). К объективным характеристикам можно отнести и классификацию задач по разным основаниям — по характеру требования, по способу задания и решения и др.

Очевидно, что изменения в мире, стране, образовании, произошедшие за последние двадцать лет, выраженные в изменении опыта деятельности, должны приводить к изменениям в использовании учебных физических задач. Но эти системы фактически остаются во многом по-прежнему консервативными. Хотя выбрасывать «за борт» нако-

пленные и отработанные формулировки физических задач и приемов их решения, т.е. в совокупности некий опыт деятельности, тоже недопустимо. А вот назревшие изменения надо целенаправленно реализовывать.

Наиболее дидактически важным является не просто сама учебная задача, но **процессы учебной деятельности** с ней. Их особенности распространяются и на экспериментальные задачи. Считаем принципиально важными следующие установки.

- *Дидактические цели и ценности (параллельно мотивация и интерес)* обеспечиваются разнообразием задач, их актуальностью и посильностью для ученика, проблемностью задач, связью задач с экспериментом, оценкой, единообразием логики решения и правил оформления решения задач и др. В главном учебные задачи должны быть нацелены на формирование таких качеств школьников как физическое мышление и физическое мировоззрение.
- При решении всех задач должна выполняться *следующая последовательность деятельности учащихся*, согласованная с идеей и логикой научного метода познания: анализ задачи (текста) и физического явления; определение идеи или плана решения; решение в форме математической модели явления; анализ решения, выводы.

Объективно растет внимание собственно к процессу решения задачи, как точно говорит Устиловская, — решАнию [15]. Считаем, что это знак времени. Ведущих и успешных ориентировок учебной деятельности здесь мало, фактически по распространенной практике сейчас видится одна: на основе научного метода познания (В.Г. Разумовский, В.А. Орлов, В.В. Майер, Г.Г. Никифоров, Ю.А. Сауров [3–6, 8–10]), т.е. четырехэтапная схема решАния (хотя она «старая», идет от Пойа [7]). Она очевидно связана с логикой цикла познания «факты — модель — следствия — эксперимент» (см. обоснование [10, с. 142 и др.]).

- *Ключевая цель любой задачи — выделение и описание физического явления* — достигается при реализации следующей логики учебных действий: выделение физической системы (объекты) — выделение и описание состояния их движения — выяснение причин явления, т.е. взаимодействий, и их характеристика — описание явления законами — выведение следствий и получение нужного ответа.
- *Творчество при работе с задачей* обеспечивается сюжетным разнообразием задач, составлением новых задач, поиском новых приемов решения известных задач, решением задач в условиях соревнования и др.

И наконец, для раскрытия методического потенциала совершенствования деятельности с задачами выделим **ключевые проблемы**: а) в методике принижены (плохо описаны) процессуальные аспекты работы с задачами; б) доминирует индивидуальная, а не коллективная учебная деятельность, в том числе слабо представлена рефлексивная деятельность; в) нет акцентов на освоение при решении задач фундаментальной учебной деятельности экспериментирования и моделирования; г) плохо реализуются воспитательные аспекты при решении задач.

К сожалению, формализм именно при решении задач — весьма распространенная и опасная образовательная болезнь. Ее наиболее «заразная» форма — решение задач «на формулу». На преодоление этой болезни и направлены наши усилия.

*В экспериментальной задаче в единстве представлены две стороны нашего предмета — эксперимент и теория.* И такие задачи несут преимущества освоения деятельности экспериментирования и моделирования. В том числе, как метода познания. С одной стороны, рассматриваются, изучаются и исследуются реальности физической природы (объекты и явления). С другой стороны, изучаются, иногда конструируются в учебных

целях средства описания реальности (понятия, модели, закономерности, теории и др.). Согласование в учебной деятельности этих двух сторон представлений в итоге дает формирование современного физического мышления и мировоззрения [3–5].

Итак, выделим существенный дидактический потенциал экспериментальных задач. В них удачно реализуются:

- жесткое логическое структурирование учебных действий в форме задачи, в том числе в случае распределения ролей при коллективном решении экспериментальных задач;
- сочетание реальности чувственного (объектного) и логического (предметного) мышления (наглядности и др.);
- богатая вариативность физических (технических) сюжетов, а значит, — громадный потенциал творчества как при постановке, так и при решении задачи;
- гибкость использования таких задач во всех методах обучения и видах учебной работы, например, построение методики проведения лабораторной работы как системы экспериментальных задач [19] и др.

В случае системы экспериментальных задач мы можем получить эффективную современную технологию обучения [1, 11–12]. В обучении через них мы «задаем» физическую (или физико-техническую) реальность, которая в условиях «богатства» начальных условий всегда творческая, во многих случаях — исследовательская. Развертывание логики научного познания (В.Г. Разумовский [6–14]) в этом случае происходит более естественно, разнообразнее по образовательным процессам и в итоге продуктивнее. Наличие материальной, материализованной (с моделями), умственной форм учебной предметной деятельности способствует формированию мотивации к учению, лучшему усвоению знаний и приобретению умений. И все это уже практическая истина. Для того чтобы ее реализовать, надо поработать приемы учебной деятельности для типичных учебных сюжетов.

Для реальной практики деятельности учителя физики необходимо иметь (наработать) по каждой теме сравнительно небольшое число экспериментальных задач с разными функциями, вплоть до контроля знаний и умений. Важно при этом видеть ключевой по содержанию материал (и физический эксперимент) темы [18–19]. И с учетом этого строить систему экспериментальных задач. Например, при изучении явления постоянного электрического тока (X класс) объект изучения — полная замкнутая электрическая цепь и явления в ней при прохождении тока, а фундаментальное знание — закон Ома для полной (замкнутой) физической системы! электрической цепи в формах  $I = \varepsilon / (R + r)$  и  $\varepsilon = U_R + U_r$ .

Обратимся к приемам практической (и мыслительной) деятельности с задачами на примере сравнительно простых по технике постановки экспериментальных задач.

**Задача 1.** Как подсоединен к источнику тока вольтметр, и что он измеряет (рис. 1)?

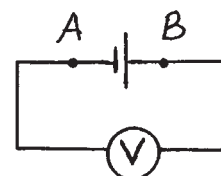


Рис. 1

1. Анализ текста и физического явления. Условия и требования задачи — качественные, понятийные. Они заданы с помощью схемы-рисунка. В целом изучаемая физическая система представляет собой простую полную замкнутую электрическую цепь постоянного тока. Она не содержит источников света, нагревателей. Но физическое явление — постоянный электрический ток — происходит и наблюдается. При этом сила тока небольшая. Важно отметить, что требование задачи представлено двумя разными, мало связанными, вопросами.

(Методическая интерпретация этапа согласно принципу цикличности — факты.

Выделение объектов и явлений и их качественное задание, описание. Какие объекты изучаются? Каково их движение? Какова причина движения? Какова модель объекта (или системы)? Каков характер взаимодействия? Какими физическими величинами характеризуется рассматриваемая система? Можно ли ее считать замкнутой? Выполнение рисунка и др.)

2. *Идея (или план) решения.* Обычно физические явления описываются законами. Понятие «электрический ток» задает реальность, физическое явление. Но понятие «постоянный электрический ток» может быть понято как некая модель тока. Для такой модели и сформулирован закон — закон Ома для полной цепи. Его вместе с другими законами электрических цепей и надо использовать для решения.

(Методическая интерпретация этапа согласно принципу цикличности — **гипотеза, модель.** На этом этапе осуществляется синтез представлений, в итоге формулируется метод решения как идея-гипотеза. Для выделенного явления подбирается закон как его модель.)

3. *Решение (обычно математическая модель явления).* Рассмотрим первое требование. В электрических цепях известны два вида соединений элементов — последовательное и параллельное. В правилах, с одной стороны, вольтметр при измерении напряжения подсоединяют параллельно к участку цепи, с другой стороны, для измерения ЭДС его прямо подключают к источнику тока. Возникает необходимость согласования этих представлений.

По определению последовательное соединение — это соединение без разветвления, при котором сила тока одинакова на всех участках такой цепи. У нас как раз такой случай, т.е. источник тока и вольтметр соединены последовательно.

Рассмотрим второе требование. Вольтметр в цепи измеряет напряжение на этом участке. Чтобы ответить конкретнее, надо обратиться к устройству вольтметра. В на-

шем случае уместно следующее изменение схемы-рисунка (рис. 3). Что такое вольтметр? (Это гальванометр с добавочным сопротивлением.) Что измеряет гальванометр? (Силу тока, обычно сравнительно маленькую, на данном участке. А в нашем случае и вообще в цепи.) Чем характерно добавочное сопротивление? (Большой величиной; обычно оно постоянное.) Почему при таком устройстве вольтметр измеряет напряжение на участке источника тока? (С помощью особой градуировки гальванометра можно по силе тока измерять напряжение.)

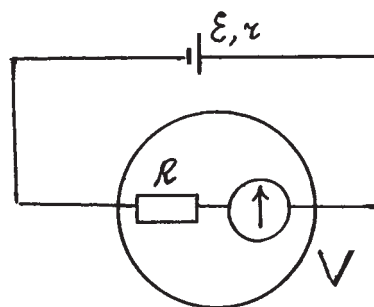


Рис. 3

Закон Ома для нашего случая можно записать в таком виде:  $\varepsilon = Ir + IR$ , где  $r$  — внутреннее сопротивление источника тока. Отсюда  $IR = U = \varepsilon - Ir$ , или при малой силе тока в цепи (большое добавочное сопротивление, малое сопротивление источника тока) получаем достаточно точно  $U = \varepsilon$ . Отсюда и вывод: вольтметр измеряет напряжение на участке цепи, но оно в обычных условиях приближенно (но довольно точно!) равно ЭДС.

(Методическая интерпретация этапа согласно принципу цикличности — **следствия.** Строится фактически математическая модель явления, найденная система уравнений решается.)

4. *Анализ решения (рефлексия процессов решения).* Решение качественных (или оценочных) задач дает возможность развернуть процесс физического мышления в понятиях. Такие задачи и учат физически мыслить. Интересно обсудить следующие

вопросы. Как и почему изменяются показания вольтметра, если к источнику тока подключить большое (или маленькое) сопротивление (рис. 4)? Что при этом измеряет вольтметр?

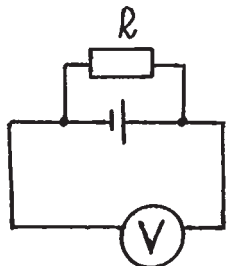


Рис. 4

(Методическая интерпретация этапа согласно принципу цикличности — **эксперимент**. Здесь осуществляется анализ ответа в общем виде, проверка решения с помощью размерности физических величин, оценка правдоподобности ответа и др. Идет поиск иных решений. Происходит своеобразный эксперимент над задачей: определение границ ее формулировки, составление новых задач, опыты и др.)

**Задача 2.** Как и почему изменяются показания гальванометра при нагревании спирали (рис. 5)?

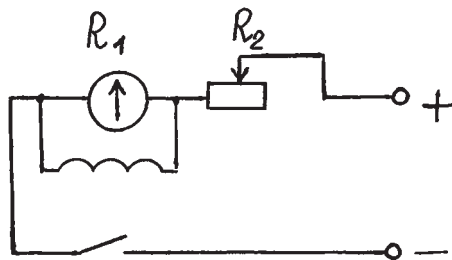


Рис. 5

1. Объект изучения — участок электрической цепи с рядом сопротивлений и гальванометром. Сопротивление спирали играет роль шунта для гальванометра. Почти прямо в условии задачи названы два физических явления: первое — постоянный электрический ток, второе — внешнее нагревание спирали и увеличение ее электрического сопротивления.

2. Идея решения задачи — описание постоянного электрического тока на участке цепи законами соединений резисторов и законом Ома для участка цепи. Подбираем оборудование для постановки опыта: спираль из стальной проволоки 0,2 мм, длиной около 20 см; источник тока — выпрямитель ВС 4–12; гальванометр от демонстрационного амперметра.

3. Введем основные характеристики электрического тока на трех выделенных участках цепи: на участке параллельного соединения гальванометра и спирали —  $R_1$  и  $U_1$ ; на участке реостата —  $R_2$  и  $U_2$ ; на всем участке или на полюсах источника тока напряжение равно  $U = U_1 + U_2$ , которое будем считать постоянным.

Два первых участка цепи соединены последовательно, для такого соединения выполняется закон  $U_1/U_2 = R_1/R_2$ . Материальной причиной наблюдаемых изменений в электрической цепи является нагревание (внешнее, например, спичкой) спирали. Что происходит при нагревании спирали? (Увеличение ее электрического сопротивления.) Как при этом меняется сопротивление участка параллельного соединения гальванометра и спирали? (По закону параллельных соединений —  $R_1$  растет.) Отсюда из  $U_1/U_2 = R_1/R_2$  растет отношение  $U_1/U_2$ . С учетом условия  $U_1 + U_2 = \text{const}$  следует вывод: это возможно, только когда  $U_1$  растет, а  $U_2$  — уменьшается. Наконец, исходный вывод: раз на участке гальванометра напряжение растет, а его сопротивление по определению не изменяется, то сила тока, проходящего через него, увеличивается.

4. Анализ процесса и результата решения. Сначала можно дать теоретическое решение задачи, а потом проверить выводы в эксперименте. При этом следует поставить дополнительные вопросы. Почему реально принять напряжение на источнике тока постоянным? Изменяются ли показания гальванометра, если подуть на спираль? И почему? Исследовать, какую роль играет в постановке опыта величина сопротивления реостата.

**Задача 3.** Исследуйте зависимость напряжения на полюсах источника тока от силы тока в электрической цепи (рис. 6).

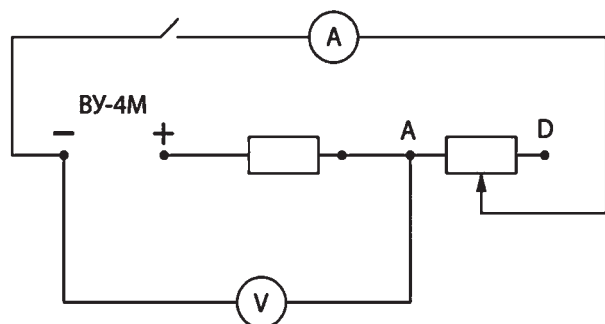


Рис. 6

Возможные результаты измерения приведены ниже.

$I, A$	0	0,30	0,46	0,56	0,8	1,0	1,4	1,6
$U, B$	5,2	4,0	3,6	3,2	2,6	2,2	0,8	0,2

По результатам измерения построен график (рис. 7).

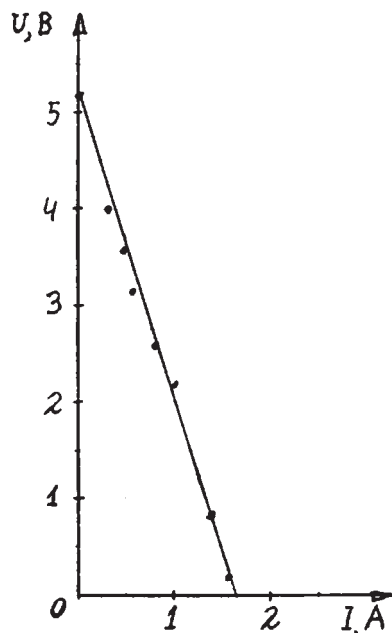


Рис. 7

При таком подходе возникает возможность не просто получить закон Ома из закона сохранения энергии, но и выдвигать и

проверять различные гипотезы о способах нахождения силы тока в замкнутой цепи:

- 1)  $I = \Delta\varphi / r$ ;
- 2)  $I = \xi / r$ ;
- 3)  $I = \xi / (R + r)$ .

При решении задачи для организации диалога важно подобрать вопросы. Зависят ли функционально между собой сила тока в общей цепи и напряжение на участке цепи? Как это доказать? Каковы материальные причины изменения числа свободных электронов, проходящих через поперечное сечение проводника в единицу времени? Как изменятся показания вольтметра, если его соединение из точки A перенести к точке D (рис. 6)?

#### Заключение.

По нашему мнению, есть резон придать использованию экспериментальных задач нормативный статус (для начала хотя бы в рамках отдельного региона): в каждом классе на половине уроков обязательно использование экспериментальных задач. Установление пропорций качественных, занимательных, количественных, исследовательских, технических экспериментальных задач следует оставить за учителем. Мы убеждены, что через пять лет такой практики мы существенно продвинемся в формировании интереса к предмету, в освоении современного физического мышления. И другие учебные результаты только улучшатся.

С нашей точки зрения, остается фундаментальным для теории и практики обучения физике утверждение о том, что характер деятельности определяет свойства и способности человека [17, 5, 8–10]. «Как организовать такую деятельность?» — ключевой вопрос методики. Таким образом, важно не только подобрать нужный методический ресурс, но и организовать «правильную» по структуре, содержанию и смыслам развернутую учебную деятельность. Для случая учебных экспериментальных физических задач — это высший пилотаж в методической подготовке учителя.

## Литература

1. *Бутырский Г.А., Сауров Ю.А.* Экспериментальные задачи по физике: 10–11 кл.: книга для учителя. — М.: Просвещение, 2000. — 102 с.

2. *Капица П.Л.* Эксперимент. Теория. Практика. — М.: Наука, 1974. — 287 с.

3. *Майер В.В., Сауров Ю.А.* Экспериментирующее мышление в методике обучения физике // *Физика в школе.* — 2018. — № 7. — С. 3–11.

4. *Никифоров Г.Г., Пентин А.Ю., Попова Г.М.* Изучение физики на основе научного метода познания. 7 класс. Методическое пособие. — М.: Дрофа, 2019. — 235 с.

5. *Орлов В.А., Сауров Ю.А.* Проблема использования современной методологии познания для развития физического образования // *Физика в школе.* — 2011. — № 7. — С. 23–31.

6. *Орлов В.А., Сауров Ю.А.* Практика решения физических задач: 10–11 классы: учебное пособие для учащихся общеобразовательных учреждений. — М.: Вентана-Граф, 2015. — 272 с.

7. *Пойа Д.* Математическое открытие: решение задач: основные понятия, изучение и преподавание. — М.: Наука, 1976. — 448 с.

8. *Разумовский В.Г., Сауров Ю.А.* Методология деятельности экспериментирования как стратегического ресурса физического образования // *Сибирский учитель.* — 2012. — № 2. — С. 5–13.

9. *Разумовский В.Г., Сауров Ю.А., Синенко В.Я.* Деятельность моделирования как фундаментальная учебная деятельность // *Сибирский учитель.* — 2013. — № 3. — С. 5–16.

10. *Сауров Ю.А.* Принцип цикличности в методике обучения физике: историко-методологический анализ: монография. — Киров: Изд-

во КИПК и ПРО, 2008. — 224 с.

11. *Сауров Ю.А.* Физика: 10 класс: методические рекомендации: учеб. пособие. — М.: Просвещение, 2017. — 279 с. — Электронный ресурс: b6fcfb91-1381-11e6-9dd7-0050569c7d18.

12. *Сауров Ю.А.* Физика: 11 класс: методические рекомендации: учеб. пособие. — М.: Просвещение, 2017. — 276 с. — Электронный ресурс: a906e288-a063-11df-9228-0019b9f502d2.

13. *Сауров Ю.А.* О границах применимости принципов, понятий и законов при изучении механики // *Физика в школе.* — 2018. — № 3. — С. 14–19.

14. *Сауров Ю.А., Уварова М.П., Перевощикова Д.В.* Язык инвариантов как инструмент построения методики в дидактике физики // *Вестник ТУ.* — 2020. — № 451. — С. 170–178.

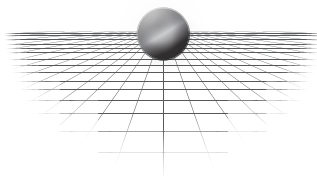
15. *Устиловская А.А.* Метапредмет «Задача»: учебное пособие для педагогов. — М.: Пушкинский институт, 2011. — 272 с.

16. *Фридман Л.М.* Логико-психологический анализ школьных учебных задач. — М.: Педагогика, 1977. — 208 с.

17. *Леонтьев А.Н.* Избранные психологические произведения. Т. II. — М.: Педагогика, 1983. — 320 с.

18. *Никифоров Г.Г., Хоменко С.В., Попова Г.М.* Ключевые исследования при изучении физики — направление модернизации методики учебного эксперимента: введение понятия удельной теплоемкости // *Физика в школе.* — 2017. — № 5. — С. 9–15.

19. *Никифоров Г.Г., Поваляев О.А., Хоменко С.В.* Фронтальные лабораторные работы. ФГОС-лаборатория. Методическое пособие по физике. Электродинамика. Часть II. — ООО «Научные развлечения», 2018.



## РОЛЬ ИЗМЕРЕНИЙ НА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЯХ ПО ЕСТЕСТВОЗНАНИЮ

<b>А.А. Белоусов</b> , аспирант, Московский педагогический государственный университет; учитель химии и естествознания, ГБОУ «Школа № 51»; dioniciy@mail.ru	<b>A.A. Belousov</b> , postgraduate student, Moscow State Pedagogical University; teacher of chemistry and natural science, School № 51; dioniciy@mail.ru
<b>Ключевые слова:</b> естествознание, практические работы, учебное измерение, измерительный эксперимент, проблемное обучение	<b>Keywords:</b> natural science, practical work, educational measurement, measuring experiment, problem-based learning method (PBL method)
Потенциал предмета «Естествознание» в системе среднего общего образования позволяет учителю создавать и проводить практические работы с использованием измерительного эксперимента. Практические занятия опираются на метод проблемного обучения, позволяющего активизировать познавательную деятельность учащихся	The potential of the subject «Natural Science» in the system of general secondary education allows a natural science teacher to create and conduct practical work using a measuring experiment. Practical classes are based on the problem-based learning method, which allows to stimulate the cognitive activity of students
<b>DOI 10.47639/0130-5522_2022_1_21</b>	

*«Современный мир насыщен измерениями; знание, не имеющее количественного выражения, теряет ценность. Понятие «наука» все менее ассоциируется со знаниями, не преобразованными в числа.»*

Поль Валери

Большое количество информации, получаемой об объектах окружающей природной среды, постоянно собирается и обрабатывается человеком или автоматически, что напрямую связано с развитием техники и технологий. Источником информации выступает учебная, научная или производственная экспериментальная деятельность.

Основным навыкам учебной экспериментальной деятельности и формируемым экспериментальным умениям уделяется особое внимание на практических занятиях дисциплин естественнонаучного цикла. В системе школьного образования на разных уровнях происходит получение фундаментальных знаний и умений, позволяющих учащимся лучше ориентироваться в мире, полном информации и требующим от них уметь эту информацию извлекать, сортировать и обрабатывать.

В системе основного общего образования (ООО) вопросы организации экспериментальной деятельности и проведения само-

го эксперимента закладываются в рамках предметов «Биология», «Физика», «Химия». Биологический эксперимент выстраивается на основе методов наблюдения и моделирования, что соответствует сложности проведения эксперимента в рамках школьного кабинета. Так, например, основным методом изучения живых систем используется метод микроскопирования, позволяющий изучать строение клеток, их деление, изменение, происходящее под действием внешних факторов.

Проведение физического эксперимента показывает важность измерения в наблюдаемых процессах, поскольку точные значения, получаемые в эксперименте, позволяют доказывать известные закономерности или выстраивать их самостоятельно. Одной из ключевых задач физического лабораторного практикума является проведение измерений различных величин, а также анализ полученных данных. Измерения в физическом эксперименте показывают не только



важность проведения измерений, но и оценку погрешности и ошибок в измерениях. Так учащиеся впервые разделяют погрешности на приборные (инструментальные) и субъективные (человеческий фактор), позже вводится понятие случайных и систематических ошибок, а также грубых ошибок, использование которых необходимо для определения диапазона значений.

Школьный химический эксперимент ориентирован на моделирование и проведение взаимодействий веществ, иллюстрирующих изменение их основных физических и химических свойств. В центре внимания стоит сам эксперимент, происходящие превращения веществ, а также качественное описание процесса превращения. Редко используется количественный эксперимент, позволяющий отобразить точное изменение параметров вещества (массы, концентрации, количества вещества). Использование количественных экспериментов в школьной практике не так широко используется в силу большого количества времени, которое требуется для подготовки проведения данного эксперимента, а также получения и обработки его результатов. Например, для проведения работы, иллюстрирующей кислотно-основное взаимодействие сложных неорганических веществ, требуется приготовление рабочих растворов с заданной концентрацией, использование титриметрического метода анализа, проведение серии экспериментов по получению набора значений, а также расчет полученных данных и оценка погрешности полученных результатов эксперимента.

В системе среднего общего образования (СОО) в профилях социально-гуманитарной направленности вместо биологии, физики и химии вводится предмет «Естествознание», продолжающий формировать и развивать навыки проведения экспериментальной деятельности. Однако существует несколько затруднений в реализации данной цели, поскольку одобренные федеральным перечнем учебно-методические комплекты либо

не имеют практических работ в содержании предмета, либо эти работы дублируют работы из курсов биологии, физики или химии, проведенные учащимися в средней школе.

Возникает одна из сложных задач в системе преподавания естествознания — создание системы практических работ, позволяющих отобразить интегративный характер самого предмета, а также формировать и развивать экспериментальные навыки. Важную роль выполняют все методы эмпирического познания в организации и проведении практических работ по естествознанию, поскольку они объединяют естественнонаучные предметы, ориентированные на конкретные методы, а также отображают комплексное изучение объектов окружающей природной среды.

Поскольку свойства изучаемого объекта природы характеризуются определенным набором значений, то они поддаются качественному и количественному измерению. Из-за того, что количественное определение подразумевает определение значений конкретных физических величин, его называют *измерительным экспериментом* [9, с. 7–8]. Проведение практических работ по естествознанию должно точно отражать важность проведения измерений величин, оценку погрешностей в измерениях при изучении явлений и предметов природы [1].

Содержание и структура предмета «Естествознание» у авторов [4, 5] выстроена в соответствии с эволюционной концепцией развития мира, а также связанным с этим развитием изменением размерности изучаемых природных объектов.

В рамках изучения первого блока «Естествознание и методы научного познания», посвященном изучению методов познания и особенностям предмета «Естествознание», рекомендуется проводить практическую работу, целенаправленно ориентированную на проведение учебного измерения. В рамках данного практического занятия можно провести измерение основных физических величин: длины, массы, плотности, концен-

трации и т.д. Также необходимо отработать расчет погрешности измерений, чтобы на всех последующих практических занятиях, связанных с проведением измерений, учащиеся оценивали точность своих измерений.

Практические работы по естествознанию должны быть выстроены таким образом, чтобы ученик находился в роли исследователя, что позволит учителю целенаправленно формировать экспериментальные умения, показывать важность естественнонаучных знаний. Ученик путем постановки учителем проблемных ситуаций стоит перед познавательной задачей составления плана эксперимента. При подготовке эксперимента учащийся создает модель учебного исследования на основании теоретической информации. Получение достоверного результата планируемого измерительного эксперимента зависит от взаимосвязи выдвигаемой гипотезы и измеренными величинами.

Перед выполнением практической работы учащимся необходимо ознакомиться с теоретическим введением, описанием работы, чтобы получить начальное представление об изучаемом природном объекте и проблеме эксперимента. Теоретическое введение позволяет проследить за историческим развитием человеческой и инженерной мысли в проведении эксперимента и соответствующих измерений. При изучении используемых исторических опытов следует донести до учащихся мысль, емко и просто выраженную П.Л. Капицей: *«Отличие хорошего опыта от хорошей теории заключается в том, что теория очень быстро стареет и, заменяясь новой теорией, основанной на более совершенных представлениях, скоро забывается. Другое дело эксперимент: хорошо продуманный и тщательно поставленный опыт входит в науку навсегда, делается его частью. А трактовать этот опыт в разные времена можно по-разному»* [2]. Иллюстрация исторических опытов позволяет показать

важность проведения самих измерений и получения точных результатов. Так, можно сослаться на становление экспериментального метода исследования в работах Галилео Галилея, поскольку проводимые им эксперименты были измерительными. Например, Галилей проводил измерительный эксперимент с наклонной плоскостью и шаром: по наклонной плоскости скатывался металлический шар, и отмечалось расстояние, проходимое им за одинаковые промежутки времени (рис. 1) [8].

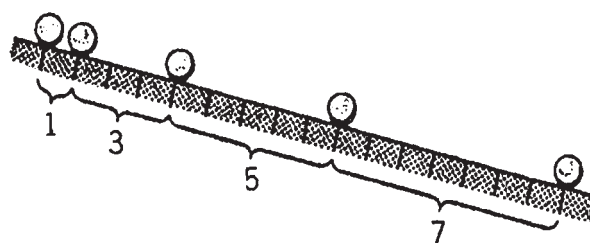


Рис. 1. Схема эксперимента Галилео Галилея

Ученый использовал ритм собственного пульса для отсчета времени перемещения металлического шара. В результате поставленного эксперимента было установлено, что расстояние пропорционально квадрату времени.

Предварительное ознакомление с практической работой позволяет выявить взаимосвязь между изучаемыми явлениями и измеряемыми величинами. Каждый учащийся может оценить необходимое количество измерений в соответствии с составленным или описанным планом проведения эксперимента. Количество измерений напрямую будет зависеть от требуемой точности, времени проведения эксперимента, выбора единиц измерения, оценки качественных и количественных показателей погрешности измерения.

Также ведущая роль в планировании, проведении измерения, а также обработке и анализе полученных результатов принадлежит мотивации ученика-исследователя. Повышение мотивации к выполнению

практических работ, а также к изучению предмета «Естествознание» осуществляется посредством решения реальных жизненных проблемных вопросов и ситуаций. Поиск решения проблемных ситуаций и пробуждение интереса к изучению объектов окружающей природной среды активизирует познавательную деятельность учащихся [6].

В рамках изучения второго блока «Мегамир», посвященного эволюции Вселенной и ее объектов, внимание учащихся акцентируется на методах астрофизического изучения явлений и предметов Вселенной. Рекомендуется использовать практические работы, содержащие обзор исторических изобретений, их устройства и принципа работы, а также подходы, позволяющие получить информацию об объектах природы на основе общих принципов. Например, создание и использование таких астрономических приборов, как квадрант, гониометр и спектрометр, в рамках практических работ позволят не только организовать экспериментальную работу учащихся, развивать их практические экспериментальные умения, но и проводить историческую взаимосвязь между используемыми современными приборами и их историческими прототипами. Использование квадранта позволяет оценить высоту подъема небесного объекта над уровнем горизонта, а также оценить погрешность проводимых измерений и выявить диапазон применимости такого при-

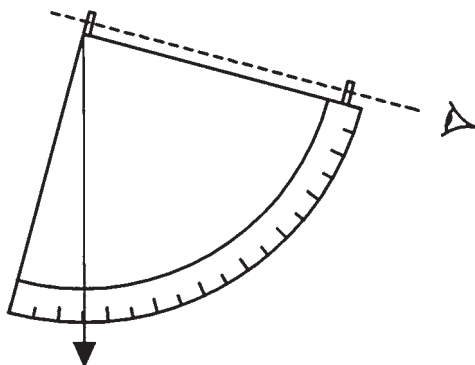


Рис. 2. Принцип работы квадранта

бора. Принцип работы квадранта представлен на рисунке 2. Использование девятидесятиградусной шкалы измерения позволяет ученикам не только провести измерение высоты подъема небесного объекта, но также определить цену деления и рассчитать погрешность проводимого измерения.

В рамках изучения третьего блока «Макромир» можно провести работу по изучению осмоса в клетках растений. Основу работы составляет классический эксперимент, качественно иллюстрирующий плазмолиз клеток кожицы лука, однако его наполнение следует расширить количественными параметрами: построением градуировочного графика зависимости концентрации соли от степени плазмолиза, проведением измерений размеров клеток и оценкой степени плазмолиза, а также наглядно проиллюстрировать влияние внешних факторов на функционирование живых систем. Результаты проводимого плазмолиза фиксируются оптическим микроскопом (рис. 3). При использовании окуляра со шкалой возможно провести количественные измерения.

Следует еще раз подчеркнуть важность проведения измерений на практических работах по естествознанию, поскольку измерение позволяет не только получать конкретные значения по характеристикам изучаемого объекта природы, но обосновать и подтвердить используемые научные

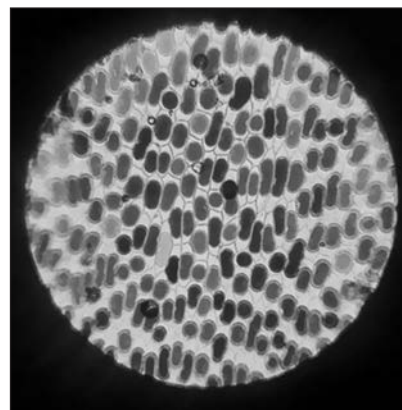


Рис. 3. Фотография клеток кожицы лука, содержащих маркеры раствора  $\text{KMnO}_4$

законы, теории и правила, а также формировать целостную естественнонаучную картину мира.

Использование измерительного эксперимента можно сопровождать изучением исторических опытов, отражающих развитие научной и технической мысли в разные периоды времени.

Мотивационным фактором является использование реальных проблемных вопросов и ситуаций, решение которых позволяет учащимся использовать накопленные ранее знания и умения, а также получать новые при решении поставленных практических задач.

### Литература

1. Анализ и представление результатов эксперимента: Учебно-методическое пособие / Н.С. Воронова, С.Г. Бежанов, С.А. Воронов, Е.В. Хангулян, О.Ю. Цупко, А.И. Романов; Под общ. ред. Н.С. Вороновой. — М.: НИЯУ МИФИ, 2015. — 120 с.
2. *Андроникашвили Э.* Из воспоминаний о гелии-II // Пути в неизвестное. Сб. 17. — М., 1983. — С. 46.
3. *Ермаков С.С., Юркевич В.С.* Развитие познавательной потребности у школьников в процессе обучения // Современная зарубежная психология. Т. 2, № 2. — М.: ГБОУ ВПО «МГППУ», 2013. — С. 87–100.
4. *Габриелян О.С.* Естествознание. Базовый уровень. 10 класс: книга для учителя / О.С. Габриелян, С.А. Сладков, И.Г. Остроумов. — Москва: Общество с ограниченной ответственностью «ДРОФА», 2015. — 416 с.
5. *Одинцова Н.И.* и др. Методика обучения естествознанию: 10 класс / Н.И. Одинцова, М.Ю. Королев, Е.Б. Петрова, Ж.В. Беляева, Л.Н. Заварькина, М.В. Солодихина, Е.В. Старцева. — М.: НИЦ Л-Журнал, 2016. — 124 с.
6. *Осипова Т.А.* Любознательность — путь к познанию // Химия в школе. — 2001. — № 2. — С. 31.
7. *Попов П.В., Нозик А.А.* Обработка результатов учебного эксперимента. [Электронный ресурс] URL: <https://mipt.ru/upload/medialibrary/111/main.pdf>. Дата обращения: 03.11.2021.
8. *Трофимов Е.Г.* Использование исторических опытов в учебном процессе по физике в средней школе как одно из средств развития учащихся познавательного интереса к предмету, к процессу научного познания: Дис. канд. пед. наук. — Челябинск, 1992. — 207 с.
9. *Шкуратник В.Л.* Измерения в физическом эксперименте: Учебник для вузов. — М.: Издательство «Горная книга», 2006. — 335 с.

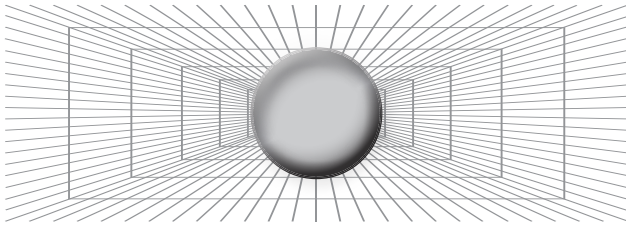
**Дорогие читатели!**  
**Редакция журнала поздравляет вас с Новым годом!**

*Желаем вам в Новом году здоровья, благополучия,  
успехов в вашем нелегком труде  
и, главное, великолепных учеников!*

*В новом году мы продолжим совершенствовать наш журнал,  
печатать статьи, которые будут, надеемся, вам интересны  
и полезны. Всегда будем рады вашим статьям и письмам.*

*Ваше мнение о журнале для нас очень важно!*

**Желаем удачи в Новом году!!!**



## КОМЕТА 1812 ГОДА: ПРОВЕРИМ АЛГЕБРОЙ ГАРМОНИЮ

<b>В.Ф. Очков</b> , д.т.н., профессор, Национальный исследовательский университет «МЭИ»; ochkovvf@mpei.ru	<b>V.F. Ochkov</b> , DrSci (Technical Sciences), Professor, Moscow Aviation Institute (National Research University); ochkovvf@mpei.ru
<b>Ключевые слова:</b> астрономия, комета 1812 года, моделирование движения небесных тел	<b>Keywords:</b> astronomy, comet of 1812, modeling of the motion of celestial bodies
В статье рассказано, как можно моделировать движение небесных тел в среде физико-математической программы Mathcad	The article describes how it is possible to simulate the motion of celestial bodies in the environment of the Mathcad physics and mathematics program
<b>DOI 10.47639/0130-5522_2022_1_26</b>	

В романе Льва Николаевича Толстого «Война и мир» можно прочесть, что Пьер Безухов *«радостно, мокрыми от слез глазами, смотрел на эту светлую звезду, которая, как будто, с невыразимой быстротой пролетев неизмеримые пространства по параболической линии, вдруг, как вонзившаяся стрела в землю, вцепилась тут в одно избранное ею место, на черном небе».*

В декабре 1811 г. люди, включая и Пьера Безухова, еще не знали, что комета C/1811 F1 (а это ее официальное астрономическое обозначение) движется не по параболе, как полагал Толстой, или гиперболу, а по замкнутой эллиптической траектории с периодом в примерно 3100 лет.

А давайте рассчитаем траекторию полета этой кометы, которую упоминает и Пушкин в поэме «Евгений Онегин»!

*Вошел: и пробка в потолок,  
Вина кометы брызнул ток,*

На рисунке 2 дана краткая информация о комете 1812 г. из Википедии. Эти цифры будут служить исходными данными в нашем расчете.

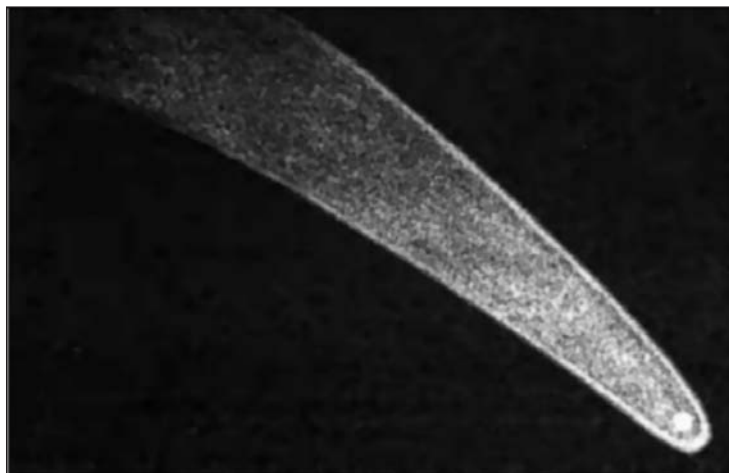
Первой строкой Mathcad-расчета на рисунке 3 вводятся значения гравитационной постоянной  $G$ , астрономической единицы

длины  $AU$  (она примерно равна расстоянию от Земли до Солнца — 150 млн км) и массы Солнца. Цифры взяты из той же Википедии.

На второй строке оценивается масса ядра кометы ( $m_c$ ). Мы допустили, что ядро кометы — это шар диаметром 100 км ( $d_c$ ) с плотностью  $5000 \text{ кг/м}^3$ . Масса ядра кометы



**Рис. 1. Пьер Безухов и комета 1812 года** (рисунки Игоря Караша <http://karashillustration.com/War-Peace-by-Leo-Tolstoy>)



Открытие	
Первооткрыватель	Оноре Флержер
Дата открытия	25 марта 1811
Альтернативные обозначения	1811 I 1811a
Характеристики орбиты	
Эксцентриситет	0,995125
Большая полуось (a)	212 а. е.
Перигелий (q)	1,035412 а. е.
Афелий (Q)	424 а. е.
Период обращения (P)	3100 а.
Наклонение орбиты	106,9342°
Последний перигелий	12 сентября 1811

Рис. 2. Информация из Википедии о комете 1812 года

$G := 6.674 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{kg}^2}$      $AU := 150 \cdot 10^6 \text{ km}$      $m_s := 1.9885 \cdot 10^{30} \text{ kg}$

$d_c := 100 \text{ km}$      $\rho_c := 5000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$      $m_c := \rho_c \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot \left(\frac{d_c}{2}\right)^3 = (2.618 \cdot 10^{15}) \text{ tonne}$

$a := 212 \text{ AU}$      $e := 0.995125$

$b := a \cdot \sqrt{1 - e^2} = 20.908 \text{ AU}$      $c := a \cdot e = 210.967 \text{ AU}$      $Q := a + c = 422.967 \text{ AU}$

$v := 0.1 \frac{\text{km}}{\text{s}}$      $t_{\text{end}} := 3100 \text{ yr}$      $N := 3100 \cdot 12$

Решить

$r(0 \text{ s}) = Q$      $r(t) = \sqrt{(c - x_c(t))^2 + y_c(t)^2}$

$x_c(0 \text{ s}) = -a$      $x_c'(0 \text{ s}) = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$      $m_c \cdot x_c''(t) = G \cdot \frac{m_c \cdot m_s}{r(t)^2} \cdot \frac{c - x_c(t)}{r(t)}$

$y_c(0 \text{ s}) = 0 \text{ m}$      $y_c'(0 \text{ s}) = v$      $m_c \cdot y_c''(t) = G \cdot \frac{m_c \cdot m_s}{r(t)^2} \cdot \frac{-y_c(t)}{r(t)}$

Решатель

$\begin{bmatrix} r \\ x_c \\ y_c \end{bmatrix} := \text{Odesolve} \left( \begin{bmatrix} r(t) \\ x_c(t) \\ y_c(t) \end{bmatrix}, t_{\text{end}}, N \right)$

Рис. 3. Расчет орбиты кометы 1812 года

в нашем расчете не будет влиять на форму ее орбиты, так как эта масса ничтожно мала по сравнению с массой Солнца, вокруг которого комета вращается. Но какое-то значение для этой массы нужно принять, чтобы не было ошибки в расчете, о которой будет сказано ниже?

На третьей строке вводятся параметры орбиты кометы: длина большой полуоси эллипса  $a$  и его эксцентриситет  $e$  — степень его сплюснутости (рис. 2). У окружности (частный случай эллипса) эксцентриситет равен нулю. Если эксцентриситет приближать к единице, то эллипс будет сплющиваться и постепенно превращаться в отрезок прямой, а потом вообще «размажется» в виде вырожденной параболы (эксцентриситет у параболы равен единице, а у гиперболы больше единицы).

На четвертой строке по известным геометрическим формулам рассчитываются длина малой полуоси эллипса  $b$ , фокальное расстояние  $c$  и афелий  $Q$  — максимальное расстояние, на которое наша комета будет удаляться от Солнца, находящегося в правом фокусе эллипса. Вторая такая точка — это перигелий с минимальным расстоянием от Солнца.

На пятой строке расчета задается скорость кометы в принятой нами начальной точке расчета — в афелии. Эту скорость вручную нужно подобрать такой, чтобы длина малой полуоси эллиптической орбиты кометы стала равной заданной величине  $b$ . Далее задается конечное время расчета  $t_{end}$ , за которое комета сделает один оборот вокруг Солнца. Переменная  $N$  — это число разбиений на отдельные точки отрезка времени от нуля (старт расчета движения кометы) до значения  $t_{end}$ . В этих точках будут рассчитаны координаты кометы. Данный отрезок времени разбит на месяцы, которых двенадцать в году ( $N = 3100 \cdot 12$ ).

В блоке «Решить» записана, во-первых, функция  $r(t)$ , задающая расстояние от кометы до Солнца с указанием, что это расстояние равно  $Q$  в начальный момент расчета

ноль секунд ( $0$  s), и, во-вторых, два известных физических закона: второй закон Ньютона и закон всемирного тяготения. Второй закон Ньютона гласит, что сила, действующая на материальную точку, уравновешивается произведением массы точки на ее ускорение — на значение второй производной пути по времени (см. два штриха у функций  $x_c(t)$  и  $y_c(t)$ ). Сила же, действующая на комету, — это гравитационная сила, прямо пропорциональная произведению массы двух небесных тел (у нас это Солнце и комета) и обратно пропорциональная квадрату расстояния между ними. В этих двух уравнениях можно, конечно, сократить массу кометы  $m_c$ , но этого делать не следует, так как в этом случае потеряется физический смысл написанного. Уравнений баланса сил два — по направлению  $X$  и по направлению  $Y$  (принцип суперпозиций). Хочется сказать — по горизонтальному (ось  $X$ ) и вертикальному (ось  $Y$ ) направлениям, но в космосе нет верха и низа! Вторая дробь в правых частях уравнений баланса сил служит для расчета значений проекций гравитационной силы по этим самым направлениям  $X$  и  $Y$ .

Задача решается численно. Это означает, что встроенная в Mathcad функция «Odesolve» генерирует значения трех искомых функций с именами  $r$ ,  $x_c$  и  $y_c$  в заданных  $N$  точках орбиты, по которым интерполяцией генерируются сами функции  $r(t)$ ,  $x_c(t)$  и  $y_c(t)$ . Первая функция, повторяем, возвращает расстояние от Солнца до кометы в зависимости от времени. Две другие — координаты кометы. Их значения и значения их первых производных (значения двух проекций скоростей) в начальный момент времени также задаются пользователем.

Аналитическое решение задачи (уравнение эллипса) также несложно получить. Его можно видеть на сайте <https://community.ptc.com/t5/PTC-Mathcad/Great-Comet-of-1811-ODEs-solution/td-p/736652>.

На рисунках 4 и 5 показаны рассчитанная траектория кометы в целом (рис. 4) и вблизи Солнца (рис. 5).

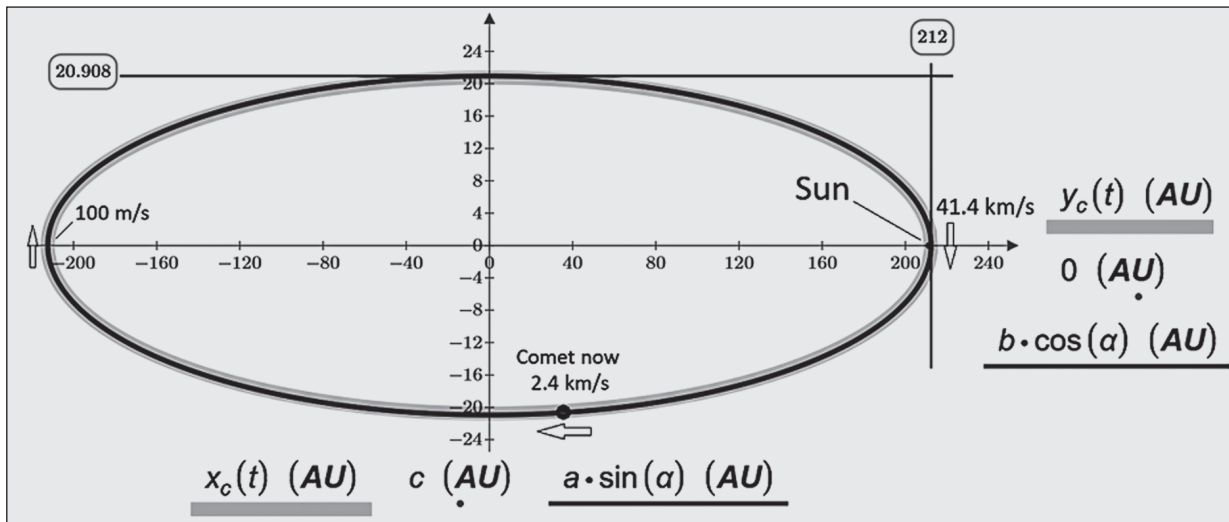


Рис. 4. Орбита кометы 1812 года (у осей разные масштабы)

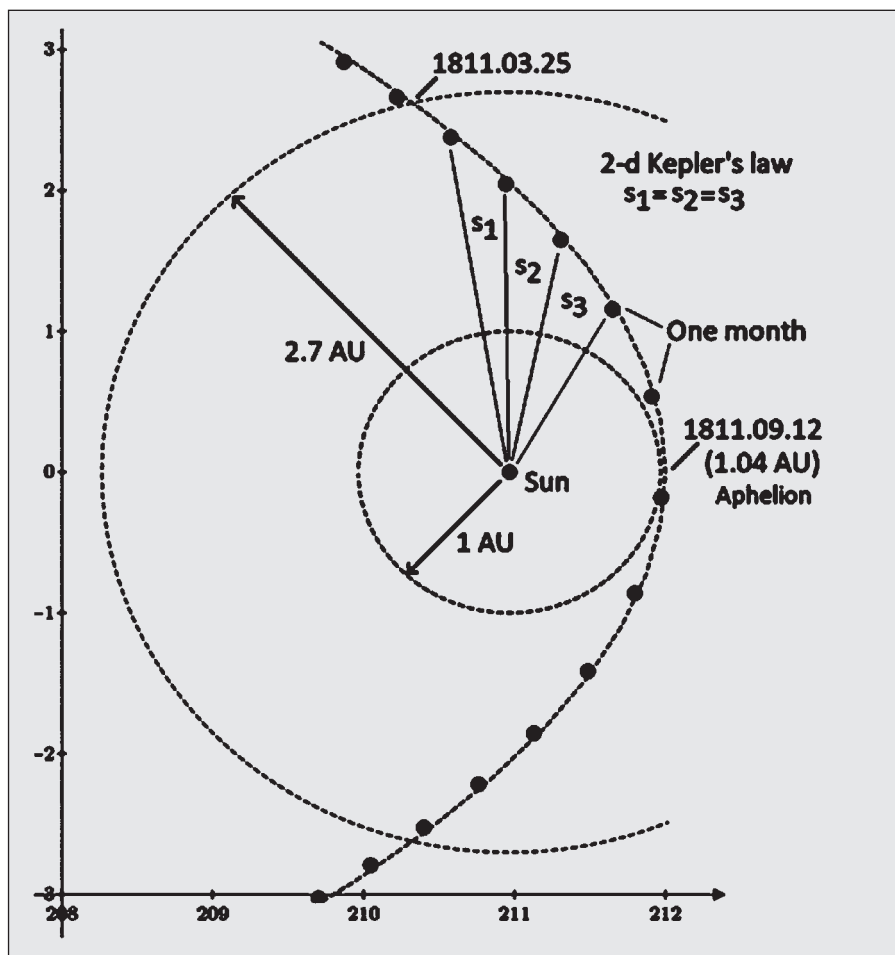


Рис. 5. Орбита кометы 1812 года вблизи Солнца (у осей одинаковые масштабы)



На рисунке 4 эллипс изображен двумя линиями — толстой бледной и тонкой черной, проходящей внутри толстой. Толстая бледная линия — это траектория кометы, полученная путем численного решения системы дифференциальных уравнений (рис. 3), а тонкая черная — это эллипс с полуосями  $a$  и  $b$ . Эти две кривые практически совпали, что свидетельствует о высокой точности нашей математической модели кометы, реализованной на цифровом компьютере, — цифрового двойника кометы, как сейчас принято говорить. Эта математическая модель позволяет рассчитать скорость кометы в разных точках ее орбиты. В афелии (крайняя левая точка на рис. 4) она равна заданной нами величине 100 метров в секунду (360 километров в час — скорость гоночного автомобиля). В перигелии (крайняя правая точка вблизи Солнца и Земли) комета разгоняется до 41,4 километров в секунду. В точке, где находится комета в настоящее время, ее скорость равна примерно 2,4 километра в час.

Интересно посмотреть на траекторию кометы вблизи Солнца и Земли (рис. 5) — там, где ее видел Пьер Безухов в декабре 1811 года.

Точки на рисунке 5 — это ежемесячные положения кометы, рассчитанные по дифференциальным уравнениям, записанным на рисунке 3, а пунктирная линия, проходящая через точки (около точек), — это дуга эллипса с полуосями  $a$  и  $b$ . Именно дуга эллипса, а не парабола, как писал Толстой! Точки находятся вблизи пунктира, что еще раз подтверждает высокую точность численного решения системы дифференциальных уравнений движения кометы двенадцатого года.

Впервые эту комету заметил на небе французский астроном Оноре Фложерг 25 марта 1811 г., что отмечено наверху рисунка 5 (комета движется по часовой стрелке). Она находилась в это время на расстоянии в 2,7 астрономических единиц от Солнца (см. дугу окружности с соответствующим радиу-

сом на рисунке 5). А двенадцатого сентября того же предвоенного года комета оказалась на минимальном расстоянии от Солнца (перигелий), равным 1,04 астрономических единицы. Пунктирная окружность на рисунке 5 с радиусом в одну астрономическую единицу — это не орбита Земли, как может показаться. Дело в том, что плоскости вращения кометы двенадцатого года и Земли вокруг Солнца наклонены друг к другу почти на 107 градусов (рис. 2). Поэтому орбита Земли, если ее рисовать на рисунке 5, будет представлять собой не окружность, а опять же сильно сплюснутый эллипс, касающийся своими вершинами окружности с радиусом в одну астрономическую единицу. Земля будет вращаться по этому эллипсу против часовой стрелки. На это указывает то, что угол наклона орбит Земли и кометы больше 90 градусов.

На рисунке 5 отображен графически второй закон Кеплера: небесное тело, движущееся по эллиптической орбите, за одинаковые отрезки времени вырисовывает секторы с одинаковой площадью, что является следствием того, что скорости небесного тела разные в разных точках орбиты. На рисунке 5 выделены три таких смежных сектора с равными площадями  $s_1$ ,  $s_2$  и  $s_3$ .

А как люди поняли, что комета двенадцатого года летит не по параболической, а по замкнутой эллиптической траектории? Здесь будет весьма уместно вспомнить пушкинские строки из поэмы «Каменный гость»:

Дон Гуан

*Ее совсем не видно*

*Под этим вдовьим черным покрывалом,  
Чуть узенькую пятку я заметил.*

Лепорелло

*Довольно с вас. У вас воображенья*

*В минуту дорисует остальное;*

*Оно у нас проворней живописца,*

*Вам все равно, с чего бы ни начать,*

*С бровей ли, с ног ли.*

Астрономы в начале XIX века могли «за-

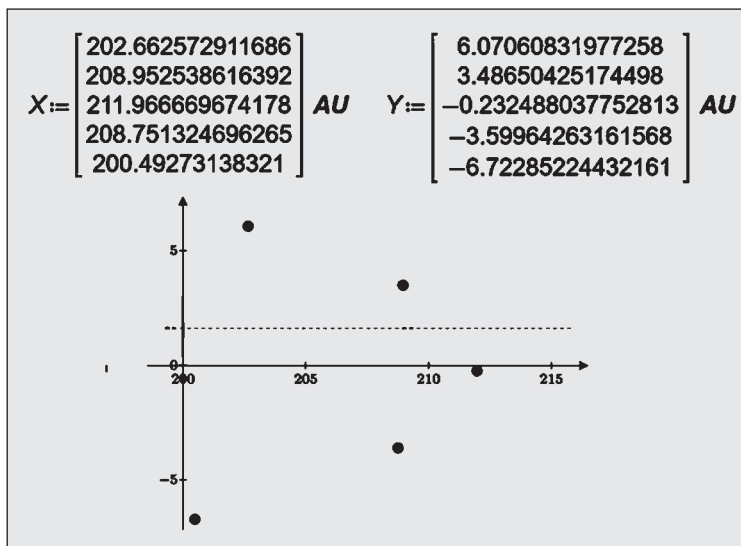


Рис. 6. Пять точек положения кометы 1812 года

$$a_{x2} \cdot x^2 + a_{y2} \cdot y^2 + 2 a_{xy} \cdot x \cdot y + 2 a_x \cdot x + 2 a_y \cdot y + a_0 = 0$$

$$M := \begin{bmatrix} X_0^2 & 2 X_0 Y_0 & Y_0^2 & 2 X_0 & 2 Y_0 \\ X_1^2 & 2 X_1 Y_1 & Y_1^2 & 2 X_1 & 2 Y_1 \\ X_2^2 & 2 X_2 Y_2 & Y_2^2 & 2 X_2 & 2 Y_2 \\ X_3^2 & 2 X_3 Y_3 & Y_3^2 & 2 X_3 & 2 Y_3 \\ X_4^2 & 2 X_4 Y_4 & Y_4^2 & 2 X_4 & 2 Y_4 \end{bmatrix} \quad v := \begin{bmatrix} -a_0 \\ -a_0 \\ -a_0 \\ -a_0 \\ -a_0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} a_{x2} \\ a_{xy} \\ a_{y2} \\ a_x \\ a_y \end{bmatrix} := \text{Isolve}(M, v)$$

$$y_1(x) := \frac{a_y + \sqrt{a_y^2 + 2 \cdot a_y \cdot a_{xy} \cdot x + a_{xy}^2 \cdot x^2 - a_{x2} \cdot a_{y2} \cdot x^2 - 2 \cdot a_x \cdot a_{y2} \cdot x - a_{y2} \cdot a_0 + a_{xy} \cdot x}}{a_{y2}}$$

$$y_2(x) := \frac{a_y - \sqrt{a_y^2 + 2 \cdot a_y \cdot a_{xy} \cdot x + a_{xy}^2 \cdot x^2 - a_{x2} \cdot a_{y2} \cdot x^2 - 2 \cdot a_x \cdot a_{y2} \cdot x - a_{y2} \cdot a_0 + a_{xy} \cdot x}}{a_{y2}}$$

Рис. 7. Формирование и решение СЛАУ

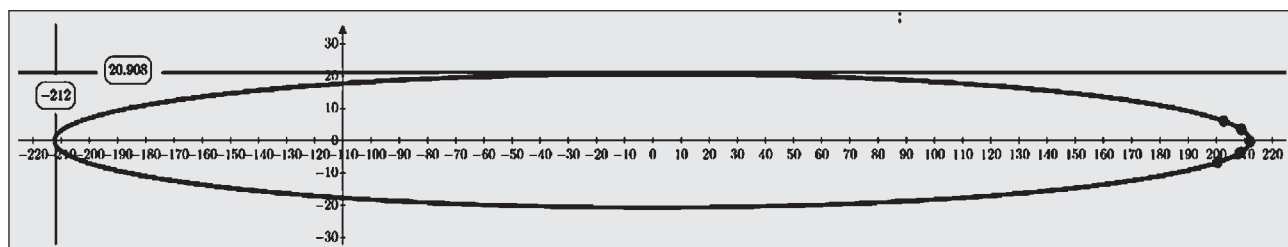


Рис. 8. Эллипс движения кометы 1812 года, построенный по пяти точкам (у осей одинаковые масштабы)

метить лишь узенькую пятку» кометы — ее координаты в нескольких точках вблизи Земли. На рисунке 6 в векторах  $X$  и  $Y$  записаны эти данные, которые отображены и графически.

Известно, что для рисования прямой на плоскости (кривая первого порядка) нужны минимум две точки. У эллипса же (кривая второго порядка) таких точек должно быть пять.

На рисунке 7 первой строкой записано уравнение плоской кривой второго порядка. Если найти значения шести коэффициентов уравнения, то можно построить саму кривую. Задача сводится к решению системы пяти линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) с пятью неизвестными. А почему коэффициентов шесть, а уравнений пять? Дело в том, что СЛАУ по уравнению плоской кривой второго порядка с шестью коэффициентами имеет бесконечное число решений, включая решение, когда все коэффициенты равны нулю. Одно из «ненулевых» решений можно найти так: задать значение одного из коэффициентов, а потом рассчитать значения остальных, которые при подстановке их в уравнение превращают его в тождество. На второй строке расчета на рисунке 7 формируется

квадратная матрица  $M$  коэффициентов при неизвестных СЛАУ и вектор свободных членов  $v$ , который хранит заданное значение шестого коэффициента  $a_0$  уравнения кривой второго порядка (сто астрономических единиц). Функция «lsolve» вернула решение СЛАУ: пять искомым коэффициентов, по которым можно построить траекторию кометы по двум половинкам кривой — верхней  $y_1(x)$  и нижней  $y_2(x)$ . Эти две функции получены в результате аналитического решения уравнения кривой второго порядка относительно переменной  $y$ .

На рисунке 8 построена траектория полета кометы с опорой на пять точек, которые показаны справа на эллипсе.

На вышеотмеченном сайте можно видеть анимацию движения кометы 1812 года вокруг Солнца, а на сайте <https://community.ptc.com/t5/PTC-Mathcad/Celestial-Mechanics/m-p/562213> — анимации других интересных случаев движения небесных тел.

### Выводы

Современные физико-математические программы позволяют довольно просто вести расчеты движения небесных тел. А средства анимации позволяют добавить в расчеты наглядность и занимательность.

### УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Издательство «Школьная Пресса» предлагает вам познакомиться с содержанием архивных номеров журнала

#### ФИЗИКА В ШКОЛЕ,

начиная с выпусков 1949 года.

Архивные номера дополняют и обогатят информацию по интересующей вас теме.

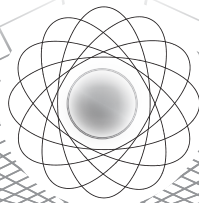
Содержание этих номеров вы найдете на сайте издательства [schoolpress.ru](http://schoolpress.ru) в разделе «Архив номеров».

Интересующую вас отдельную статью или номер журнала любого года издания можно заказать в электронном виде (PDF-файл).

Заявки присылайте на электронную почту [school-press@ya.ru](mailto:school-press@ya.ru).

Стоимость статьи — 100 рублей, номера журнала — 350 рублей.

Доставка pdf-файла на e-mail заказчика



## ЭКСПЕРИМЕНТ

# ПРИБОР ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЗАКОНОВ ДИНАМИКИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

<b>С.П. Жакин</b> , к.п.н., доцент, Курганская госсельхозакадемия им. Т.С. Мальцева, ГБОУ ОШИ «Лицей-интернат для одаренных детей»; fil2410@rambler.ru	<b>S.P. Zhakin</b> , PhD (Pedagogy), Assistant professor of T.S. Maltsev Kurgan State Agricultural Academy, Boarding School for Gifted Children; fil2410@rambler.ru
<b>И.Н. Рогова</b> , к.п.н., зав. кафедрой физики, математики и информационных технологий, Курганская госсельхозакадемия им. Т.С. Мальцева	<b>I.N. Rogova</b> , PhD (Pedagogy), Head of the Department physics, mathematics and information technology Assistant professor of T.S. Maltsev Kurgan State Agricultural Academy
<b>Ключевые слова:</b> маятник Обербека, сплошной и полый цилиндры, момент силы, момент инерции, угловое ускорение, плоское движение, трение качения	<b>Keywords:</b> Oberbeck pendulum, solid and hollow cylinders, moment of force, moment of inertia, angular acceleration, plane motion, rolling friction
В статье описана технология изготовления multifunctional прибора, который позволяет продемонстрировать основной закон динамики вращательного движения твердых тел, не привлекая маятник Обербека. Прибор также может быть использован при изучении плоского движения. Например, скатывание с наклонной плоскости сплошного и полого цилиндров. Описаны основные демонстрационные опыты по динамике вращательного движения тел на основе предлагаемого прибора. Показана возможность использования данного прибора для решения ряда экспериментальных задач по данной теме. Основная особенность проводимых опытов – это применение метода сравнения физических величин, когда измеряется не сама физическая величина, а их отношение. Обязательное условие: время вращения двух тел должно быть одинаково. В таких экспериментах точность измерений значительно повышается. Возможно применение этого метода и при решении экспериментальных задач по кинематике	The article describes the technology of manufacturing a multifunctional device that allows you to demonstrate the basic law of the dynamics of rotational motion of solids without involving the Oberbeck pendulum. The device can also be used in the study of flat motion. For example, rolling down from an inclined plane of solid and hollow cylinders. The main demonstration experiments on the dynamics of the rotational motion of bodies based on the proposed device are described. The possibility of using this device to solve a number of experimental problems on this topic is shown. The main feature of the conducted experiments is the use of the method of comparing physical quantities, when not the physical quantity itself is measured, but their ratio. Mandatory condition: the rotation time of the two bodies must be the same. In such experiments, the measurement accuracy is significantly increased. It is also possible to use this method in solving experimental kinematics problems
<b>DOI 10.47639/0130-5522_2022_1_33</b>	

Для демонстрации основного закона динамики вращательного движения (ДВД) обычно используют крестообразный маятник Обербека [1, с. 55]. Несмотря на простую конструкцию, прибор обладает боль-

шими методическими возможностями: его можно использовать как в демонстрационном эксперименте, так и при решении экспериментальных задач. Опыты получаются наглядными, зрелищными и в то же время

убедительными. Например, *демонстрация зависимости углового ускорения от момента инерции крестовины* всегда вызывает повышенный интерес. К сожалению, в перечне учебного оборудования данный прибор не числится. Тем не менее, можно воспользоваться установкой на основе вращающегося диска и показать основные опыты по данной теме. Один из вариантов такой установки описан в профильном учебнике «Физика 10» [2, с. 37]. В обоих приборах момент инерции вращающегося тела изменяется *перемещением дополнительных грузов* от оси крестовины (диска) к периферии и наоборот.

Существует другой способ показать *зависимость углового ускорения вращающегося тела от его момента инерции*. Для этого берут два тела одинакового размера и массы, но с заведомо разным распределением масс в каждом, и приводят их во вращение. Один из вариантов такого подхода описан в книге [1, с. 69]. На вершине наклонной плоскости устанавливают рядом два цилиндра: один сплошной (деревянный), другой полый (отрезок металлической трубы), так, чтобы их оси находились на одной линии. Затем одновременно отпускают цилиндры и замечают, что полый цилиндр скатывается медленнее сплошного. Почему? Массы цилиндров одинаковы, диаметры тоже. Если этот опыт показывать в начале изучения темы как проблемный, то вряд ли кто из учащихся ответит правильно. Однако демонстрация данного опыта после изучения темы дает практически такой же результат. Странный феномен. Если же упростить ситуацию: представить, что оба цилиндра насажены на горизонтальную ось, а вращение задается одинаковыми грузами, закрепленными на свободных концах шнуров, то процент правильных ответов увеличивается. Все-таки плоское движение, как совокупность поступательного и вращательного движений, сложно воспринимается учащимися. Появилась идея сконструировать прибор, который бы выполнял функции ма-

ятника Обербека, а также мог быть использован при изучении плоского движения.

Прибор имеет открытую конструкцию (внешний вид прибора (верхняя часть) показан на рис. 1). В верхней части рамы размером  $700 \times 300 \times 60$  мм установлена металлическая площадка толщиной 5–10 мм, на которой закреплены (вдоль одной линии) два цилиндра: сплошной (текстолитовый) и тонкостенный полый (отрезок трубы). Длина каждого цилиндра равна около 100 мм, диаметр — 50 мм. Масса каждого цилиндра (без оси) 260 г. Сначала подбирают подходящий отрезок стальной (латунной) трубы, а потом под него вытачивают сплошной цилиндр. Материал — текстолит, береза, лиственница. Оси роликов — два металлических стержня длиной 120–140 мм и диаметром 5 мм; один пройдет через осевое отверстие сплошного цилиндра, другой — через два отверстия в боковой крестовине (заглушке) полого цилиндра. Каждая ось закрепляется в боковых опорах размером  $45 \times 35 \times 10$  мм с помощью подшипников. В простейшем случае в качестве оси подойдет стальная спица диаметром 3 мм, закрепленная в отверстиях боковых опор. На одну из осей насажен текстолитовый шкив диаметром 10 мм (цилиндр с осевым отверстием 5 мм). Верхняя часть каждой опоры (до середины гнезда подшипника) является *съёмной* и скрепляется с нижней частью двумя болтами. Это позволяет быстро *устанавливать* цилиндры в опоры и быстро *снимать* с опор. На каждый цилиндр намотан шнур длиной 1,5 м с грузами разновеса на свободных концах массой по 20 г. Прибор снабжен тормозным устройством, состоящим из прижимной пластины, рычага и пружины. Рычаг (металлический прут) установлен на основании между цилиндрами и снизу закреплен в оси. Верхняя его часть соединена с прижимной пластиной, которая, опираясь на края цилиндров, создает сцепление с помощью упругой пружины. Для увеличения трения к краям прижимной пластины приклеены полоски резины. В комплект при-

бора еще входит съемный фоновый экран, цвет которого подбирается экспериментально.

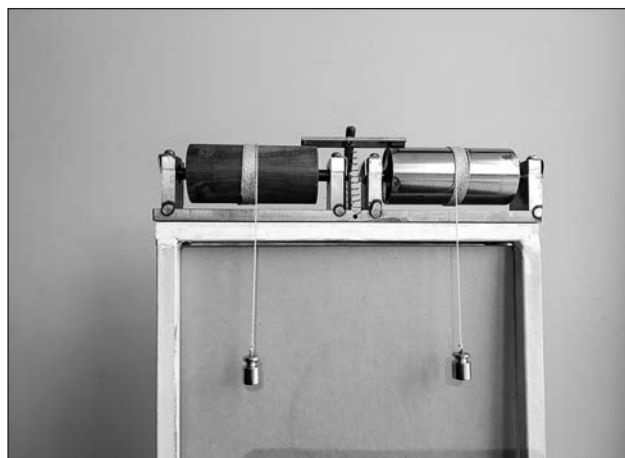


Рис. 1. Внешний вид установки (верхняя часть прибора)

### Опыт 1. Зависимость углового ускорения от момента инерции тела

Вначале показывают учащимся равенство масс цилиндров и их диаметров. Цилиндры взвешивают на весах, а диаметры тел измеряют штангенциркулем. Наматывают шнуры на каждый из цилиндров и устанавливают грузы на одной высоте в верхней части прибора. Убеждаются, что прижимная пластина тормозной колодки надежно удерживает грузы в одном положении. Обращают внимание учащихся, что левый цилиндр *сплошной*, правый — *полый*. Затем громко начинают счет (от пяти до нуля), и со словом «ноль» поднимают прижимную пластину, удерживая ее в этом положении. Грузы устремляются вниз, *раскручивая* цилиндры. Хорошо заметно, что левый груз, опускается быстрее, чем правый. В момент достижения левым грузом основания прибора, резко отпускают прижимную пластину колодки. Замечают, что грузы остановились на разной высоте. Опыт повторяют, обсуждают результат и делают соответствующие выводы. Экспериментальный факт: *ускорение падающего груза (гири*

*разновеса)*, а значит, и угловое ускорение цилиндра, существенно зависит от распределения массы в самом теле. Чем дальше масса от оси вращения, тем больше ее момент инерции. После демонстрации данного опыта можно на качественном уровне ввести понятие *момента инерции* материальной точки и полого цилиндра. Момент инерции сплошного цилиндра рассчитывается сложнее, с применением высшей математики. Поэтому дается готовая формула. Идея расчета — суммирование моментов инерции цилиндрических слоев от оси цилиндра до периферии. Вдумчивые учащиеся могут обратить внимание на то, что по этой логике отношение путей, проходимых гирями, должно отличаться в 2 раза, а из опыта — это отношение явно меньше двух. Этот вопрос можно обсудить после демонстрации второго опыта. Итак, главный вывод проводимых опытов: *угловое ускорение вращающегося тела находится в обратной зависимости от момента инерции тела.*

### Опыт 2. Зависимость углового ускорения от момента силы

Возвращают грузы в прежнее положение, вращая рукой цилиндры в обратном направлении при опущенной тормозной колодке. Затем увеличивают массу правого перегрузка в два раза, подвесив еще одну гирию массой 20 г. Отпускают тормозную колодку и наблюдают заметное увеличение скорости «падения» правого груза, а значит, и угловой скорости вращения цилиндра. При резком торможении цилиндров правый груз окажется почти на той же высоте, что и левый. Опыт повторяют, но уже при снятом левом грузе. Далее проводят эксперименты, изменяя момент силы за счет плеча силы при неизменной массе перегрузка. Для этого используют дополнительный блок, закрепленный в штативе. При обсуждении опытов следует особо отметить: крутящий момент порождается силой натяжения нити и рассчитывается по формуле  $M = TR$ . При неподвижном цилиндре

( $T = mg$ ) можно говорить о моменте силы тяжести, который уравновешен моментом силы трения покоя со стороны тормозной колодки. При ускоренном движении  $T < mg$ , поэтому гири одинаковой массы создают разные крутящие моменты. Все опыты обсуждают и делают вывод: *угловое ускорение вращающегося тела пропорционально моменту силы.*

Далее записывают основное уравнение ДВД, а также уравнение второго закона Ньютона. Обращают внимание учащихся на большое сходство в формулировках сравниваемых законов и в структуре формул. Вполне логично использовать данную установку для решения разного рода экспериментальных задач.

**Задача 1.** *Сплошной цилиндр массой  $m_0 = 260$  г насажен на горизонтальную ось. На цилиндр намотан шнур, к свободному концу которого подвешен груз массой  $m = 20$  г. 1. Найти ускорение, с которым опускается груз, если его отпустить. 2. Найти ускорение груза, если сплошной цилиндр заменить на полый, такого же радиуса и массы.*

**Решение.** 1). Силы, действующие на цилиндр и груз (гиря разновеса) при ускоренном движении тел, показаны на рисунке 2. На груз действуют сила тяжести  $mg$  и сила натяжения (сила упругости) нити  $T$ . На цилиндр — сила  $T$ . Именно эта сила создаст вращающий момент, а не сила тяжести  $mg$ . Важно подчеркнуть, что сила  $mg$  «не передается» цилиндру. Когда цилиндр заторможен, то  $T = mg$ . Запишем уравнение второго закона Ньютона для поступательного движения гири в проекции на вертикальную ось и основное уравнение ДВД цилиндра относительно оси, проходящей через его центр масс (ЦМ). В общем виде они имеют вид:

$$mg - T = ma, \quad M = I\varepsilon. \quad (1)$$

Но  $M = TR = (mg - ma)R$ , момент инерции сплошного цилиндра  $I = \frac{m_0 R^2}{2}$ , а угло-

вое ускорение  $\varepsilon = \frac{a}{R}$ . Будем считать для первого случая  $a = a_1$ . Отсюда получим:

$$a_1 = \frac{2mg}{m_0 + 2m}. \quad (2)$$

2). Момент инерции полого цилиндра равен  $I_1 = m_0 R^2$ . Следовательно, изменится сила натяжения нити и ее крутящий момент. Ускорение перегрузка той же массы  $m$  уменьшится и составит:

$$a_2 = \frac{mg}{m_0 + m}. \quad (3)$$

Отношения линейных ускорений и угловых будут равны

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{2(m_0 + m)}{m_0 + 2m}. \quad (4)$$

Из уравнения (4) следует, что при  $m_0 \gg m$  отношение ускорений близко к двум. В нашем случае значение  $m_0$  превышает  $m$  на порядок, поэтому

$$\frac{a_1}{a_2} \approx 1,87.$$

С учетом погрешностей отношение путей  $\frac{s_1}{s_2}$ , проходимых «падающими» грузами, будет примерно таким же. Если различие существенное, то одна из возможных причин — наличие массивных осей, которые уменьшают «активную» массу маховика, что особенно сказывается на полом цилиндра. Поэтому оси должны быть достаточно тонкими (порядка 3–5 мм).

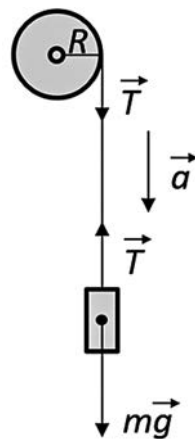


Рис. 2. Силы, действующие на цилиндр и груз

В связи с этим можно поручить подготовленным учащимся (в рамках проектной деятельности) решить другую экспериментальную задачу. *Используя основной закон динамики вращательного движения тела, найти момент инерции сплошного и полого цилиндров и определить их погрешности.*

### Опыт 3. Динамика плоского движения

Вначале на демонстрационном столе устанавливают наклонную плоскость под небольшим углом. Такую плоскость можно сделать из листа фанеры или приспособить столешницу ученического стола. В основании «горки» помещают преграду (деревянный брусок, обмотанный поролоном). Снятые с опор цилиндры устанавливают на вершине так, чтобы их оси были на одной линии. Затем по команде «ноль» отпускают цилиндры и наблюдают более быстрое скатывание сплошного цилиндра. Опыт повторяют несколько раз. Учащиеся уже подготовлены к восприятию демонстрируемого опыта, поэтому многие дают правильный ответ, указывая на различие моментов инерции цилиндров.

Опыты можно разнообразить. Например, поместив цилиндры друг за другом так, чтобы их поверхности соприкасались. Если внизу — сплошной цилиндр, то при отпускании он «убегает» от полого; если внизу полый, то они скатываются вместе, взаимно уменьшая вращение. Предложим другой вариант опыта. Оси цилиндров с обеих сторон соединяют петлями из эластичной шелковистой тесьмы так, чтобы между цилиндрами был зазор в несколько сантиметров. Такую «тележку», с передним сплошным колесом, устанавливают на вершине наклонной плоскости, а затем отпускают. Тележка движется как одно целое, создавая небольшое натяжение в петлях. После обсуждения опытов переходят к решению экспериментальных задач. Следует отметить, что в ходе решения могут возникнуть

вопросы, связанные с кинематикой плоского движения. Например, *почему скорость поступательного движения центра масс катящегося тела (цилиндра, шара) равна скорости вращательного движения любой точки на поверхности относительно его центра? Что значит скатывание цилиндра без проскальзывания?* Все эти вопросы можно заранее обсудить, что позволит сконцентрировать внимание учащихся на проблемах динамики.

**Задача 2.** *Цилиндр массой  $m = 260$  г скатывается без проскальзывания с наклонной плоскости с углом при основании  $\alpha = 10^\circ$ . Рассчитайте ускорение центра масс цилиндра: а) цилиндр сплошной; б) цилиндр полый. Массы цилиндров и их радиусы равны [3, с. 41].*

Движение цилиндра можно представить как сумму поступательного движения ЦМ и вращательного относительно ЦМ. На цилиндр действуют три силы:  $mg$  — сила тяжести,  $N$  — сила реакции опоры,  $F_{mp}$  — сила трения. В классическом варианте записывают уравнение второго закона Ньютона (в проекции на направление движения) и его вращательный аналог (уравнение ДВД) относительно ЦМ цилиндра:

$$mgsin\alpha - F_{mp} = ma, \quad M = I\varepsilon. \quad (5)$$

Для сплошного цилиндра момент силы трения  $M_1 = F_{mp1} R$ , момент инерции  $I_1 = mR^2/2$ , угловое ускорение  $\varepsilon_1 = a_1/R$  ( $a_1$  — линейное ускорение ЦМ тела). Решая систему уравнений, получим:

$$a_1 = 2/3gsin\alpha, \quad F_{mp1} = 1/3mgsin\alpha. \quad (6)$$

Для полого цилиндра  $I_2 = mR^2$ , поэтому ускорение равно

$$a_2 = 1/2gsin\alpha, \quad F_{mp2} = 1/2mgsin\alpha. \quad (7)$$

В упрощенном варианте те же результаты можно получить, используя уравнение ДВД относительно мгновенной оси вращения либо используя закон сохранения энергии.

Как видно из уравнений (6) и (7), ускоре-



ния ЦМ цилиндров не сильно отличаются друг от друга ( $a_1/a_2 \approx 1,33$ ). Теоретический расчет подтверждают опытом, измеряя пути, проходимые цилиндрами при их скатывании. Поступают следующим образом. На пути цилиндров расставляют массивные преграды: для сплошного цилиндра — в основании наклонной плоскости, а для полого — повыше, в соответствии с полученным расчетом. Устанавливают тела на вершине и одновременно отпускают их. Замечают, что цилиндры сталкиваются со своими преградами *практически одновременно*. Стоит обратить внимание учащихся на то, что при закрепленных осях это отношение гораздо больше ( $a_1/a_2 \approx 1,87$ ). Это весьма любопытный факт, который требует обсуждения.

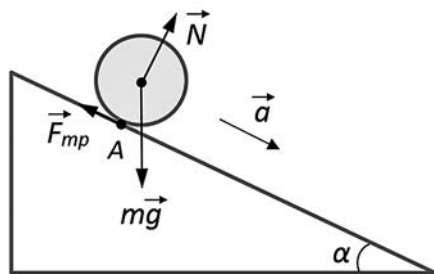


Рис. 3

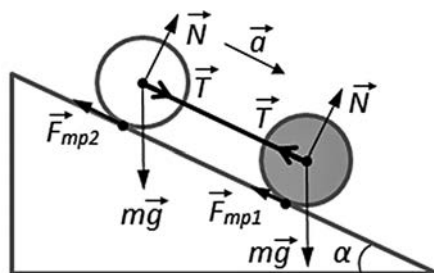


Рис. 4

Возникают также вопросы о механизме силы трения при качении колеса, цилиндра, шара. Во-первых, тело движется, а говорят о какой-то *силе трения покоя*. Во-вторых, силы трения, действующие на каждый из цилиндров, отличаются друг от друга. Действительно, на сплошной цилиндр действует сила

$$F_{mp1} = 1/2ma_1 = 1/3mg \sin \alpha,$$

а на полый —

$$F_{mp2} = ma_2 = 1/2mg \sin \alpha.$$

Как это может быть? Ведь сила нормального давления  $N$ , действующая на каждый цилиндр, одна и та же:  $mg \cos \alpha$ . Наблюдается явное противоречие. В связи с этим следует пояснить, что в подобных задачах рассматривают тела, участвующие в движении, как *абсолютно твердые*. Это значит, что отсутствуют деформации тел в местах их контакта. Поэтому шар при движении соприкасается с поверхностью в *одной точке*, а цилиндр — *вдоль одной линии*. Точка приложения силы трения — это мгновенная ось вращения (точка А на рис. 3). Поэтому крутящий момент относительно ЦМ тела будет создавать только одна касательная сила — *сила трения*. Другие силы ( $mg$ ,  $N$ ) имеют равные нулю плечи. Отсюда становится понятна роль трения — обеспечить сцепление с опорой, чтобы не было скольжения (*проскальзывания*). В этом случае скорость *всех точек цилиндра*, находящихся на линии соприкосновения, **равна нулю**. Если цилиндр не скользит при наличии составляющей силы тяжести  $mg \sin \alpha$ , то *на цилиндр* через точки соприкосновения в каждое мгновение *со стороны опоры* действует сила *трения покоя*. Как известно, величина этой силы может изменяться в пределах от нуля до максимального значения  $F_{тр.мах} = \mu mg \cos \alpha$ . Следовательно, для скатывания цилиндра *без проскальзывания* необходимо, чтобы  $F_{тр} \leq F_{тр.мах}$ . Этому условию соответствует максимальный угол наклона  $\alpha_{мах}$ , который, в случае сплошного цилиндра, определяется из выражения  $\text{tg } \alpha_{мах} = 3\mu$ . (Глубокий анализ механизма скатывания изложен в книге [4, с. 158].) Поскольку сила трения еще создает крутящий момент, то ее величина зависит от момента инерции скатываемого тела и углового ускорения относительно ЦМ. В итоге сила трения оказывается больше у полого цилиндра. Кстати, если колесо является *ведущим*, то сила трения покоя (*сила сопротивления*

скольжению) будет направлена вперед по ходу движения [5, с. 74].

Еще один парадоксальный результат:  $F_{mp} = 0$ , если цилиндр или шар катится по ровной горизонтальной плоскости ( $\alpha = 0$ ). На самом деле движение будет замедленным. Следовательно, здесь нужна другая теория. В действительности тела при качении деформируются. Так, при качении шара образуется лунка в опоре, а само тело несколько сплющивается. Это приводит к сдвигу силы нормального давления  $N$  вперед по ходу движения. Появляется плечо силы  $N$ , а значит, и тормозящий момент  $M = kN$  ( $k$  — плечо силы нормального давления). По этой причине даже стальной шар, движущийся по ровной стальной поверхности, замедляется. Это и есть сила трения качения. Таким образом, реально на катящееся тело действует  $F_{mp}$ , которая равна сумме силы трения покоя и силы трения качения. Другое дело, что в большинстве случаев силой трения качения пренебрегают в виду ее малости. Полезно поручить подготовленным учащимся проект на эту тему. Например, теория процессов трения качения на доступном уровне изложена в замечательной книге [6, с. 279], а опытное измерение коэффициентов трения качения — в прекрасной работе [7, с. 120].

**Задача 3.** *Оси тонкостенного и сплошного цилиндров соединены невесомой штангой (рис. 4). Цилиндры скатываются без проскальзывания по наклонной плоскости с углом  $\alpha$ . Радиусы цилиндров одинаковы, масса каждого цилиндра  $m$ . Определите силу натяжения штанги [2, с. 62].*

**Решение.** Поскольку оси цилиндров соединены штангой, то цилиндры разъехаться не могут. Появляется натяжение в штанге. Сплошной цилиндр действует через связь на полый цилиндр с силой  $T$ , разгоняя его. В свою очередь, тонкостенный цилиндр тормозит сплошной, действуя через невесомую штангу с той же силой  $T$ . Таким образом, центры масс обоих цилиндров движутся с одинаковым ускорением  $a$ .

Запишем уравнение второго закона Ньютона для поступательного движения ЦМ каждого цилиндра в проекциях на ось, связанную с наклонной плоскостью, а также основное уравнение ДВД цилиндров относительно их ЦМ:

$$mg \sin \alpha - F_{mp1} - T = ma, \quad M_1 = I_1 \varepsilon. \quad (8)$$

$$T + mg \sin \alpha - F_{mp2} = ma, \quad M_2 = I_2 \varepsilon. \quad (9)$$

$$\text{Но } M_1 = F_{mp1} R, \quad M_2 = F_{mp2} R, \text{ а}$$

$$I_1 = mR^2/2, \quad I_2 = mR^2, \quad \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon = a/R. \quad (10)$$

Решая совместно уравнения (7), (8) с учетом соотношений (9), получим:

$$a = 4/7g \sin \alpha, \quad T = ma/4 = 1/7mg \sin \alpha. \quad (11)$$

Понятно, что при наличии двух штанг сила натяжения в каждой составит  $T_0 = T/2$ . Сравнивая ускорение  $a$  «тележки» с ускорениями  $a_1$  и  $a_2$  цилиндров при их свободном скатывании, замечаем, что  $a \approx (a_1 + a_2)/2$ . Далее, из основного уравнения ДВД автоматически следует:

$$F_{mp1} = ma/2 = 2/7mg \sin \alpha,$$

$$F_{mp2} = ma = 4/7mg \sin \alpha.$$

Полый цилиндр в два раза больше «сопротивляется» качению, чем сплошной, при одинаковых массах и радиусах и одинаковом ускорении. Есть смысл обсудить такой результат с учащимися.

В качестве закрепления можно предложить подобную задачу, убрав штангу. В этом случае цилиндры приводят в соприкосновение и отпускают с горки. Цилиндры скатываются, воздействуя друг на друга силой  $N$  (вдоль линии, соединяющей оси цилиндров). При этом на каждый цилиндр действует сила трения скольжения  $F_{mp} = \mu N$ , направленная по касательной к линии соприкосновения. Это очень интересная задача, решение которой сопровождается экспериментальной поддержкой. Ее также можно поручить выполнить учащимся как проект.

Таким образом, применение прибора весьма разнообразно. Его можно использовать как в демонстрационных опытах, так

и при решении различных экспериментальных задач, включая разделы «Кинематика», «Закон сохранения энергии».

### Литература

1. *Грабовский М.А.* и др. Лекционные демонстрации по физике / под редакцией В.И. Ивероновой. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1972.

2. *Кабардин О.Ф., Орлов В.А., Эвенчик Э.Е.* и др. Физика. 10 класс / под редакцией А.А. Пинского, О.Ф. Кабардина. — М.: Просвещение, 2002.

3. *Воробьев И.И., Зубков П.И., Кутузова Г.А.* и др. Задачи по физике: Учеб. пособие / Под ред.

О.Я. Савченко. — Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 1999.

4. *Савельев И.В.* Курс общей физики. Т.1. Механика. Молекулярная физика. — М: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1977.

5. *Жакин С.П.* Демонстрация силы трения при качении колеса // Физика в школе. — 1990. — № 6.

6. *Джанколи Д.* Физика: В 2-х т. Т. 1. — М: Мир, 1989.

7. *Филипп А.Р., Жолнерович И.И., Гуринович В.В.* Установка для изучения трения качения // Физическое образование в вузах. — 2016. — Т. 22. — № 3. — С. 120–132.

## ТВОРЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОВЕДЕНИЮ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА НА ПРИМЕРЕ ИЗУЧЕНИЯ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ ПРИ УДАРЕ

<p><b>А.Ю. Милинский</b>, к.ф.-м.н., доцент, Благовещенский государственный педагогический университет, г. Благовещенск, Амурская область; a.milinskiy@mail.ru</p>	<p><b>A.Yu. Milinskiy</b>, PhD (Physics and mathematics), associate professor, Blagoveshensk State Pedagogical University, Blagoveshensk, Amur region; a.milinskiy@mail.ru</p>
<p><b>С.В. Барышников</b>, д.ф.-м.н., профессор, Благовещенский государственный педагогический университет, г. Благовещенск, Амурская область; svbar2003@list.ru</p>	<p><b>S.V. Baryshnikov</b>, DrSci (Physics and mathematics), Professor; Blagoveshchensk State Pedagogical University, Blagoveshensk, Amur region; svbar2003@list.ru</p>
<p><b>Ключевые слова:</b> закон сохранения энергии, эксперимент, количество теплоты</p>	<p><b>Keywords:</b> law of conservation of energy, experiment, amount of heat</p>
<p>В статье рассматривается применение современных компьютерных технологий в учебном физическом эксперименте на примере определения выделяемой теплоты при частично упругом ударе. Предлагаются различные варианты реализации эксперимента в зависимости от оснащённости физического кабинета. Методика была опробована в школах Благовещенска и показала хороший результат</p>	<p>The article discusses the use of modern computer technology in making an educational physical experiment on the example of measuring the heat released with a partially elastic impact. Various options for the implementation of the experiment are proposed, depending on the equipment of the physical schoolroom. The technique was tested in one of the schools in Blagoveshchensk and showed good results</p>
<p>DOI 10.47639/0130-5522_2022_1_40</p>	

### Введение

Экспериментальный характер физики определяет ведущую роль учебного физического эксперимента как исследовательского метода обучения [1]. Поэтому разработка ме-

тодики физического эксперимента и поиск оборудования для его проведения является одним из важных направлений модернизации физического образования в средних и высших учебных заведениях [2, 3].

Залогом качественного образовательного процесса и успешного физического эксперимента является хорошо укомплектованный кабинет физики. Универсальные комплекты, основой которых являются современные измерительные средства, существенным образом уменьшают временные затраты учителя при подготовке физических демонстраций и организации самостоятельного эксперимента. Использование возможностей современной цифровой техники позволяет реализовать ранее недоступные эксперименты либо такие, которые раньше требовали больших затрат времени и сил учителя физики. Но, к сожалению, далеко не все школы имеют современное оборудование, а в ряде сельских малокомплектных школ вообще нет физических кабинетов. Многие школы не могут позволить себе такие комплексы в связи с ограниченными финансовыми возможностями, так как физическое оборудование, выпускаемое в последнее время, имеет весьма высокую стоимость.

В данной статье приводится пример реализации экспериментального творческого задания по определению количества теплоты, выделяющейся при ударе шарика о поверхность стола, с использованием различных технических возможностей.

### Теоретическая часть

Количество тепловой энергии, выделяющейся при ударе металлического шара о поверхность стола, может быть найдено как разность кинетических энергий шарика до и после удара:

$$Q = E_1 - E_2.$$

Энергия  $E_1$  до удара равна потенциальной энергии шарика массой  $m$ , поднятого на высоту  $h_1$  (рис. 1):

$$E_1 = mgh_1.$$

После первого удара шарик поднимается на высоту  $h_2$ . Эту высоту можно определить, зная время  $t$  между первым и вторым ударами:

$$h_2 = \frac{gt^2}{8}. \quad (1)$$

Соответственно, энергию  $E_2$  после первого удара можно записать как

$$E_2 = mgh_2 = \frac{mg^2t^2}{8}. \quad (2)$$

Таким образом, часть энергии, переходящей в количество теплоты  $Q$ , запишется в виде:

$$Q = mg \left( h - \frac{gt^2}{8} \right). \quad (3)$$

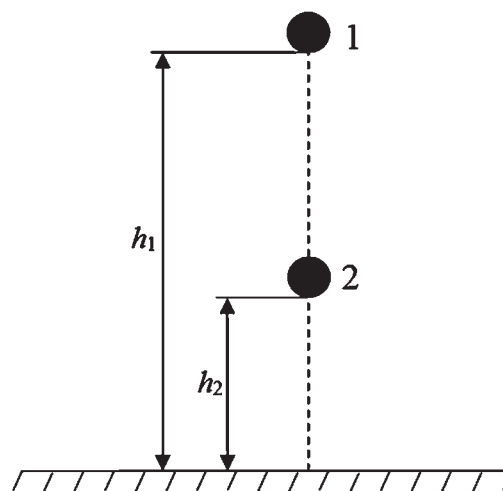


Рис. 1

Школьникам в процессе эксперимента предлагается определить количество выделившейся теплоты при ударе для шариков разной массы и построить график зависимости  $Q(m)$ . При правильном проведении эксперимента этот график должен представлять прямую линию.

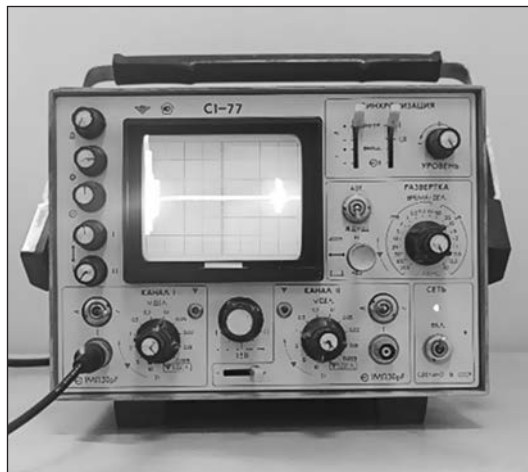
### Методы реализации задания

В зависимости от наличия соответствующего оборудования эту задачу можно реализовать различными способами.

#### 1. Классический физический эксперимент

Для регистрации времени, прошедшего между двумя ударами шарика о стол, мож-

но использовать осциллограф, к которому в качестве датчика на вход  $Y$  подключен микрофон, лежащий на столе. Однако в этом случае осциллограф должен обладать большим послесвечением и режимом ждущей развертки (рис. 2).



**Рис. 2. Осциллограмма амплитуды звукового сигнала при первом и втором ударах**

Такой метод постановки опыта удобнее использовать в качестве демонстрационного эксперимента. Эксперимент будет понятным и убедительным, однако за счет малого размера экрана осциллографа его трудно использовать в больших аудиториях. Эта постановка эксперимента скорее подойдет для малокомплектной школы. Однако в такой школе, зачастую, нет осциллографов, соответствующих всем перечисленным требованиям.

## **2. Использование компьютера и мультимедийного проектора**

В большинстве школ со слабым обеспечением физическим оборудованием данная задача может быть решена компьютеризацией физического эксперимента. В последние годы использование приборов на базе цифровой техники стало значительно проще [4, 5]. В интернете существует большое количество программного обеспечения для получения виртуальных приборов на основе

звуковой карты: генераторов, осциллографов, анализаторов спектра и т.д. Использование виртуальных приборов позволяет более просто реализовать ряд физических экспериментов.

Для проведения фронтальной лабораторной работы или демонстрационного эксперимента по определению потери энергии при ударе хорошо подходит программа WavePad Sound Editor (<https://www.nch.com.au/wavepad/index.html>). Это программное обеспечение для записи и редактирования аудиофайлов представляет собой полнофункциональный редактор для Windows. При анализе и редактировании аудио файлов можно измерять временные интервалы, вырезать, копировать и вставлять части записи, добавлять такие эффекты как эхо, усиление и снижение уровня шума.

В этом случае в качестве датчика используется микрофон **Web-камеры** или **встроенный микрофон ноутбука**. Программа позволяет записать звук ударяющегося шарика, продемонстрировать его на большом экране, а затем подробно проанализировать результат вместе со школьниками.

## **3. Использование смартфона (домашний эксперимент)**

Массовое распространение смартфонов и наличие в них множества высокочувствительных датчиков, таких как микрофоны, акселерометры, термометры, датчики магнитного поля и т.д., делает их главными помощниками учащихся в ходе выполнения экспериментальных заданий по физике. Кроме того, смартфоны часто являются альтернативой громоздкому и дорогостоящему лабораторному физическому оборудованию [6].

**Задание для школьников для проведения домашнего эксперимента может выглядеть следующим образом.**

Для проведения эксперимента по определению выделяющейся теплоты при ударе шарика о стол установите из Play Market бесплатное приложение Sound Oscilloscope.

Положите смартфон на стол и, роняя металлический шарик с известной высоты, определите время между первым и вторым ударами. Приложение Sound Oscilloscope позволяет в достаточно широких пределах менять разрешение по оси времени и точно определить время между ударами. На рисунке 3 показана аудио запись двух последовательных ударов металлического шарика о поверхность стола.

Для повышения точности эксперимента опыт желательно повторить несколько раз и для дальнейших расчетов использовать среднее время:

$$t = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}{5}.$$

Используя соотношение (3), вычислите количество энергии, переходящей в тепло при ударе шарика о поверхность стола. Полученные результаты занесите в таблицу 1.

Таблица 1

№ шарика	$m$ , г	$h$ , см	$t$ , с	$Q$ , мДж
1				
2				
3				

Далее используйте шарик другой массы и проведите те же опыты. Новые результаты также занесите в таблицу. Постройте график зависимости теплоты, выделяющейся при ударе, от массы шарика. Сравните и объясните полученные результаты.

## Заключение

Таким образом, в статье показано, что творческий подход к постановке физического эксперимента при современных возможностях компьютеров и смартфонов позволяет скомпенсировать нехватку физического оборудования в школах и проводить физические опыты на высоком уровне.

## Литература

1. Разумовский В.Г., Майер В.В. Физика в школе. Научный метод познания и обучения. — М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2007. — 463 с.
2. Масленникова О.В., Фаддеев М.А., Зворыкин И.Ю. Решение экспериментальных задач как средство формирования познавательных умений учащихся в ходе изучения курса физики // Физика в школе. — 2020. — № 4. — С. 45–55.
3. Масленникова О.В., Фаддеев М.А., Зворыкин И.Ю. Решение экспериментальных задач как средство формирования познавательных умений учащихся в ходе изучения курса физики (на примере изучения темы «Сила трения») // Физика в школе. — 2020. — № 7. — С. 45–55.
4. Кузьмина Е.В., Кузьмина И.В., Лозовская Л.Б., Морозов О.А. Информационные технологии в учебном физическом эксперименте «измерение коэффициента поверхностного натяжения жидкости» // Физика в школе. — 2020. — № 2. — С. 47–54.
5. Федорова Н.Б., Кузнецова О.В., Огнева М.А. Методика организации исследователь-

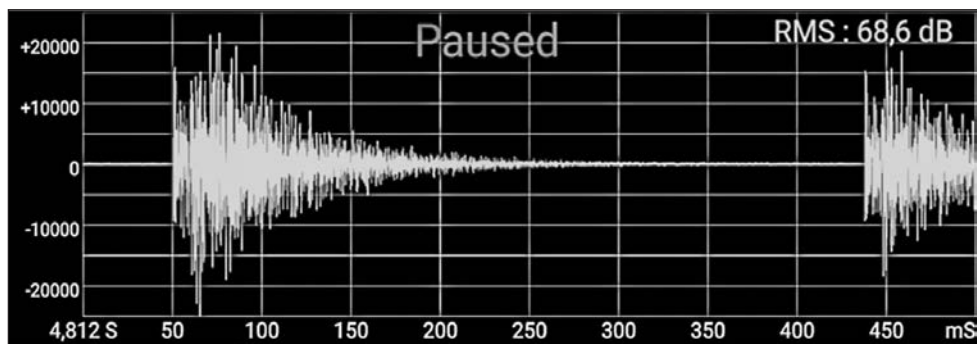


Рис. 3. Аудиозапись звука при первом и втором ударах металлического шарика

ского мини-проекта с использованием цифровой лаборатории, как средства формирования ключевых компетенций на уроках физики // Физика в школе. — 2020. — № 1. — С. 38–42.

6. *Размачева Ю.А.* Использование мобильных устройств при обучении физике учащихся школ // Научный руководитель. — 2018. — № 3. — С. 58–66.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ ЧИСЛА ПИФАГОРА В КОНТЕКСТЕ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ ШКОЛЬНИКОВ

<p><b>Т.Ю. Мартемьянова</b>, к.п.н., учитель физики, ГБОУ «Президентский ФМЛ № 239», г. Санкт-Петербург</p>	<p><b>T.Y. Martemyanova</b>, PhD (Pedagogy), physics teacher of GBOU «Presidential FML No. 239», St. Petersburg</p>
<p><b>Ключевые слова:</b> научно-практическое образование, познавательный интерес, курс «PRO-физика», эмпирический подход, свойства геометрических фигур, число Пифагора</p>	<p><b>Keywords:</b> scientific and practical education, cognitive interest, course «PRO-physics», empirical approach, properties of geometric shapes, Pythagorean number</p>
<p>Статья обобщает опыт преподавания пропедевтического курса «Введение в физику» в V–VI классах Президентского ФМЛ № 239 и показывает пути интеграции теоретического и практического знания при изучении физики и математики. На примере изучения раздела «Измерения» показано, как реализовать эмпирический подход к изучению числа Пифагора. Предложенные сценарии занятий могут быть использованы как в урочной, так и внеурочной деятельности и могут служить не только средством наглядности, но и инструментом развития способностей, интереса к изучению окружающего мира и технического творчества</p>	<p>The article summarizes the experience of teaching the propaedeutic course «Introduction to Physics» in grades V–VI of the Presidential FML No. 239 and shows ways to integrate theoretical and practical knowledge in the study of physics and mathematics. The example of studying the section «Measurements» shows how to implement an empirical approach to the study of the Pythagorean number. The proposed scenarios of classes can be used both in regular and extracurricular activities and can serve not only as a means of visibility, but also as a tool for developing abilities, interest in studying the surrounding world and technical creativity</p>

Научно-практическое образование позволяет ребенку приобрести знания, умения, навыки, компетентности и личностные смыслы, достаточные для его самореализации в современном высокотехнологическом обществе.

В контексте реализации стандартов нового поколения существует потребность в выявлении у одаренных детей их способностей и профессиональных склонностей.

Исследования показали, что пик возрастного познавательного интереса детей к окружающему миру приходится на V–VI классы средней школы. В этом возрасте дети обладают знаниями из курса «Окружающий мир» и стремятся самостоятельно наблюдать и объяснять природные явления. Уже в возрасте 10–11 лет они готовы к тому, чтобы на качественном уровне понять многие из тех явлений природы, изучать которые им предстоит в старших классах, когда интерес к ним уже будет замещен интересом к другим проблемам или утрачен вовсе.

В условиях современной классно-урочной системы наблюдается отрыв эмоционального и рационального мышления учеников. В начальных классах появляются многочисленные вопросы «почему?», на которые ученики не всегда успевают получить ответы на традиционном уроке. Учебная деятельность школьников при традиционном обучении носит в основном репродуктивный характер, что формирует исполнительскую культуру личности, но не творческую. Проблемное обучение позволяет развить на первом этапе познавательную активность, научить элементам исследования, наблюдения, приучить к оформлению результатов наблюдения. Работы творческого характера включают вопросы, активизирующие мышление учащихся: «Как ты думаешь? Можно ли измерить? Из своих наблюдений сделай вывод?» и т.п.

Число Пифагора относится к старейшим понятиям математики, оно много старше Библии. Богатейшая история этого числа — благодатный материал для решения на уроке задачи «воспитания гордости от приобщения к истокам мировой цивилизации». Одним из важных предметных результатов математики на начальном этапе является формирование «чувства числа», а изучения курса геометрии в VII–IX классах — систематическое изучение свойств геометрических фигур на плоскости, формирование пространственных представлений, развитие логического мышления и подготовка аппарата, необходимого для освоения смежных дисциплин (физики, черчения и др.) и курса стереометрии в старших классах.

Эмпирический подход к изучению числа Пифагора может в полной мере продемонстрировать прикладной характер теоретических знаний и практических умений, формируемых на уроках, тем самым поддержав процесс и составив с ним единую систему.

На примерах измерений размеров круглых тел покажем, как реализован эмпирический подход к изучению числа Пифагора при освоении раздела «Измерения» программы «ПРО-физика» в VI классе.

Авторская программа и учебное пособие для учителей, детей и родителей «ПРО-физика 5-6» не подменяет изучение физики с VII класса, а служит пропедевтическим курсом, основной целью которого является пробудить интерес к изучению физики. Программа курса основывается на опыте преподавания автором курса «Введение в физику» в V–VI классах ГБОУ «Президентский физико-математический лицей № 239» (г. Санкт-Петербург).

Главной задачей программы «ПРО-физика» является объединение эмоционального восприятия с рациональным. Занятия построены как система тщательно подобранных заданий, каждое занятие представляет собой мини-исследование, в начале которого необходимо выдвинуть гипотезу, затем осуществить эксперимент (самостоятельно или под руководством взрослого), зафиксировать результаты и выявить закономерности, сделав выводы.

В рамках раздела «Измерения» на базе материала начальной школы расширяются представления обучающихся о наблюдениях, опытах и измерениях и их взаимосвязи при изучении объектов природы. В V классе учащиеся знакомятся с приемами измерения длины, площади плоских фигур неправильной формы, объемов тел неправильной формы с помощью мерного стакана и измерительного цилиндра, методом рядов как способом уменьшения погрешности прямого измерения.

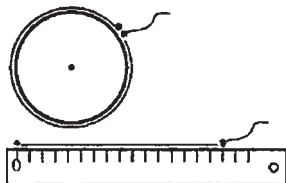
Предмет «Введение в физику» продолжает естественнонаучную составляющую предмета «Окружающий мир» начальной школы и является пропедевтическим для систематического курса углубленного изучения физики. «ПРО-физика 5-6» является интегрированным курсом, сочетая в себе элементы физики, астрономии, географии и биологии, и может использоваться как в урочной, так и внеурочной деятельности.

При проведении опытов используются подручные материалы, которые есть в каждом доме или доступны для приобретения по невысокой цене. Необходимый уровень владения



вычислительными навыками полностью соответствует программе по математике для V–VI классов общеобразовательной школы.

### Фрагмент занятия «Длина окружности»



**Задание.** На листе картона начертите окружность диаметром 6 см и вырежьте по контуру. По краю круга прикрепите маленькие кусочки пластилина. Уложите нитку по краю круга. Обрежьте лишний конец. Аккуратно снимите нитку и измерьте ее длину.

Повторите измерения для кругов с диаметрами 8 и 10 см.

Результаты измерений занесите в таблицу с учетом погрешности. *Примечание.* Точность измерений не превышает 1 мм.

№ опыта	Диаметр окружности $D$ , мм	Длина окружности $C$ , мм
1	$D_1 = (60 \pm 2) \text{ мм}$	$C_1 = (188 \pm 5) \text{ мм}$
2	$D_2 = (80 \pm 2) \text{ мм}$	$C_2 = (251 \pm 5) \text{ мм}$
3	$D_3 = (100 \pm 2) \text{ мм}$	$C_3 = (314 \pm 5) \text{ мм}$

Сравните длину окружности  $C$  с ее диаметром  $D$ , вычислив отношение  $\pi = C : D$  (округлить до единиц).

$$\pi_1 = C_1 : D_1 = 188 : 60 = 3 \frac{2}{15} \approx 3, \quad \pi_2 = C_2 : D_2 = 251 : 80 = 3 \frac{11}{80} \approx 3, \quad \pi_3 = C_3 : D_3 = 314 : 100 = 3 \frac{7}{50} \approx 3.$$

Какую закономерность можно подметить?

**Все отношения приблизительно одинаковые.**

Вывод: длина окружности (приближенно) в 3 раза больше своего диаметра.

Еще в древности Архимед уточнил, что длина окружности в  $\frac{22}{7}$  раза больше своего диаметра. Отношение длины окружности к ее диаметру обозначается  $\pi$  («пи») — число Пифагора.

$$C \approx 3D \text{ (приближенно)} \quad C \approx \frac{22}{7}D \text{ (более точно)} \quad C = \pi \cdot D \text{ (точно).}$$

**Задание.** Используя выявленную в предыдущем задании закономерность, измерьте диаметр гвоздя.

**Гипотеза:** диаметр гвоздя равен 5 мм.

**Эксперимент.** Намотайте на гвоздь  $N = 25$  витков тонкой нитки. Витки должны плотно прилегать друг к другу. Отметьте конец намотки или обрежьте нить. Размотайте нить и измерьте ее длину. *Примечание.* Точность измерения не превышает 1 мм.

Физическая величина	Результат измерения
Количество витков	$N = \underline{25}$ (точно)
Длина нити	$L = (393 \pm 2) \text{ мм}$

Сравните результат измерения длины нити с результатами товарищей. Они **различа-**

**ются.** Длина намотанной нити оказалась неодинаковой, потому что **плотность намотки разная, некоторые нити сильно растягиваются и немного был смещен «0» измерительного инструмента.**

За истинный результат примем *среднее значение* измеряемой величины, отбросив *недо- стовверные* результаты:

$$L_{cp} = (390 + 398 + \dots + 395) : 15 \approx 393 \text{ мм.}$$

Во сколько раз длина окружности гвоздя меньше длины нити?

В **25** раз  $C_{cp} = L_{cp} : N = 393000 \text{ мкм} : 25 \approx 15720 \text{ мкм}$  (округлить до десятков).

Погрешность измерения окружности в  $N$  раз меньше погрешности измерения длины ни- ти:

$$\pi_C = \pi_L : N = 2000 \text{ мкм} : 25 = 80 \text{ мкм.}$$

Результат:

$$D = C : \pi \approx C : \frac{22}{7} = C \cdot \frac{7}{22} = 15720 \cdot 7 : 22 = 5001 \frac{9}{11} \text{ мкм} \approx 5000 \text{ мкм}$$

(округлить до десятков). Погрешность измерения диаметра в  $\pi$  раз меньше погрешности измерения длины окружности:

$$\pi_D = \pi_C : \pi = 80 \text{ мкм} : \frac{22}{7} = 25 \frac{5}{11} \text{ мкм} \approx 30 \text{ мкм}$$

(округлить до десятков с избытком).

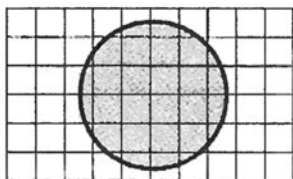
**Вывод:** Диаметр гвоздя  $D = (5000 \pm 30) \text{ мкм}$ . Пояснение: истинный диаметр гвоздя лежит между **4970** мкм и **5030** мкм. Среднее значение  $D = 5$  мм.

### Фрагмент занятия «Площадь круга»

**Задание.** Вспомните, как измерить площадь фигуры неправильной формы. (**Сосчитать число полных клеточек (внутри контура фигуры)  $N_1$ , число неполных клеточек (которые пересек контур фигуры)  $N_2$ .**

$$S(\text{мм}^2) = (N_1 + N_2 : 2) \cdot 25 \text{ мм}^2 \text{ или } S(\text{см}^2) = (N_1 + N_2 : 2) : 4).$$

**Постановка задачи:** найти зависимость между площадью круга и его радиусом. **Гипоте- за: площадь круга пропорциональна квадрату радиуса.**



**Описание эксперимента.** На листе в клетку с помощью циркуля начертите окружности радиусом 3, 4 и 5 см. Вычислите площа- ди кругов. Сравните полученные значения с числами 9, 16 и 25.

Результаты измерений:

№ опыта	Радиус круга $R$ , см	Число полных клеточек, $N_1$	Число неполных клеточек, $N_2$
1	3	96	34
2	4	176	52
3	5	278	72

Площадь одной клеточки  $S_0 = a^2 = (5 \text{ мм})^2 = 25 \text{ мм}^2$ .

Площадь фигуры — сумма площади полных клеточек и половины площади неполных  $S = (N_1 + N_2 : 2) \cdot S_0$ . Площади кругов равны:

$$S_1 = (96 + 34 : 2) \cdot 25 \text{ мм}^2 = 113 \cdot 25 \text{ мм}^2 = 2825 \text{ мм}^2 \approx 28 \text{ см}^2,$$

$$S_2 = (176 + 51 : 2) \cdot 25 \text{ мм}^2 \approx 202 \cdot 25 \text{ мм}^2 = 5050 \text{ мм}^2 \approx 51 \text{ см}^2,$$

$$S_3 = (278 + 78 : 2) \cdot 25 \text{ мм}^2 = 317 \cdot 25 \text{ мм}^2 = 7850 \text{ мм}^2 \approx 79 \text{ см}^2.$$

Сравните площадь круга  $S$  с квадратом его радиуса  $R^2$ , вычислив отношение  $\pi = S : R^2$  (округлить до единиц):

$$\pi_1 = S_1 : R_1^2 = 28 : 9 = 3\frac{1}{3} \approx 3, \quad \pi_2 = S_2 : R_2^2 = 51 : 16 = 3\frac{3}{16} \approx 3, \quad \pi_3 = S_3 : R_3^2 = 79 : 25 = 3\frac{4}{25} \approx 3.$$

Какую закономерность можно подметить?

**Все отношения приближенно одинаковые.**

*Вывод:* площадь круга (приближенно) в **3** раза больше квадрата своего радиуса.

**Задание.** Прочитайте: «Заметим, что схожий результат получается для отношения длины окружности к ее диаметру. Это дает основание предположить, что коэффициент в формуле

для вычисления площадей равен  $\frac{22}{7}$ . Строгие математические вычисления это подтверждают.

Впоследствии было установлено, что *точное* отношение длины окружности к ее диаметру — число Пифагора  $\pi$  («пи») — не может быть выражено дробью  $\frac{m}{n}$ , где  $m$  и  $n$  — целые числа, однако является вычислимым и арифметическим числом. По состоянию на 2011 год вычислено 10 триллионов цифр в этом числе.

$\pi = 3,1415926535897932384626433832795\dots$

Ответьте на вопрос. Что такое число  $\pi$ ?

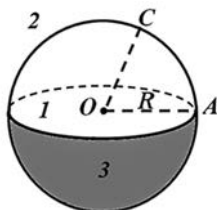
**Отношение длины окружности к ее диаметру.**

Закончите формулы:

$$S \approx 3R^2 \text{ (приближенно)}, \quad S \approx \frac{22}{7}R^2 \text{ (более точно)}, \quad S = \pi \cdot R^2 \text{ (точно)}.$$

### Фрагмент занятия «Площадь поверхности шара»

**Задание.** Найдите на рисунке сферу, шар и большой круг. *Примечание:* большим кругом называется сечение шара плоскостью, проходящей через его центр.



1 — **большой круг**

2 — **сфера**

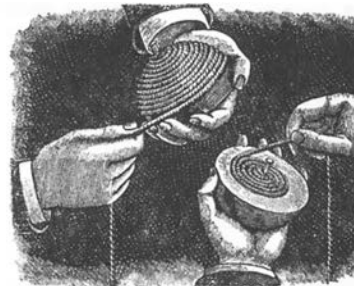
3 — **шар**

Сравните  $OA$  и  $OC$ . Они **одинаковые**. Значит, **радиус** большого круга равен **радиусу** шара.

**Задание.** Есть ли зависимость, а если есть, то какая, между площадью сферы и ее радиусом? *Постановка задачи:* найти зависимость между площадью сферы и площадью большого круга.

**Гипотеза:** *площадь сферы пропорциональна площади большого круга.*

**Описание эксперимента.** Слепите шар из двух брусочков пластилина. При помощи нитки разрежьте его пополам на два полушария. Возьмите одну из половинок, воткните булавку в полюс большого круга, т.е. в ту точку, которая наиболее удалена от стола, когда полушарие лежит на столе плоскостью большого круга.



Для сравнения площадей применим *метод заполнения*. Оберните вокруг булавки бечевку и продолжайте обертывать ею нашу фигуру до тех пор, пока не закроете всю выпуклую поверхность полушария. Отрежьте лишнюю бечевку. Возьмите вторую половинку шара и оставшуюся бечевку.

В эту половинку воткните булавку в центр круга (это большой круг, так как шар разрезан через центр). Накручивайте бечевку вокруг этой булавки, прижимая ее все время к плоскости круга. Когда бечевка полностью закроет круг, отрежьте лишний конец. Размотайте нить с поверхности шара и большого круга. Сравните длину получившихся нитей.

*Результаты измерений.*

Длина нити с поверхности полушария:  $L_1 = (550 \pm 5) \text{ мм}$ .

Длина нити с поверхности большого круга:  $L_2 = (250 \pm 5) \text{ мм}$ .

$$L_1 : L_2 = \frac{550}{250} = 2\frac{1}{5} \approx 2 \text{ (округлить до целых)}.$$

Значит, площадь поверхности полушария равна удвоенной площади большого круга. Следовательно, поверхность шара равна **учетверенной** площади большого круга.

**Вывод:** *площадь сферы в четыре раза больше площади большого круга.*

Формулы:  $S_{\text{сферы}} = 4 \cdot S_{\text{круга}}$ ,  $S_{\text{сферы}} = 4 \cdot \pi \cdot R^2$ .

**Решите задачу.** Сколько квадратных километров составляет поверхность всей суши земного шара, считая, что сушей занята 1/3 всей земной поверхности? Радиус Земли 6400 км. Известно, что средний экземпляр аптечной ромашки дает 30 000 семян. Сколько экземпляров растений пришлось бы на каждый квадратный метр всей земной суши (см. предыдущий вопрос) через 4 года, если бы все потомство одного экземпляра сохранилось и равномерно распределилось по всей суше?

### Фрагмент занятия «Объем шара»

**Задание.** Есть ли зависимость, а если есть, то какая, между объемом шара и его радиусом?

**Постановка задачи:** найти зависимость между объемом шара и кубом радиуса.

**Гипотеза:** *объем шара пропорционален кубу радиуса.*

**Описание эксперимента.** Слепите шар из брусочка пластилина. При помощи нитки разрежьте шар пополам на два полушария и измерьте диаметр большого круга. Используя мензурку, измерьте объем шара. Сравните объем шара с кубом радиуса. Повторите измерения, слепив шары из двух и трех брусков.

Результаты измерений:  $(1 \text{ мл} = 1 \text{ см}^3 = 1000 \text{ мм}^3)$ .

№ опыта	Диаметр круга $D$ , мм	Радиус шара $R$ , мм	Объем до погружения шара $V_{\text{до}}$ , мл	Объем после погружения шара $V_{\text{после}}$ , мл	Объем шара $V$ , мм <sup>3</sup>
1	24	12	50	<b><u>64</u></b>	<b><u>7000</u></b>
2	30	15	50	<b><u>71</u></b>	<b><u>14000</u></b>
3	34	17	50	<b><u>78</u></b>	<b><u>21000</u></b>

Сравните объем шара  $V$  с кубом его радиуса  $R$ , вычислив отношение  $k = V : R^3$  (округлить до единиц).

$$k_1 = V_1 : R_1^3 = 7000 : 12^3 = 7000 : 1728 = 4 \frac{11}{216} \approx 4,$$

$$k_2 = V_2 : R_2^3 = 14000 : 15^3 = 14000 : 3375 = 4 \frac{4}{27} \approx 4,$$

$$k_3 = V_3 : R_3^3 = 21000 : 17^3 = 21000 : 4913 = 4 \frac{1348}{4913} \approx 4.$$

Какую закономерность можно подметить?

**Все отношения приближенно одинаковы.**

**Вывод:** объем шара (приближенно) в 4 раза больше куба своего радиуса.

**Задание.** Прочитайте: «Заметим, что  $\frac{88}{21} = 4 \frac{4}{21} \approx 4$ . Это дает основание предположить, что коэффициент в формуле для вычисления объема равен  $\frac{4}{3} \pi \approx \frac{88}{21} \approx 4$ . Строгие математические вычисления это подтверждают». Закончите формулы:

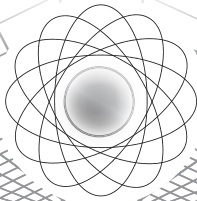
$$V \approx 4 \cdot R^3 \text{ (приближенно)}, V \approx \frac{88}{21} \cdot R^3 \text{ (более точно)}, V = \frac{4}{3} \pi \cdot R^3 \text{ (точно)}.$$

Заметим, что отношение длины окружности к диаметру можно найти, не используя циркуль, не начертив ни круга, ни диаметра. Человек, не имеющий никакого представления о геометрии и даже о круге, может определить число Пифагора, если терпеливо проделает весьма большое число бросаний иглы или зубочистки. В качестве дополнительного задания можно предложить получить приближенное значение числа Пифагора этим весьма оригинальным способом, воспроизведя опыт Бюффона.

Обращение к примерам, раскрывающим возможности применения математики к изучению действительности и решению практических задач в повседневной жизни, помогает реализовать прикладную направленность курса. При изучении нового материала эксперимент может служить не только средством наглядности, но и необходимой базой и инструментом развития способностей, интереса к изучению окружающего мира и технического творчества.

### Литература

1. Мартельянова Т.Ю. PRO-ФИЗИКА. Учеб.-методич. пособие для учителей, детей и родителей. — СПб: СМИО-пресс, 2016. — 188 с.
2. Мартельянова Т.Ю. Функциональность предметности обучения/ Школьные технологии. — 2013. — № 6. — С. 60–66.
3. Арнольд В.И. Математическое понимание природы: Очерки удивительных физических явлений и их понимания математиками (с рисунками автора). — М.: МЦНМО, 2011. — 144 с.



## ЗАДАЧИ И ВОПРОСЫ

### К ВОПРОСУ О РЕШЕНИИ ЗАДАЧ НА МОСТОВЫЕ СХЕМЫ ПО ТЕМЕ «ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК»

<b>Л.Б. Лозовская</b> , к.п.н., доцент, ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород; l.b.lozovskaya@mail.ru	<b>L.B. Lozovskaya</b> , PhD (Pedagogy), associate Professor, Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod; l.b.lozovskaya@mail.ru
<b>О.А. Морозов</b> , д.ф.-м.н., профессор, ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород; oa_morozov@nifti.unn.ru	<b>O.A. Morozov</b> DrSci (Physics and Mathematics), Professor, Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod; oa_morozov@nifti.unn.ru
<b>Ключевые слова:</b> методы решения физических задач, анализ условия задачи, постоянный электрический ток, мостовая схема	<b>Keywords:</b> methods for solving physical problems, analysis of the condition of the problem, direct electric current, bridge circuit
Решение физических задач, особенно повышенной сложности, по теме «Электрический ток» зачастую вызывает у учащихся значительные трудности. В ряде задач на применение законов постоянного тока, в частности, в мостовых схемах, предлагается рассмотреть подход, основанный на предварительном анализе условия физической задачи и использовании качественных методов, что часто позволяет существенно упростить решение задачи. Приведены примеры задач с мостовыми схемами, где можно получить правильный ответ, не прибегая к подробному аналитическому решению	Solving physical problems, especially of increased complexity, on the topic of «electric current» often causes significant difficulties for pupils. For some problems on the application of the laws of direct current, in particular, in bridge circuits, it is proposed to consider an approach based on a preliminary analysis of the state of a physical problem and the use of qualitative methods, which often makes it possible to significantly simplify the solution of the problem
<b>DOI 10.47639/0130-5522_2022_1_51</b>	

Решение задач занимает одно из ведущих мест в обучении физике. Метод решения задач используется при изложении учебного материала и его закреплении, при проведении лабораторных работ и физических практикумов, для организации самостоятельной работы школьников. Задачи являются одним из важнейших средств контроля усвоения знаний по физике, их понимания и осознанности применения знаний на практике. Однако при изучении физики именно при решении задач учащиеся зачастую испытывают трудности, при этом одной

из самых сложных тем в старшей школе является «Основы электродинамики», в частности — «Законы постоянного тока». Как отмечается в [1], результаты выполнения заданий ЕГЭ по электродинамике ниже, чем по другим областям физики (например, по механике балл традиционно выше). В качестве трудновыполнимых заданий среди других называются задачи как повышенного и углубленного, так и базового уровня на расчет цепей постоянного тока.

В ряде работ, например [2–4], отмечается, что практическое применение извест-

ных физических законов при решении и расчетных, и качественных физических задач зачастую вызывает у учащихся ряд затруднений. Проблемы могут возникать как из-за недостаточного владения предметным содержанием физики и смежных наук (например, математики), так и из-за неумения анализировать условия задачи, вычленять главное, понимать физические явления, лежащие в основе задачи, и устанавливать их связь с известными физическими законами. При решении физической задачи в [2, 3] предлагается особое внимание уделять анализу ее условия с различных точек зрения, в ходе которого сначала нужно попытаться не решать задачу в обычном смысле, а использовать качественные методы и методологические принципы физической науки. В [4] утверждается, что проблемы практики обучения решению физических задач вытекают из непонимания отношения к задаче как к исследованию физического явления или объекта. В [2, 5] указывается необходимость исследовать физическую задачу на основе принципов причинности, симметрии, эквивалентности и др., что позволит дать качественное объяснение явления и только потом решать ее количественно. В данной работе предлагается рассмотреть применение данного подхода при решении задач на законы постоянного тока в мостовых схемах.

Следует отметить, что изучение и применение законов постоянного тока является актуальным, поскольку имеет прикладное значение, например, в электро- и радиотехнике, в связи, приборостроении, научных исследованиях и др. Среди большого разнообразия задач на расчет электрических цепей постоянного тока можно выделить анализ схем, содержащих в качестве одного из звеньев мостовую схему. В отличие от параллельного и последовательного соединений изучению мостовых схем в общеобразовательной школе уделяется недостаточно внимания, их рассматривают, как правило, только в рамках углубленного обучения или

профильных элективных курсов. Мостовые схемы представляют собой электрическую цепь в виде последовательно соединенных элементов в замкнутый четырехугольник, в диагональ которого включен измерительный прибор (рис. 1) или другая схема; они находят широкое применение в технике, в частности, для подключения различных датчиков в измерительной аппаратуре. Действие мостовой схемы основано на сравнении измеряемой величины с эталоном. Важной особенностью мостовых схем является возможность их использования для точного измерения любых электрических величин. Одним из таких хорошо известных приборов является мост Уитстона, предназначенный для измерения неизвестного сопротивления на основе уравнивания отношений сопротивлений в плечах измерительного моста.

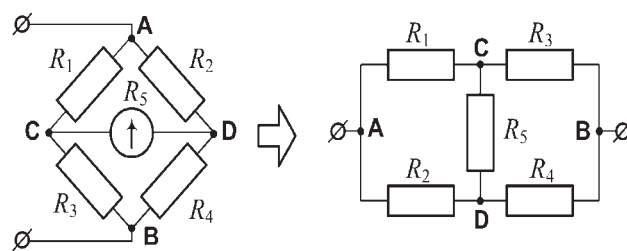


Рис. 1. Мостовая схема

Вывод основного соотношения для мостовой схемы основан на применении правил Кирхгофа, который подробно рассмотрен в учебниках для углубленного изучения физики в средней школе, например, [6, 7], и высшей школы; на основе данной схемы разработано большое число различных лабораторных работ. В ряде случаев задачу определения токов или напряжений в мостовой схеме можно упростить, применив эквивалентные преобразования вида «треугольник» ↔ «звезда» для участка схемы, заменив мостовую схему параллельно-последовательным включением сопротивлений. В этом случае у учащихся возникают трудности с запоминанием и применением формул пересчета сопротивлений, кроме

того, в школьном курсе данные эквивалентные преобразования практически не изучаются. Полное решение задачи на расчет мостовой схемы также можно считать достаточно «трудоемким»: для определения токов, текущих на всех участках этой схемы, применение законов Кирхгофа приводит к системе из нескольких уравнений для нахождения неизвестных величин. Вывод соотношений для сбалансированного режима работы мостовой схемы (а также полное аналитическое решение) подробно представлены, например, в [8], также отмечается, что эта математическая задача является посильной для учащихся. Однако при решении общей задачи повторение полного вывода для данного звена схемы обычно занимает много времени и не всегда является обязательным.

Приведем без вывода условие равновесия моста (рис. 1) [6–8]:

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}. \quad (1)$$

Выполнение условия (1) означает, что потенциалы точек  $C$  и  $D$  равны, а также будут равны напряжения, измеренные в данных точках «идеальным» вольтметром относительно какой-либо другой точки, например, общего провода. Таким образом, напряжение между точками  $C$  и  $D$

$$U_{CD} = \varphi_D - \varphi_C = 0, \quad (2)$$

и ток через диагональный элемент не течет.

Стоит обратить внимание на достаточно частое использование мостовой схемы в задачах повышенной сложности (например, олимпиадных) по теме «Электрический ток». Зная соотношение (1) и имея навык анализа электрической схемы цепи, содержащей в качестве одного из звеньев мостовую схему, зачастую можно существенно упростить решение многих задач и получить правильный ответ, не прибегая к подробному решению задачи как таковому. Например, в [5] для определения полного сопротивления

сбалансированной мостовой цепи предлагается использовать принцип симметрии.

Рассмотрим далее конкретные примеры задач на мостовые схемы, в которых предварительный анализ условия и симметрии электрической схемы или соотношения (1) для сбалансированного моста позволяет существенно упростить ход решения.

**Задача № 1.** В схеме, приведенной на рисунке 2, амперметр показывает значение силы тока  $1 \text{ А}$ . Сопротивление каждого резистора равно  $6 \text{ Ом}$ . Определите показания вольтметра.

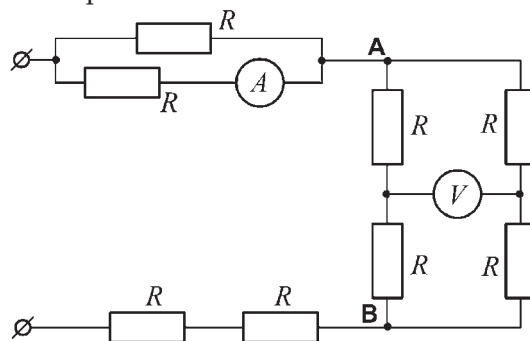


Рис. 2. Схема задачи № 1

Решение задачи целесообразно начать с анализа отдельных частей схемы, а не с ее упрощения (составления эквивалентной схемы), как это обычно принято. Легко заметить, что участок цепи между точками  $A$  и  $B$  представляет собой мостовую схему, для которой вследствие равенства сопротивлений резисторов выполняется соотношение (1). Следовательно, мостовая схема сбалансирована, а вольтметр должен показывать нулевое напряжение (см. выражение (2)), причем независимо от того, считаем мы его идеальным или нет, — задача решена. Таким образом, в формулировке задачи имеются «лишние» данные, которые могли бы пригодиться лишь при выполнении полного решения задачи, что потребовало бы достаточно много усилий и времени. Важным моментом является лишь то, что все сопротивления одинаковы. Умение анализировать электрическую схему задачи и обращать внимание на важные для ее упрощенного



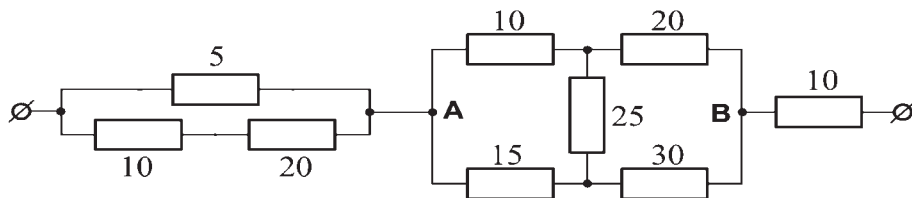


Рис. 3. Схема задачи № 2

решения моменты в условии задачи можно отнести к формированию элементов функциональной и читательской грамотности учащихся.

**Задача № 2.** Дана схема электрической цепи (рис. 3), значения сопротивлений резисторов приведены на рисунке. Определить, на каком из резисторов будет выделяться наименьшая мощность.

При полном решении данной задачи необходимо определить протекающие через все резисторы токи или/и напряжения на всех резисторах, для чего формально можно ввести значение приложенного к схеме напряжения источника питания  $U$ , выразить через него токи или/и напряжения, рассчитать значения мощностей, выделяемых на резисторах, и провести относительное сравнение полученных результатов. Однако этого можно и не делать, поскольку по условию задачи требуется только найти резистор, где будет выделяться наименьшая мощность. Из анализа схемы (рис. 3), аналогично задаче № 1, легко понять, что участок цепи между точками  $A$  и  $B$  также представляет собой сбалансированную мостовую схему, поскольку отношение сопротивлений резисторов в плечах мостовой схемы одинаково и равно 0,5. Отсюда сразу можно сделать вывод, что ток через резистор в диагонали моста (сопротивлением 25 Ом) не течет, и на нем электрическая мощность не выделяется (равна нулю), т.е. является минимальной по отношению ко всем другим резисторам в схеме.

**Задача № 3.** Вольтметр показывает значение напряжения 9 В (схема на рис. 4). Все резисторы одинаковые — по 6 Ом. Определите показания амперметра.

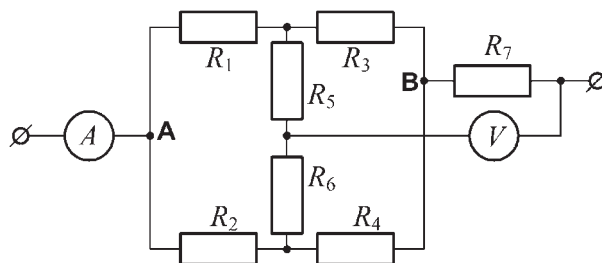


Рис. 4. Схема задачи № 3

Данная задача является более сложной по сравнению с предыдущими. Начнем с анализа схемы. Участок цепи между точками  $A$  и  $B$  представляет собой мостовую схему, вольтметр подключен одним из выводов к точке соединения резисторов  $R_5$  и  $R_6$  в диагонали моста. Поскольку в задачах вольтметр считается идеальным (если в условии задачи не сказано иное), он не влияет на распределение токов в цепи. Следовательно, для мостовой схемы при одинаковых значениях сопротивления резисторов выполняется соотношение (1), мост оказывается уравновешенным (сбалансированным), ток через резисторы в диагонали моста не течет, падение напряжения на резисторе  $R_5$  равно нулю, а вольтметр показывает сумму напряжений на резисторах  $R_3$  и  $R_7$ . Обозначим  $I$  ток, протекающий через амперметр. Такой же ток будет протекать через резистор  $R_7$ . Вследствие симметрии и уравновешенности моста ток  $I$  разделится поровну между плечами моста, и через резистор  $R_3$  будет протекать ток  $I/2$ . Вольтметр покажет напряжение

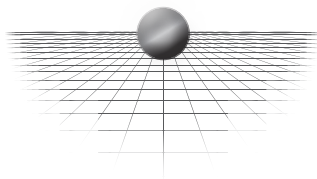
$$\frac{I}{2} \cdot R_3 + I \cdot R_7 = I \cdot (3 + 6) = 9В,$$

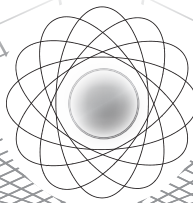
откуда получим значение силы тока через амперметр  $I = 1$  А.

Таким образом, в рассмотренных примерах задач на мостовые схемы показана возможность существенного упрощения решения без использования относительно сложного математического аппарата на основе проведения качественного анализа условия задачи и схемы электрической цепи. Такой анализ является не только компонентом методики решения расчетных физических задач, но служит основой для экспериментальных заданий, являющихся частью учебной исследовательской деятельности школьников в рамках проблемного подхода [9], поскольку направлен на развитие методологических умений, таких как выдвижение гипотезы, выбор метода решения, установление границ применимости физических законов, интерпретация и объяснение результатов. Детальный анализ условий физической задачи способствует развитию элементов функциональной и читательской грамотности учащихся. Решение физических задач на основе подробного анализа условий позволяет осмыслить суть физического явления или процесса, использовать качественные методы для упрощения решения задачи на основе физических теорий, исключает формальное применение известных формул при ее решении.

### Литература

1. Демидова М.Ю. Методические рекомендации для учителей, подготовленные на основе анализа типичных ошибок участников ЕГЭ 2020 года по физике // Педагогические измерения. — 2020. — № 3. — С. 91–112.
2. Бутиков Е.И., Быков А.А., Кондратьев А.С. Физика в примерах и задачах: учеб. пособие. — М.: Наука, 1989. — 464 с.
3. Ларченкова Л.А. Методика анализа решения учебной физической задачи // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. — 2010. — № 122. — С. 198–207.
4. Сауров Ю.А. Основы методологии методики обучения физике: Монография. — Киров: Кировский областной институт усовершенствования учителей, 2003. — 195 с.
5. Балаш В.А. Задачи по физике и методы их решения. Пособие для учителя — М.: Просвещение. — 1983. — 432 с.
6. Мякишев Г.Я., Сияков А.З., Слободсков Б.А. Физика. Электродинамика. 10–11 кл. Профильный уровень: учеб. для общеобразоват. учреждений. — М.: Дрофа, 2010. — 476 с.
7. Касьянов В.А. Физика. 11 кл. Профильный уровень: учеб. для общеобразоват. учреждений. — М.: Дрофа, 2011. — 448 с.
8. Бобылев Ю.В., Грибков А.И., Романов Р.В. Мост Уитстона: история, теория, применение, моделирование и обучение // Физика в школе. — 2021. — № 1. — С. 44–55.
9. Лозовская Л.Б., Морозов О.А. Создание учебной проблемы на основе физического эксперимента в исследовательской деятельности школьников // Нижегородское образование. — 2020. — № 2. — С. 46–51.





## АСТРОНОМИЯ

# АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ТУРНИР КАК ФОРМА ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ ШКОЛЬНИКОВ

<b>Н.Е. Шатовская</b> , к.п.н., педагог дополнительного образования, учитель физики и астрономии, ГБОУ «Школа № 179», Москва	<b>N.E. Shatovskaya</b> , PhD (Pedagogy), teacher of additional education, teacher of physics and astronomy, School № 179, Moscow
<b>Р.Р. Акметдинов</b> , педагог дополнительного образования, учитель физики, ГБОУ «Школа № 179», Москва	<b>R.R. Akmetdinov</b> , teacher of additional education, teacher of physics, School No. 179, Moscow
<b>Ключевые слова:</b> астрономический турнир, внеурочная деятельность по астрономии, учебно-исследовательская работа по астрономии	<b>Keywords:</b> astronomical tournament, extracurricular activities in astronomy, educational and research work in astronomy
В статье рассказано об астрономическом турнире школьников в контексте организации практической внеурочной деятельности и учебно-исследовательской работы по астрономии. Внесены предложения по организации этой деятельности в основной и старшей школе и методической поддержке педагогов, в том числе с использованием дистанционных технологий	The article describes the astronomical tournament of schoolchildren in the context of the organization of practical extracurricular activities and educational and research work on astronomy. Proposals were made on the organization of this activity in primary and high schools and methodological support for teachers, including using remote technologies
<b>DOI 10.47639/0130-5522_2022_1_56</b>	

Интерес авторов статьи к заявленной проблематике начался с участия в **Российско-Международном астрономическом турнире школьников**, который проходит под эгидой Астрономического общества с 2006 г. Наши ученики участвуют в турнире с 2012 г. ежегодно. Подросшие ребята становятся руководителями команд, авторами заданий, членами жюри. Популярность соревнования среди наших учеников связана с включением турнира в систему учебно-исследовательской работы по астрономии, организованной в нашей школе.

В журнале «Физика для школьников» уже рассказывалось читателям об Астро-турнире — статья его основателя М.Е. Гаврилова была опубликована<sup>1</sup> в № 4 за 2011 г. За прошедшее десятилетие сформирова-

вался круг постоянных участников, сложились традиции, появились и некоторые новации. Пришло время для методического обобщения, анализа турнира как формы работы с заинтересованными школьниками.

Необходимость создания в школе учебно-исследовательской среды диктуется требованиями ФГОС. Стандарт старшей школы предписывает «...*формирование у обучающихся системных представлений и опыта применения методов, технологий*

<sup>1</sup> Гаврилов М.Е. Российско-международный астрономический турнир школьников // Физика для школьников. — 2011. — № 4. — С. 27–30 ([http://www.schoolpress.ru/products/rubria/index.php?ID=34975&SECTION\\_ID=113](http://www.schoolpress.ru/products/rubria/index.php?ID=34975&SECTION_ID=113)).

*и форм организации проектной и учебно-исследовательской деятельности для достижения практико-ориентированных результатов образования; формирование навыков разработки, реализации и общественной презентации обучающимися результатов исследования, индивидуального проекта, направленного на решение научной, лично и (или) социально значимой проблемы».*

В профессиональном сообществе некоторый опыт учебно-исследовательской и проектной работы по астрономии уже накоплен. Коллегам известны разработки Н.Н. Гомулиной, Т.Ю. Кузьмичевой, М.А. Кунаш и др. Однако специалисты отмечают ряд особенностей организации подобной работы. Хотя физика и астрономия — родственные и взаимопроникающие естественные науки, в их методологии есть важное различие. Применить основной метод физики — лабораторный эксперимент — при изучении Вселенной невозможно. Главный метод астрономии — наблюдение и анализ полученных данных, и о полноценном изучении этой науки можно говорить, только если школьники учатся наблюдать космические тела и явления. Методике учебного эксперимента по физике посвящены десятки пособий и исследований, но в астрономии соответствующее направление методики разработано недостаточно. Лишь в немногих школах есть специалист — учитель астрономии. Не всякий учитель физики владеет смежной квалификацией. И даже если владеет, — ему некогда организовывать учебно-исследовательскую работу по неосновному для него предмету. Поэтому в реальности учебно-исследовательская и проектная работа по астрономии часто подменяется написанием реферата. Лишь немногие школы могут похвастаться высоким уровнем ученических работ, достаточным для их представления на солидных конференциях (конкурсе им. В.И. Вернадского, конференции «Старт в науку» и т.п.).

В дополнительном образовании про-

сматривается схожая картина. Существует много кружков ознакомительного уровня, на занятиях которых школьники младшего возраста изучают основы астрономии, ездят на познавательные экскурсии и выполняют творческие работы по космической тематике. Гораздо меньше профильных кружков для старшеклассников, где занимаются серьезной любительской астрономией, глубоко изучают теорию, выезжают в экспедиции, участвуют в конференциях. Есть целые регионы, где такая работа не ведется вообще.

Конечно, высокоуровневые исследовательские работы школьников и не могут быть массовыми. Но повышать качество учебно-исследовательской работы по астрономии необходимо. Одним из вариантов решения этой задачи является подготовительная работа с учащимися основной школы.

Развивающий потенциал астрономии как учебной дисциплины реализуется именно в средних классах. Наблюдательные основы классической астрономии младшим подросткам вполне доступны, а возможность повторить достижения древних астрономов — мощный мотивирующий фактор. Однако ребята часто оказываются без поддержки заинтересованного взрослого: пропедевтический уровень они переросли, а в поле зрения учителя физики еще не попали. В рамках уроков естествознания и географии возможно только фрагментарное изучение астрономии, зачастую в отрыве от наблюдений. Поэтому необходима организация внеурочной деятельности по предмету с обязательной практической частью.

К сожалению, эта область методики преподавания астрономии крайне слабо проработана. Например, изданное в 2019 г. пособие для внеурочной деятельности [1] включает минимум наблюдательных заданий.

Одним из вариантов решения проблемы организации внеурочной деятельности по астрономии, а также подготовки учащихся к серьезной учебно-исследовательской работе и является астрономический турнир.

Остановимся подробнее на тех преимуществах, которые дает эта форма организации работы. Сформулируем проблемы, которые возникают при организации внеурочной деятельности практического характера по астрономии, и предложим их решение.

Основная сложность заключается в том, что лишь некоторые космические тела и астрономические явления можно наблюдать в светлое время суток, значительная часть наблюдений проводится за рамками школьного расписания. Поэтому многие наблюдения учащиеся выполняют самостоятельно. Им необходима методическая поддержка (соответствующая постановка задания, информационное обеспечение — сайт, вспомогательные материалы и т.п.).

Как же мотивировать учащихся к самостоятельному выполнению задания? Как длительное время поддерживать интерес, побуждать к учебному труду? Решением является игровая, соревновательная форма организации учебного процесса, когда у учащихся одинаковое задание, и они сравнивают и обсуждают друг с другом свои результаты.

Следующая важная проблема: далеко не во всякой школе оборудована астрономическая площадка; многие учащиеся проживают в крупных городах, где наблюдениям мешает плотная застройка и засветка неба. Тем не менее, как показывает практика, при желании даже в городе возможны простейшие наблюдения. Решением является подбор тематики и выстраивание последовательности заданий (сначала простые и доступные задания, затем, для заинтересовавшихся и подросших учеников, — выездные наблюдения).

Не все школы имеют в распоряжении специальное оборудование (телескопы, фототехнику и т.п.), тогда как наблюдения требуют наличия хотя бы простейшей оптики. С другой стороны, довольно часто родители покупают ребенку любительский телескоп, а для чего его применить, он не знает, и дорогая игрушка пылится в чулане. Астро-

педагоги убеждены: начинать нужно с наблюдений невооруженным глазом и использовать неоптические приборы (угломеры и т.п.), а недорогой бинокль дает начинающему астроному больше возможностей, чем телескоп, хотя бы потому, что он мобильнее и проще в использовании. Здесь тоже важна тематика и последовательность заданий, чтобы заинтересованный и подросший ученик при переходе на новый уровень изучения астрономии понимал, какая именно техника ему нужна и для чего.

Более существенное затруднение представляет собой характер самой науки: некоторые астрономические явления происходят редко (например, затмение удастся наблюдать раз в 3–4 года), другие происходят достаточно медленно (сезонная смена созвездий или планетных конфигураций). Добавим к этому фактор погоды, которая часто бывает неблагоприятной. Возникает противоречие между необходимостью длительных наблюдений и особенностями психологии подростка, которому важно получить значимый результат за обозримое время. Разрешить это противоречие поможет временная структура заданий, когда планируются как длительные, так и разовые наблюдения, организуется круглогодичная работа, подводятся промежуточные итоги и т.п.

Конечно, для поддержания практической деятельности школьников по астрономии учителю требуется некоторая квалификация. Как быть, если ее нет? Начинаящему астропедагогу можно предложить открытую базу заданий и методических рекомендаций к ним, из которой он и его ученики смогут выбирать задания, исходя из уровня подготовленности и имеющегося оборудования. Затем, в процессе выполнения заданий, необходимые навыки приобретут не только учащиеся, но и учитель. Важную роль играет общение учащихся из разных школ и кружков, обмен опытом между учителями, вовлеченными в подобную деятельность, и консультации квалифицированных специалистов.

Все эти возможности реализованы в рамках астрономического турнира школьников, что позволяет рассматривать его как подготовительный этап при организации высокоуровневой учебно-исследовательской работы школьников.

Расскажем об Астротурнире подробнее. Первоначально он был задуман как нечто среднее между олимпиадой и конференцией. Задания очередного турнира (всего их 10–12) заранее, за несколько месяцев, размещаются в сети, команды их выполняют и, собравшись вместе на финальном этапе соревнования (ежегодно в конце февраля), защищают свои решения в режиме астробоя. Подробнее об истории турнира и заданиях текущего и прошлых сезонов можно узнать на сайте <http://astroturnir.ru/> и в официальной группе <https://vk.com/astroturnir>.

Правила Астротурнира во многом совпадают с правилами турнира юных физиков (ТЮФ), который читателям журнала, конечно, знаком. Но следует отметить несколько важных отличий. Во-первых, выполнение заданий Астротурнира требует более длительной работы, которая может продолжаться несколько лет и перерасти в учебно-исследовательскую. Во-вторых, большинство задач не имеют «правильного» (эталонного) решения: команды могут выдвигать разные гипотезы, использовать разные модели явления, различную технику, методику наблюдений и расчетов. Это приближает учебное задание к реальной науке. В-третьих, при защите решений по каждой задаче заслушиваются, обсуждаются и оппонируются два доклада, поэтому все участники астробоя должны не просто подготовить свое решение, но и суметь вникнуть в чужое. Это приближает Астротурнир к полноценной научной конференции.

Приведем примеры заданий турнира, относящихся к разным типам.

**Пример 1.** *Разрешающая способность глаза (экспериментальная задача). Определите разрешающую способность вашего*

*глаза для двух случаев: темные предметы на белом фоне и белые предметы на черном фоне. Изучите зависимость этой разрешающей способности от освещенности фона в диапазоне от 0,25 лк (освещенность при полной Луне) до 10000 лк (освещенность в тени в ясный солнечный день). Для каждого случая постройте график зависимости (величины по оси освещенностей — в логарифмическом масштабе). Сравните результаты с разрешающей способностью вашего глаза при наблюдении звезд на ясном ночном небе. Изучите также, влияют ли на разрешающую способность то, как вы наблюдаете: а) только левым глазом, б) только правым глазом, в) обоими глазами.*

**Пример 2.** *Орбита Юпитера (наблюдательная задача). Определите радиус орбиты Юпитера на основе наблюдений планеты невооруженным глазом летом-осенью 2013 — зимой 2014 года.*

**Пример 3.** *Наклон эклиптики (наблюдательная задача). Предложите способ или несколько способов экспериментального определения угла наклона плоскости эклиптики к плоскости небесного экватора. Проведите наблюдения в течение первых трех недель февраля, получите результаты.*

**Пример 4.** *Влияние поглощения (теоретическая задача). Исследуйте вопрос о том, как повлияло бы на развитие астрономии нашей цивилизации попадание нашей галактики в облако сверхразреженной пыли, равномерно распределенной в пространстве. Предположим, что это произошло сотню тысяч лет назад и имеет место до сих пор. Рассмотрим различные величины плотности пыли, в качестве параметра поглощения возьмем величину  $\Delta t$ , на которую из-за пыли увеличивается видимая на Земле звездная величина Солнца (например, 0,00001<sup>m</sup>, 0,0001<sup>m</sup>, 0,001<sup>m</sup>, 0,01<sup>m</sup>, 0,1<sup>m</sup>, 1<sup>m</sup> и т.д.). В частности, постройте графики, показывающие, при каких значениях этого параметра в какие прошлые и*

*будущие века исследования вышли бы за пределы Солнечной системы (по оси X — века жизни цивилизации, по оси Y — логарифм  $\Delta t$ ).*

**Пример 5. Телескопы Галилея (конструкторская задача).** 15 февраля 2014 года исполнилось 450 лет со дня рождения Галилео Галилея, который первым применил телескоп для изучения космоса. Изучите конструкции двух первых телескопов, использованных Галилеем для наблюдений звездного неба. Выясните, каковы были их оптические характеристики. Из подручных материалов самостоятельно изготовьте телескопы, приблизительно соответствующие этим двум по своим характеристикам. Повторите наблюдения, благодаря которым Галилей сделал астрономические открытия. Какие открытия Галилей не совершил, хотя его приборы давали такую возможность? Проведите наблюдения, которые могли бы привести к открытиям.

Хотя приведенные задания весьма разнообразны, у них есть общая характерная особенность. Задания всегда конкретны; сама формулировка содержит пошаговую инструкцию (изучите... определите... сравните...). Это помогает команде как организовать собственную работу, так и оценить работу соперников.

Но главная особенность турнирных заданий заключается в другом. В турнире могут участвовать школьники с VIII по XI класс. Независимо от возраста участников, все команды выполняют одинаковые задания. Каждая команда работает на своем уровне; важно не столько наличие глубоких знаний, сколько умение хорошо использовать уже имеющиеся. Это тоже роднит турнир с настоящей наукой, ведь ученый всегда работает на границе непознанного и на пределе собственных возможностей.

Когда задача турнира перерастает в учебно-исследовательскую? Тогда, когда начинающий астроном увлечется определенной темой и захочет выйти за рамки

изначальной постановки задания. Например, задача из комплекта 2011 г. «Круглогодичное летнее время» была доработана до полноформатного комплексного исследования, включавшего астрономию, экономику и социологию. (Работа была отмечена особым дипломом на конкурсе им. В.И. Вернадского.) Другой пример: задача про шаровое скопление NGC2019 из комплекта 2019 г. стала основой учебного проекта по исследованию звездных скоплений по данным космического телескопа GAIA.

Исследователь — это тот, кто сам ставит себе задачу. Но поставить себе задачу ученик может только тогда, когда научится решать задачи исследовательского типа. Именно этот навык и тренирует Астротурнир.

Есть еще одна особенность турнира, позволяющая рассматривать его как подготовительный этап учебно-исследовательской работы. Выступление на итоговой конференции — важнейшая часть такой работы. Защищая свою тему, ученик должен за ограниченное время рассказать слушателям о цели исследования, его методах, результатах и выводах, затем ответить на вопросы и т.д. Однако на практике слабые ученические работы просто не допускаются до итоговых конференций, даже в форме реферата. Без опыта выступления остаются именно те учащиеся, которым этот опыт наиболее необходим.

На Астротурнире ситуация обратная. Очное соревнование начинается с серии отборочных боев, в которых каждая команда участвует дважды и выступает по шести разным задачам (каждый член команды представляет по две задачи). Турнирная задача меньше по объему и проще по содержанию, чем исследовательская тема, зато процедура защиты ее решения требует от участника максимум усилий. Докладчик и содокладчик должны выслушать друг друга, обсудить задачу в режиме дискуссии, ответить на вопросы оппонента и жюри. Во время боя нужно отстаивать свой метод решения и признавать возможные ошибки.

Наибольший учебный и воспитательный эффект достигается именно в отношении слабых участников и команд, когда они осознают, что могут (и хотят!) выступать лучше. В финальном бою играют три команды, получившие в ходе отборочных боев наибольшее количество баллов. Остальные команды становятся зрителями и с огромным интересом слушают товарищей. В следующем сезоне многие команды возвращаются на турнир и показывают лучшие результаты.

Работа с турнирными командами привела авторов статьи к осознанию необходимости привлечения к простейшим исследованиям учащихся младшего возраста. В 2020 г. очное соревнование было дополнено круглогодичной дистанционной подготовительной программой «Астротурнир-онлайн» для школьников от V класса и старше. Программа реализована на платформе moddle на сайте [astrodistant.ru](http://astrodistant.ru).

Главная особенность программы — непрерывность. На небе всегда что-то происходит, и подлинный интерес к предмету не может иссякать в период каникул. Игровой сезон начинается 1 сентября и заканчивается 31 августа, сезон состоит из четырех этапов, каждый этап — из трех туров. Комплекты заданий обновляются на каждом этапе и редактируются в каждом туре. Некоторые задания открыты весь год (например, задание-визитная карточка «Я и мой прибор»). Часть заданий приурочена к каким-то сезонным явлениям (например, астрономическую рефракцию участники изучают зимой, солнечные часы мастерят летом, а наклон эклиптики к экватору измеряют вблизи равноденствий). В комплект добавляются задания, посвященные интересным текущим событиям (например, в минувшем сезоне участники наблюдали противостояние Марса, великое соединение Юпитера и Сатурна и солнечное затмение 10 июня). Кроме того, в любом туре есть простые задания для

начинающих (определение широты местности, ориентирование по звездам, калибровка «встроенного пальцемера» и т.п.). Помимо заданий в специальном разделе публикуются материалы для подготовки к их выполнению.

В игру можно вступить в любой момент; не регламентируется ни порядок выполнения заданий, ни их число. Участник выбирает любые задания из шести-восьми, используемых в текущем туре, исходя из особенностей своей местности и наличия техники, знаний и опыта. В конце каждого месяца жюри оценивает присланные работы, дает каждому участнику развернутый комментарий и рекомендации. Правила онлайн-турнира не требуют обязательного участия в каждом туре, но наиболее активные участники присылают работы ежемесячно. В зависимости от сложности задания и качества его выполнения за работу можно получить до 10 баллов. Успехи участника игры фиксируются дважды: как индивидуальные достижения (по сумме баллов за все выполненные задания) и как положение в текущем рейтинге (по сумме баллов за задания, выполненные в течение 12 месяцев).

Важная особенность правил: по прошествии года, если задача остается актуальной, участник может представить новое решение. Например, заново прислать визитную карточку и рассказать о своем новом телескопе или обработать более длинную серию наблюдений пепельного света Луны и серебристых облаков. Лучшие работы участников размещаются на сайте астротурнира-онлайн.

Таким образом, игра поддерживает интерес участников к наблюдениям в течение всего года, а возвращаться к любимой теме начинающий астроном может несколько лет. Подросшие участники переключаются на задания «большого» Астротурнира, а выработанные навыки наблюдений астрономических явлений, обработки и анализа их результатов помога-



ют перейти от заданий турнира к учебно-исследовательской работе.

Первые участники астротурнира-онлайн участвовали в «большом» турнире в феврале 2021 г. Этот, XVI по счету, Астротурнир впервые в истории соревнования прошел в очно-дистанционном формате. Московские команды играли в студии, оборудованной в нашей школе. Иногородные команды (из Кирова и Чебоксар) участвовали в астробоях через интернет. Для игры использовалась конференция zoom с трансляцией на YouTube в режиме реального времени, благодаря чему наблюдать за соревнованием могли не только не участвующие в текущем бое команды, но и зрители. Эффект присутствия достигался выведением сигнала от выступающих команд на большую панель — интерактивную доску. Фактически был организован любительский телемост.

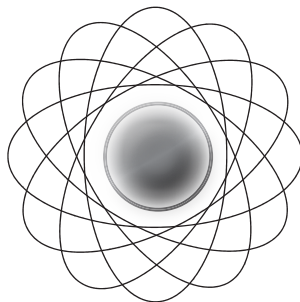
Опыт 2021 г. показал, что Астротурнир готов к выходу на новый уровень. Подготовительная программа «Астротурнир-онлайн» позволяет увлекающемуся астрономией школьнику, начиная с 5 класса, выполнять практические задания, получать консультации педагогов, совершенствовать свои знания и умения и соревноваться с товарищами по увлечению. Опираясь на задания — мини-исследования, педагоги могут формировать команды и готовить их к участию в Астротурнире, который благодаря дистанционным технологиям стал доступен даже для удаленных регионов. Мы надеемся вскоре увидеть на турнире новых участников и новые команды. А наши кол-

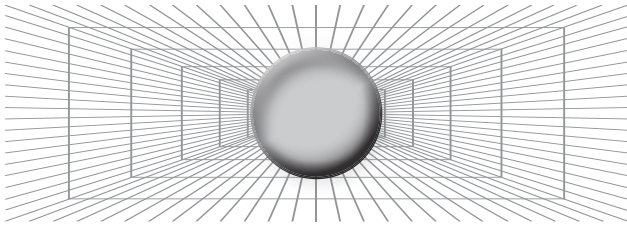
леги, попробовав себя на новом поприще, почувствуют себя готовыми к организации учебно-исследовательской работы по астрономии.

Играйте с нами!  
Играйте лучше нас!

### Литература

1. Введение в астрономию. 5–7 кл.: учеб. пособие для общеобразоват. организаций / Н.Н. Гомулина, В.Г. Сурдин. — М.: Просвещение, 2019. — 112 с.
2. Вперед к звездам и планетам: астрономия в современной школе // Практика школьного воспитания. — 2021. — № 3. — 98 с.
3. Гомулина Н.Н. Учебная научно-исследовательская деятельность учащихся // Муниципальное образование: инновации и эксперимент. — 2013. — № 4. — С. 24.
4. Исследовать и проектировать: на уроке и за его пределами / Ред.-сост. А.С. Обухов. — М.: Журнал «Исследователь/Researcher», 2018. — 84 с.
5. Кузьмичева Т.Ю. Внеурочная деятельность школьников в контексте ФГОС: организация научно-исследовательской деятельности учащихся через экспедиции // Инновационные технологии в науке и образовании. — 2016. — № 2.
6. Кунаш М.А. Современные формы организации проектной и исследовательской деятельности учащихся по астрономии. — 2018. — (На сайте ГАУДПО «Институт развития образования» Мурманской области — <https://iro51.ru/>).
7. Шатовская Н.Е. Одиссея капитана и его команды // Физика. — 2015. — № 11 (электронное приложение).





## ИНДУКТИВНОСТЬ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Катушку с индуктивностью  $L$  подключим к источнику переменного тока с напряжением  $U = U_0 \sin \omega t$ . Омическое сопротивление  $R$  катушки считаем очень малым и не учитываем его. Через катушку потечет переменный ток  $I$ , который создаст переменное магнитное поле, пронизывающее витки катушки. Вследствие этого в катушке возникнет переменная электродвижущая сила (ЭДС) самоиндукции  $E = E_0 \sin \omega t$ , препятствующая изменению тока:

$$E = -L \frac{dI}{dt}. \quad (1)$$

ЭДС самоиндукции, как утверждается в различных учебных изданиях по физике, направлена навстречу напряжению источника и равна ему по абсолютной величине (по модулю), т.е.:

$$E = -U \text{ или } E + U = 0. \quad (2)$$

Равенство  $E + U = 0$  объясняют обычно тем, что в противном случае при отсутствии омического сопротивления, т.е. при  $R = 0$ , ток в катушке будет бесконечно большим.

Но это ошибочно. Ведь если сумма напряжений  $U + E$  будет равна нулю, то и переменный ток будет равен нулю, даже при отсутствии омического сопротивления ( $R = 0$ ).

При переменном токе носители зарядов (в нашем случае электроны) изменяют свою скорость и по величине, и по направлению, значит, они движутся с переменным ускорением, а для осуществления этого движения необходима переменная сила, т.е. переменная напряженность. Следовательно, сумма напряжений  $U + E$  не равна нулю. Обозначим эту сумму  $\Delta U$ :

$$\Delta U = U + E \neq 0.$$

Напряженность этого суммарного электрического поля, действуя на электроны, определяет величину и направление тока в цепи.

А каково соотношение фаз колебаний тока и напряжений?

Решим уравнение  $E = -L \frac{dI}{dt}$ :

$$\frac{dI}{dt} = -\frac{1}{L} E = -\frac{1}{L} E_0 \sin \omega t,$$

$$I = \frac{E_0}{L\omega} \cos \omega t = \frac{E_0}{L\omega} \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

или

$$I = I_0 \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right), \quad (3)$$

где  $I_0 = \frac{E_0}{L\omega}$ .

Видим, что ток опережает ЭДС самоиндукции на четверть периода:

$$E = E_0 \sin \omega t, \quad I = I_0 \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right).$$

Небольшое математическое отступление.

Гармонические колебания, которые совершают ток и напряжение, описываются функциями синуса или косинуса. Производные этих функций являются теми же функциями, только опережают саму функцию (т.е. первообразную) на четверть периода.

Проверим это:

$$y = \sin x; \quad \frac{dy}{dt} = \cos x = \sin \left( x + \frac{\pi}{2} \right);$$

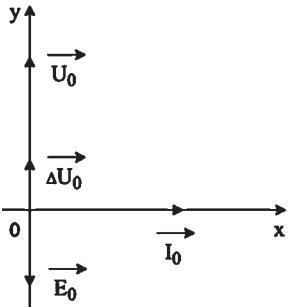
$$y = \cos x; \quad \frac{dy}{dt} = -\sin x = \cos \left( x + \frac{\pi}{2} \right).$$

Вернемся к физике. Напряжение, напряженность, сила, действующая на заряды,

ускорение зарядов  $\vec{a}$  изменяются одновременно, т.е. совершают колебания с одинаковой фазой. Точно так же совпадают по фазе колебания скорости зарядов  $\vec{v}$  и тока. Но ускорение является производной скорости по времени:  $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ . Значит, напряжение  $\Delta U$  опережает ток на четверть периода, а ток в свою очередь опережает ЭДС самоиндукции тоже на четверть периода, следовательно, напряжение  $\Delta U$  опережает  $E$  на половину периода.

Поскольку  $\Delta U = U + E$ , то из этого следует, что и  $U$  опережает  $E$  на половину периода, и  $|U| > |E_0|$ .

Функции, описывающие колебания тока и напряжений, приведенные к единому времени, выглядят так:



$$\Delta U = \Delta U_0 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right),$$

$$U = U_0 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right),$$

$$I = I_0 \sin \omega t,$$

$$E = E_0 \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right).$$

Построим векторную диаграмму тока и напряжений:

$$\Delta \vec{U}_0 = \vec{U}_0 + \vec{E}_0, \quad |\vec{U}_0| > |\vec{E}_0|.$$

Величина напряжения  $\Delta U_0$  очень мала, и для математических расчетов электрических цепей  $\Delta U_0$  можно считать ее равной нулю, и амплитуду тока определять не из

$$I_0 = \frac{E_0}{L\omega} \quad (3), \text{ а пользоваться формулой}$$

$$I_0 = \frac{U_0}{L\omega},$$

считая, что  $|U| = |E_0|$ .

Но с физической точки зрения этого делать нельзя, иначе невозможно будет объяснить даже само существование переменного тока.

Поскольку величина  $\Delta U_0$  очень мала, то даже при незначительном изменении напряжений  $U_0$  или  $E_0$  может получиться значение  $\Delta U_0$ , во много раз отличающееся от первоначального значения  $\Delta U_0$ .

**Заметим.** Когда мы говорим об изменении переменных (тока, напряжений), то имеем в виду изменения их амплитуд или их эффективных значений.

Рассмотрим для примера влияние индуктивности катушки  $L$  на амплитуду тока  $I_0$  и попытаемся объяснить это с разных точек зрения.

Из закона самоиндукции:

$$E = -L \frac{dI}{dt}.$$

Пусть индуктивность  $L$  увеличилась.

**Первая точка зрения:**

$$U + E = 0.$$

Поскольку напряжение источника не меняется, то неизменна и ЭДС самоиндукции, но  $L$  увеличилась, значит,  $\frac{dI}{dt}$  уменьшилась. Но если скорость изменения тока уменьшилась при неизменной частоте, значит, амплитуда тока  $I_0$  тоже уменьшилась.

Математически все правильно.

Но не совсем понятно с физической точки зрения. Ведь если величина тока уменьшилась, значит, уменьшились и скорость, и ускорение электронов. А какая сила уменьшила ускорение электронов, ведь напряжение  $U$  и ЭДС самоиндукции  $E$  не изменились?

**Другая точка зрения:**

$$U + E = \Delta U \neq 0.$$

С увеличением индуктивности катушки  $L$  возрастает магнитный поток, возрастает и скорость его изменения, следовательно, увеличивается ЭДС самоиндукции  $E$ , но увеличение  $E$  вызовет уменьшение напряжения  $\Delta U$ , что в свою очередь уменьшит и амплитуду тока  $I_0$ .

*Михалицын Дмитрий Дмитриевич,*  
г. Миасс, Челябинская область

# Космические музеи России



Экспозиция музея интересна и взрослым и детям



Помимо реальных макетов в музее представлены и интерактивные экспонаты, с помощью которых можно узнать, как работает космическая техника. Причем работает она не только в космосе, но и на Земле. Космические технологии стали использоваться нами в повседневной жизни.

Это ставшие уже привычными сотовая связь и сети Интернет. Эти технологии позволяют предсказывать погоду, являются основой навигационных систем, а также позволяют исследовать Землю, ближний и дальний космос...



Фото на обложке А.С. Малышевой

# ПОДПИСКА 2022. II ПОЛУГОДИЕ

## Подписывайтесь на журнал «ФИЗИКА В ШКОЛЕ»!

Издается с 1934 года. Входит в перечень ВАК

Статьям журнала присваивается DOI



Журнал  
«ФИЗИКА В ШКОЛЕ»  
с разделом «Астрономия»  
Подписной индекс

**П1611**

Комплект журналов  
«ФИЗИКА В ШКОЛЕ»  
и «ФИЗИКА ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ»

Подписной индекс

**П4996**

### ВНИМАНИЕ!

Комплекты журналов  
**со скидкой**

«ФИЗИКА  
В ШКОЛЕ»  
и  
«ФИЗИКА ДЛЯ  
ШКОЛЬНИКОВ»  
Подписной  
индекс — П4996



Оформляйте подписку на ПЕЧАТНЫЕ ЖУРНАЛЫ издательства «Школьная Пресса:

○ В любом почтовом отделении по каталогу **«Подписные издания. Почта России»**

○ На сайте «Почта России»:

<https://podpiska.pochta.ru/publisher/349226>

Открыть ссылку приложением «Камера»



○ Урал-Пресс: <http://www.ural-press.ru>

○ На сайте издательства **SCHOOLPRESS.RU**

Оформляйте подписку на ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЕРСИИ ПЕЧАТНЫХ ЖУРНАЛОВ:

○ Вы можете подписаться на наши журналы через электронно-библиотечные системы:  
• Ивис - [ivis.ru](http://ivis.ru) • Руконт - [rucont.ru](http://rucont.ru) • БиблиоШкола – [biblioclub.ru](http://biblioclub.ru) • Знаниум – [znanium.com](http://znanium.com)

○ Подписка на электронные версии печатных журналов оформляется на сайте [schoolpress.ru](http://schoolpress.ru) **СКИДКА 500 РУБ. С КАЖДОГО НОМЕРА!**

Электронная версия позволяет: получать журнал быстрее,  
экономить средства за подписку и доставку.  
Доставка журнала: pdf-файл – на e-mail подписчика.

Открыть ссылку  
приложением  
«Камера»



**ВНИМАНИЕ!** Вы можете купить отдельную статью и любой номер журнала  
(в т.ч. за прошедшие годы) в электронном виде на сайте [www.schoolpress.ru](http://www.schoolpress.ru)

Тел.: +7(495) 619-52-87, 619-83-80. E-mail: [periodika@schoolpress.ru](mailto:periodika@schoolpress.ru)



Физика в школе, 2022, № 1, 1–64

ISSN 0130-5522

