

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

5 2023

ФИЗИКА В ШКОЛЕ



С.Е. Каменецкий и его влияние на развитие методики обучения физике в России

Моделирование и экспериментирование при подготовке школьного учителя к уроку по изучению конденсатора

Раздел «Астрономия»

Расчет числа атомов в составе Луны

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

«АстроФест» — 2023

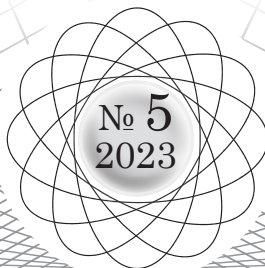
На страницах нашего журнала мы уже писали об «АстроФесте». В этом году он проходил с 11 по 14 мая. Как и всегда его программа была обширна и разнообразна. Но мы хотим остановиться лишь на мероприятиях для детей, которых также было немало.

Это обусловлено тем, что с каждым годом «АстроФест» посещает все больше и больше детей. Кто-то из них приезжает вместе с родителями-астрономами, других, постарше, на фестиваль привозят, чтобы показать им интересную сторону науки о космосе и помочь им своими глазами увидеть его красоты.

Для того, чтобы сделать пребывание ребят на фестивале максимально полезным и интересным, оргкомитет «АстроФеста» каждый год готовит для них специальную программу. Она включает в себя как развлекательные, так и познавательные и образовательные мероприятия, рассчитанные на разный возраст.



Юным участникам были предложены интересные мини-лекции об устройстве Вселенной, о звездном небе, о методах наблюдений и многом другом. Каждая из них сопровождалась практическими занятиями, позволяющими закрепить полученные знания и интересно провести время.



НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЕТСЯ С МАЯ 1934 г.

ФИЗИКА В ШКОЛЕ

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

СЛОВО ОБ УЧИТЕЛЕ (A WORD ABOUT THE TEACHER)

- ▶ **Н.С. Пурышева**
С.Е. Каменецкий и его влияние на развитие
методики обучения физике в России 3

СТРАНИЧКИ ИСТОРИИ (HISTORY PAGES)

- ▶ **Ш.Г. Зиятдинов**
Великий «невозвращенец» Георгий (Джордж) Гамов 8

МЕТОДИКА. ОБМЕН ОПЫТОМ (METHODOLOGY. EXCHANGE OF EXPERIENCE)

- ▶ **В.В. Майер, Е.И. Вараксина**
Моделирование и экспериментирование при подготовке школьного учителя
к уроку по изучению конденсатора 16
- ▶ **Ф.М. Сабирова, А.М. Имамова**
Особенности обучения решению задач по физике в основной школе
по двум учебникам (на примере темы «Сила Ампера. Сила Лоренца») 23
- ▶ **М.М. Баранова**
Развитие умения «целеполагание» у обучающихся на уроках физики. 29

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ (PEDAGOGICAL TECHNOLOGIES)

- ▶ **Д.В. Метлева**
Приемы организации учебно-познавательной деятельности
слабоуспевающих учащихся при изучении физики 36

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (INFORMATION TECHNOLOGIES)

- ▶ **В.Ф. Очков, Ю.В. Чудова**
Проектируем канатную дорогу 40

ЭКСПЕРИМЕНТ (EXPERIMENT)

► **Д.А. Воронцов, Е.К. Титаева, Е.Л. Ким**

Наблюдение явлений, возникающих при кристаллизации в среде с примесью. . 47

АСТРОНОМИЯ (ASTRONOMY)

► **В.В. Акопов**

Расчет числа атомов в составе Луны. 53

НАМ ПИШУТ (LETTERS TO THE EDITOR)

► **Б.И. Иванов, Н.Б. Хахулина**

Краткий обзор инновационных подходов и работ в решении проблем образования на примере средней школы в Республике Казахстан. 61

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
Зав. редакцией **Е.Б. Перская** / **Perskaya, E.B.**

Состав редколлегии

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

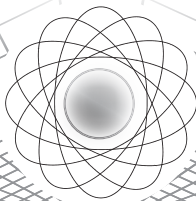
Формат 84×108/16. Усл. п. л. 4,0. Изд. № 3783. Заказ

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.

© ООО «Школьная Пресса», © «Физика в школе», 2023, № 5



СЛОВО ОБ УЧИТЕЛЕ

A WORD ABOUT THE TEACHER

Физика в школе. 2023. № 5. С. 3–7

Physics at School. 2023. No. 5. P. 3–7

С.Е. КАМЕНЕЦКИЙ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКЕ В РОССИИ

S.E. KAMENETSKY AND HIS INFLUENCE ON THE DEVELOPMENT OF METHODS OF TEACHING PHYSICS IN RUSSIA

Научная статья

Scientific article

УДК 372.853

DOI 10.47639/0130-5522_2023_5_3

Н.С. Пурышева, д.п.н., профессор, научный руководитель и профессор кафедры теории и методики обучения физике им. А.В. Пёрышкина, Московский педагогический государственный университет, Москва; ns.purysheva@mpgu.su

N.S. Purysheva, DrSci (Pedagogy), Professor, Supervisor and Professor of the Department of Theory and Methods of Teaching Physics named after A.V. Peryshkin, Moscow Pedagogical State University, Moscow; ns.purysheva@mpgu.su

Ключевые слова: Каменецкий Самуил Ефимович, учитель физики, аспирант, декан, физический факультет, методическая подготовка учителя, кафедра теории и методики обучения физике, методика преподавания электродинамики

Keywords: Kamenetsky Samuil Efimovich, physics teacher, graduate student, dean, faculty of physics, methodological training of teachers, Department of Theory and Methods of Teaching Physics, methods of teaching electrodynamics

Аннотация. Статья посвящена жизни и педагогической деятельности одного из крупнейших российских методистов-физиков Самуила Ефимовича Каменецкого, столетие со дня рождения которого мы отмечаем в этом году. Показано его становление в учительской профессии в военные и послевоенные годы, а затем и в исследовательской методической деятельности. Раскрыт организаторский талант С.Е. Каменецкого, который, став деканом физического факультета после объединения двух педагогических институтов, вывел факультет на передовые позиции, а став заведующим кафедрой теории и методики обучения физике, создал работоспособный коллектив единомышленников. Рассмотрены направления плодотворной и многогранной научной деятельности С.Е. Каменецкого, который создал свою научную школу методистов-физиков

Abstract. The article is devoted to the life and pedagogical activity of one of the largest Russian methodologists-physicists Kamenetsky Samuil Efimovich, whose centenary we celebrate this year. The formation of S.E. Kamenetsky in the teaching profession in the war and post-war years, and then in research methodological activities, is shown. The organizational talent of S.E. Kamenetsky was revealed, who, becoming the dean of the Faculty of Physics after the merger of two pedagogical institutes, brought the faculty to the forefront, and becoming the head of the Department of Theory and Methods of Teaching Physics, created a workable team of like-minded people. The directions of fruitful and multifaceted scientific activity of S.E. Kamenetsky, who created his own scientific school of methodologists-physicists, are considered

© Пурышева Н.С., 2023

Я познакомилась с Самуилом Ефимовичем Каменецким 60 лет назад, когда была студенткой физического факультета Московского государственного педагогического

института им. В.И. Ленина. Самуил Ефимович был руководителем моей дипломной работы, посвященной изучению специальной теории относительности в средней школе, ко-



Самуил Ефимович Камене́цкий

торая была только что введена в школьную программу по физике, и методика изучения которой только начала разрабатываться. По окончании института я была распределена на кафедру методики преподавания физики и проработала на ней рядом с Самуилом Ефимовичем много лет. Я благодарна судьбе за этот подарок: не многим выпадает счастье работать с человеком столь высоко порядочным и честным, беззаветно преданным своему делу, своей профессии, мудрым, отзывчивым и бескорыстным. Где бы и кем бы Самуил Ефимович ни работал, в каких бы сложных условиях ни находился, ту работу, которая ему поручалась, он всегда выполнял на самом высоком уровне. Так было с физическим факультетом, когда Самуил Ефимович стал его деканом, так было и с кафедрой теории и методики обучения физике.

Он никогда не давал пустых обещаний, все принимаемые решения тщательно обдумывал и взвешивал, как истинный ученый обладал системным мышлением и всегда просчитывал последствия своих действий.

В то же время, его жизнь не была простой и безоблачной.

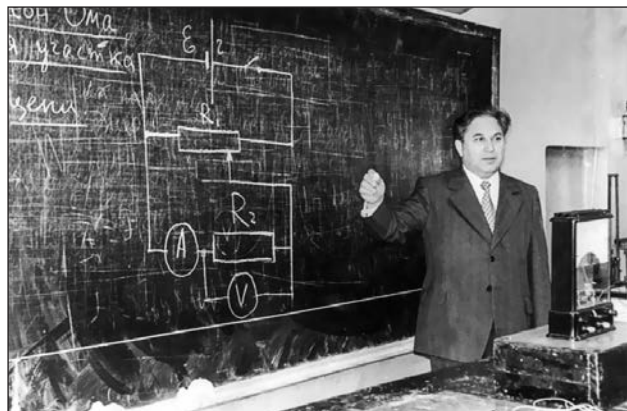
Самуил Ефимович Камене́цкий родился 2 августа 1923 г. в небольшом поселке Костромской области. В 1933 г. семья переехала в Москву, и школьные годы Самуила Ефимовича прошли в основном в москов-

ской школе № 212, которую он окончил с золотой медалью в 1941 г.

В 1941 г. С.Е. Камене́цкий был призван в армию и отправлен в Челябинск в военное училище штурманов, в котором учился в течение двух лет, а по его окончании был оставлен в этом училище преподавателем теоретического курса авиасвязи и работы на радиостанциях в отделе подготовки стрелков-радистов. Таким образом, преподавательскую деятельность он начал в 1943 г. и до 1946 г. подготовил более 1000 стрелков-радистов. Уже в то время Самуил Ефимович проявил свои педагогические и методические способности, что позволило ему успешно управлять сложным коллективом курсантов, многие из которых были старше его, имели более высокие воинские звания, и находить методические приемы формирования у подопечных непростых специальных умений.

В 1946 г. Самуил Ефимович поступил на физический факультет МГУ им М.В. Ломоносова, а через 2 года его пригласили работать учителем физики и астрономии, а позже и электротехники в школу № 212, в ту школу, которую он в свое время окончил. Чтобы молодой преподаватель мог совмещать работу в школе с учебой в МГУ, для него составили специальное расписание, в соответствии с которым уроки в школе в выпускных классах каждый день начинались в 7.00 утра и продолжались до 8.30. Но сначала директор школы Лапицкий пригласил его на должность лаборанта, попросив привести в порядок физический кабинет. И тут, помимо знаний и понимания назначения кабинета, проявился организаторский талант Самуила Ефимовича и умение общаться с учащимися: он собрал бригаду учеников, очень умело организовал их работу и сделал великолепный кабинет физики. «Они выполняли все мои команды, которые я подавал как просьбы, а за работу благодарил».

Самуил Ефимович был не просто прекрасным учителем физики, он был вели-



С.Е. Каменецкий у доски

колепным педагогом. Об этом свидетельствуют воспоминания его ученика — космонавта В.Н. Волкова: «...Физику у нас преподавал С.Е. Каменецкий. Раньше он служил в авиации штурманом. Каменецкий сумел завлечь ребят в кружок физики и добился оборудования хорошего лабораторного класса. Самуил Ефимович отличался большой эрудицией, веселым нравом и был отличным собеседником. Поэтому часто после окончания занятий многих из нас можно было видеть в его кабинете...» [1, с. 26–27].

После окончания МГУ С.Е. Каменецкий продолжал работать в школе № 212, где в течение нескольких лет имел огромную нагрузку (54 часа в неделю), а затем был приглашен еще и в школу № 692, стал методистом Ленинградского района.

Его ученики успешно сдавали вступительные экзамены в ВУЗы, и о высоком уровне подготовки по физике выпускников школы № 212 хорошо знали в Москве. Так заместитель заведующего кафедрой физики МАИ Сергей Алексеевич Лапушкин, ставя «отлично» в ведомости, спрашивал абитуриента: «Вы из 212-й?» И кивал: «Так я и думал. 212-я — это Эрастов, директор, и Каменецкий, учитель».

Работа в школе оказала огромное влияние на дальнейшую судьбу С.Е. Каменецкого, с течением времени он начал испытывать интерес не только к практической

педагогической деятельности, но и к исследовательской деятельности в области методики обучения физике. Поэтому в 1954 г. он поступил в заочную аспирантуру Института содержания методов обучения АПН РСФСР, которую окончил в 1958 г. Экзамен в аспирантуру принимал у него А.В. Пёрышкин, а научным руководителем был назначен Александр Андреевич Покровский, который считался и считается патриархом школьного физического эксперимента.

С.Е. Каменецкий выполнил диссертацию на пионерскую для того времени и очень сложную тему: «Применение аналогий в курсе физики средней школы». Предлагая эту неисследованную до того времени тему, А.А. Покровский учитывал и уровень педагогических способностей Самуила Ефимовича, и уровень его подготовки по физике.

После защиты кандидатской диссертации, даже еще перед заседанием диссертационного совета, в 1959 г. А.В. Пёрышкин, заведовавший в то время кафедрой методики преподавания физики в Московском городском педагогическом институте им. В.П. Потёмкина, пригласил С.Е. Каменецкого на работу преподавателем.

В 1965 г. вскоре после объединения двух московских педагогических институтов Самуил Ефимович был избран деканом в то время физического факультета МГПИ им В.И. Ленина и в этой должности проработал 10 лет. Руководить факультетом он начал в сложные для факультета годы: непростые взаимоотношения на кафедрах, противостояние коллективов бывших двух пединститутов и, как результат, последнее место факультета в рейтинге по институту. Порядочность нового декана, его дипломатические способности, организаторский талант, четкое и правильное понимание задач факультета, умение выделять стратегические задачи, убеждать оппонентов — все это позволило добиться того, что физический факультет через некоторое время занял первое место в институте. У С.Е. Каменецкого всегда складывались очень хорошие отношения со студентами. С

одной стороны, он был строгим преподавателем и деканом, а с другой стороны, приветствовал и поощрял инициативу студентов. Примером является самостоятельный студенческий лагерь по подготовке студентов к вожатской практике, который организовал студент А.А. Католиков, ставший впоследствии народным учителем СССР.



С.Е. Каменецкий и А.В. Пёрышкин

В 1979 г. Самуил Ефимович защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора педагогических наук. С 1975 г. по 2000 г. он заведовал кафедрой теории и методики обучения физике, а затем до последних дней своей жизни работал профессором этой кафедры, являлся Почетным профессором МПГУ.

Область научных интересов С.Е. Каменецкого чрезвычайно широка: это и проблемы обучения физике школьников, и проблемы методической подготовки учителя физики. Его первые научные работы были посвящены погрешностям измерений в лабораторных работах, моделям и аналогиям в обучении физике и др. Однако основным направлением его научной деятельности были проблемы методики преподавания электродинамики. Этим проблемам были посвящены его докторская диссертация, книги «Методика изучения электродинамики в средней школе» (совместно с И.Г. Пустильником [10]), «Демонстрационные опыты по электродинамике» (совместно с

Н.М. Шахмаевым [13]), «Методика преподавания физики в средней школе» (раздел «Электродинамика») и др. Существенный вклад С.Е. Каменецкого в развитие методики обучения физике вносят его работы в области методики обучения учащихся решению физических задач.

Самуил Ефимович все годы работы в ВУЗе занимался проблемами методической подготовки учителя физики, эта работа велась им очень активно. После введения в Российской Федерации двухуровневой системы высшего образования С.Е. Каменецкий в 1996 году разработал первые в стране учебные планы подготовки бакалавров и магистров, по которым в МПГУ стала проводиться подготовка педагогов-физиков.

В 2000 г. под его руководством коллективом специалистов был разработан Федеральный государственный образовательный стандарт высшего педагогического образования по специальности 03.22.00 (модернизирован в 2005 г.).

Развивая научные направления и традиции, заложенные А.В. Пёрышкиным, С.Е. Каменецкий создал свою научную школу методистов-физиков. Он подготовил более 80 кандидатов и более 20 докторов педагогических наук, в том числе преподавателей союзных республик СССР, ряда социалистических стран, Афганистана и др. Многие из них впоследствии стали ректорами и проректорами ВУЗов, заведующими кафедрами.

Научные идеи С.Е. Каменецкого, его представления о путях развития методики обучения физике, школьного физического образования, профессиональной подготовки учителя физики хорошо известны в стране. Он опубликовал около 300 научных и научно-методических работ, явился инициатором создания и редактором серии учебных пособий для студентов по теории и методике обучения физике: «Теория и методика обучения физике. Общие вопросы» [8], «Теория и методика обучения физике. Частные вопросы» [9], «Лабораторный практикум по теории

и методике обучения физике» [12]. Эти книги и в настоящее время широко используются в подготовке учителей физики. Этим же проблемам посвящены работы многих его аспирантов и докторантов: В.Л. Моркотуна, М.А. Бобковой, Л.А. Прояненко, Е.Б. Петровой, А.В. Смирнова и др.

С.Е. Каменецкий проводил большую работу по укреплению и развитию кафедры теории и методики обучения физике. Он создал дружный, работоспособный коллектив преподавателей и сотрудников. Мы все, преподаватели кафедры, постоянно ощущали его поддержку, заботу, заинтересованность в нашем профессиональном росте.

Самуил Ефимович был исключительно интеллигентным человеком, доброжелательным и отзывчивым, он был нашим наставником и другом, коллегой и учителем. Он учил нас не только профессии, но и жизни: отношению к людям и к работе, терпению и терпимости.

Литература

1. Волков В.Н. Шагаем в небо. — М.: Молодая гвардия, 1971. — 173 с.
2. Данильчук В.И., Каменецкий С.Е. Электрические и магнитные свойства вещества: Учеб. пособие / М-во высш. и сред. спец. образ. РСФСР. Чуваш. гос. ун-т им. И.Н. Ульянова. — Чебоксары, 1975. — 83 с.
3. Каменецкий С.Е. Основная образовательная программа (ООП) высшего образования ФГБОУ МПГУ: направление подготовки 44.03.01 Педагогическое образование, профиль подготовки «Физика», квалификация (степень) — бакалавр / Под ред. С.Е. Каменецкого. — М.: Прометей, 2005. — 344 с.
4. Каменецкий С.Е. Применение аналогий в курсе физики средней школы: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата педагогических наук по методике физики. — М.: Акад. пед. наук РСФСР. Науч.-исслед. ин-т методов обучения, 1959. — 13 с.
5. Каменецкий С.Е. Проблемы изучения

основ электродинамики в курсе физики средней школы: диссертация на соискание ученой степени доктора педагогических наук. — М., 1978. — 366 с.

6. Каменецкий С.Е. Теория и методике обучения физике в школе: педагогическая практика / Под ред. С.Е. Каменецкого. — М.: Прометей, 2006. — 450 с.

7. Каменецкий С.Е., Орехов В.П. Методика и решение задач в средней школе: книга для учителей. — М.: Просвещение, 1987. — 335 с.

8. Каменецкий С.Е., Пурешева Н.С., Васьевская Н.Е. и др. Теория и методика обучения физике в школе. Общие вопросы: Учеб. пособие для студентов пед. вузов по специальности 032200 — физика / Под ред. С.Е. Каменецкого, Н.С. Пурешевой. — М.: Academia, 2000. — 365 с.

9. Каменецкий С.Е., Пурешева Н.С., Носова Т.И. и др. Теория и методика обучения физике в школе. Частные вопросы: Учеб. пособие для студентов высш. пед. учеб. заведений, обучающихся по специальности «Физика» / Под ред. С.Е. Каменецкого. — М.: Academia, 2000. — 380 с.

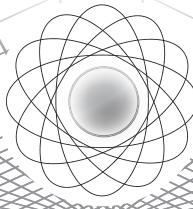
10. Каменецкий С.Е., Пустильник И.Г. Электродинамика в курсе физики средней школы: Пособие для учителей. — М.: Просвещение, 1977. — 125 с.

11. Каменецкий С.Е., Солодухин Н.А. Модели и аналогии в курсе физики средней школы: Пособие для учителей. — М.: Просвещение, 1982. — 96 с.

12. Каменецкий С.Е., Степанов С.В., Петрова Е.Б. и др. Лабораторный практикум по теории и методике обучения физике в школе: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 032200 — Физика / Под ред. С.Е. Каменецкого и С.В. Степанова. — М.: Academia, 2002. — 301 с.

13. Шахмаев Н.М., Каменецкий С.Е. Демонстрационные опыты по электродинамике: Пособие для учителя. — М.: Просвещение, 1973. — 352 с.

Дата поступления рукописи (Received): 12.05.2023.
Опубликовано (Published): 18.07.2023.



ВЕЛИКИЙ «НЕВОЗВРАЩЕНОЦ» ГЕОРГИЙ (ДЖОРДЖ) ГАМОВ

GREAT EMIGRANT GEORGIY GAMOV

Научная статья

Scientific article

УДК 372.853

DOI 10.47639/0130-5522_2023_5_8

Ш.Г. Зиятдинов , к.ф.-м.н., доцент, Бирский филиал Уфимского университета науки и технологий, г. Бирск, Башкортостан; shamilzg@gmail.com	Sh.G. Ziyatdinov , PhD (Physics and Mathematics), associate professor, Birk Branch of Ufa State University for Science and Technologies, Birk, Bashkortostan; shamilzg@gmail.com
Ключевые слова: Георгий Гамов, «невозвращенцы», квантовая физика, космология, биология, Гамов — популяризатор науки	Keywords: Georgiy Gamov (George Gamow), emigrants, quantum physics, cosmology, biology, Gamov — popularizer of science
Аннотация. Обсуждаются жизненный путь, становление научной карьеры личности-творца известного физика-теоретика XX века Георгия Гамова	Abstract. We discuss the life and scientific career of Georgiy Gamov (George Gamow), a prominent theoretical physicist of the 20th century

© Зиятдинов Ш.Г., 2023



Сложно подсчитать, сколько перспективных ученых эмигрировали в советское и постсоветское время за рубеж, став чеством и славой других стран, а отнюдь не СССР и не России. В качестве примера приведем отъезд из СССР крупнейшего физика-теоретика XX века Георгия Гамова — одного из первых ученых, эмигрировавших из нашей страны.

«Невозвращенец» **Георгий Антонович Гамов** (известный за границей как **Джордж Гамов** (20.02.1904, Одесса — 19.08.1968, Боулдер) — советский и американский физик-теоретик, член Национальной академии наук США (1953), член-корреспондент АН СССР (с 1932 по 1938 г., восстановлен в 1990 г.), известен своими работами по квантовой механике, атомной и ядерной физике, астрофизике, космологии, биологии. Он является автором первой количественной теории α -распада, обобщил совмест-

но с Э. Теллером теорию β -распада, является одним из основоположников теории «горячей Вселенной» и одним из первых исследователей эволюции звезд с термоядерным источником энергии. Г. Гамов впервые четко сформулировал гипотезу кодирования генетического кода. Широкую известность принесли ему также научно-популярные произведения, в которых живым и доступным языком рассказывается о современных научных представлениях, благодаря которым он стал лауреатом премии Калинга от ЮНЕСКО за популяризацию науки. В 1933 г. Гамов покинул СССР и стал гражданином США (1940 г.).

Георгий Гамов родился в семье школьных учителей. Его отец, Антон Михайлович, был преподавателем русского языка и литературы в Одесском реальном училище, мать, Александра Арсеньевна, — преподавателем истории и географии. Отец поощрял увлечение сына физикой, астрономией, биологией. Школьное образование Гамов получил в 1913–1920 гг. в Реальном училище имени В.А. Жуковского.

После окончания училища в 1921 г. Гамов поступил на математическое отделение физико-математического факультета Новороссийского университета (ныне Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова). Через год он перешел на физический факультет самого престижного университета того времени — Петроградского (Ленинградского) университета, который был центром зарождавшейся советской физической науки. В то время физический факультет (сначала его называли отделением) Ленинградского университета был единственным в стране, потому что даже в МГУ существовал объединенный физмат. Этот факультет был создан по предложению физика Д.С. Рождественского и математика В.И. Смирнова, осознавших, что физикам и математикам в будущей их деятельности понадобятся «разные математики» [12, с. 17]. Этот ВУЗ стал для Гамова альма-матерью, где сформировались его научные взгляды, были проведены первые исследования, заложены основы его последующей деятельности. В октябре 1924 г. Д.С. Рождественский пригласил Г. Гамова в Государственный оптический институт, где, совмещая с учебой в университете, Гамов занимался изучением аномальной дисперсии света. Это сотрудничество продолжалось до апреля 1925 г., когда молодой ученый окончательно сосредоточился на теоретических исследованиях в области общей теории относительности под руководством А.А. Фридмана. Фридман известен научной общественности спором с Эйнштейном о возможности расширяющейся Вселен-

ной, который он выиграл: экспериментальное доказательство факта расширяющейся Вселенной было осуществлено астрономом Хабблом в 1929 г. После безвременной смерти Фридмана (1925) руководство Гамовым принял ученик П. Эренфеста Ю. Крутков.

Как пишут в автобиографии сам Гамов [6, с. 46] и А. Ливанова [12, с. 21], в годы учебы Георгий Гамов (получивший прозвище Джонни для краткости), Лев Ландау (Дау) и Дмитрий Иваненко (Димус) быстро подружились и втроем создали группу, которую они в шутку называли «джаз-бандой» или часто — «три мушкетера». К ним в дальнейшем примкнули другие участники, такие как М. Бронштейн (Аббат) и А. Ансельм. Группа физиков придерживалась девиза «Не быть знаменитым некрасиво!». Отметим, что еще в начале 1928 г. Гамов, Иваненко и Ландау опубликовали в «Журнале Русского физико-химического общества» статью «Мировые постоянные и предельный переход», в которой дали иерархию физических теорий на основе системы фундаментальных констант, включающих скорость света, гравитационную постоянную и постоянную Планка (так называемая *cGh*-система). Несмотря на то, что сами авторы считали эту работу всего лишь шуткой и никогда на нее не ссылались, статья впоследствии привлекла внимание многих теоретиков своими идеями, которые касаются фундаментальных основ физики [18].

Безусловную пользу Гамову принесли лекции, которые в то время в университете читали такие известные физики и математики как О.Д. Хвольсон [7], Д.С. Рождественский, Ю.А. Крутков, Г.М. Фихтенгольц, Я.И. Френкель, А.А. Фридман и др. Например, Д. Иваненко (соавтор барионной модели ядра Иваненко–Гейзенберга) время учебы вспоминает таким образом: «Уточним теперь коротко курсы лекций, которые читались в двадцатые годы на физфаке ЛГУ, когда здесь учились мы с Гамовым и приехавшим из Бакинского университета Л.Д. Ландау. В первый год обучения вводный

курс физики читал О.Д. Хвольсон, автор известного многотомного фундаментального курса физики, переведенного и на немецкий язык (который изучал и Э. Ферми). Хвольсон написал также хорошее популярное введение в теорию относительности и др. и являлся большим патриотом русской физики, стремясь отметить все ее достижения...» [8, с. 239].

В. Френкель отмечает, что сохранился документ, в котором указана дата окончания Г. Гамовым университета — 20 ноября 1924 года. Сам же Гамов в автобиографии относит ее к 1929 г.: «К этому времени он сдал все экзамены и защитил диссертацию». Профессор Д.С. Рождественский рекомендовал его в аспирантуру еще в конце 1924 — начале 1925 гг. В ожидании места возникли некоторые трудности в связи с тем, что университетский курс Гамов прошел не за четыре, а за три года [18]. Первые два года аспирантуры Гамов еще продолжал работу по теории адиабатических инвариантов, но без особого успеха. Его даже предупредили, что, если он не достигнет заметного прогресса, аспирантура не будет продлена на третий год [6, с. 49].

Известно, что 1925–1926 гг. внесли много нового в теоретическую физику. Как вспоминает Гамов [6, с. 48], «...в нашей теоретической группе Ленинградского университета мы проводили много времени, следуя за новыми публикациями, стараясь понять их. Мы все трое (Дау, Димус и я) пытались применять новую квантовую теорию для усовершенствования статистической физики, но у нас ничего пока не получалось». Гамов увидел перед собой новое перспективное направление — молодую науку квантовую механику. В 1925 г. в жизни ученого произошло неожиданное изменение: он был рекомендован в качестве кандидата на поездку в Германию на четырехмесячную научную стажировку [6, с. 49]. Причем большую роль в организации этой поездки, по словам Гамова, сыграл О.Д. Хвольсон [7]: «...Старый, в то время

уже в отставке, профессор О.Д. Хвольсон заговорил о том, что я мог бы провести несколько месяцев в зарубежном университете, что был бы рад рекомендовать меня Ленинградскому университету для поездки на летнюю сессию 1926 года в знаменитый немецкий университет в Геттингене, один из ведущих центров развития квантовой физики. Рекомендация Хвольсона была подписана несколькими другими профессорами, которые были высокого мнения о моих способностях. Однако разрешение и все необходимые документы были получены лишь весной 1928 года» [6, с. 49]. В июне он прибыл в Гёттинген, где был представлен теоретику Макс Борну. Решив заняться какой-либо нерешенной теоретической проблемой, Гамов выбрал в качестве основного направления теорию атомного ядра, в частности, проблеме α -распада, одного из самых загадочных явлений ядерной физики того времени.

Идею о подбарьерном туннелировании в то время на качественном уровне уже использовали при объяснении некоторых явлений: термоэлектронной и автоэлектронной эмиссии и др. На качественном уровне роль туннельного эффекта в процессе α -распада подчеркивали Р. Герни, Э. Кондон, Л.И. Мандельштам, М.А. Леонтович.

Однако только Гамов впервые применил квантово-механические идеи к объяснению α -распада. В своей теории Гамов, решая уравнение Шредингера для потенциального кулоновского барьера U_0 специальной (прямоугольной) формы, показал, что α -частицы даже с не очень большой энергией E могут с определенной вероятностью просочиться через барьер без внешнего воздействия и оказаться за пределами барьера, т.е. с точки зрения квантовой механики возможно прохождение α -частицы с энергией E сквозь потенциальный барьер высотой U_0 и при $E < U_0$ [18]. Это явление получило название туннельного эффекта, и оно является следствием волновой природы частиц!

На основе своей теории Гамов получил важные количественные результаты, свя-

занные с α -распадом ядер. Например, он смог оценить размер ядра (порядка 10^{-13} см) и, что еще более важно, дать теоретический вывод эмпирически установленного в 1912 г. правила Гейгера–Нэттола, утверждающего, что для α -распада характерна сильная зависимость между периодом полураспада $T_{1/2}$ и энергией E вылетающих α -частиц [17–18].

Удивительно, как быстро по приезде в Гёттинген уже 29 июля Гамов окончил свою статью, где доказал, что α -частицы просачиваются из ядра через удерживающий их потенциальный барьер посредством квантовомеханического туннелирования и отослал ее в журнал «Zeitschrift für Physik» (статья поступила в редакцию 2 августа 1928 г.) [21].

Отметим, что Гамов в своей работе рассматривает прямоугольный барьер и решает задачу, как указывает А.И. Ансельм, не самым простым образом [1]. Сейчас ее решение можно найти в любом вузовском учебнике квантовой механики [3, 16, 17]. В связи с публикацией этой знаменитой статьи, сам Гамов [6, с. 56] и В.Я. Френкель [18] вспоминают интересную деталь. В заключении статьи ученый выражает благодарность Н. Кочину, математику из России, за дружеское обсуждение математических вопросов. По словам Гамова, статья по теории туннельного механизма α -распада была опубликована сразу же; основную часть работы он выполнил за два дня, сумев к тому же впервые вычислить радиус атомного ядра. Но Гамов позже вспомнил некоторые детали работы над своей статьей: *«Для оценки этой формулы нужно было вычислить интеграл одного выражения, а я не знал, как это сделать. Я решил навестить своего друга Н. Кочина — русского математика, который тоже проводил лето в Гёттингене. Кочин не мог поверить, что я не могу взять такой простой интеграл, и сказал, что поставил бы «неуд» любому студенту, который не справился бы с такой элементарной*

задачей. После того, как я написал статью, в конце ее я выразил благодарность Кочину за помощь в математических расчетах. Позже, когда статья появилась, он написал мне, что стал посмешищем среди своих друзей, когда те узнали, какого рода «интеллектуальную» математическую помощь он оказал мне».

В сентябре 1928 г. четырехмесячный срок командировки Гамова истек, и ему необходимо было возвращаться в Ленинград. По дороге он заехал в Копенгаген, где встретился с Нильсом Бором, который предложил ему остаться на год в его институте и выхлопотал ему стипендию. Этому поспособствовало и рекомендательное письмо на имя Бора, написанное Абрамом Иоффе.

За время своей продленной командировки Гамов посетил другие важнейшие научные центры того времени, написал и опубликовал **семь научных работ**. Его теория о механизме α -распада ядер принесла физику заслуженную славу. Домой, в Ленинград, в 1929 г. Гамов вернулся уже знаменитым ученым.

Однако, пробыв на родине недолго, уже осенью того же года он получил годовую стипендию Рокфеллеровского фонда и осенью вновь оказался у Бора. За рубежом Гамов по-прежнему активно участвовал в работах по ядерной тематике, проводившихся в Дании и Англии. По окончании срока командировки весной 1931 г. Гамов вернулся в Ленинград и сразу же включился в работу по ядерной физике, которую начал проводить в Радиевом институте, Физико-математическом институте (ФМИ) и Ленинградском университете. В марте 1932 г. заслуги ученого были оценены на очередных выборах в АН СССР — он был избран членом-корреспондентом большинством голосов (42 человека «за» из 43), став в 28 лет (и оставаясь, по крайней мере, до 2010-х гг.) самым молодым из избранных физиков за всю ее историю. Считаем справедливым высказывание В.Я. Френкеля: *«На примере этих «звездных» для Гамова*

лет (1928–1931 гг.) можно еще раз увидеть, сколь продуктивна для молодого ученого возможность стажировки в ведущих мировых научных центрах. Это, разумеется, справедливо не только для советских физиков...» [18].

В период работы в физическом отделе Радиевого института под руководством Г. Гамова и при непосредственном участии И.В. Курчатова и др. был создан первый в Европе циклотрон. Все это время Гамов занимался исключительно научной деятельностью, не включаясь в политику и общественную жизнь.

В это же время он почувствовал изменения в положении ученых в СССР. Постепенно, к сожалению, талантливого физика все меньше и меньше начало устраивать то, что происходило вокруг. В октябре 1931 г. в Риме должен был состояться 1-й Международный конгресс по ядерной физике, куда был приглашен и Гамов, но ему не удалось получить разрешение на выезд (его доклад прочитал один из членов оргкомитета конгресса). Ученый на своем примере, что он позднее назвал «римским фиаско», понимал эти изменения, и его возмущало подобное отношение советских властей. После этого Гамов, стремящийся к академической свободе, выражавшейся в возможности работать в любых научных центрах мира, право высказывать свои суждения, стал искать случай покинуть страну, в том числе нелегально [6, с. 95–99; 18]. Летом 1932 г., во время отпуска в Крыму, они с женой попытались нелегально переплыть от Крыма до Турции на резиновой байдарке через Черное море, пройдя около 280 километров на юг. Побегу Гамовых помешал сильный ветер, обессилил их и в конце концов отнес их обратно к берегу. Второй раз супруги попробовали пересечь границу на лыжах из Мурманска в Норвегию, который также закончился неудачно из-за непогоды [6, с. 95–98; 15, с. 247–248].

Удобный случай для побега представился осенью 1933 г., когда Гамов по рекоменда-

ции Иоффе был назначен советским представителем на VII Сольвеевском конгрессе в Брюсселе, впервые посвященном полностью ядерной физике. Кроме того, за него поручился организатор конгресса, почетный член АН СССР и член ЦК Компартии Франции П. Ланжевен. Благодаря знакомству с Н. Бухариным, Гамов смог попасть на прием к В. Молотову, в то время являвшемуся вторым человеком в СССР, и получить вторые паспорта на себя и на жену [6, с. 101–111]. Но к окончанию командировки его ожидал неприятный сюрприз. Ланжевен сообщил, что разрешение на выезд на конгресс Гамов получил потому, что он, Ланжевен, дал слово, что ученый по окончании срока командировки вернется в СССР. Проблему удалось разрешить после вмешательства Марии Кюри. По завершении срока командировки Гамов решил не возвращаться и начал переговоры о получении работы за рубежом. В то же время он не хотел окончательного разрыва с родиной, желая продлить командировку. В письме Петру Капице от 15 ноября 1933 г. Гамов писал: *«Сейчас я хочу идти по Вашим стопам и, если возможно, жить за границей с советским паспортом. Написал в Москву, прося продления командировки на год»*. Но, увы! Этим планам осуществиться не удалось.

В октябре 1934 г. вышел срок командировки. Гамов в СССР не вернулся, его уволили из Радиевого института и ФМИ, правда, исключение из числа членов-корреспондентов АН СССР случилось только в 1938 г.

После отъезда из СССР Гамов работал то в Радиевом институте в Париже, то в Кембриджском университете, то в Институте Бора в Копенгагене, но никто не предложил ему постоянное место. В 1934 г. появились предложения из Америки. Сначала Э. Лоуренс попробовал устроить физика в Калифорнийский университет в Беркли, однако возникли финансовые проблемы. Вскоре он был приглашен на должность профессора в столичный университет Джорджа Вашингтона, где начал работать с осени 1934 г.

[15, с. 247–248]. В университете Георгий Антонович работает вплоть до 1956 г.: он читает лекции, занимается научными исследованиями. Сразу же Гамов инициировал проведение в Вашингтоне ежегодных конференций с участием ведущих физиков мира. Он организовывал их по подобию ежегодных конференций, которые проводил Бор в Копенгагене, поскольку в США форумы такого уровня не проводились. Отметим, что Вашингтонские конференции пользовались большим успехом. Например, в 1939 г. Гамов организовал 5-ю Вашингтонскую конференцию по теоретической физике с приглашением ведущих ученых мира. Он открыл заседание и предоставил первое слово Бору, который рассказал о новых экспериментах Гана и Штрассмана по делению ядер урана под действием нейтронов и об интерпретации опытов Мейтнер и Фриша. Затем слово взял Ферми, который рассказал о возможных следствиях этих открытий и исследований. Стоит отметить, что именно эта конференция открыла дорогу к созданию атомной бомбы [15, с. 333–340].

Другим важным решением Гамова было приглашение в качестве ближайшего сотрудника на кафедру своего старого знакомого еще по копенгагенским временам Эдварда Теллера с целью усиления физического факультета университета (как образно выражался сам Гамов, *«чтобы было с кем поговорить о теоретической физике»*). В августе того же года чета Теллеров уже пересекла Атлантику [15, с. 280]. Сотрудничество с этим физиком оказалось весьма плодотворным. В 1936 г. совместно им удалось обобщить теорию β -распада Ферми, сформулировав теперь уже классические правила отбора Гамова–Теллера.

В это время Гамов начал активно интересоваться связью между ядерными процессами и источником энергии звезд. Первые подходы к решению этой проблемы появились в 1930 г. под влиянием именно гамовской работы по туннельному эффекту при α -распаде. В конце 1930-х гг. Гамову

совместно с Теллером удалось улучшить понимание вопроса об энергии звезд, учтя последние достижения ядерной физики. В 1937–1940 гг. Гамов построил первую последовательную теорию эволюции звезд с термоядерным источником энергии. В 1942 г. совместно с Теллером он предложил теорию строения красных гигантов, предположив наличие у них устойчивого ядра и оболочки, в которой происходят термоядерные реакции.

В 1941 г. Теллер покинул университет, став участником Манхэттенского проекта, Гамова же по «соображениям безопасности» к этим работам не привлекли. Он участвовал в решении второстепенных проблем, став консультантом Военно-морского ведомства. В ходе этой деятельности он сблизился с Альбертом Эйнштейном, таким же «непривлеченным» к проекту. Военное ведомство США предложило ему быть экспертом по рассмотрению оборонных идей и изобретений. Так как Эйнштейну было трудно ездить из Принстона в Вашингтон, Гамову было предложено стать его спецкурьером, что он принял с большим удовольствием. Общение с Эйнштейном заставило Гамова вспомнить своего учителя Фридмана и вернуться к космологии. Лишь летом 1948 г. физик получил допуск в Лос-Аламос, приступив уже под руководством Теллера к работе по созданию водородной бомбы.

В 1946 г. Георгий Антонович с головой погрузился в задачи космологии, предложив модель «горячей Вселенной» как уточнение теории «Большого Взрыва». Ее основаниями стали представления о расширении Вселенной, данные о распространенности элементов и оценки возраста Вселенной, который в те годы считался примерно равным возрасту Земли. Исходя из большого значения энтропии ранней Вселенной, в 1948 г. Гамов совместно со своими учениками разработал теорию образования химических элементов путем последовательного нейтронного захвата. В рамках этой теории было предсказано существование фонового

микроволнового (реликтового) излучения и дана оценка его современной температуры в пределах 1–10 К. Теория Гамова и его сотрудников не привлекла большого внимания физиков, особенно экспериментаторов, и фактически оставалась долгое время незамеченной. Одной из причин этого было то, что рассуждения о ранней Вселенной в то время считались чисто умозрительными. Более того, концепция «горячей Вселенной» представлялась не самой вероятной: серьезную конкуренцию ей составляли модель «холодной Вселенной» и теория «стационарной Вселенной». Поэтому открытие в 1965 г. А. Пензиасом и Р. Вильсоном реликтового излучения произошло во многом случайно (за это открытие они получили Нобелевскую премию в 1978 г.). Тем не менее, заслуги Гамова и его учеников получили широкое признание коллег.

В 1954 г., через год после открытия двуспиральной структуры молекулы ДНК, Гамов неожиданно внес существенный вклад в становление молекулярной биологии, впервые поставив проблему генетического кода. Он понял, что структура основных блоков клетки, белков, состоящих из 20 аминокислот, должна быть зашифрована в последовательности из четырех возможных нуклеотидов, входящих в состав молекулы ДНК. Исходя из простых арифметических соображений, ученый показал, что «при сочетании 4 нуклеотидов тройками получаются 64 (4^3) различные комбинации, чего вполне достаточно для «записи наследственной информации», и выразил надежду, что *«кто-нибудь из более молодых ученых доживет до расшифровки генетического кода»*. Таким образом, он был первым, кто предположил кодирование аминокислотных остатков триплетными нуклеотидами. Предположение о триплетном кодировании информации в молекуле ДНК в 1961 г. было подтверждено экспериментально, а к 1967 г. генетический код был расшифрован. За эту работу Р. Холли,

Х. Коране и М. Ниренбергу была присуждена Нобелевская премия в 1968 г.

В 1956 г. Гамов переехал в Боулдер (штат Колорадо). Он занял должность профессора местного университета, где и проработал до конца своей жизни.

Первые шаги в области популяризации науки Гамов совершил в 1938 г., когда написал фантастический рассказ о приключениях мистера Томпкинса в мире теории относительности. Однако ни один журнал не пожелал опубликовать его. Через некоторое время физик из Кембриджа Ч. Дарвин, внук знаменитого естествоиспытателя, посоветовал ему отослать рассказ в журнал «Discovery» Кембриджского университета. Редактор согласился напечатать рассказ и предложил написать еще несколько. Цикл рассказов, объединенный под заголовком «Мистер Томпкинс в стране чудес», был издан отдельной книгой в 1940 г. Книга выдержала множество изданий почти на всех европейских языках, в том числе на русском [5]. Успех этой книги побудил Гамова написать о приключениях мистера Томпкинса в мире квантовой механики и молекулярной биологии. Им опубликованы еще ряд научно-популярных книг по физике и астрофизике и около десятка статей в известных журналах.

Последняя книга, написанная Гамовым, была его автобиография «Моя мировая линия», которую он уже не успел опубликовать. Она вышла в США в 1970 г. и у нас в России уже после его смерти [6].

В последние годы жизни Гамов тяжело страдал от заболеваний сердечно-сосудистой системы. Известный ученый ушел из жизни на 65 году в Боулдере 19 августа 1968 г., там же находится его могила.

Несмотря на большой вклад Г. Гамова в отечественную науку (по мнению многих ученых, в 30-е годы XX века его авторитет был даже выше, чем у Ландау) почти до конца прошлого столетия имя Георгия Антоновича лишь изредка приводилось в отечественной научной литературе и в ву-

зовских [3; 16, с. 86–90; 17] и школьных учебниках по физике, в большинстве из них имя Гамова замалчивалось [2, 9, 13, 14].

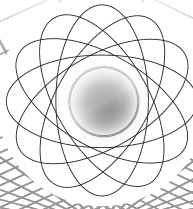
Единственное исключение, которое мы заметили, — это школьный учебник по физике Е.И. Бутикова, А.С. Кондратьева, где упоминается не только имя Г. Гамова, но и приводится простейшая теория α -распада Гамова с привлечением положений квантовой механики (потенциальный барьер, туннельный эффект, вероятность прохождения частицы через потенциальный барьер, вероятностный характер радиоактивного распада и т.д.) [4].

Большая часть научных открытий «невозвращенца» Дж. Гамова стала достоянием США. Но в России Георгия Антоновича Гамова знают и помнят. Всему научному миру великий ученый известен, по крайней мере, тремя открытиями, которые должны были быть отмечены Нобелевскими премиями: это теория квантовых туннельных переходов, теория Большого Взрыва и теория генетического кода и способов передачи наследственной информации. Но премии за эти открытия или их приложения и развитие получили другие, продолжившие его работы. Надеемся, что научный мир отметит 4 марта 2024 года 120-летие со дня рождения великого ученого россиянина — физика-теоретика Георгия Антоновича Гамова.

Литература

1. Ансельм А.И. Очерки развития физической теории в первой трети XX века. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. — 248 с.
2. Анциферов Л.И. Физика: Электродинамика и квантовая физика. 11 кл.: Учеб. для общеобразоват. учреждений. — М.: Мнемозина, 2002. — 383 с.
3. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики. Учебное издание. — М.: Наука 1975. — 664 с.
4. Бутиков Е.И., Кондратьев А.С. Физика. Учеб. пособие для учащихся с углубленным изучением: Кн. 3. Строение и свойства вещества. — М.: Физматлит., 2001. — 336 с.
5. Гамов Г. Приключения Мистера Топкинса. — М.: Бюро Квантум, 1993. — 224 с.
6. Гамов Дж. Моя мировая линия: неформальная автобиография. — М.: «Наука», 1994. — 304 с.
7. Зиятдинов Ш.Г. О.Д.Хвольсон. У истоков преподавания современной физики // Физика в школе. 2021. № 7. С. 3–8.
8. Иваненко Д.Д. Эпоха Гамова глазами современника / Д. Гамов. Моя мировая линия: Неформальная автобиография. — М.: Наука, 1994. — С. 231–292.
9. Касьянов В.А. Физика. 11 кл.: Учеб. для общеобразоват. учреждений. — М.: Дрофа, 2003. — 416 с.
10. Кудрявцев П.С., Конфедератов И.Я. История физики и техники. — М.: Просвещение, 1965. — 570 с.
11. Кудрявцев П.С. История физики. Т. III. От открытия квант до квантовой механики. — М.: Просвещение, 1971. — 424 с.
12. Ливанова А.М. Ландау. — М.: Знание, 1983. — 240 с.
13. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б., Сотский Н.Н. Физика: Учеб. для 11 кл. общеобразоват. учреждений. — М.: Просвещение, 2010. — 336 с.
14. Мякишев Г.Я., Синяков А.З. Физика: Оптика. Квантовая физика. 11 кл.: Учеб. для углубленного изучения физики. — М.: Дрофа, 2002. — 464 с.
15. Роудс Р. Создание атомной бомбы. — Ко-Либри, Азбука-Атикус, 2020. — 1056 с.
16. Савельев И.В. Курс общей физики Учебное пособие. Т. 3. — М.: Наука, 1987. — 320 с.
17. Трофимова Т.И. Курс физики. — М.: Высшая школа, 1990. — 478 с.
18. Френкель В.Я, Чернин А.Д. Возвращается Г.А. Гамов // Природа. 1989. № 9. С. 82–102.
19. Физическая энциклопедия. Т. 1. — М.: Советская энциклопедия, 1988. — 704 с.
20. Храмов Ю.А. Физики: Биографический справочник. — М.: Наука, 1983. — 400 с.
21. Gamov D. Zur Quantentheorie des Atomkernes (К квантовой теории атомного ядра) // Zeitschrift für Physik. 1928. Bd. 51. S. 204–212.

Дата поступления рукописи (Received): 23.03.2023.
Опубликовано (Published): 18.07.2023.



МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТИРОВАНИЕ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ШКОЛЬНОГО УЧИТЕЛЯ К УРОКУ ПО ИЗУЧЕНИЮ КОНДЕНСАТОРА

MODELING AND EXPERIMENTATION IN THE PREPARATION OF A SCHOOL TEACHER FOR A LESSON ON THE STUDY OF A CAPACITOR

Научная статья

Scientific article

УДК 372.853

DOI 10.47639/0130-5522_2023_5_16

В.В. Майер , д.п.н., профессор, заведующий кафедрой физики и дидактики физики, Глазовский государственный педагогический институт имени В.Г. Короленко, Удмуртская Республика, г. Глазов; varaksina_ei@list.ru	V.V. Mayer , DrSci (Pedagogy), professor; the head of the chair of physics and didactics of physics of Glazov State Pedagogical Institute named after V.G. Korolenko, the Udmurt Republic, Glazov; varaksina_ei@list.ru
Е.И. Вараксина , к.п.н., доцент, Глазовский государственный педагогический институт имени В.Г. Короленко, Удмуртская Республика, г. Глазов; varaksina_ei@list.ru	E.I. Varaksina , PhD (Pedagogy), the associate professor of the chair of physics and didactics of physics of Glazov State Pedagogical Institute named after V.G. Korolenko, the Udmurt Republic, Glazov; varaksina_ei@list.ru
Ключевые слова: моделирование и экспериментирование, школьный учитель, урок физики, деятельность подготовки, плоский конденсатор	Keywords: modeling and experimentation, school teacher, physics lesson, preparation activity, flat capacitor
Аннотация. На конкретном примере изучения плоского конденсатора раскрыто содержание деятельности моделирования и экспериментирования при подготовке школьного учителя к уроку физики. Исследование выполнено на базе Федеральной инновационной площадки «Школа учебного физического эксперимента» в рамках научного проекта «Методика проведения новых физических опытов в школе как средство формирования инженерных компетенций обучающихся», поддержанного Министерством просвещения Российской Федерации в 2023 г.	Abstract. The content of modeling and experimentation activities in the preparation of a school teacher for a physics lesson is revealed on a specific example of studying a flat capacitor. The research has been performed on the basis of the Federal Innovation Platform «School of Educational Physical Experiment» within the scientific project «Methods of conducting new physical experiments at school as a means of forming students' engineering competencies», supported by the Ministry of Education of the Russian Federation in 2023

© Майер В.В., Вараксина Е.И., 2023

В.Г. Разумовский, используя мысли А. Эйнштейна о сущности научного познания, *доказал*, что эффективная познавательная деятельность *обучающего* и *обучающихся* при изучении физики в школе носит цикли-

ческий характер и может быть представлена удобной для усвоения схемой: факты → модель → следствия → эксперимент [1]. Подробные исследования различных аспектов методологии дидактики физики выполнены

Ю.А. Сауровым. Они, в частности, показывают, что одно из следствий познавательного цикла Разумовского может быть сформулировано так: основными видами учебной деятельности субъектов физического образования в современной школе должны быть моделирование и экспериментирование [2–4].

Однако школьная практика бесконечно далека от дидактической теории. Формально физический эксперимент в учебниках и на уроках, разумеется, есть. Но под экспериментом в обучении обычно понимается более или менее зрелищная иллюстрация, оживляющая речь учителя или текст учебника. К сожалению, ушло со сцены поколение тех энтузиастов, которые считали своей личной обязанностью постоянное совершенствование учебного физического эксперимента для урочной и внеурочной деятельности учителя и его учеников.

В этой статье на конкретном примере раскрыто наше понимание теоретического моделирования и натурального экспериментирования при решении учителем физики конкретной проблемы: «На каком уровне в современной школе нужно изучать плоский конденсатор?»

1. Изучение плоского конденсатора на школьных уроках

Основа школьного курса физики определяется, увы, содержанием и методикой школьного учебника. Учитель должен помнить, знать, понимать и уметь объяснять все положения учебника, который он использует для обучения. Поэтому первый шаг в решении сформулированной проблемы — это глубокий критический анализ учебника физики по теме исследования.

1.1. Плоский конденсатор в школьных учебниках. В учебнике физики для 8 класса вводится понятие конденсатора и описана серия качественных опытов, показывающих, что емкость плоского конденсатора прямо пропорциональна площади его пластин, обратно пропорциональна рас-

стоянию между ними и увеличивается при введении между пластинами диэлектрика [5, с. 149–154].

В учебнике физики для 10 класса без вывода приводится формула, которая используется в многочисленных задачах,

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}, \quad (1)$$

и читателям предлагается выполнить самостоятельно учебные опыты с конденсатором [6, с. 321–324].

В учебнике для углубленного изучения физики доказывается теорема Гаусса, находится связь напряженности электрического поля вблизи проводника с плотностью заряда на его поверхности и эти теоретические результаты используются для вывода формулы (1) [7, с. 67–69].

Если в обучении ограничиться сведениями из школьных учебников, то ничего особенного делать не нужно. Учителю достаточно внимательно прочитать соответствующие параграфы и в том или ином виде воспроизвести их содержание на уроках.

Мы, однако, исходим из того, что при изучении физики в школе обучающиеся должны получить, помимо прочего, *убедительное экспериментальное доказательство справедливости формулы (1)*. Рассмотрим подготовку учителя к уроку, на котором поставленная задача может быть решена.

1.2. Теоретическое моделирование. Для экспериментального обоснования формулы (1) необходимо использовать определение емкости конденсатора [6]:

$$C = \frac{q}{U}. \quad (2)$$

Измерив заряд конденсатора q и напряжение U на нем, можно вычислить емкость C . Это позволит определить зависимость емкости конденсатора от всех величин, входящих в формулу (1).

Но в школе есть только один электроизмерительный прибор, который используется в учебных опытах по электростатике — это электромметр. Его можно превратить в вольтметр, если отградуировать шкалу

этого прибора в вольтах. Измерив емкость электрометра подходящим мультиметром, нетрудно произвести градуировку той же самой шкалы прибора в кулонах [8].

Итак, один и тот же прибор в принципе можно использовать как измеритель напряжения, так и заряда. Но не получим ли мы порочный круг, когда одна физическая величина определяется через вторую, а вторая — через первую?

В опытах электрометр, внутреннее сопротивление которого бесконечно велико, должен быть подключен к заряженному конденсатору. Эта система с окружающими телами электрически не взаимодействует, поэтому может считаться замкнутой. По закону сохранения заряда в замкнутой системе заряд не изменяется. Значит, заряд q из формулы (2) можно исключить, и для обоснования формулы (1) достаточно в серии опытов показать, что выполняется соотношение:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d} \sim \frac{1}{U}. \quad (3)$$

Итак, формула (1) получит экспериментальное обоснование, если на опыте школьники убедятся, что уменьшение площади S пластин заряженного конденсатора и увеличение расстояния d между ними ведет к пропорциональному росту напряжения U между пластинами, а введение в конденсатор диэлектрика уменьшает это напряжение пропорционально диэлектрической проницаемости ϵ .

1.3. Натурное экспериментирование. Соберем демонстрационные установки в соответствии с рекомендациями учебника [5]. Для этого используем школьный разборный конденсатор с круглыми пластинами диаметром $D = 23$ см и установим их в штативах вертикально на расстоянии $d = 1$ см друг от друга. При выполнении опытов обнаруживается следующее.

1. Установка, изображенная на рисунке 1, неработоспособна, так как в ней демонстрационный конденсатор замкнут накоротко металлической перемычкой между

лейденскими банками электрофорной машины [5, с. 150].

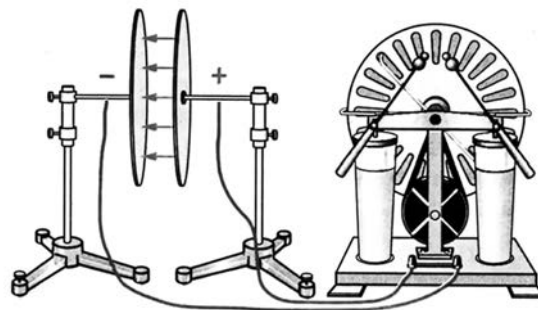


Рис. 1

2. В установке, показанной на рисунке 2.1, заряд сообщается конденсатору прикосновением «наэлектризованным шаром» к внешней стороне обкладки конденсатора. Однако в опытах обнаруживается, что однократное прикосновение металлическим шаром диаметром 25 мм, заряженным даже от электрофорной машины до потенциала примерно 25 кВ, не приводит к отклонению стрелки электрометра. Это и понятно, так как на стержне электрометра находится шар диаметром 100 мм, поэтому емкость электрометра сравнительно велика. Измерения мультиметром типа DT9208A дают следующие значения: $C_1 = 40$ пФ — емкость демонстрационного конденсатора указанных выше параметров; $C_2 = 7$ пФ — емкость электрометра без шара; $C_3 = 19$ пФ — емкость электрометра с шаром.

3. В установке, показанной на рисунке 2.2, пластины конденсатора заменены другими, большего диаметра. Даже если это удастся сделать на уроке, то сравнение с исходным конденсатором, имеющим пластины меньшего диаметра (рис. 2.1), станет невозможным.

4. Проверка показывает, что заземлять корпус электрометра, как это изображено на рисунке 2, не всегда необходимо.

5. Закрепленные в штативах вертикально пластины конденсатора (рис. 2) трудно установить параллельно на определенном

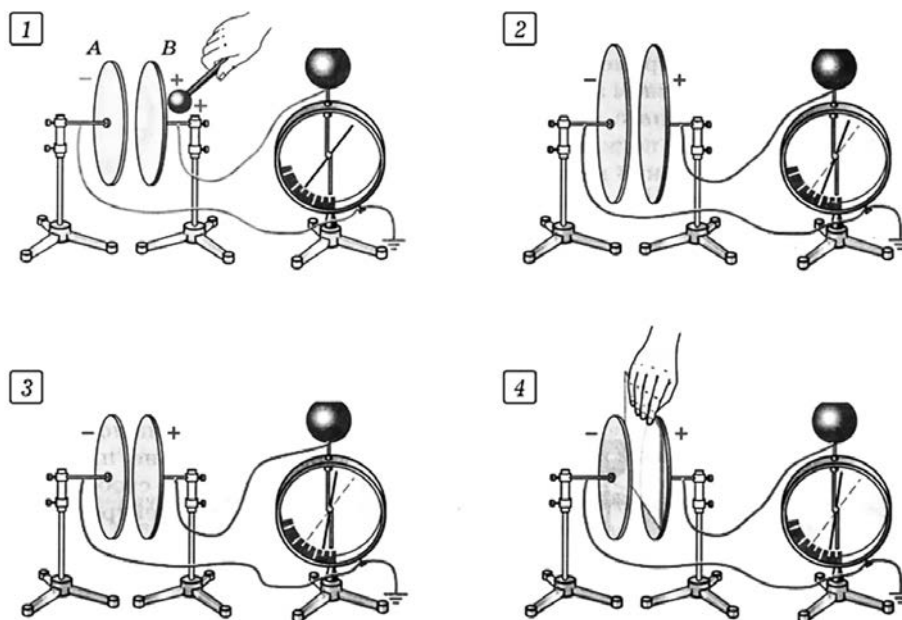


Рис. 2

расстоянии и сдвигать одну относительно другой поступательно. Поэтому убедительность демонстрационных опытов на такой установке невелика.

6. Если расстояние между пластинами конденсатора значительно больше толщины вводимого между ними диэлектрика, как это показано на рисунке 2.4, то емкость конденсатора практически не изменяется.

3. Результаты деятельности моделирования и экспериментирования по разработке методики изучения плоского конденсатора

Теоретическое моделирование показало, что выведенная математически или сообщенная без вывода формула (1) может быть обоснована в учебном эксперименте. Натурное экспериментирование обнаружило недостатки демонстрационной установки и методики выполнения опытов, представленных в учебнике [5].

Эта по факту *научно-исследовательская деятельность учителя* в конце концов приводит его к мысли: 1) использовать в демонстрационном эксперименте электро-

метр, отградуированный по напряжению [8]; 2) повернуть конденсатор из вертикального положения в горизонтальное; 3) расстояние между его пластинами изменять не непрерывно, а дискретно одинаковыми по толщине изолирующими прокладками; 4) зарядку конденсатора производить методом электрофора.

Предоставляем читателю догадаться, как и почему в голову приходят такие идеи. Понятно, что это результат упорного решения проблемы методом непрерывного *умозрительного моделирования и экспериментирования в воображаемой реальности*, которую сейчас модно называть виртуальной. Эффективное овладение этим методом происходит при критическом осмыслении описаний доказательных учебных экспериментов.

Поэтому дальше даны краткие описания техники подготовки, технологии выполнения и методики применения учебных опытов с плоским конденсатором, которые учитель физики может использовать для развития исследовательских умений моделирования и экспериментирования у себя и своих учеников.

4. Техника демонстрационного эксперимента при изучении плоского конденсатора

Экспериментальная установка и необходимые для выполнения опытов принадлежности показаны на рисунке 3: 1 — разборный конденсатор из двух плоских металлических пластин с изолирующими ручками; 2 — основание штатива, в котором закреплено горизонтально нижняя пластина конденсатора; 3 — демонстрационный электрометр, подключенный параллельно конденсатору; 4 — пластина изолона и мех для зарядки верхней пластины конденсатора методом электрофора; 5 — лист стекла толщиной 8 мм; 6 — изолирующие прокладки.

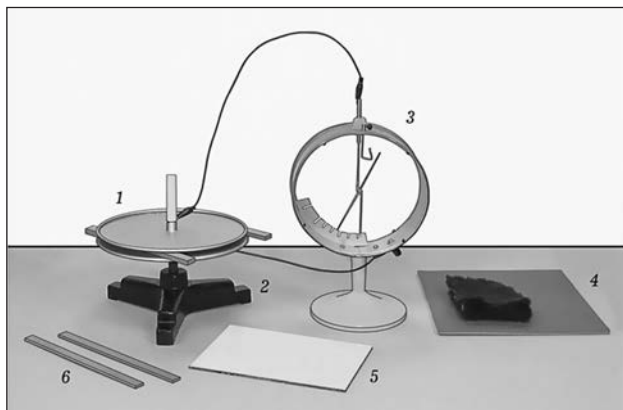


Рис. 3

Основным самодельным элементом установки является набор из четырех изолирующих прокладок. Для его изготовления из винипласта или оргстекла вырезают 6 одинаковых полосок размером $4 \times 16 \times 230$ мм. Четыре полоски попарно склеивают так, чтобы получились две пары прокладок: одна толщиной 4 мм и другая пара толщиной 8 мм. Это позволяет устанавливать пластины конденсатора на четырех фиксированных расстояниях: 4, 8, 12 и 16 мм. Понятно, что в упрощенном варианте прокладками могут служить пластмассовые линейки одинаковой толщины.

В качестве источника электричества удобно использовать электрофор, который

представляет собой пластину изолона размером $8 \times 300 \times 300$ мм и металлический электрод на изолирующей ручке. Иolon — это вспененный полиуретан, из которого делают туристические коврики. Мехом или шерстью иolon электризуется отрицательно. Металлическим электродом электрофора служит круглая обкладка школьного разборного конденсатора.

Измерительным прибором в демонстрационных опытах с плоским конденсатором является электрометр. Градуировка школьного электрометра по напряжению и заряду подробно рассмотрена в работе [8]. Однако производить ее на школьном уроке целесообразно уже после изучения конденсатора. Поэтому школьникам нужно просто сообщить, что при использовании демонстрационного электрометра в качестве вольтметра предел измерения и цена деления шкалы этого прибора составляют примерно 5 кВ и 0,5 кВ соответственно.

4. Методика и технология экспериментального изучения плоского конденсатора

При подготовке демонстрационного эксперимента детально отрабатывают порядок действий, который будет реализован на школьном уроке.

1. Собирают установку, расположив на нижней металлической пластине конденсатора одинаковые изолирующие прокладки минимальной толщины.

2. Мехом электризуют иolon отрицательно, берут за изолирующую ручку верхнюю пластину конденсатора и подносят ее к иолону на расстояние, при котором стрелка электрометра отклоняется примерно до середины шкалы, и объясняют наблюдаемое явление электростатической индукцией.

3. Прикасаются к находящейся над наэлектризованным иолоном металлической пластине пальцем, соединяя ее тем самым с землей, и отводят пластину от изолона. При этом на пластине остается положительный заряд. Убеждаются в этом, используя на-

электризованную мехом эбонитовую палочку, которая, как известно учащимся, несет отрицательный заряд.

4. Перемещая заряженную пластину в пределах экспериментальной установки, обнаруживают, что стрелка электрометра отклоняется на разные углы (рис. 4). Объясняют это явление тем, что физическая система в опыте замкнута, поэтому при любых изменениях внутри нее заряд сохраняется, а электрометр показывает изменение разности потенциалов между элементами системы, с которыми он соединен.

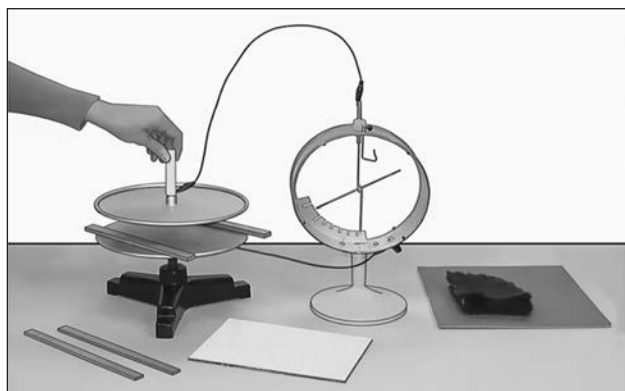


Рис. 4

5. Чтобы в последующих опытах обеспечить одинаковые заряды конденсатора, верхнюю пластину конденсатора накладывают непосредственно на наэлектризованный мехом изолон, прикасаются к ней пальцем, заряженную положительно пластину помещают на прокладки минимальной толщины, находящиеся на нижней пластине конденсатора, и записывают значение напряжения между пластинами, которое показывает электрометр.

6. Используя прокладки, увеличивают расстояние между пластинами в 2, 3 и 4 раза, при этом электрометр показывает, что напряжение на конденсаторе растет в такое же число раз. Это доказывает, что емкость C плоского конденсатора обратно пропорциональна расстоянию d между его пластинами:

$$C \sim 1/d \quad (1)$$

7. Сдвигают лежащую на прокладках верхнюю пластину относительно нижней и показывают соответствующее увеличение напряжения между пластинами; делают вывод, что емкость C плоского конденсатора прямо пропорциональна площади S его пластин: $C \sim S$ (1). Заметим, что этот опыт станет более убедительным, если круглые пластины конденсатора заменить квадратными.

8. Вводят между пластинами конденсатора стекло, толщина которого несколько меньше толщины соответствующих прокладок, и обнаруживают, что показания электрометра уменьшились в $\epsilon \approx 4$ раза, что согласуется с табличными значениями диэлектрической проницаемости стекла.

Из сделанной серии учебных опытов делают вывод, что в пределах точности измерений формула для емкости плоского конденсатора (1) получила экспериментальное обоснование на качественном уровне.

5. Связь классической физики с современной действительностью

Одной из причин прохладного отношения школьников к физике является очевидный разрыв между тем, что они изучают на уроках, и тем, что они видят, выйдя из класса. Никакие заклинания, что физика есть основа всего того, что окружает современного человека и чем он постоянно пользуется, никого из молодых не убеждают. Поэтому на уроках совершенно необходимы скачкообразные переходы из мира ушедших поколений в мир существующего.

Это означает, что завершающим этапом изучения плоского конденсатора должен стать современный вариант рассмотренной серии опытов. Для этого достаточно заменить электрометр и электрофор мультиметром с функцией измерения электрической емкости. Вполне подойдет бытовой мультиметр типа DT9205A, минимальный предел измерения емкости которого составляет 2 нФ.

На рисунке 5 приведена фотография демонстрационной установки, которая не требует особых пояснений. Измерения по-

казывают, что емкости плоского конденсатора с круглыми пластинами диаметром 230 мм и воздушным диэлектриком толщиной 4, 8, 12 и 16 мм составляют соответственно 106, 60, 44 и 36 пФ, в то время как расчет по формуле (1) дает значения: 93, 46, 31 и 23 пФ. В эксперименте получаются значения емкости, на 13–14 пФ превышающие расчетные. Это свидетельствует о систематической ошибке, которую дает мультиметр при измерении малых емкостей. Введение пластины стекла толщиной 8 мм увеличивает измеренную емкость конденсатора с 60 до 195 пФ, следовательно, диэлектрическая проницаемость стекла $\epsilon \approx 4$.



Рис. 5

Более тщательное экспериментальное исследование плоского конденсатора целесообразно провести не на школьном уроке, а в лабораторной работе физического практикума [9].

Фундаментальные исследования деятельности субъектов физического образования в учебно-воспитательном процессе средней школы, выполненные В.Г. Разумовским и Ю.А. Сауровым, обозначают стратегическое направление, в котором должно идти решение конкретных проблем современной дидактики физики [10].

Исследование выполнено в рамках госзадания Министерства Просвещения РФ (тема ХУА-2023-0011, регистрационный номер ЕГИСУ НИОКТР 1022080500004-8-5.3.1).

Литература

1. Разумовский В.Г. Развитие творческих способностей учащихся в процессе обучения физике: пособ. для учителей. — М.: Просвещение, 1975. — 272 с.
2. Сауров Ю.А. Вопросы методологии и содержание физического смысла в обучении // Учебная физика. 2018. № 2. С. 47–63.
3. Сауров Ю.А. Актуальный дидактический потенциал методологии деятельности в методике обучения физике // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Выпуск 33. — М.: ИСПО РАО, 2021. — С. 5–6.
4. Сауров Ю.А. Об идеях реформирования школьного физического образования // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Выпуск 35. — М.: ИСПО РАО, 2022. — С. 3–5.
5. Пёрышкин А.В. Физика. 8 класс: учебник. — М.: Дрофа, 2019. — 240 с.
6. Мякишев Г.Я. Физика. 10 класс: учеб. для общеобразоват. организаций: базовый уровень / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский; под ред. Н.А. Парфентьевой. — М.: Просвещение, 2016. — 416 с.
7. Бутиков Е.И., Кондратьев А.С. Физика: Учеб. Пособие: В 3 кн. Кн. 2. Электродинамика. Оптика. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. — 336 с.
8. Майер В.В., Вараксина Е.И. Школьный демонстрационный электромметр как электроизмерительный прибор // Учебная физика. 2016. № 4. С. 15–21.
9. Вараксина Е.И., Майер В.В. Исследование плоского конденсатора в лабораторном практикуме бакалавриата // Учебная физика. 2020. № 3. С. 33–43.
10. Майер В.В., Вараксина Е.И. Моделирование и экспериментирование как основа профессиональной деятельности школьного учителя физики // Материалы докладов XI всероссийской научно-практической конференции. — Киров: ООО «Издательство «Радуга-ПРЕСС», 2022. — С. 19–23.

Дата поступления рукописи (Received): 09.04.2023.
Опубликовано (Published): 18.07.2023.

ОСОБЕННОСТИ ОБУЧЕНИЯ РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ
В ОСНОВНОЙ ШКОЛЕ ПО ДВУМ УЧЕБНИКАМ
(НА ПРИМЕРЕ ТЕМЫ «СИЛА АМПЕРА. СИЛА ЛОРЕНЦА»)

FEATURES OF TEACHING TO SOLVING PHYSICAL TASKS IN THE BASIC
SCHOOL ON TWO TEXTBOOKS (USING THE EXAMPLE OF THE THEME
«AMPERE FORCE. LORENTZ FORCE»)

Научная статья
УДК 372.853

Scientific article
DOI 10.47639/0130-5522_2023_5_23

Ф.М. Сабирова , к.ф.-м.н., доцент, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Елабужский институт (филиал), г. Елабуга; FMSabirova@kpfu.ru	F.M. Sabirova , PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, Kazan (Volga Region) Federal University, Yelabuga Institute (branch); FMSabirova@kpfu.ru
А.М. Имамова , обучающаяся отделения математики и естественных наук, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Елабужский институт (филиал), г. Елабуга; учитель физики, МАОУ «Средняя общеобразовательная школа №34 с углубленным изучением отдельных предметов», г. Набережные Челны	A.M. Imamova , student of the Department of Mathematics and Natural Sciences, Kazan (Volga Region) Federal University, Yelabuga Institute (branch), Yelabuga; Secondary school No. 34 with in-depth study of individual subjects, Naberezhnye Chelny
Ключевые слова: метод исследования ключевых ситуаций, решения задач по физике, сила Ампера, сила Лоренца, сравнительный анализ учебников	Keywords: key situation research method, amount of heat, problem solving in physics, Ampere force, Lorentz force, comparative analysis of training aids
Аннотация. В статье приведены примеры решения задач с использованием метода ключевых ситуаций при изучении раздела «Эlectromagnetic phenomena» на примере темы «Сила Ампера. Сила Лоренца»	Abstract. The article gives examples of solving problems using the method of key situations when studying the section «Electromagnetic phenomena» on the example of the topic «Amper’s force. The power of Lorentz»

© Сабирова Ф.М., Имамова А.М., 2023

В настоящее время актуальной проблемой в общеобразовательных учреждениях является неспособность обучающимися решать задачи по физике [1]. Непонимание использования формул, законов с их обязательным запоминанием затрудняет восприятие данной учебной дисциплины. Решением этой проблемы служит предложенный Л.Э. Генденштейном метод исследования ключевых ситуаций, который позволяет обучающимся выявлять закономерности, рассмотренные в задачах, а также воспринимать физический смысл формул, замечая обычное заучивание [2]. Содержание рас-

сматриваемого метода заключается в представлении ситуации из физической задачи без вопроса, в выявлении закономерностей и оформлении их в виде уравнения или систем уравнений. Заключительным шагом является решение полученной системы относительно неизвестной величины. Кроме того, данный метод предполагает расширение содержания задачи и возможностей ее решения. Его использование, начатое авторами с 2020/21 учебного года [3], было продолжено в текущем 2022/2023 году в той же школе и в тех же классах, которые теперь обучаются уже в 9 классе.

Одним из разделов, изучаемых школьниками, требующих как понимания, так и заучивания, является раздел «Электромагнитные явления», в частности, его часть, связанная с изучением действия магнитного поля на проводник с током и движущуюся заряженную частицу. Рассмотрим и сравним, как предлагается обучать решению задач по данной теме по учебному пособию, одним из авторов которого является Л.Э. Генденштейн [4] (далее учебник Генденштейна) и по учебнику А.В. Пёрышкина и Е.М. Гутник [5] (далее учебник Пёрышкина). Известно, что во многих школах используется именно этот учебник. Стоит отметить, что теоретическая часть, представляемая в нем, является достаточно объемной, подкрепленной различными упражнениями и заданиями, причем не в каждом параграфе они имеются. В учебнике же Генденштейна содержание каждого параграфа представлено по пунктам, что способствует пошаговому освоению темы.

Электромагнитные явления по учебнику Генденштейна предлагаются к изучению в 8 классе в полном объеме, т.е. изучаются все основные вопросы, в то время как по учебнику Пёрышкина обучающиеся в рамках главы «Электромагнитные явления» [6, с. 165–186] в 8 классе знакомятся с новыми понятиями, определениями, утверждениями, но углубленно рассматривают все эти явления в 9 классе.

Изучению темы, связанной действием магнитного поля на проводник с током и движущуюся заряженную частицу, в учебнике Генденштейна посвящен §18 «Сила Ампера. Сила Лоренца» [4, с. 19–31].

В пункте 1 «Модуль силы Ампера» представлен опыт, после которого ученику предлагается самостоятельно проанализировать его и на основании этого сделать вывод. Затем следуют определение модуля магнитной индукции и его формула, которая помогает определить силу Ампера. Для понимания полученной формулы и применения ее в различных задачах обучающемуся предлагают задание: «Используя формулу

$F_A = BIL$, составьте четыре задачи на определение каждой из входящих в эту формулу величин и решите их». Эти задачи можно составить на основе исследования ключевой ситуации: проводник с током помещен в магнитное поле.

В пункте 2 «Направление силы Ампера» можно увидеть, как после объяснения использования правила левой руки для определения направления искомой силы ребятам по рисункам предлагают составить задачи и решить их. Такая подача материала имеет положительный результат по развитию мышления, самостоятельному применению информации и ее закреплению.

Особое внимание стоит обратить на пункт 3 «Действие магнитного поля на рамку с током», в котором описан следующий опыт: между полюсами магнита разместили проволочную рамку, в которой ток отсутствовал. Положение рамки зафиксировали. Затем включили в ней ток. Итог: рамка повернулась. Необходимо выяснить, по какой причине это произошло. Перед учащимися поставлена проблема, которая сформулирована в виде задачи. Для того, чтобы решить задачу, обучающимся предложен определенный алгоритм (перечень вопросов), ведущий к получению конечного ответа. Рассмотрим более детально метод, по которому излагает ход решения в своем учебнике Генденштейн.

Решение

1. Ситуация: в рамке, находившейся в положении, изображенном на рисунке 1, включили ток.

Рис. 1. Действие магнитного поля на рамку без тока



2. Для выявления закономерностей, характерных для данной ситуации, нужно ответить последовательно на все вопросы, которые даются в этом учебнике.

А). Как направлены магнитные линии в области нахождения рамки? (Ответ: линии магнитного поля направлены из северного полюса к южному.)

Б). В каком направлении действует сила Ампера на ближайшую сторону рамки?

(Ответ. Для определения направления необходимо воспользоваться правилом левой руки. Во-первых, ток течет сверху вниз в этой области рамки, значит, четыре пальца направим в ту же сторону, что и ток. Во-вторых, из предыдущего вопроса было выяснено направление линий магнитного поля, поэтому располагаем ладонь так, чтобы эти линии входили в ладонь. Отогнутый на 90° большой палец указывает на направление силы Ампера. Получается, что она направлена влево.)

В). В каком направлении действует сила Ампера на дальнюю от нас сторону рамки?

(Ответ: аналогично рассуждая, приходим к тому, что сила Ампера направлена вправо.)

Ответив на все вопросы, обучающийся объясняет причину, по которой рамка поворачивается и занимает положение, показанное на рисунок 2.



Рис. 2. Действие магнитного поля на рамку с током

Пункт 4 «Электроизмерительные приборы. Электродвигатель» посвящен приборам, в которых заложен принцип, изложенный в предыдущем пункте. Здесь также предложено задание, которое необходимо для полного понимания и закрепления на данном этапе материала.

В пункте 5 «Сила Лоренца» выделим то, что после подробного объяснения с рисунком использования правила левой руки для положительно заряженной частицы дается информация по поводу силы, действующей на отрицательно заряженную частицу. К сожалению, рисунка к этому случаю нет. Вместо этого авторами предложены задания, выполнение которых поможет понять, как и куда направлена сила Лоренца.

Рассмотрим задачу.

Электрон влетает в магнитное поле с индукцией 2 Тл со скоростью 10^7 м/с перпендикулярно линиям магнитной индукции. Чему равен модуль силы, действующей на электрон со стороны магнитного поля? Модуль заряда электрона равен $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$.

Приведем решение. Электрон влетает в магнитное поле с определенной скоростью. При исследовании этой ситуации стоит задать следующие вопросы.

Электрон — это частица? Если да, то каков знак ее заряда? Каков угол между направлением движения электрона и линиями магнитной индукции? Со стороны магнитного поля действует сила Ампера или сила Лоренца?

Ответы. Электрон — отрицательно заряженная частица. Угол составляет 90° . Поскольку это заряженная частица, движущаяся под углом 90° к линиям индукции магнитного поля, со стороны магнитного поля на нее действует сила Лоренца, соответственно, для определения значения данной силы необходимо воспользоваться формулой:

$$F_L = qvB.$$

Производим расчет по этой формуле:

$$F_L = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 10^7 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 2 \text{ Тл} = 3,2 \cdot 10^{-12} \text{ Н}.$$

$$\text{Ответ: } F_L = 3,2 \cdot 10^{-12} \text{ Н}.$$

Расширение содержания разобранной задачи можно произвести следующим образом.

1. Если известны сила, действующая со стороны магнитного поля на заряд, и его скорость, то как можно определить величину

ну вектора магнитной индукции?

2. Если известны сила Лоренца и вектор магнитной индукции, то как определить скорость частицы?

В рубрике «Хочешь узнать больше?» есть возможность разобраться в решении более трудных, но занимательных задач, которые встречаются во второй части единого государственного экзамена по физике. Решение задачи выстраивается в виде последовательных вопросов, которые приводят к конечному ответу. Так, например, в пункте 6 «Более трудные задачи о силе Ампера» дана ситуация «Ставим и решаем задачи» с рисунком. Стальной брусок массой $m = 200$ г покоится на горизонтальных металлических рельсах (рис. 3). Расстояние между рельсами $l = 30$ см. Система находится в однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции которого направлен вертикально вверх. Модуль вектора магнитной индукции $B = 0,2$ Тл. Известно также, что коэффициент трения между бруском и рельсами равен 0,3. После пропускания тока по бруску он начал двигаться вдоль рельсов.

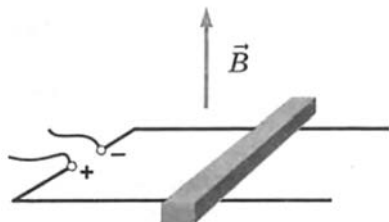


Рис. 3. Стальной брусок на горизонтальных металлических рельсах

Вопросы, помогающие установить закономерности при исследовании этой ключевой ситуации.

А). Как направлен ток в бруске: к нам или от нас?

Решение. На рисунке 3 указаны положительный «+» и отрицательный «-» полюса. Ток течет от «+» к «-». Проходя через брусок, ток будет идти в направлении от нас. Ответ: от нас.

Б). Как направлена сила Ампера, действующая на брусок?

Для ответа на поставленный вопрос требуется обратиться к правилу левой руки. На рисунке отмечено направление вектора магнитной индукции. Располагаем левую ладонь руки так, чтобы вектор магнитной индукции входил в ладонь, и одновременно с этим располагаем четыре пальца так, чтобы они были сонаправлены с силой тока. Отставленный на 90° большой палец укажет направление силы тока. Получаем: сила Ампера направлена вправо. Ответ: вправо.

В). При каком значении силы Ампера брусок начнет двигаться?

Решение. Брусок придет в движение, если сила Ампера будет равна силе трения или превышать ее. Запишем данную закономерность в виде уравнения:

$$F_A \geq F_{\text{тр}},$$

$$F_A = F_{\text{тр}},$$

$$F_{\text{тяж}} = \mu mg.$$

Подставляя в последнее уравнение данные, предварительно переводя в систему СИ: $\mu = 0,3$, $m = 0,2$ кг, $g = 10$ Н/кг, находим и получаем ответ:

$$F_{\text{тяж}} = 0,3 \cdot 0,2 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 0,6 \text{ Н}.$$

Ответ: $F_A = F_{\text{тяж}} = 0,6$ Н.

Г). При какой силе тока в бруске он начнет двигаться?

Решение. Как уже известно, брусок начнет двигаться, если сила Ампера $F_A = 0,6$ Н. Формула для определения силы Ампера известна:

$$F_A = BIl,$$

Выразим отсюда формулу для определения значения силы тока:

$$I = \frac{F_A}{Bl}.$$

Подставляя в конечную формулу известные нам данные, получим ответ:

$$I = \frac{0,6 \text{ Н}}{0,2 \text{ Тл} \cdot 0,3 \text{ м}} = 10 \text{ А}.$$

Таким образом, исследуя ключевую ситуа-

цию, последовательно задавая вопросы и отвечая на них, можно решить любую задачу.

Теперь рассмотрим, как предлагается решать задачи по этой же теме в учебнике Пёрышкина. Тема, посвященная силе Ампера, здесь представлена в § 40 «Обнаружение магнитного поля по его действию на электрический ток. Правило левой руки» и § 41 «Индукция магнитного поля» [6, с. 172–181]. Здесь рассмотрены и показаны с помощью иллюстраций все случаи действия силы на проводник с током или же на заряженную как положительно, так и отрицательно частицу. Все детали рассмотрены и даны обучающимся в готовом виде. Стоит заметить, что, в отличие от учебника Л.Э. Генденштейна, в учебном пособии А.В. Пёрышкина отсутствует формула нахождения силы Лоренца, а лишь приводятся примеры применения правила левой руки на движущиеся положительно и отрицательно заряженные частицы. И еще здесь нет упоминания названий сил: Ампера и Лоренца. Но ведь именно этим ученым принадлежит честь их открытия. Вопросы на усвоение темы приведены традиционно в конце параграфа после ответов, на которые школьникам следует выполнить упражнение.

Как мы видим, изложение новой темы в учебниках Генденштейна и Пёрышкина отличается друг от друга. В первом случае материал начинается с кратких теоретических сведений, а поэтапно ставящиеся вопросы способствуют грамотному анализу любой ситуации. Задавая вопросы и отвечая на них, ученик постепенно изучает новую тему, углубляясь в нее, а также осваивает алгоритм решения любой задачи. У А.В. Пёрышкина же после объемной теоретической части приводится блок вопросов, а для решения задач какой-либо алгоритм не предусмотрен.

Тем не менее, как показывает опыт, овладев методом исследования ключевых ситуаций, можно провести результативный урок, обучаясь и по учебнику Пёрышкина.

Для примера разберем решение задачи 1, приведенной в упражнении 37.

В какую сторону покатится легкая алюминиевая трубочка при замыкании цепи (рис. 4)?

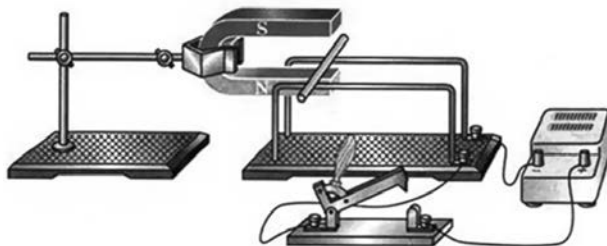


Рис. 4. Действие магнитного поля на алюминиевую трубочку при замыкании цепи

Традиционное решение этой задачи предполагает следующие рассуждения: при замыкании цепи ток потечет от положительного полюса к отрицательному. Следовательно, проходя через трубочку, ток будет направлен от нас. Трубочка, как мы видим, находится между полюсами. Линии магнитного поля направлены от северного полюса к южному. Воспользуемся правилом левой руки. Получаем, что сила Ампера направлена вправо, соответственно, и трубочка покажется в эту же сторону. Это традиционный способ решения задачи, который учащиеся, как правило, затрудняются привести без подсказок учителя.

Однако эту задачу можно разобрать методом исследования ключевых ситуаций, последовательно ставя вопросы. Куда направлены линии магнитного поля? Куда будет направлен ток при замыкании? Как расположится левая рука в этих условиях? Отсюда уже находим ответ на вопрос, сформулированный в задаче. Причем вопросы может ставить не только учитель, но и сами школьники.

В § 41 «Индукция магнитного поля» описаны опыты с применением силы Ампера, которые приводят к формуле модуля вектора магнитной индукции. Рассмотрим задачу 1, приведенную в упражнении 38.

В однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции поместили прямолинейный проводник, по которому протекает ток. Сила тока в проводнике — 4 А. Определите индукцию этого поля, если оно действует с силой 0,2 Н на каждые 10 см длины проводника.

Традиционное оформление решения этой задачи предусматривает запись данных.

Дано: $I = 4 \text{ А},$ $F_A = 0,2 \text{ Н},$ $l = 0,1 \text{ м}$	<i>Решение</i> Известно, что $B = \frac{F_A}{Il}.$ Подставляем числовые значения в формулу и находим ответ: $B = \frac{0,2 \text{ Н}}{4 \text{ А} \cdot 0,1 \text{ м}} = 0,5 \text{ Тл}.$
Найти: B — ?	Ответ: $B = 0,5 \text{ Тл}.$

Видим, что выражение для индукции магнитного поля приводится сразу, поскольку вывод этой формулы уже произведен в содержании параграфа. Но и эту задачу можно решить, используя метод ключевых ситуаций: сначала рассмотреть условие, отбросив задаваемый вопрос, а затем, по примеру решения подобной ситуации, приведенном в пункте 6 учебника Генденштейна, последовательно ставить по ней вопросы. Или так же, как в учебнике Генденштейна, дать задание составить и решить четыре задачи на определение каждой из входящих в формулу для силы Ампера величин.

Продуктивность урока с использованием данного метода была вновь подтверждена в ходе апробации в МАОУ «СОШ № 34» г. Набережные Челны в 9 классах, причем в первом из них при обучении решения задач использовался метод исследования ключевых ситуаций, а во втором — традиционный метод. Результаты контрольной работы, проведенной после изучения по учебнику Пёрышкина главы «Электромагнитные явления» в 9 «В» классе, оказались лучше: из 30 учеников

в 9 «В» с задачами справились 24 человека, а в 9 «Г» их смогли решить 18 человек.

Таким образом, метод исследования ключевых ситуаций действительно эффективен. Для того, чтобы урок был проведен с пользой, учителю необходимо: решать вместе с детьми новые задачи, «открывать» ребятам решение задачи и, одно из самых важных условий, наблюдать за тем, в каком направлении движутся мысли обучающихся, направлять их, принимая участие в рассуждениях [7]. Данный метод можно применять, обучая физике по учебнику Пёрышкина: теоретическую часть получать из предложенного учебного пособия, а решать задачи по методу Л.Э. Генденштейна.

Литература

1. Дворянинов С.В. Что в учебниках математики не так, как в учебниках физики // Физика в школе. 2014. № 1. С. 47–50.
2. Нерода А.А. Метод исследования ключевых ситуаций как фундаментальная составляющая обучения решению задач по физике // Информационно-коммуникационные технологии в педагогическом образовании. 2023. № 3(84). С. 87–90.
3. Сабирова Ф.М., Имамова А.М. Использование метода ключевых ситуаций при обучении решению задач по физике в VIII классе (на примере темы «Тепловые явления») // Физика в школе. 2022. № 6. С. 55–58.
4. Генденштейн Л.Э. Физика. 8 класс: в 2 ч. Ч. 2 / Л.Э. Генденштейн, А.А. Булатова и др.; под ред. В.А. Орлова. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2018. — 144 с.
5. Пёрышкин А.В., Гутник Е.М. Физика: 9 кл.: учебник. — М.: Дрофа, 2019. — 319 с.
6. Пёрышкин А.В. Физика: 8 кл.: учебник для общеобразоват. учреждений. — М.: Дрофа, 2013. — 237 с.
7. Генденштейн Л.Э. Шерлок Холмс и доктор Ватсон готовятся к ЕГЭ по физике // Физика. Первое сентября. 2012. № 8. С. 41–44.

Дата поступления рукописи (Received): 28.04.2023.
Опубликовано (Published): 18.07.2023.

РАЗВИТИЕ УМЕНИЯ «ЦЕЛЕПОЛАГАНИЕ»
У ОБУЧАЮЩИХСЯ НА УРОКАХ ФИЗИКИ

DEVELOPMENT OF THE «GOAL-SETTING»
SKILL AMONG STUDENTS IN PHYSICS LESSONS

Научная статья
УДК 372.853

Scientific article
DOI 10.47639/0130-5522_2023_5_29

М.М. Баранова , учитель физики, руководитель ШНО естественно-математического цикла МБОУ «СОШ № 7 имени гвардии капитана В.А. Фёдорова», г. Владимир; cvatochek@inbox.ru	M.M. Baranova , physics teacher, head of the Scientific and mathematical cycle of «Secondary School No. 7 named of Guard Captain V.A. Fedorov», Vladimir; cvatochek@inbox.ru
Ключевые слова: целеполагание, метапредметные умения на уроке физика	Keywords: Goal-setting, meta-subject skills, in a physics lesson
Аннотация. Статья посвящена развитию умения целеполагания на уроках физики. В ней рассмотрены уровни сформированности умения «целеполагание» и приведены приемы по их развитию и диагностики. Приведены примеры использования данных приемов на уроке	Abstract. The article is devoted to the development of goal-setting skills in physics lessons. It examines the levels of formation of the «goal setting» skill and provides techniques for their development and diagnosis. Examples of using these techniques in the lesson are given

© Баранова М.М., 2023

Задача современной системы образования заключается в том, чтобы развивать у обучающихся умение самостоятельно работать с информацией, ставить и решать учебные задачи, регулировать свою учебную деятельность. Федеральные государственные образовательные стандарты (ФГОС) в качестве результатов обучения определяют наличие сформированных учебных действий, которые помогают ученикам не только организовывать продуктивную учебную деятельность, но и всю свою жизнедеятельность.

ФГОС включают в себя требования к предметным, метапредметным и личностным результатам, достигаемым путем развития универсальных учебных действий, а педагоги диагностируют учебные умения. Так что же мы формируем и развиваем в педагогическом процессе? В поисках ответа на вопрос о том, как связаны универсальные учебные действия и умения, к которым

относится и умение целеполагания, я обратилась к психолого-педагогической литературе. Проанализировав соответствующие источники (И.Я. Лернер, Ю.К. Бабанский, М.А. Емельянова, Г.И. Щукина и др.), пришла к выводу, что умение — это осознанное действие, в то время как действие — это произвольный процесс, подчиненный общему представлению о результате, основная единица деятельности — это операция, связанная с мышлением, памятью [2, с. 309; 5].

Выявив связь умения и действия, которая заключается в том, что учебные умения — это осознанные действия, направленные на выполнение учебной задачи, можно говорить о формировании умений (в данном случае целеполагания) и отслеживать уровень их сформированности. Так же не стоит забывать, что действие — сложный процесс, связанный с мыслительными операциями, поэтому затруднительно отследить, на ка-

ком уровне оно сформировано. А диагностировать уровень сформированности отдельных умений возможно, в том числе и на материале различных учебных предметов, в частности, физики.

В данной статье из всего множества умений рассмотрено только умение целеполагания, поскольку грамотное целеполагание решает комплекс проблем:

- улучшает результативность;
- позволяет управлять своей деятельностью во времени;
- повышает ощущение целостности обучения и жизни.

Г.В. Репкина и Е.В. Заика предложили вариант оценки умения целеполагания, выделив шесть уровней сформированности [6, с. 254–260]. В основе данного ранжирования лежит структура, предложенная З.А. Кокаревой:

- опора на личный жизненный опыт обучающихся;
- использование занимательного игрового материала;
- создание проблемной ситуации в процессе целеполагания;
- постановка цели, в том числе и на длительный период времени с помощью карты знаний, маршрута движения;
- выбор цели из предложенных учителем формулировок, обоснование выбора цели;
- моделирование цели урока, введение понятия «учебная задача»;
- выполнение заданий типа: «Для чего необходимо знать (уметь)?»

Для каждого уровня сформированности умения целеполагания Г.В. Репкина и Е.В. Заика выделили основной и дополнительный диагностические признаки. Предложенный ими вариант оценки уровня сформированности этого умения представлен для обучающегося с момента зачисления в первый класс и до выпуска.

Переход от низкого уровня к более высокому определяется соотношением степени самостоятельности обучающегося и помощью ему со стороны. Для обеспечения та-

кого перехода учитель в своей деятельности должен подбирать дифференцированные задания с учетом уровня сформированности того или иного умения, чтобы научить учеников правильно, а главное, самостоятельно поставить перед собой задачу, адекватно оценить уровень своих знаний и умений, найти наиболее простой способ решения задачи.

Для диагностики уровня сформированности умения «целеполагание» у обучающихся была пересмотрена оценка развития этого умения.

Уровни сформированности умения целеполагания

Низкий. Обучающийся способен воспринимать только простейшие задания, даваемые учителем в форме простого указания и не предполагающие выделение промежуточных целей; предъявляемое задание осознается частично, ученик не знает, что надо делать, нуждается в контроле со стороны учителя.

Средний. Обучающийся воспринимает познавательную задачу, осознает ее требование, но в процессе решения подменяет познавательную задачу; охотно включает-ся в ее решение и отвечает на вопросы о ее содержании; возникшая познавательная цель крайне неустойчива; при выполнении задания ориентируется лишь на практическую его часть и фактически не достигает познавательной цели.

Высокий. Обучающийся, столкнувшись с новой практической задачей, самостоятельно формулирует познавательную цель, осознает ее, строит действия в соответствии с ней и структуру найденного способа, может дать о них отчет; с помощью учителя ориентируется в заданиях теоретического характера.

Перед тем как начать развитие умения, необходимо выявить первоначальный уровень его сформированности, поскольку оно метапредметное и формировалось с 1-го класса. С этой целью обучающимся

было предложено выполнить контрольно-диагностическую работу, которая должна соответствовать высокому уровню сформированности умения «целеполагание».

Для успешного развития умения целеполагания на уроках предлагаю использовать адаптированный комплекс приемов, представленный ниже.

1. «Постановка целей». Формулировка вопросов типа «Для чего необходимо знать (уметь)?», «Какой цели можно достичь, выполняя это задание?»

Пример. На лабораторной работе по теме «Измерение ускорения свободного падения при помощи математического маятника» обучающиеся отвечают на вопрос «Какую цель можно достичь, выполняя эту лабораторную работу?» следующим образом:

- получить числовое значение ускорения свободного падения;
- научиться вычислять ускорение свободного падения по формуле периода математического маятника;
- закрепить навык по измерению физических величин.

В начале урока по теме «Трансформатор» обучающимся был предложен вопрос «Для чего необходимо знать характеристики трансформатора?» Ответы были следующие:

- для эффективной передачи электроэнергии;
- для расчета КПД трансформатора.

2. «Постановка целей со словами помощниками».

2.1. Обучающимся необходимо сформулировать цели урока с помощью слов-помощников (повторим, изучим, узнаем, проверим).

2.2. Обучающимся необходимо дополнить цели урока с помощью слов-помощников (повторим, изучим, узнаем, проверим).

Пример. На уроке по теме «Относительность движения» формулируем цель:

- повторить понятие «механическое движение», характеристики механического движения (траектория, путь, перемещение, скорость, ускорение);

- изучить относительность движения (описать сущность относительности движения, законы, описывающие относительность движения).

В ходе изучения темы возвращаемся к ранее сформулированным целям и дополняем их: проверить справедливость относительности движения.

На уроке по теме «Характеристики механических колебаний» обучающиеся определяют цель:

- повторить понятие «механические колебания» и его особенности, виды механических колебаний;
- изучить характеристики механических колебаний и описать их согласно кластеру (ввести определение, единицу измерения, буквенное обозначение, формулы, приборы измерения, если есть).

3. «Скрытая тема». На этапе актуализации знаний, работая с таблицей, школьники приходят к неизвестным понятиям, по которым сами формулируют тему и цель урока. Данный прием можно применять при работе с таблицами и графиками на этапе изучения нового материала или на уроках закрепления и систематизации знаний.

Пример. На уроке по теме «Радиоактивность, как свидетельство сложного строения атома» дается задание: «Заполните таблицу. Озаглавьте таблицу». Учебная задача здесь скрыта, поскольку задание формулируется как практическая задача, направленная на получение конкретного результата. Обучающиеся создают таблицу:

- написать год, которому соответствует открытие;
- написать имена ученых, сделавших открытие;
- описать сущность открытия.

На уроке по теме «Период полураспада» предлагается построить по данным таблицы график и назвать его. Обучающиеся ставят цели:

- выбрать масштаб для построения системы координат;
- отметить точки в системе координат;

— соединить точки.

По результатам задания были подписаны оси координат: время распада, число ядер; назван график — кривая, характеризующая распад йода.

На уроке по теме «Агрегатное состояние вещества» была предложена пустая таблица. Задание звучало так: «Заполните таблицу. Озаглавьте таблицу». К таблице прилагаются термины, которые необходимо расставить.

Обучающиеся выделяют цель: рассмотреть характеристики всех агрегатных состояний вещества.

Тем самым в конце урока ребята диагностируют достижение поставленных целей, что является неотъемлемой и важной частью урока.

4. «Подводящий диалог». Например, на этапе актуализации учебного материала ведется беседа, направленная на обобщение, систематизацию. Диалог подводится к тому, о чем дети не могут рассказать в силу незнания или противоречия. Возникает ситуация, при которой необходимы дополнительные исследования или действия, требующие постановки цели.

Пример. На уроке по теме «Электромагнитная индукция» возвращаемся к опыту Эрстеда по обнаружению магнитного поля вокруг проводника с током. И подводящими вопросами наталкиваем ребят на вопрос о взаимосвязи электрического тока и магнитного поля не только в прямом, но и обратном порядке, т.е. магнитное поле порождает электрический ток. Для этого проводим ряд рассуждений и опытов.

На уроке по теме «Выталкивающая сила» демонстрируется опыт с мячом, который не тонет. В ходе нескольких демонстраций, наводящих вопросов обучающиеся высказывают предположения, что вода оказывает действие на мяч, а именно выталкивает его из воды. Тем самым они выходят на постановку цели урока:

— ввести определение физической величины, характеризующей действие жидкости

на тело, буквенное обозначение, единицу измерения;

— выяснить от чего зависит/не зависит эта величина;

— узнать расчетную формулу.

А главное, они осознают, что для достижения цели им надо вспомнить ряд сопутствующих терминов.

5. «Знаю — Хочу узнать — Узнал».

Данный прием заимствован из технологии развития критического мышления через чтение и письмо и позволяет обучающимся определить уровень своего знания и незнания по теме, причем заполняется таблица на протяжении всего урока. Столбцы «знаю», «хочу узнать» заполняются на этапе актуализации и выявляют знания обучающихся по теме урока, позволяют поставить цели учебной деятельности в дальнейшем (столбец «хочу узнать»). Столбец «узнал» заполняется на этапе рефлексии и позволяет еще раз вернуться к цели учебной задачи и посмотреть степень ее выполнения.

6. «Инсерт». Прием работы с текстом способствует развитию умения целеполагания, поскольку обучающиеся должны осознавать цель своей деятельности. Такой прием помогает сформулировать темы уроков. Пометки, оставляемые ребятами, помогают сократить время на переписывание всего материала. При чтении текста обучающиеся на полях расставляют пометки:

«!» — я это знал,

«н» — это для меня новое,

«→» — это противоречит моим знаниям,

«?» — об этом хочу узнать больше.

После прочтения текста заполняется маркировочная таблица «Инсерт», состоящая из четырех колонок, где значки станут заголовками ее граф.

Применение этого приема способствует развитию не только умения целеполагания, но и аналитического мышления, является наглядным средством отслеживания процесса мыслительной деятельности обучающихся, понимания и переосмысления материала. Важным этапом работы станет

обсуждение записей, внесенных в таблицу, или маркировки текста.

Часто, сформулировав цель урока, обучающиеся ставят для себя ряд вопросов, которые без помощи педагога решить не могут: «Как достичь цели урока?», «А что мне нужно сделать?» Для этого необходимо разбивать общую цель на конкретные задачи, которые обучающиеся должны решить на определенном этапе, т.е. цель урока представить в виде микроцелей. На них педагога ориентируют требования ФГОС к предметному освоению изучаемого предмета.

Таким образом, микроцель — это краткая запись того, чем обучающиеся должны овладеть на определенном этапе урока (знать, уметь применять/осуществлять/выполнять, понимать и т.д.), представленная в виде результата эталонной учебно-познавательной деятельности.

Цель — это желаемый конкретный результат урока, определяемый временем и возможностью его получения.

При постановке целей и микроцелей важно помнить, что они должны быть: реальными, конкретными, диагностируемыми. Стоит отметить, что с помощью приемов, описанных выше, обучающиеся смогут разбивать одну общую цель на маленькие задачи (микроцели), выполняя которые, смогут достичь ожидаемого результата. Все приемы можно применять не только отдельно друг от друга, но и комбинируя их на разных этапах урока.

Вспомним, что целеполагание — соотношение того, что уже известно и усвоено обучающимися, и того, что еще неизвестно. С целью диагностики полученного результата предлагаю следующие приемы.

1. «Креноль». Данный прием используется в вариации крестики-нолики. Обязательно в ходе проверки, в обсуждении указать на «подводные камни», с которыми столкнулись обучающиеся.

Ребята представляют ответ в сетке для крестиков ноликов (привычная для них игра) в виде Х — да, 0 — нет, т.е. если они соглас-

ны с утверждением, то ставят Х, если нет, то — 0. Данный прием помогает соотнести свое знание и незнание, в кратчайшие сроки осознать, что еще предстоит повторить.

2. «Карта самооценки». Ее удобно использовать в конце урока или на промежуточных этапах для оценки достигнутых целей, осознания того, что еще предстоит. Тем самым учитель осуществляет на уроке обратную связь через опрос учащихся по выбору критерия.

3. «Фишбоун». Прием, который можно применить на этапе рефлексии как возвращение к первоначальной учебной задаче с последующим анализом достигнутых результатов. Его суть состоит в постановке проблемы, которая изучается на уроке, в определении ее аспектов и нахождении аргументов, фактов в подтверждение той или иной точки зрения на нее. Именно они формируют умение прогнозировать.

Рассмотрим теперь примеры, как с помощью описанных приемов можно сконструировать урок.

Пример 1. Урок по теме «Закон Джоуля-Ленца» (8 класс).

Зачитывается проблемная задача «Радиолюбителя». Услышав задачу, ребята понимают, что их главной целью становится поиск ответа на вопрос, что же сказал Холмс, как объяснил увиденное. Далее, с помощью приема «Постановка цели с помощью слов-помощников», обучающимся предлагается разбить цель на задачи (микроцели):

- повторить термины, относящиеся к данной тематике (кипение, электрический ток, количество теплоты, сила тока и т.д.);
- вспомнить закон Ома и законы последовательного и параллельного соединений.

Тем самым ребята определяют свое первое действие, чтобы приблизиться к главной цели урока. А далее наша задача, используя различные приемы и формы проведения урока, создать им условия для успешного ее достижения.

Поскольку на данном уроке была организована групповая форма работы, то для диагностики достижимых результатов лучше использовать прием «Карта самооценки».

1. Все ли члены группы принимали участие в работе?

- А). Да, все работали одинаково.
- Б). Нет, работал только один.
- В). Кто-то работал больше, кто-то меньше других.

Как ты думаешь, с чем это связано?

2. Дружно ли вы работали? Были ссоры?

- А). Работали дружно, ссор не было.
- Б). Работали дружно, спорили, но не ссорились.
- В). Очень трудно было договариваться, не всегда получалось.

Как ты думаешь, с чем это связано?

3. Тебе нравится результат работы группы?

- А). Да, все получилось хорошо.
- Б). Нравится, но можно сделать лучше.
- В). Нет, не нравится.

Как ты думаешь, с чем это связано?

4. Оцени свой вклад в работу группы.

- А). Почти все сделали без меня.
- Б). Я сделал очень много, без меня работа бы не получилась.
- В). Я принимал участие в обсуждении.

5. Все ли поставленные цели в начале урока были тобой достигнуты?

6. Если бы ты мог что-то изменить, то что?

Пример 2. Урок по теме «Относительность движения» (9 класс).

Стоит отметить, что перед этим уроком обучающиеся еще раз повторили тему «Механическое движение» (повторили/изучили виды механического движения и его характеристики). В начале урока демонстрируется эксперимент: движущаяся тележка, в которой лежит неподвижно брусок. Задается вопрос: «Двигается брусок или покоится?». В результате споров выясняем, что в вопросе не указано, относительно чего рассматривалось движение. Таким образом, приходим

к выводу, что движение — относительно, и формулируем тему урока.

Для постановки целеполагания обучающимся предлагается заполнить таблицу «Знаю — Хочу узнать — Узнал».

Знаю	Хочу узнать	Узнал
Что такое механическое движение. Характеристики механического движения. Что такое система отчета и для чего ее используют.	В чем заключается относительность движения. Где в жизни мы сталкиваемся с относительностью движения.	

Обучающиеся заполняют первый и второй столбцы. Тем самым цель урока: узнать, в чем заключается относительность движения. Для того, чтобы организовать более успешную работу, учащимся необходимо разбить общую цель на несколько микроцелей. Можно воспользоваться приемом 2.2, на наш взгляд, он самый простой, а можно предложить кластер (ментальная карта).

Далее организуем работу по изучению темы. Результат достигнут. Отметим, что прием «Знаю — Хочу узнать — Узнал» помогает диагностировать достигнутую цель при заполнении в ходе урока третьего столбца.

Знаю	Хочу узнать	Узнал
Что такое механическое движение. Характеристики механического движения. Что такое система отчета и для чего ее используют.	В чем заключается относительность движения. Где в жизни мы сталкиваемся с относительностью движения.	В зависимости от выбора системы отчета меняются характеристики механического движения. Как математически описать относительность движения.

Пример 3. Урок по теме «Электромагнитная индукция» (9 класс).

Возвращаемся к опыту Эрстеда по обнаружению магнитного поля вокруг проводника с током. И наводящими вопросами наталкиваем ребят на вопрос о взаимосвязи электрического тока и магнитного поля не

только в прямом, но и обратном порядке, т.е. магнитное поле порождает электрический ток. Проводим ряд рассуждений и опытов. Цель урока становится объяснить, как магнитное поле порождает электрическое.

Для того, чтобы диагностировать достигнутые цели, воспользуемся приемом «Фишбоун».

Проблема: «Может ли магнитное поле порождать электрический ток?»

Факты

1. Появление тока при движении магнита внутрь катушки/ из катушки.
2. Появление тока при движении катушки вдоль магнита, находящегося внутри.
3. Появление тока в катушке, которая не подключена к источнику и без магнита, но находящейся рядом с другой катушкой, подключенной к источнику тока с реостатом.

Причины

1. По мере движения магнита число линий магнитной индукции увеличивается, изменяющийся магнитный поток порождает изменяющийся электрический ток (опыт Фарадея).
2. При движении ползунка реостата электрический ток изменяется, согласно опыту Эрстеда порождается магнитное поле, меняющееся так же, как и ток, который, согласно опыту Фарадея, порождает во второй катушке индукционный ток, поскольку магнитные линии от первой катушки будут ее пронизывать.

Вывод: явление электромагнитной индукции было великим открытием, которое дало начало новому витку в жизни человека (изобретение радио, двигателей и т.д.).

Данный прием достаточно затратный по времени и стоит, по началу, этот «скелет» заполнять вместе с обучающимися. Если использовать его с самого начала урока, то после определения проблемы факты и причины будут заполняться по ходу изучения темы, а вывод ребята сформулируют на этапе рефлексии.

В ходе такой работы необходимо отслеживать уровень сформированности умения «це-

леполагание», чтобы применять задания повышенного уровня. С этой целью необходимо проводить контрольно-диагностический срез (можно в виде обычной контрольной работы по разделу), чтобы не только отслеживать уровень развития умения, но и скорректировать его дальнейшее приращение. Проводить такие работы необходимо минимум раз в четверть (в зависимости от количества уроков; один контрольный срез — при одном уроке в неделю, два — при двух уроках, три среза — при 3–4 уроках).

Для отслеживания можно использовать уровни сформированности умения «целеполагание», а также учитывать его структуру.

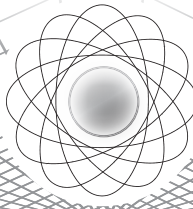
Опыт показывает, что в результате целенаправленного педагогического воздействия развивается не только умение целеполагания, но и повышается познавательный интерес и уровень освоения предмета.

Литература

1. Асмолов А.Г. Формирование универсальных учебных действий в основной школе: от действия к мысли. Система заданий: пособие для учителя. — М.: Просвещение, 2011. — 159 с.
2. Гамезо М.В. Возрастная и педагогическая психология: учебное пособие для студентов всех специальностей педагогических вузов. — М.: Педагогическое общество России, 2003. — 512 с.
3. Гончарова Н.В. Федеральный государственный образовательный стандарт основного общего образования — М.: Просвещение, 2016. — 61 с.
4. Загашев И.О., Заир-Бек С.И. Критическое мышление: технология развития // Санкт-Петербургский государственный университет. 2015. — URL: <http://www.studfiles.ru/preview/3117381/> (дата обращения: 30.10.2016).
5. Лернер И.Я. Дидактические основы методов обучения. — М.: Педагогика, 1981. — 186 с.
6. Селиверстова Е.Н. Педагогические теории и технологии: учебное пособие для студентов. — Владимир: ВлГУ, 2012. — 348 с.

Дата поступления рукописи (Received): 19.12.2022.

Опубликовано (Published): 18.07.2023.



ПРИЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНО-ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СЛАБОУСПЕВАЮЩИХ УЧАЩИХСЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ФИЗИКИ

METHODS OF ORGANIZING EDUCATIONAL AND COGNITIVE ACTIVITY OF UNDERACHIEVING STUDENTS IN THE STUDY OF PHYSICS

Научная статья

Scientific article

УДК 372.853

DOI 10.47639/0130-5522_2023_5_36

Д.В. Метлева , аспирант кафедры физики и методики обучения физике, Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет, г. Челябинск, учитель физики, «СОШ № 154 г. Челябинска»; metleva-93@mail.ru	D.V. Metleva , postgraduate at the Department of Physics and Methods of Teaching Physics, South-Ural State Humanities Pedagogical University, Chelyabinsk, physics teacher Municipal Autonomous Educational Institution «Secondary School No. 154 Chelyabinsk»; metleva-93@mail.ru
Ключевые слова: слабоуспевающий ученик, изучение физики, маршрутный лист	Keywords: a low-achieving student, studying physics, itinerary
Аннотация. В статье отражены особенности обучения физике слабоуспевающих учащихся. Приводятся примеры различных видов заданий при создании маршрутных листов для таких учащихся	Abstract. The article reflects the peculiarities of teaching physics to underachieving students. Examples of various types of tasks are given when creating itinerary sheets for underachieving students

© Метлева Д.В., 2023

В практике школьного образования уделено мало внимания дифференцированному подходу к обучающемуся как индивидуальности, обладающей личными образовательными интересами и возможностями. В связи с чем актуальным является потребность в организации учителем индивидуальной работы с обучающимися с различными возможностями в освоении основной образовательной программы (ООП). Подобный подход к организации учебно-воспитательного процесса способствует реализации принципа личностно-ориентированного образования, обеспечивает формирование познавательного интереса у школьников к учебно-

познавательной деятельности и содействует их стремлению к самосовершенствованию и самопознанию, что отражает современные запросы социума к образованию.

Обучающихся с различными способностями к освоению ООП необходимо не только учить читать, считать и писать, но и формировать у них мотивацию к обучению, самоорганизации и саморазвитию, а также привить умение учиться (навыки решения творческих задач, поиска, анализа и интерпретации информации) [2].

В арсенале профессиональной деятельности учителя по организации личностно-ориентированного обучения имеется си-

стема конструирования индивидуальных маршрутов учащихся при достижении ими планируемых результатов обучения. Такие маршруты должны учитывать наличие у них различных способностей к освоению ООП [1], особенно это важно для слабоуспевающих.

Перед учителем всегда стояла проблема, каким образом научить учеников с различными стартовыми возможностями в условиях одного класса (а значит, в условиях ограничения времени и пространства). Каким образом помочь слабоуспевающим школьникам (часто болеющим); каким образом развить потенциал обучающихся успешно осваивающих программу; как не дать заскучать на уроке одаренным детям и дать толчок их творчеству? И все это в условиях 40 минут и 30 детей в классе?! Одним из путей решения данной проблемы стала дифференциация и индивидуализация обучения. Применение данных подходов при организации обучения — весьма трудоемкое дело, требующее много времени на этапе предварительной подготовки.

Одним из направлений в организации учебно-познавательной деятельности при обучении физике — разработка системы маршрутных листов. Такие листы предполагают продвижение учащихся к единой цели индивидуальными путями — маршрутами различной степени сложности.

Что же такое маршрутный лист? Если коротко, то это список заданий разного уровня сложности. Более подробно хотелось бы остановиться на заданиях в них для слабоуспевающих обучающихся.

Обучение слабоуспевающих учеников реализуется в форме индивидуальных планов работы при помощи определенного методического наполнения дидактических материалов, которые представляют собой набор заданий, составленных и подобранных в соответствии с указанными направлениями (базовые листы знаний и умений, творческие задания, упражнения на развитие мыслительных операций). Работа педагога-

предметника при этом заключается в том, чтобы предложить учащимся задания на выбор, объяснив и обосновав предварительно необходимость и значение выполнения того или иного задания [3].

Можно выделить следующие виды планов.

1. *План для группы учащихся, отставание которых объясняется недостаточно развитыми интеллектуальными способностями.*

Работа с такими обучающимися должна быть направлена на формирование у них общеучебных и специальных умений по предмету, приемов самостоятельной работы, развитие логического мышления. При наличии низкой мотивации к обучению следует уделить внимание этому направлению и использовать планы по интересам.

Карточка 1. Из перечисленных слов заполните таблицу.

Железо, бумага, ртуть, воздух, свинец, резина, эбонит, вакуум.

проводники	диэлектрики

2. *Планы для категории учащихся, слабая успеваемость которых является следствием их недостаточно ответственного отношения к учебе.*

Ученики с неправильным отношением к учебе:

1) с хорошими интеллектуальными способностями и отсутствием познавательных интересов;

2) с несформировавшимися нравственными качествами по отношению к учебному труду;

3) со слабыми интеллектуальными способностями и отрицательным отношением к учебе.

Для обучающихся с хорошими интеллектуальными способностями, но не интересующимися учебой вследствие неудовлетворенности их познавательных потребностей, эффективной формой является индивидуальная или групповая работа с ними по пред-

мету в зависимости от выбора ими заданий по интересам. Учеников второй группы, как правило, к моменту изучения физики в связи с недобросовестным выполнением учебных обязанностей отличает невысокий уровень интеллектуальных и учебных умений, навыков самостоятельной работы. Основная задача учителя на первом этапе работы с ними — приучить их работать в школе и дома, постоянно контролируя выполнение ими заданий. С ними удобно использовать базовые листы и задания по интересам. В дальнейшем, при появлении положительных результатов можно использовать задания на развитие интеллектуальных умений.

С учениками со слабыми интеллектуальными способностями и отрицательным отношением к учебе следует работать только индивидуально, уделяя, в первую очередь, внимание вопросам мотивации обучения, развития интереса к различным видам деятельности по физике, начиная с тех, которые наиболее предпочтительны для этих учеников (краткосрочные задания), формированию общеучебных умений. Задания должны быть небольшие по объему. При необходимости выполнять их следует вместе с учеником на дополнительных занятиях.

В работе с учениками с негативным отношением к учебе особенно важно создавать положительные эмоции, связанные с выполняемой работой.

Карточка 2. Используя рисунок, расскажите о принципе работе электрометра.

3. *Индивидуальные планы для учащихся, отстающих по состоянию здоровья.*

Такие планы понадобятся, чтобы устранить пробелы в знаниях обучающихся, возникшие вследствие длительной болезни. Чтобы при этом избежать перегрузки ученика, необходимо разумно разделить про-



пущенный материал на небольшие части, каждая должна содержать систему заданий, содержащую базовые знания с указанием параграфа, упражнений, рисунков, где можно найти нужную информацию в учебнике. В случае необходимости эти ученики всегда могут воспользоваться помощью учителя. После завершения работы над темой ученик выполняет контрольное задание на оценку или оценка выставляется по результатам проделанной работы [4].

Карточка 3. Найдите ошибку в определении и исправьте ее. Вы можете воспользоваться учебником физики.

1. Электрическим током называется упорядоченное движение нейтральных частиц.

2. Количество теплоты, выделяемое проводником с током, равно произведению квадрата силы тока, напряжения и времени.

3. Сила тока равна отношению электрона, прошедшего через поперечное сечение проводника, ко времени его прохождения.

4. Напряжение на концах участка цепи прямо пропорционально силе тока и обратно пропорционально сопротивлению проводника.

5. Удельное сопротивление проводника прямо пропорционально длине проводника, его сопротивлению и обратно пропорционально площади поперечного сечения.

4. *Специальные планы, составляемые для учащихся с учетом их интересов.*

На первых уроках физики мы обращаем внимание учащихся на тот факт, что каждый из них при изучении предмета сможет найти дело по душе: решать, составлять задачи; проводить экспериментальные исследования, готовить доклады по истории науки и техники, заниматься конструированием. Для выполнения заданий можно объединяться в группы или работать индивидуально.

Для слабоуспевающих обучающихся можно предложить разные виды работ и дать возможность сделать такой выбор, который им понравится больше.

Карточка 4. Выберите три задачи и представьте их развернутое решение. Обоснуйте свой выбор.

1. Сила тока в цепи электрической плитки равна 1,4 А. Какой электрический заряд проходит через поперечное сечение проводника за 10 мин?

2. При напряжении на концах участка цепи, равном 2 В, сила тока в проводнике равна 0,4 А. Каким должно быть напряжение, чтобы в том же проводнике сила тока была 8 А?

3. Каким сопротивлением обладает вольтметр, рассчитанный на 150 В, если сила тока в нем не должна превышать 0,01 А?

4. Мощность утюга 0,6 кВт. Найдите работу тока в нем за 1,5 ч.

5. Сила тока в железном проводнике длиной 150 мм и площадью поперечного сечения 0,02 мм равна 250 мА. Чему равно напряжение на концах проводника?

Карточка 5. Выберите четыре экспериментальных задачи, выполните их требования и представьте отчет. Обоснуйте свой выбор.

1. Используя источник питания, соединительные провода, 4 резистора и амперметр, соберите неразветвленную электрическую цепь, зарисуйте ее. Определите силу тока во всей цепи. Ответ запишите с учетом инструментальной погрешности.

2. Используя источник питания, соединительные провода, 4 резистора и амперметр, соберите электрическую цепь, соединив резисторы между собой параллельно, зарисуйте ее. Определите силу тока во всей цепи. Ответ запишите с учетом инструментальной погрешности.

3. Используя источник питания, соединительные провода, 4 резистора и вольтметр, соберите неразветвленную электрическую цепь, зарисуйте ее. Определите полное напряжение цепи. Ответ запишите с учетом инструментальной погрешности.

4. Используя источник питания, соединительные провода, 4 резистора и вольтметр, соберите электрическую цепь, соединив ре-

зисторы между собой параллельно, зарисуйте ее. Определите полное напряжение цепи. Ответ запишите с учетом инструментальной погрешности.

5. Используя источник питания, соединительные провода, 4 резистора и амперметр, соберите электрическую цепь со смешанным типом соединения резисторов, зарисуйте ее. Определите силу тока во всей цепи. Ответ запишите с учетом инструментальной погрешности.

6. Используя источник питания, соединительные провода, 4 резистора и амперметр, соберите электрическую цепь со смешанным типом соединения резисторов, зарисуйте ее. Определите полное напряжение цепи. Ответ запишите с учетом инструментальной погрешности.

Приведенные выше приемы организации учебно-познавательной деятельности позволяют наиболее эффективно организовать обучение слабоуспевающих обучающихся в освоении предмета «Физика».

Литература

1. Антонова Н.А. Методические приемы организации изучения оптических явлений в классах химико-биологического профиля // Вестник Шадринского государственного педагогического университета. 2019. №4 (44). С. 17–24.

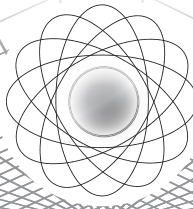
2. Крайнева С.В. Ситуационные задания для элективного курса «Физика Земли» // Физика в школе. 2019. № 8. С. 40–45.

3. Метлева Д.В., Шефер О.Р. Особенности работы со слабоуспевающими учениками при обучении физике в основной школе // Актуальные проблемы развития среднего и высшего образования: XII межвузовский сборник научных трудов. — Челябинск: Край Ра, 2016. — С. 46–49.

4. Шефер О.Р., Шахматова В.В. Построение системы заданий, способствующей достижению обучающимися планируемых результатов освоения образовательной программы по физике // Физика в школе. 2015. № 4. С. 27–32.

Дата поступления рукописи (Received): 29.09.2022.

Опубликовано (Published): 18.07.2023.



ПРОЕКТИРУЕМ КАНАТНУЮ ДОРОГУ

DESIGNING A ROPEWAY

Научная статья

Scientific article

УДК 372.853

DOI 10.47639/0130-5522_2023_5_40

В.Ф. Очков , д.т.н., профессор, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва; ochkovvf@mpei.ru	V.F. Ochkov , DrSci (Technical Sciences), Professor, Moscow Power Engineering Institute (National Research University); ochkovvf@mpei.ru
Ю.В. Чудова , к.т.н., доцент, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва; cudovayv@mpei.ru	Y.V. Cudova , PhD (Technical Sciences), Associate professor, Moscow Power Engineering Institute (National Research University); cudovayv@mpei.ru
Ключевые слова: подвесная канатная дорога, цепная линия, производная, интеграл, длина кривой, центр тяжести кривой, потенциальная энергия	Keywords: ropeway, catenary, derivative, integral, curve length, curve center of gravity, potential energy
Аннотация. В статье описано, как можно использовать математику и современные информационные технологии для расчета сил, действующих на канат подвесной дороги	Abstract. The article describes how mathematics and modern information technology can be used to calculate the forces acting on the cable car.

© Очков В.Ф., Чудова Ю.В., 2023

Сравнительно недавно в Москве появился новый вид транспорта — канатная дорога. Первая из них соединила Лужники и Воробьевы Горы (рис. 1), вторая вот-вот появится на ВДНХ...



Канатная дорога «Лужники–Воробьевы горы»

Пока это скорее аттракцион для москвичей и гостей столицы, чем полноценный транспорт. Но со временем после сооружения таких новых воздушных линий все это может стать настоящим общественным транспортом, перекинутым через водные преграды и крупные дорожные магистрали — туда, куда сложно проложить маршруты обычного наземного и подземного транспорта — автобусов, трамваев или метро.

Строительству любого инженерного сооружения предшествует этап проектирования и расчета. А давайте поставим две опоры, повесим на них канат (гибкую однородную нерастяжимую тяжелую нить), прикрепим к канату груз (кабинку канатной дороги — см. рис. 1) и рассчитаем, как все это провиснет и какие силы будут действовать на канат

по его длине. Задача будет не менее интересна и красива, чем сама дорога, канаты которой сплетены из отдельных проволок. В нашей задаче будут «переплетены» физика, теоретическая механика, сопромат и, конечно, математика, без которой немыслима никакая точная наука, обслуживающая инженерное дело. Ну и конечно, нужны будут тут и современные информационные технологии, без которых сейчас невозможна не только учеба, но и сама жизнь.

На рисунке 2 (Mathcad Prime) показан ввод в расчет исходных данных и двух функций пользователя.

Исходными данными будут следующие величины:

- длина каната между двумя соседними точками крепления S ,
- координаты вершин двух опор — левой $(x_L - y_L)$ и правой $(x_R - y_R)$,
- масса груза (кабинки канатной дороги) m ,
- удельная (линейная) масса каната m_c ,
- расстояние по горизонтали от левой опоры до точки подвеса груза x_m (см. рис. 6).

Величину x_m можно менять от значения x_L до значения x_R , создавая тем самым кадры анимации движения кабинки канатной дороги от одной опоры к другой, соседней.

S	x_L	y_L	x_R	y_R	m	m_c	x_m
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kg)	$\left(\frac{kg}{m}\right)$	(m)
12	0	2	10	5	2	1	5
$y(x, a, x_0, h) := a \cdot \cosh\left(\frac{x - x_0}{a}\right) - a + h$							
$y'(x, a, x_0) := \frac{d}{dx} y(x, a, x_0, h) \rightarrow \sinh\left(\frac{x - x_0}{a}\right)$							

Рис. 2. Ввод исходных данных и функций пользователя

Если спросить у людей, по какой функции провисает цепь, то 99 человек из 100 скажут — по параболе. К такому ответу толкает не только внешний вид традиционной

школьной параболы с минимумом в начале координат, но и тот факт, что камень, запущенный под углом к горизонту, летит по параболе. Если, конечно, принимается, что Земля плоская и не учитывается сопротивление воздуха. И на провисающую цепь, и на летящий камень действует одна и та же сила — сила притяжения Земли. Поэтому-то в таком отождествлении цепи и параболы нет ничего удивительного. Даже великий Галилей считал, что цепь провисает по параболе. Правда, на склоне лет он признался, что ошибался. Формулу цепной линии с гиперболическим косинусом уже после Галилея почти одновременно и независимо друг от друга вывели три великих математика — Бернулли (Иоганн), Гюйгенс и Лейбниц [1]. Бернулли и Гюйгенс, кстати, были и великими физиками.

Выражение для цепной линии [2] на рисунке 2 дано не в каноническом виде $y = a \cdot \cosh(x/a)$ с вершиной (с минимумом) в точке $0 - a$, а в расширенном (неканоническом) виде с вершиной в точке $x_0 - h$ [2]. Задав или рассчитав значения параметров a , x_0 и h , можно нарисовать цепную линию не только любой формы, но и в любом месте декартового графика. Если к цепи — к гибкой однородной нерастяжимой тяжелой нити (далее мы будем называть это цепью) — подвесить груз, то цепь просядет, разбившись на два отдельных участка, в формулах которых параметры x_0 и h будут разными, а параметр a — одинаковым. Это можно понять, если вникнуть в физический смысл параметр a цепной линии, который учитывается при выводе формулы, вытекающей из решения дифференциального уравнения. Параметр a — это отношение горизонтальной проекции силы, растягивающей цепь, к удельному весу цепи — к весу единицы длины цепи. Единица измерения параметра a — ньютон (сила), деленный на ньютон, деленный на метр (удельный вес цепи). Эта проекция силы будет постоянной по длине цепи вне зависимости от того, подвешен или не подвешен к ней груз.

Это вытекает из баланса сил, действующих на цепь в горизонтальном направлении. Образно говоря, если один человек из ста знает, что цепь провисает не по параболе, а по особой цепной линии (см. выше), то один человек из ста, знающих про цепную линию, помнит о физическом смысле параметра a и поймет, почему два отрезка цепи с подвешенным грузом будут иметь разные значения параметров x_0 и h и одинаковые значения параметра a .

Производная цепной линии (последняя запись на рисунке 2) найдена средствами символьной математики Mathcad с помощью оператора символьного преобразования « $\rightarrow$ ». Это позволяет не высчитывать каждый раз эту производную численно, что само по себе считается довольно сомнительной операцией с позиций «чистой» математики. Кстати, есть и аналитическое выражение для длины цепной линии, но мы ниже ограничимся интегралом.

Решение нашей задачи опирается на частный случай принципа еще двух великих физиков и математиков — на принцип Д'Аламбера–Лагранжа, гласящего, что механическая система в статике принимает такое положение, при котором ее потенциальная энергия минимальна.

На рисунке 3 показано, как была создана функция пользователя, возвращающая потенциальную энергию нашей цепи с грузом в зависимости от пяти искомым неизвестных — параметра a и двух других параметров отрезков цепной линии слева (L) и справа (R) от подвешенного груза. Функция имеет пять аргументов и тройку слагаемых: потенциальная энергия груза, потенциальная энергия левого участка цепи и потенциальная энергия правого участка. Потенциальную энергию груза определить несложно — это вес груза, умноженный на его высоту, если под грузом понимать материальную точку (физический объект, имеющий массу, но не имеющий размеров). Потенциальную энергию двух участков цепи придется за-

давать через... интегральное исчисление. Вот что о нем пишут классики.

«— Самолюбия, — сказал Левин, задетый за живое словами брата, — я не понимаю. Когда бы в университете мне сказали, что другие понимают интегральное вычисление, а я не понимаю, — тут самолюбие».

(Лев Толстой, роман «Анна Каренина».)

«Через 120 дней заканчивается постройка ИНТЕГРАЛА. Близок великий, исторический час, когда первый ИНТЕГРАЛ взойдет в мировое пространство. Тысячу лет тому назад ваши героические предки покорили власти Единого Государства весь земной шар. Вам предстоит еще более славный подвиг: стеклянным, электрическим, огнедышащим ИНТЕГРАЛОМ проинтегрировать бесконечное уравнение Вселенной...»

(Михаил Замятин, роман-антиутопия «МЫ».)

«Идите все, идите на Урал!

Мы очищаем место бою

Стальных машин, где дышит интеграл,
С монгольской дикою ордою!»

(Александр Блок, поэма «Скифы».)

В докомпьютерную эру взятие даже простейшего интеграла выливалось в большую вычислительную проблему, требовало времени, ума и таланта человека. Это и отразилось в вышеприведенных цитатах. Теперь же на компьютере это делается легко и просто. Поэтому-то на рисунке 3 формулы для потенциальной энергии цепи даны в первоизданной чистоте — с определенными интегралами, найденными в интернете по ключевым словам «длина кривой» и «центр тяжести кривой». Вес участка цепи — это произведение трех величин: ускорения свободного падения g , массы цепи (произведения удельной массы на длину цепи) и ординаты центра тяжести цепи (дробь с двумя интегралами). Все просто и понятно, и компьютер легко и быстро посчитает все, что надо. Можно, конечно, в записи функ-

$$\begin{aligned}
 PE(a, x_{0L}, h_L, x_{0R}, h_R) &:= g \cdot m \cdot y(x_m, a, x_{0L}, h_L) \downarrow \\
 &+ g \cdot m_c \cdot \int_{x_L}^{x_m} \sqrt{1 + y'(x, a, x_{0L})^2} dx \cdot \frac{\int_{x_L}^{x_m} y(x, a, x_{0L}, h_L) \cdot \sqrt{1 + y'(x, a, x_{0L})^2} dx}{\int_{x_L}^{x_m} \sqrt{1 + y'(x, a, x_{0L})^2} dx} \downarrow \\
 &+ g \cdot m_c \cdot \int_{x_m}^{x_R} \sqrt{1 + y'(x, a, x_{0R})^2} dx \cdot \frac{\int_{x_m}^{x_R} y(x, a, x_{0R}, h_R) \cdot \sqrt{1 + y'(x, a, x_{0R})^2} dx}{\int_{x_m}^{x_R} \sqrt{1 + y'(x, a, x_{0R})^2} dx}
 \end{aligned}$$

Рис. 3. Потенциальная энергия цепи с грузом

Решить	$ \begin{bmatrix} a \\ x_{0L} \\ h_L \\ x_{0R} \\ h_R \end{bmatrix} := \begin{bmatrix} 3 \\ 7 \\ 2 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} m $
Начальные приближения	$ y_L = y(x_L, a, x_{0L}, h_L) \quad y_R = y(x_R, a, x_{0R}, h_R) $
Ограничения	$ y(x_m, a, x_{0L}, h_L) = y(x_m, a, x_{0R}, h_R) $ $ S = \int_{x_L}^{x_m} \sqrt{1 + y'(x, a, x_{0L})^2} dx + \int_{x_m}^{x_R} \sqrt{1 + y'(x, a, x_{0R})^2} dx $
Решатель	$ \begin{bmatrix} a \\ x_{0L} \\ h_L \\ x_{0R} \\ h_R \end{bmatrix} := \text{Minimize}(PE, a, x_{0L}, h_L, x_{0R}, h_R) = \begin{bmatrix} 6.833 \\ 4.284 \\ 0.613 \\ 2.226 \\ 0.079 \end{bmatrix} m $

Рис. 4. Решение задачи минимизации с ограничениями

ции PE убрать интеграл с длиной цепи. Но можно оставить все как есть для того, чтобы был ясно виден физический смысл потенциальной энергии. Если же упрощать выражения для, например, сокращения времени счета, то можно убрать и переменную g и попытаться найти аналитические выражения для оставшихся определенных интегралов.

В среде физико-математической программы Mathcad есть инструмент решения оптимизационной задачи с ограничениями. А к этому сводится наша задача о цепи с грузом — нужно минимизировать целевую функцию, изменяя параметры оптимизации и выполняя ограничения. Все это записано языком Mathcad на рисунке 4.

Если при минимизации не вводить огра-

$$x_{gL} := \frac{\int_{z_L}^{z_m} x \cdot \sqrt{1 + y'(x, a, x_{0L})^2} dx}{\int_{z_L}^{z_m} \sqrt{1 + y'(x, a, x_{0L})^2} dx} = 2.423 \text{ m}$$

$$y_{gL} := \frac{\int_{z_L}^{z_m} y(x, a, x_{0L}, h_L) \cdot \sqrt{1 + y'(x, a, x_{0L})^2} dx}{\int_{z_L}^{z_m} \sqrt{1 + y'(x, a, x_{0L})^2} dx} = 1.029 \text{ m}$$

$$x_{gR} := \frac{\int_{z_m}^{z_R} x \cdot \sqrt{1 + y'(x, a, x_{0R})^2} dx}{\int_{z_m}^{z_R} \sqrt{1 + y'(x, a, x_{0R})^2} dx} = 7.607 \text{ m}$$

$$y_{gR} := \frac{\int_{z_m}^{z_R} y(x, a, x_{0R}, h_R) \cdot \sqrt{1 + y'(x, a, x_{0R})^2} dx}{\int_{z_m}^{z_R} \sqrt{1 + y'(x, a, x_{0R})^2} dx} = 2.592 \text{ m}$$

Рис. 5. Расчет координат центров тяжести

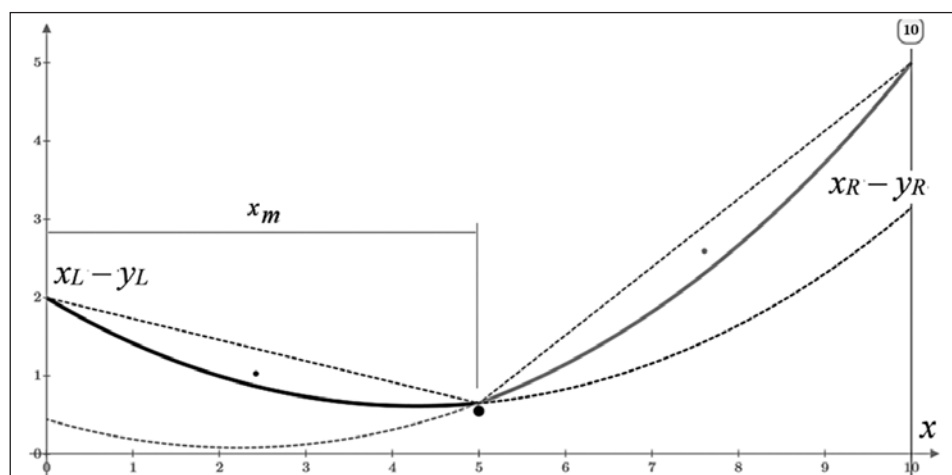


Рис. 6. График провисания цепи с грузом

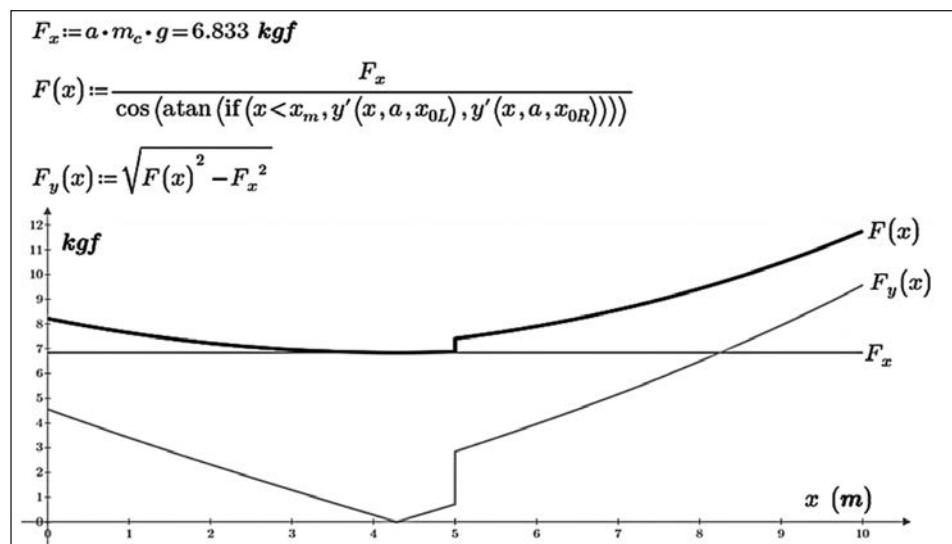


Рис. 7. Эпюра сил, действующих на цепь с грузом

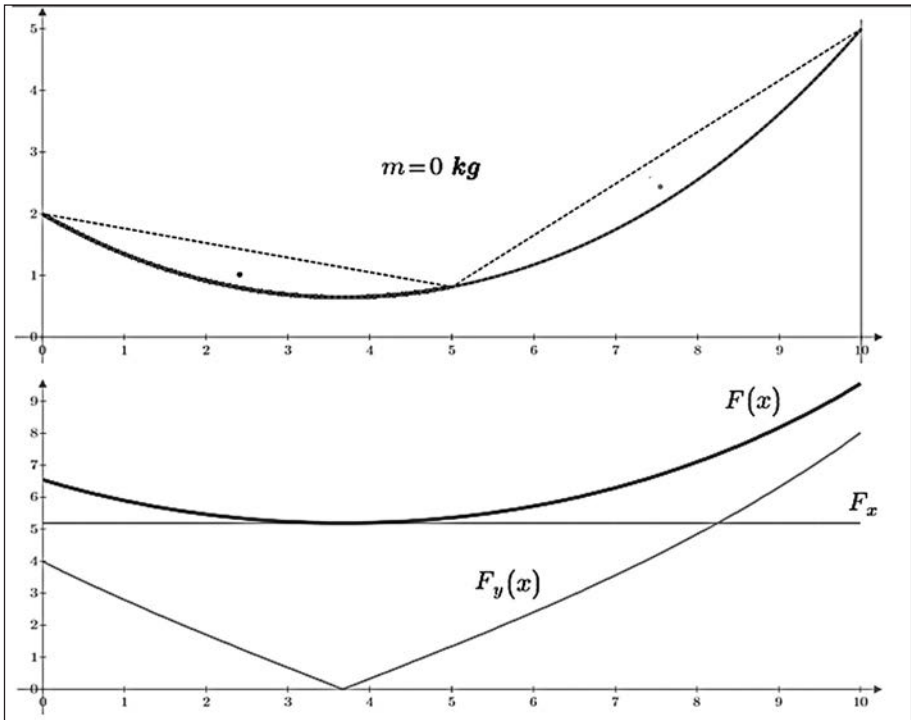


Рис. 8. Цепь без груза

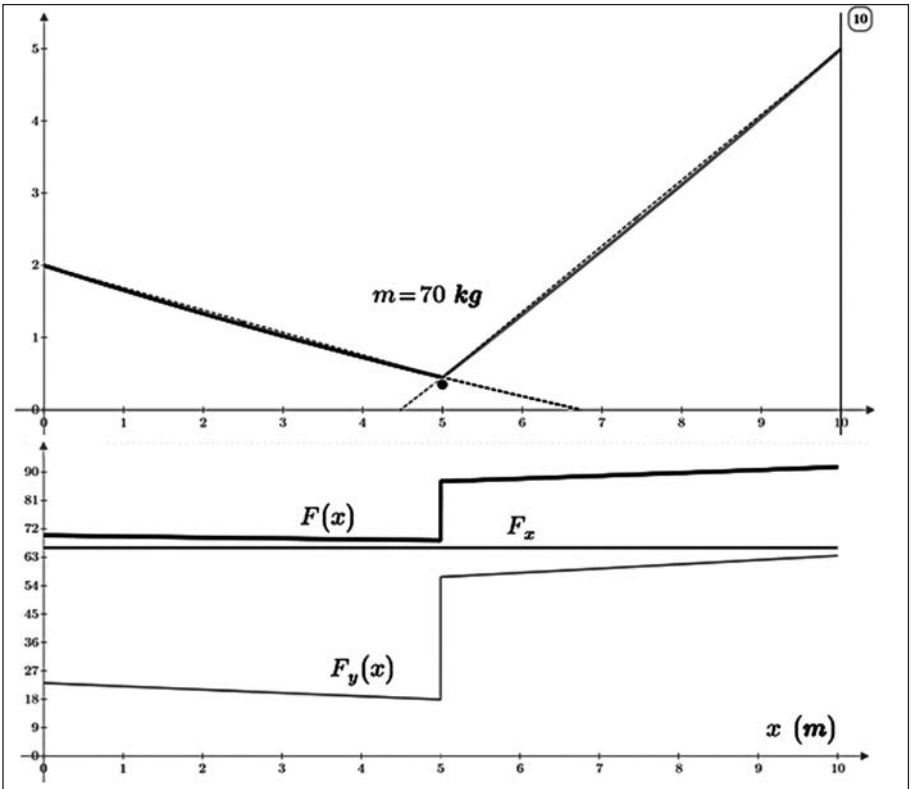


Рис. 9. Цепь с массивным грузом

ничения, то наша цепь с грузом просто упадет вниз, минимизируя свою потенциальную энергию. Ограничения в нашей задаче такие: цепь прикреплена к левой опоре, цепь прикреплена к правой опоре, участки цепи встречаются в точке крепления груза и, наконец, длина цепи остается заданной постоянной величиной. Необходимо также ввести начальные приближения к решению.

Функция **Minimize** вернула значения переменных оптимизации, при которых целевая функция приняла минимальное значение, а ограничения выполнены (равенства превратились в тождества — в примерные тождества, если принять во внимание, что задача решалась численно, приближенно). Кстати, ограничение по длине цепи можно ослабить — учесть растяжение цепи и вспомнить о законе Гука.

На рисунке 6 показано, как будет провисать наша цепь с грузом. Предварительно рассчитаны координаты центров тяжести двух участков цепи, что позволило отобразить эти точки на графике (рис. 6). Пунктирами показаны фантомные продолжения цепных линий и отрезки прямых, соединяющих точки крепления цепи к двум опорам и к грузу.

На рисунке 7 показан расчет и графическое отображение значения силы, действующей на цепь в разных ее точках, — общей силы F , а также горизонтальной (абсолютное значение) и вертикальной проекций этой силы F_x и F_y .

Горизонтальная проекция силы постоянна по всей длине цепи. Значение всей силы определяется через знание значения производной цепной линии — тангенса наклона касательной. Вертикальная проекция силы рассчитывается с опорой на теорему Пифагора.

Правильность расчета можно дополнительно проверить так — задать такие начальные условия, при которых ответ заранее известен. Так на рисунке 8 показано, что при отсутствии груза два участка цепи

сливаются в одну цепную линию. Если же масса груза будет намного превышать массу цепи, то ее участки примут почти прямолинейную форму (рис. 9).

Решенная задача хороша и тем, что в физическом кабинете школы можно подвесить реальную цепь с реальным грузом, сфотографировать и оцифровать все это, а потом сравнить с цифровым двойником, описанным выше.

Интересна также будет и оптимизация размеров кабинки канатной дороги [3].

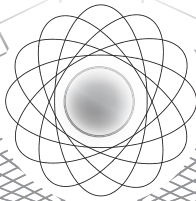
Задания читателям

1. Подвесить на цепи два, три, четыре груза разной массы и рассчитать ее провисание.
2. Задать не отступ груза от левой опоры, а длину цепи от левой опоры до груза.
3. Задав модуль упругости цепи, рассчитать ее провисание, сняв ограничение на нерастяжимость цепи.
4. Задав коэффициент термического расширения материала цепи (стали), рассчитать ее параметры зимой и летом.
5. Попытаться взять интегралы — заменить их на выражения с элементарными функциями.

Литература

1. Меркин Д.Р. Введение в механику гибкой нити. — М.: Наука, 1980. URL: <https://dwg.ru/lib/1317>.
2. Очков В.Ф., Попова К., Камалов М. Цепная линия // Физика для школьников. 2018. № 3. С. 24–32. URL: http://www.twt.mpei.ac.ru/ochkov/fizika_dlya_shkolnikov_2018_03.pdf.
3. Информационные технологии в инженерных расчетах: SMath и Python / В.Ф. Очков, К.А. Орлов, Ю.В. Чудова [и др.]. — Санкт-Петербург: Лань, 2023. URL: <http://twt.mpei.ac.ru/ochkov/EC-SMath.pdf>.

Дата поступления рукописи (Received): 21.09.2023.
Опубликовано (Published): 18.07.2023.



НАБЛЮДЕНИЕ ЯВЛЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В СРЕДЕ С ПРИМЕСЬЮ

OBSERVATION OF PHENOMENA ARISING DURING CRYSTALLIZATION IN A MEDIUM WITH IMPURITIES

Научная статья

Scientific article

УДК 539.2, 538.9-405, 548

DOI 10.47639/0130-5522_2023_5_47

Д.А. Воронцов , к.ф.-м.н., старший научный сотрудник, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Н. Новгород; vorontsovda@mail.ru	D.A. Vorontsov , PhD (Physics and Mathematics), Senior Researcher, National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod; vorontsovda@mail.ru
Е.К. Титаева , младший научный сотрудник, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Н. Новгород; titaeva@unn.ru	E.K. Titaeva , Junior Researcher, National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod; titaeva@unn.ru
Е.Л. Ким , к.ф.-м.н., доцент, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Н. Новгород; kim@phys.unn.ru	E.L. Kim , PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod; kim@phys.unn.ru
Ключевые слова: рост кристалла, адсорбция, примесь, зонарность	Keywords: crystal growth, adsorption, impurity, striation
Аннотация. Приводится описание опытов, которые наглядно демонстрируют ряд явлений характерных для роста кристаллов в присутствии примесей. На примере кристаллизации льда в воде с добавками антифриз-протеина АФП-3 наблюдаются методом флуоресцентной микроскопии процессы отталкивания, захвата и адсорбции молекул АФП-3. Экспериментальная работа предназначена для учащихся классов с углубленным изучением физики в рамках школьно-вузовского курса подготовки специалистов в области выращивания кристаллов	Abstract. The work describes experiments aimed to demonstrate the phenomena typical for crystal growth in the presence of impurities. On the example of ice crystallization in water with additives of type III antifreeze protein (AFP-III), repulsion, capture, and adsorption of AFP-III molecules were observed using fluorescence microscopy. The demonstrations are designed for students in classes with an in-depth study of physics under the school and university educational program for specialists in the field of crystal growth

© Воронцов Д.А., Титаева Е.К., Ким Е.Л., 2023

Введение

Кристаллизация играет важную роль в природе в таких процессах как формирование минералов в земной коре, образование

снега и льда, биоминерализация в клетках и твердых тканях различных организмов. Значимость кристаллизации в деятельности человека обусловлена необходимостью

получения новых веществ и материалов с уникальными свойствами для решения задач разных отраслей, в частности, микроэлектроники, приборостроения, медицины, сельского хозяйства, строительства. Наличие в кристаллообразующей среде веществ, которые отличны от строительного материала кристалла, или примесей может оказывать критическое влияние на выращивание кристаллов и их физические свойства. В некоторых случаях другие вещества добавляются целенаправленно, чтобы изменить характеристики кристаллических материалов. Отталкивание примеси на фронте кристаллизации, ее захват кристаллом и адсорбция на его поверхности представляют собой типичные явления, которые происходят при кристаллизации в различных системах [1].

Необходимость понимания определенных явлений в природе и выращивания кристаллов высокого качества для практических задач требует подготовки специалистов соответствующего профиля. Опыт педагогической деятельности в учреждении дополнительного образования детей «Кванториум» и Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского (ННГУ) показал, что высокие результаты в обучении будущей специальности можно получить, если начинать знакомить учеников с предметом на этапе основной и средней школы [2]. В ННГУ со школьниками из классов с углубленным изучением физики проводятся дополнительные занятия по тематике, связанной с образованием и ростом кристаллов. Важная роль отводится демонстрационным опытам, которые дают наглядное представление о проблематике изучаемого предмета.

В данной статье приводится описание опытов по наблюдению процессов отталкивания и захвата примеси при росте кристалла и адсорбции примеси из объема раствора на исходно чистой поверхности не растущего кристалла. В качестве объекта используется система «кристаллы льда — раствор

антифриз-протеина АФП-3». Данный протеин содержится в морских рыбах, обитающих в холодных морях, где температура воды может быть ниже нуля градусов. АФП-3 понижает температуру замерзания воды, замедляет образование и рекристаллизацию льда в клетках биологических тканей, тем самым защищая мембраны клеток от повреждения и предотвращая гибель живых организмов [3, 4].

Установка для наблюдений

Для выращивания кристаллов льда использовалась самодельная ростовая кювета, склеенная по периметру из двух плоскопараллельных стекол размером $76 \times 26 \times 1$ мм³ (рис. 1). Зазор d между стеклами составлял около 210 мкм. Перед опытом кювета заполнялась чистой водой по трубке 1 так, чтобы внутри не было пузырей воздуха. Левая и правая стороны кюветы охлаждались элементами Пельтье до температур $T_1 < 0$ и $T_2 > 0^\circ\text{C}$ соответственно (рис. 2), которые задавались с помощью термоконтроллеров. Вдоль кюветы формировался линейный градиент температуры $T_2 - T_1$. В равновесном состоянии граница раздела лед–вода, или фронт кристаллизации, находилась в области $T = 0^\circ\text{C}$. Рост или плавление льда на границе раздела можно было вызвать перемещением кюветы вдоль градиента температур либо изменением температур T_1 , T_2 . После охлаждения кюветы и образования льда в левой ее части не замерзшую чистую воду в правой части можно было заменить водой с добавкой АФП-3, используя трубки 2 и 3. Чтобы уменьшить плавление льда при замене жидкости, рекомендуется заливать раствор протеина, охлажденным до температуры около 0°C .

Кювета крепилась в держателе на століке оптического микроскопа (рис. 2), оснащенном объективом с увеличением $10\times$. В качестве источника света был взят лазер с длиной волны 488 нм. Использовались молекулы АФП-3 с маркерами из флуоресцентного изоцианата. В наблюдениях при-

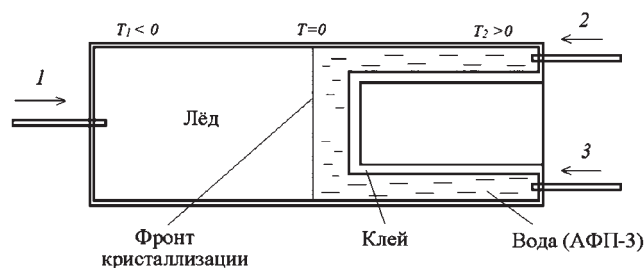


Рис. 1. Растовая кювета из плоскопараллельных стекол. Трубка 1 используется для заполнения кюветы водой, трубки 2 и 3 – для замены жидкости (например, незамерзшей воды на раствор АФП-3)

менялась конфокальная оптическая схема, в которой регистрировалась интенсивность флуоресцентного излучения, возникшего в объеме кюветы при облучении флуоресцентного красителя лазером. Флуоресцентный сигнал формировался объективом на фотодетекторе и записывался компьютером. Интенсивность данного сигнала пропорциональна концентрации молекул АФП-3. Использовались растворы АФП-3 с концентрацией 5–800 мкг/мл. Данная схема позволяет наблюдать пространственно-временное распределение меченых молекул протеина в кристаллах и флюидной фазе.

Описание наблюдений

1. Оттапливание примеси растущим кристаллом

Коэффициент распределения примеси в кристалле определяется по формуле

$$K = \frac{C_{cr}}{C_s},$$

где C_{cr} и C_s – концентрации примеси в кристалле и растворе (расплаве) соответственно. При $K < 1$ растущий кристалл вытесняет примесь в объем раствора. В случае льда данный эффект используется для очистки воды от примесей при направленной кристаллизации.

Кювета заполняется водным раствором АФП-3 с концентрацией 64 мкг/мл. Левая

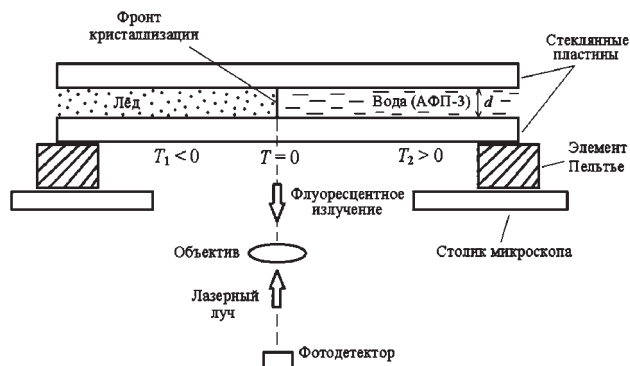


Рис. 2. Принципиальная схема установки для наблюдений)

и правая части кюветы охлаждаются до температур ниже 0°C , чтобы произошла быстрая спонтанная кристаллизация всей жидкости в кювете. Это позволит сформировать лед с примерно равномерным распределением АФП-3. Затем температура T_2 в правой части кюветы выставляется выше 0°C . После плавления части льда и установления равновесия граница раздела лед–жидкость будет располагаться в зоне $T = 0^\circ\text{C}$. На рисунке 3а область со льдом темнее, чем область с раствором, так как интенсивность флуоресцентного сигнала, а значит и концентрация АФП-3, в области льда меньше, чем в растворе. Далее кювета сдвигается вдоль градиента температуры влево. Теперь часть раствора окажется в зоне температур ниже 0°C , и через некоторое время начнется рост льда. По мере роста на фронте кристаллизации будет наблюдаться увеличение флуоресцентной интенсивности (рис. 3б). Молекулы АФП-3 выталкиваются растущим кристаллом в прилегающий раствор. Таким образом, для АФП-3 коэффициент распределения $K < 1$.

2. Захват примеси

Как правило, коэффициент распределения примеси $K > 0$. В зависимости от концентрации примеси в кристаллообразующей среде и скорости роста может наблюдаться близкое к равномерному и квазипериоди-

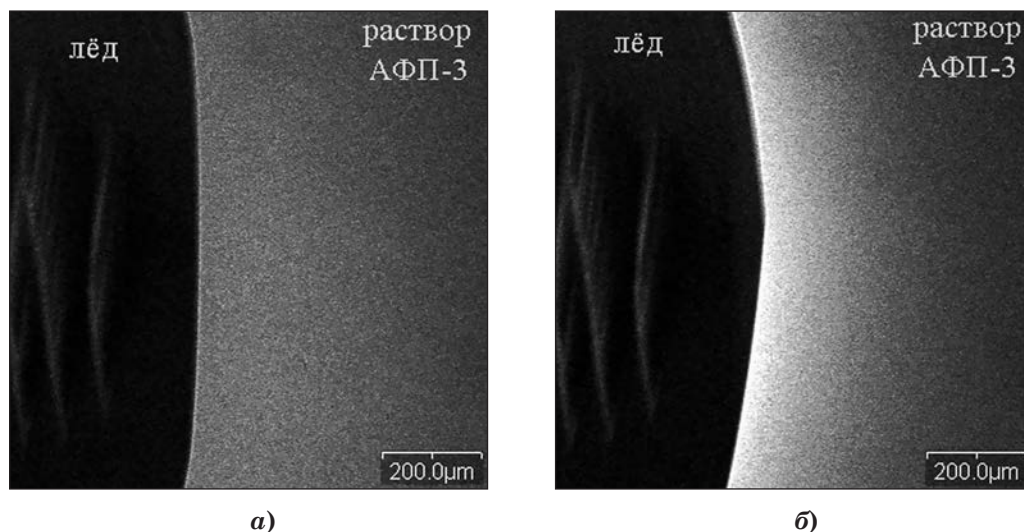


Рис. 3. Концентрация АФП-3 вблизи растущего кристалла льда в моменты времени t_1 (а) и $t_2 > t_1$ (б). Концентрация раствора АФП-3 64 мкг/мл

ческое распределение примеси в кристалле [5, 6].

По аналогии с предыдущим опытом берется раствор АФП-3 с концентрацией 64 мкг/мл и формируется граница раздела лед–жидкость в области кюветы с температурой $T = 0^\circ\text{C}$. Затем кристалл льда переводится в режим роста посредством смещения кюветы влево в направлении элемента Пельтье с температурой T_1 . Чем больше расстояние между границей лед–жидкость и областью с $T = 0^\circ\text{C}$, тем выше переохлаждение на фронте кристаллизации, а значит и скорость роста кристалла v . Экспериментально можно подобрать такое значение v , когда АФП-3 будет захватываться кристаллом почти равномерно (рис. 4а) или квазипериодически (рис. 4б). Обычно при прочих равных условиях, чем ниже v , тем меньше K . По мере увеличения v возможен переход к режиму осцилляционного захвата примеси. Примесь накапливается перед растущим кристаллом до некоторой критической концентрации, не успевая диффундировать в объем раствора, и периодически захватывается кристаллом. Из профилей концентрации на рисунке 4 видно, что в этом случае концентрация примеси в кристалле может достигать такого же уровня

как в растворе, тогда как при равномерном захвате кристалл содержит меньше примеси, чем раствор.

3. Адсорбция примеси на кристалле

Силы взаимодействия между строительными единицами внутри кристалла скомпенсированы, потому что каждая строительная единица окружена необходимым количеством соседей в соответствии со структурой кристаллической решетки. У строительных единиц на поверхности кристалла часть связей остается не скомпенсированной. Наличие таких связей может приводить к возникновению поверхностного слоя другого вещества, которое присутствует в кристаллообразующей среде. Такое явление называется адсорбцией. Ленгмюр одним из первых предложил модель адсорбции при изучении накопления газов на поверхности твердых тел [7]. Согласно этой модели концентрация адсорбата на поверхности кристалла нелинейно возрастает до уровня насыщения, образуя адсорбционный слой. Концентрация адсорбирующегося вещества в адслое выше, чем в объеме раствора вокруг кристалла (см. профили на рис. 4).

Для наблюдения адсорбции АФП-3 на

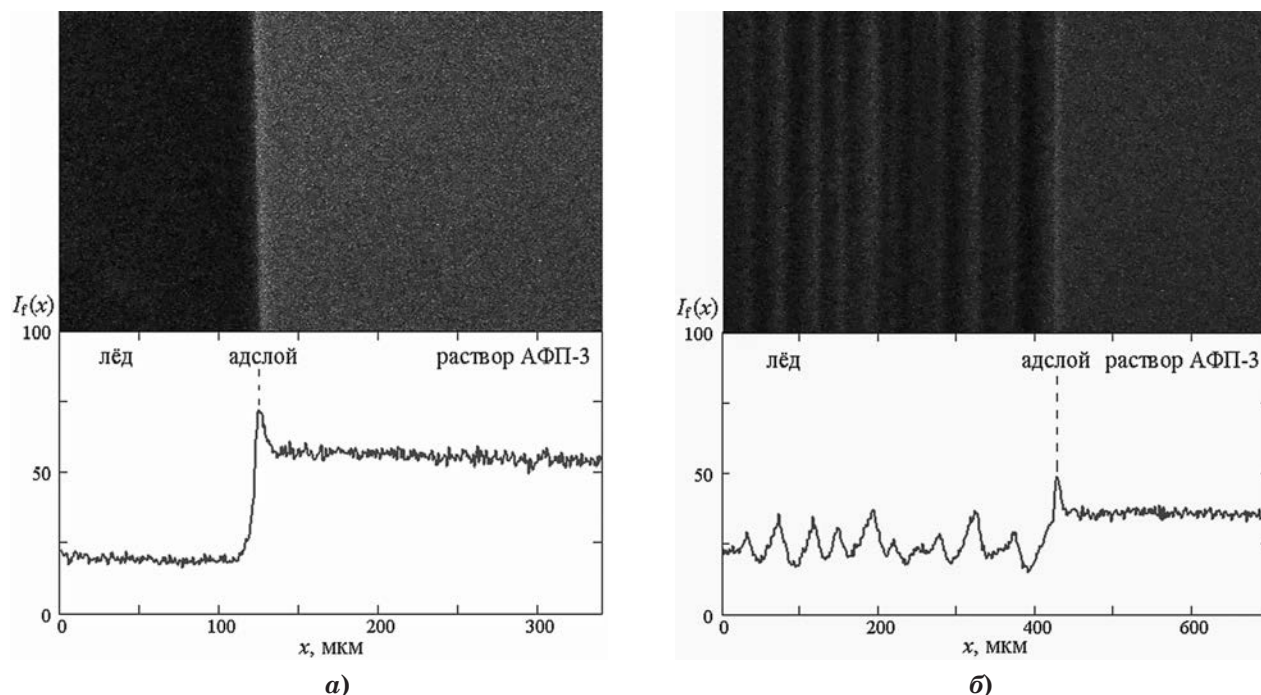


Рис. 4. Равномерное (а) и зонарное (б) распределение АФП-3 в кристалле льда. Профили концентрации АФП-3 построены вдоль направления роста.
Концентрация раствора АФП-3 64 мкг/мл

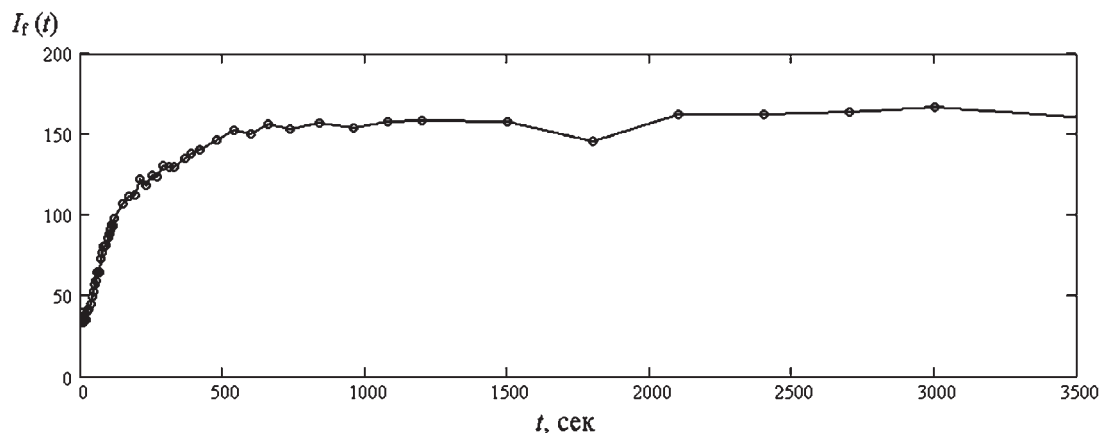


Рис. 5. Интенсивность флуоресцентного сигнала в адсло́е не растущей поверхности льда в зависимости от времени. Концентрация раствора АФП-3 400 мкг/мл

поверхности льда сначала в чистой воде выращиваются кристаллы льда, не содержащие АФП-3. Затем незамерзшая вода в правой части кюветы удаляется по трубке 3 (рис. 1), и охлажденный до 0°C раствор АФП-3 медленно заливается через трубку 2 так, чтобы не расплавить поверхность льда. Потом записывается серия изображений,

по которым строится зависимость интенсивности флуоресцентного сигнала $I_f(t)$ на границе раздела лед–жидкость от времени. Экспериментальные данные можно обрабатывать с помощью специальной программы, написанной в среде MathCad. Пример зависимости $I_f(t)$ показан на рисунке 5. Концентрация АФП-3 в адсло́е на поверхности

льда монотонно возрастает и достигает постоянного значения через 600 с после начала контакта льда с раствором.

Заключение

Приведено описание опытов по кристаллизации льда в водном растворе, которые помогут учащимся познакомиться с некоторыми основными явлениями, характерными для процессов роста кристаллов в среде с примесью, а также получить навыки практического изучения кристаллизации.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-22-00067.

Литература

1. Чернов А.А., Гиваргизов Е.И., Багдасаров Х.С. и др. Современная кристаллография. Т. 3. Образование кристаллов. — М.: Наука, 1980. — 408 с.
2. Лебедева О.В., Марков К.А., Ким Е.Л., Фаддеев М.А. Непрерывное исследовательское обучение физике в системе «школа–ВУЗ» // Вест-

ник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2013. № 5(2). С. 113.

3. DeVries A.L. Glycoproteins as biological antifreeze agents in Antarctic fishes // Science. 1971. V. 172. P. 1152.

4. Yeh Y., Feeney R.E. Antifreeze proteins — Structures and mechanisms of function // Chem. Rev. 1996. V. 96 (2). P. 601.

5. Гуськов С.С., Фаддеев М.А. Модель роста кристалла с зонарным распределением примеси // Структура и свойства твердых тел. Сборник научных трудов. ННГУ. Нижний Новгород, 2003. Вып. 7. С. 110.

6. Гуськов С.С., Фаддеев М.А., Чупрунов Е.В. Концентрационные автоколебания при росте кристалла с примесью из раствора // Кристаллография. 2010. Т. 55. № 4. С. 669.

7. Langmuir I. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum // J. Am. Chem. Soc. 1918. V. 40. P. 1361.

Дата поступления рукописи (Received): 04.04.2023.

Опубликовано (Published): 18.07.2023.

Дополнительная информация о Г.А. Гамове

Советский физик-теоретик Л. Ландау, который был на протяжении учебы в университете близким другом Гамова, в письме П.Л. Капице так охарактеризовал его (1932): «Необходимо избрать Г. Гамова академиком. Ведь он бесспорно лучший теоретик СССР».

Э. Теллер, руководитель американского проекта по созданию водородной бомбы, охарактеризовал участие Гамова в этом проекте так: «Да, Гамов обладал плодотворным воображением. Он был исключительно милым парнем и, более того, это был единственный из моих друзей, кто серьезно считал меня математиком... С ним было поразительно приятно работать вместе».

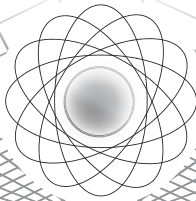
Знаменитый астроном Вера Рубин считала, что Гамов «не умел ни писать, ни считать», однако утверждала, что «его ум был способен понимать Вселенную».

В 1970 году в честь Г. Гамова был назван кратер на обратной стороне Луны.

В честь Г. Гамова назван астероид (8816) Gamow, открытый астрономом Л. Карачкиной в Крымской астрофизической обсерватории 17 декабря 1984 года.

2004 год, год столетнего юбилея физика, был объявлен ЮНЕСКО «Международным годом Гамова».

В 2015 году Российско-Американской ассоциацией ученых была учреждена премия имени Г. Гамова. Премия присуждается русскоязычным ученым, работающим в США, за вклад в мировую науку.



РАСЧЕТ ЧИСЛА АТОМОВ В СОСТАВЕ ЛУНЫ

CALCULATION OF THE NUMBER OF ATOMS
IN THE COMPOSITION OF THE MOON

Научная статья

Scientific article

УДК 372.853

DOI 10.47639/0130-5522_2023_5_53

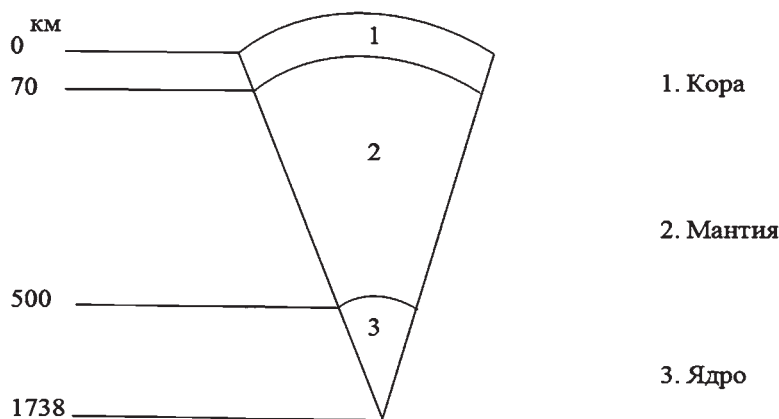
В.В. Акопов , учитель физики, средняя общеобразовательная школа № 6, с. Полтавское, Курский район, Ставропольский край; akopov1939@mail.ru	V.V. Akopov , physics teacher of Moscow State Educational Institution «Secondary School No. 6»; village of Poltavskoye, Kursk district, Stavropol Territory; akopov1939@mail.ru
Ключевые слова: Луна, число атомов, масса, число Авогадро, молярная масса	Keywords: Moon, number of atoms, mass, Avogadro number, molar mass
Аннотация. Численное значение числа атомов в Луне, полученное в данной статье расчетным путем, можно использовать при астрофизических исследованиях Луны, а также на уроках астрономии, физики и химии при решении задач и во внеурочной деятельности	Abstract. The numerical value of the number of atoms in the Moon, obtained in this article by calculation, can be used in astrophysical studies of the Moon, as well as in astronomy, physics, chemistry lessons when solving problems and in extracurricular activities

© Акопов В.В., 2023

Луна — самый заметный небесный объект после Солнца, вечно меняющийся, исчезающий, но неизменно вновь появляющийся на небе. До недавнего времени происхождение спутника Земли оставалось для астрономов загадкой, и, возможно, она еще до конца не решена. В древних культурах мира есть свои легенды о возникновении Луны. Большинство из них связано с мифологическими представлениями о космосе, в которых Солнце, Луна и звезды выступают в образе богов. Насколько известно, древние греки первыми стали рассматривать Луну как физический объект в космосе, но картина небесного часового механизма, вечно движимого божественными силами, сохранялась более или менее неизменной до позднего Средневековья. Затем на протяжении трех столетий развивались представления о происхождении Луны. Так, начиная с 1959 г., в СССР и США по направлению к ней для ее изучения запущено более 50 космических зондов различных типов. Поверхность Луны к настоящему времени изучена очень хорошо и продолжается ее изучение, включая и ее обратную сторону.

На сегодня число атомов в Луне фактически неизвестно. Попытаемся его вычислить. Для расчета воспользуемся известной формулой: $N = \frac{m \cdot N_A}{M}$, где m — масса химического элемента, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ — число Авогадро, M — молярная масса химического элемента. В физике, химии и астрономии широко используется молярная масса и определяют ее как массу вещества, взятого в количестве одного моля. В системе СИ она измеряется в кг/моль [1].

По геофизическим данным Луна разделяется на три основные области: кору, мантию и ядро [2]. Внутреннее строение Луны изображено на рисунке.



На сегодня известна только масса Луны, а масса ее отдельно взятых областей неизвестна. Поэтому придется их вычислить. Для этого воспользуемся известной формулой: $m = \rho V$, где ρ — плотность тела (кг/м^3), V — объем тела (м^3). Плотность Луны, лунной коры, мантии и ядра представлены в таблице 1.

Таблица 1

Плотность Луны и ее областей [3]

Луна, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Кора, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Мантия, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Ядро, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
3343	2950	3350	5000

Мы знаем объем Луны, а объемы ее областей нет. Поэтому придется вычислить и их. Для этого воспользуемся знакомой формулой из геометрии: $V = \frac{4}{3}\pi R^3$, где R — радиус шара (м). Введем обозначения: R_L — радиус Луны (1738 км); R_K — радиус коры (1668 км); R_M — радиус мантии (1168 км); R_J — радиус ядра (500 км).

Рассчитаем объем лунной коры:

$$V = \frac{4}{3}\pi(R_L^3 - R_K^3) = 4,187 \cdot [(1,738 \cdot 10^6)^3 - (1,668 \cdot 10^6)^3] = 2,554 \cdot 10^{18} \text{ м}^3.$$

Рассчитаем объем лунного ядра:

$$V_J = \frac{4}{3}\pi R_J^3 = \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot (500 \cdot 10^3)^3 = 0,5233 \cdot 10^{18} \text{ м}^3.$$

Рассчитаем объем лунной мантии:

$$V_M = \frac{4}{3}\pi(R_M^3 - R_J^3) = \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot [(1,168 \cdot 10^6)^3 - (500 \cdot 10^3)^3] = 18,9 \cdot 10^{18} \text{ м}^3.$$

Рассчитаем объем Луны:

$$V_L = \frac{4}{3}\pi R_L^3 = \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot (1,738 \cdot 10^6)^3 = 21,98 \cdot 10^{18} \text{ м}^3.$$

Проверка:

$$V_L = V_K + V_J + V_M = 2,554 \cdot 10^{18} \text{ м}^3 + 0,5233 \cdot 10^{18} \text{ м}^3 + 18,9 \cdot 10^{18} \text{ м}^3 = 21,98 \cdot 10^{18} \text{ м}^3.$$

Полученные результаты вычислений занесем в таблицу 2.

Таблица 2

Объем Луны и ее областей

Луна, $\text{м}^3 \cdot 10^{18}$	Кора, $\text{м}^3 \cdot 10^{18}$	Мантия, $\text{м}^3 \cdot 10^{18}$	Ядро, $\text{м}^3 \cdot 10^{18}$
21,98	2,554	18,9	0,5233

Рассчитаем массу Луны и ее областей, используя таблицы 1 и 2 и формулу $m = \rho V$.
Расчет массы Луны:

$$m_L = 3343 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 21,98 \cdot 10^{18} \text{ м}^3 = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ кг}.$$

Расчет массы лунной коры:

$$m_K = 2950 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 2,554 \cdot 10^{18} \text{ м}^3 = 0,7534 \cdot 10^{22} \text{ кг}.$$

Расчет массы лунной мантии:

$$m_M = 3350 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 18,9 \cdot 10^{18} \text{ м}^3 = 6,3315 \cdot 10^{22} \text{ кг}.$$

Расчет массы лунного ядра:

$$m_J = 5000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,5233 \cdot 10^{18} \text{ м}^3 = 0,2617 \cdot 10^{22} \text{ кг}.$$

Проверка:

$$m_L = m_K + m_M + m_J = 0,7534 \cdot 10^{22} \text{ кг} + 6,3315 \cdot 10^{22} \text{ кг} + 0,2617 \cdot 10^{22} \text{ кг} = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ кг}.$$

Полученные результаты вычислений занесем в таблицу 3.

Таблица 3

Масса Луны и ее областей

Луна, $\text{кг} \cdot 10^{22}$	Кора, $\text{кг} \cdot 10^{22}$	Мантия, $\text{кг} \cdot 10^{22}$	Ядро, $\text{кг} \cdot 10^{22}$
7,35	0,7534	6,3315	0,2617

Известно, что Луна состоит из различных веществ. Молярные массы этих химических элементов и их соединений различны можно найти, воспользовавшись таблицей Менделеева.

Вычислим массы химических элементов и их соединений, содержащихся в областях Луны. Они представлены в таблице 4.

Таблица 4

Химический состав областей Луны

№	Химические элементы и соединения	Химический состав лунной коры		Химический состав лунной мантии		Химический состав лунного ядра	
		% содержания	масса, $\text{кг} \cdot 10^{22}$	% содержания	масса, $\text{кг} \cdot 10^{22}$	% содержания	масса, $\text{кг} \cdot 10^{22}$
1.	Кислород — O	43	0,324			30,1	0,0788
2.	Кремний — Si	21	0,1582			15,1	0,0395
3.	Алюминий — Al	6	0,0452			1,4	0,0037
4.	Кальций — Ca	9	0,0678			1,5	0,0039

№	Химические элементы и соединения	Химический состав лунной коры		Химический состав лунной мантии		Химический состав лунного ядра	
		% содержания	масса, кг · 10 ²²	% содержания	масса, кг · 10 ²²	% содержания	масса, кг · 10 ²²
5.	Железо — Fe	9	0,0678			32,1	0,084
6.	Магний — Mg	5	0,0377			13,9	0,0364
7.	Титан — Ti	6	0,0452				
8.	Никель — Ni	0,4	0,003			1,8	0,0047
9.	Натрий — Na	0,2	0,0015				
10.	Калий — K	0,1	0,00075				
11.	Хром — Cr	0,1	0,00075			0,3	0,0008
12.	Марганец — Mn	0,1	0,00075			0,6	0,0016
13.	Сера — S	0,1	0,00075	0,26	0,0165	2,9	0,0076
14.	Оксид кремния (IV) — SiO ₂			47,6	3,014		
15.	Оксид магния — MgO			6,8	0,4305		
16.	Оксид железа (II) — FeO			7,3	0,4622		
17.	Оксид алюминия — Al ₂ O ₃			18,5	1,1713		
18.	Оксид кальция — CaO			15,6	0,9877		
19.	Оксид натрия — Na ₂ O			0,65	0,0412		
20.	Оксид титана (V) — TiO ₂			3	0,19		
21.	Хлор — Cl			0,29	0,0184		
22.	Фосфор — P					0,3	0,0008

Используя результаты вычислений из таблицы 4, по формуле $N = \frac{m \cdot N_A}{M}$ рассчитаем количество атомов, содержащихся в областях Луны.

В лунной коре.

Вычислим число атомов кислорода:

$$N_1 = \frac{0,324 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{16 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 121,905 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов кремния:

$$N_2 = \frac{0,1582 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{28,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 33,892 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов алюминия:

$$N_3 = \frac{0,0452 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{27 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 10,078 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов кальция:

$$N_4 = \frac{0,0678 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{40 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 10,204 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов железа:

$$N_5 = \frac{0,0678 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{56 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 7,289 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов магния:

$$N_6 = \frac{0,0374 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{24 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 9,456 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов титана:

$$N_7 = \frac{0,0452 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{47,9 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 5,681 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов никеля:

$$N_8 = \frac{0,003 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{58,7 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 0,308 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов натрия:

$$N_9 = \frac{0,0015 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{23 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 0,393 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов калия:

$$N_{10} = \frac{0,00075 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{39 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 0,236 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов хрома:

$$N_{11} = \frac{0,00075 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{52 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 0,087 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов марганца:

$$N_{12} = \frac{0,00075 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{54,9 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 0,082 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов серы:

$$N_{13} = \frac{0,00075 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{32,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 0,141 \cdot 10^{45}.$$

Сложив все значения числа атомов химических элементов, получим $N_K = 199,75 \cdot 10^{45}$. Таким образом, число атомов в лунной коре численно равно $199,75 \cdot 10^{45}$.

В лунной мантии.

Вычислим число атомов оксида кремния:

$$N_1 = \frac{3,014 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{60,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 301,901 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов оксида магния:

$$N_2 = \frac{0,4305 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{40,3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 64,308 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов оксида железа:

$$N_3 = \frac{0,4622 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{71,8 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 38,753 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов оксида алюминия:

$$N_4 = \frac{1,1713 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{102 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 69,13 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов оксида кальция:

$$N_5 = \frac{0,9877 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{56,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 105,988 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов оксида натрия:

$$N_6 = \frac{0,0412 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{79,9 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 4,0004 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов оксида титана:

$$N_7 = \frac{0,19 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{79,9 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 14,3154 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов хлора:

$$N_8 = \frac{0,0184 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{35,5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 3,1202 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов серы:

$$N_9 = \frac{0,0165 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{32,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 3,0944 \cdot 10^{45}.$$

Сложив все значения числа атомов химических элементов и их соединений, получим $N_M = 604,61 \cdot 10^{45}$. Таким образом, число атомов в лунной мантии численно равно $604,61 \cdot 10^{45}$.

В лунном ядре.

Вычислим число атомов кислорода:

$$N_1 = \frac{0,9788 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{16 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 29,6486 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов железа:

$$N_2 = \frac{0,084 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{56 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 9,03 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов кремния:

$$N_3 = \frac{0,0395 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{28,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 8,4623 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов магния:

$$N_4 = \frac{0,0364 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{24 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 9,1303 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов серы:

$$N_5 = \frac{0,0076 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{32,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 1,4253 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов никеля:

$$N_6 = \frac{0,0047 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{40 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 0,482 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов кальция:

$$N_7 = \frac{0,0039 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{40 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 0,587 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов алюминия:

$$N_8 = \frac{0,0037 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{27 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 0,825 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов фосфора:

$$N_9 = \frac{0,0008 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{35 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 0,1554 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов марганца:

$$N_{10} = \frac{0,016 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{54,9 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 0,1754 \cdot 10^{45}.$$

Вычислим число атомов хрома:

$$N_{11} = \frac{0,0008 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{52 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 0,0926 \cdot 10^{45}.$$

Сложив все значения числа атомов химических элементов, получим $N_{\text{я}} = 60,014 \cdot 10^{45}$. Таким образом, число атомов в лунном ядре численно равно $60,014 \cdot 10^{45}$. Просуммировав все значения числа атомов в лунной коре, в лунной мантии и в лунном ядре, получим число атомов в составе Луны:

$$N_{\text{л}} = 199,75 \cdot 10^{45} + 604,61 \cdot 10^{45} + 60,014 \cdot 10^{45} = 864,374 \cdot 10^{45} \approx 8,64 \cdot 10^{47}.$$

Итак число атомов в составе Луны численно равно $8,64 \cdot 10^{47}$.

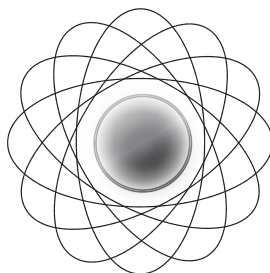
Из различных источников в сети Интернет известно, что число атомов в Земле составляет $1,4 \cdot 10^{50}$. Также известно, что масса Земли в 81 раз больше массы Луны. Возникает вопрос: «Во сколько раз число атомов, входящих в состав Земли, больше числа атомов в составе Луны?» Для ответа на этот вопрос найдем отношение: $\frac{N_{\text{з}}}{N_{\text{л}}} = \frac{1,4 \cdot 10^{50}}{8,64 \cdot 10^{47}} \approx 162$ раза. Таким образом, число атомов, входящих в состав Земли, больше числа атомов в составе Луны в 162 раза.

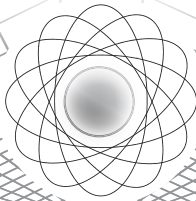
Литература

1. *Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б., Сотский Н.Н.* Учебник 10 класса общеобразовательных учреждений. — М.: Просвещение, 2008. — 152 с.
2. *Левитан Е.П.* Учебник 11 класса общеобразовательных учреждений. — М.: Просвещение, 1994. — 67 с.
3. *Жарков В.Н.* Внутреннее строение Земли, Луны и планет. — М.: Знание, 1973. — 62 с.
4. *Пёрышкин А.В., Гутник Е.М.* Физика, 9 кл. — М. Дрофа, 2011.

Дата поступления рукописи (Received): 05.03.2023.

Опубликовано (Published): 18.05.2023.





КРАТКИЙ ОБЗОР ИННОВАЦИОННЫХ ПОДХОДОВ И РАБОТ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ ОБРАЗОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ СРЕДНЕЙ ШКОЛЫ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

A BRIEF OVERVIEW OF INNOVATIVE APPROACHES AND WORKS IN SOLVING EDUCATIONAL PROBLEMS ON THE EXAMPLE OF A SECONDARY SCHOOL IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

Разное

Various

УДК 001.8/53.05

DOI 10.47639/0130-5522_2023_5_61

Б.И. Иванов , учитель физики, педагог-исследователь КГУ «ОСШ № 3 им. Ю.А. Гагарина», г. Шемонаиха, Восточно-Казахстанская область, Республика Казахстан; boris.ivanov.1951@list.ru	B.I. Ivanov , physics teacher, teacher-researcher of KSU «Gagarin Secondary School No. 3», Shemonaiha, East Kazakhstan region, Republic of Kazakhstan; boris.ivanov.1951@list.ru
Н.Б. Хахулина , к.техн.н., доцент, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж; hahulina@mail.ru	N.B. Khakhulina , PhD (Technical Sciences), Associate Professor of Voronezh State Technical University, Voronezh; hahulina@mail.ru
Ключевые слова: физика, знаниевый подход, компетенция, инновационный подход	Keywords: physics, knowledge approach, competence, innovative approach
Аннотация. В статье приведено сравнение подходов и методик образования и обучения физике в школах России и зарубежных стран. Выделены проблемы современного подхода к обучению в Республике Казахстан и влияние их на мотивацию к обучению детей. Даны практические советы по выходу из этой ситуации. Обосновывается необходимость применения инновационных подходов к преподаванию физики в школе с использованием проектных и научно-исследовательских решений	Abstract. The article presents a comparison of approaches and methods of education and teaching physics in schools of Russia and foreign countries. The problems of the modern approach to education in the Republic of Kazakhstan and their impact on the motivation to teach children are highlighted. Practical advice on how to get out of this situation is given. The necessity of applying innovative approaches to teaching physics at school using design and research solutions is substantiated.

© Иванов Б.И., Хахулина Н.Б., 2023

Новое время эпохи господства инновационного подхода во всех сферах жизни в Республике Казахстан (РК) так же, как и во всех бывших республиках Советского Союза, обострило проблему реформирования системы образования, ориентированной на очень высокий уровень, но не на жизненные потребности

отдельного человека. Система образования должна была стать иной. На смену знаниевого подхода, тщательно разработанного доктором педагогических наук профессором Антониной Васильевной Усовой [1], пришли другие подходы, ориентированные прежде всего на личность обучающегося, на разви-

тие его потенциала и расширение жизненных перспектив. Среди авторов современных подходов к образованию хотелось бы выделить Э.М. Браверман. Ее книги [2, 3] по преподаванию физики дают практические советы при организации деятельности в личностно-ориентированном подходе в современных условиях, развивающие учеников.

В книге Э.М. Браверман «Советы изучающим и преподающим физику и не только. Учимся и учим действовать» представлены материалы, касающиеся мыслительной сферы развития. Главная идея работы автора — сначала узнать, какие образовательные потребности есть у ученика, и только потом составлять план образовательной работы с ним.

При таком подходе возникает необходимость в знании психологии личности, дидактических особенностях работы с ней. Естественно, что никакой ориентации на «среднего» ученика при этом быть не может. Другим ярким представителем инновационного подхода является А.А. Гин, руководитель международной лаборатории образовательной технологии «Универсальный решатель». Цитата из его статьи посвящена мировому экономическому форуму: «...современному миру нужны яркие личности, нужны талантливые учителя. Серость порождает серость, огонь закаляет огонь» [4].

Его книга «Приемы педагогической техники» [4] стала международным бестселлером и выдержала более десяти изданий в странах СНГ. Центральная идея педагогических взглядов А.А. Гина: идеальная дидактика — это ее отсутствие. Ученик сам стремится к знаниям, так что ничто не может ему помешать. Пусть гаснет свет — он будет читать при свечах.

Педагогическое прозрение Гина отражено в следующих строках его книги: «*Есть и достаточно сильная (но непроработанная технологически) идея: обучить, прежде всего, не конкретным знаниям, а способам быстрого и эффективного усвоения знаний — умению учиться. Разработать эту идею*

технологически еще предстоит. На этом пути предстоит сделать немало изобретений» [4, с. 80].

Практической реализацией данного подхода занялись ученые Кембриджского университета Великобритании. Основные положения работ ученых Кембриджского подхода, делегирующего ответственность за образование самому учащемуся, использовала система образования Республики Казахстан при разработке программ реформирования образования. На данный момент мы работаем в системе обновленного содержания образования, стержнем которой является установка на обработку умений учащихся, учиться и учиться на протяжении всей жизни.

Другим инновационным подходом для стран СНГ (а в западном образовательном сообществе он существует довольно давно) является компетентностный подход, в основе которого лежит идея не обеспечивать выпускника хорошим набором знаний и предметных умений, особенно в области естественно-математических дисциплин, а сформировать ключевые компетенции, которые позволят получить опыт применения знаний и умений в конкретных жизненных ситуациях. Компетентностный подход занял прочное место в современной системе образования ряда развитых стран мира, в том числе в РФ и РК.

Если говорить более подробно о его роли, то необходимо обратиться к статье [5]. В работе был проанализирован с позиции компетентностного подхода опыт проектной и научно-исследовательской работы учащихся на уроках и во внеурочное время по физике, географии, биологии. Конкретно в научной работе [5] проведен анализ личного опыта автора (Б.И. Иванова) по исследовательским работам учащихся с 1998 по 2019 гг. В статье делается однозначный вывод о том, что, подводя промежуточный итог (педагогической) работы, можно уверенно сказать, что проектная научно-исследовательская деятельность в школьном возрасте дает толчок для дальнейшего развития личности. Про-

ектная и исследовательская деятельности — средства саморазвития школьников. А самая главная задача педагога — научить их мыслить, творить и созидать.

В итоге у каждого ученика своя судьба, кто-то продолжил исследовательскую деятельность, кто-то резко поменял направление, но то, что было заложено в них в школьные годы, дает возможность не потеряться в нынешнем сложном мире.

Особняком в этом процессе стоят школьные задачи по физике. Согласно классификации А.А. Гина их можно разделить на закрытые и открытые задачи. Закрытые задачи — это типичные школьные задачи по физике, где четко сформулированы условия и требования к ответу. Задачи данного типа требуют интеллектуальных усилий и знаний предмета. Открытые задачи — это задачи с неполным условием, множеством решений и несколькими ответами.

Задачи этого типа требуют креативного подхода и более востребованы в реальной жизни. А.В. Усовой был разработан знаковый подход для решения закрытых задач по физике [1]. Автор данных строк использовал и использует этот подход в своей педагогической деятельности. В его основе лежат следующие положения логико-генетического анализа структуры знаний. Можно выделить следующие основные элементы системы знаний:

- а) научные факты;
- б) понятия о структурных формах материи, о явлениях, о свойствах тел и величинах, их характеризующих, о методах научного исследования;
- в) законы;
- г) теории;
- д) практическое приложение теоретических знаний, технологические процессы, приборы и установки, основанные на изучаемых явлениях и законах;
- е) научная картина мира.

Еще одной мотивацией написания данной статьи послужила озабоченность тем, что в обновленном содержании образова-

ния, практикуемом в школах Республики Казахстан, очень много места уделяется различным формам обучения, их перечень займет не одну страницу. Все они достойны применения и уважения, но они вытесняют физическое содержание предмета. Общение с молодыми учителями физики показало, что они в совершенстве владеют компьютером, могут создать нужную программу и найти необходимую информацию по содержанию, но задачи решают плохо. Они слабо владеют физическими понятиями и не применяют их при решении задач, пренебрегая физическим экспериментом, мало ставят опытов, заменяя это все компьютерными презентациями и виртуальными иллюстрациями. Наверное, это приемлемо в эпоху пандемий, да и то только отчасти. Автор при удаленном формате образования использовал видеодемонстрации опытов, собранных собственными руками, а при выходе на реальное образование собирал коробки с оборудованием и проводил фронтальный эксперимент, а дети собственными руками добывали крупицы опыта, а не просто созерцали бездумно то, что было создано другими.

У молодых учителей во главу поставлена проблема заработной платы, жилья и жизненных перспектив, а проблема профессионального самоопределения стоит где-то в конце этого перечня. Это очень сильно влияет на отношение учащихся к учебе, и так достаточно слабо мотивированных реалиями сегодняшнего дня массовой общеобразовательной школы.

Хорошим примером использования знакового подхода при обобщении и систематизации учебного материала темы перед практической работой по решению задач является технология с использованием элементов игры «Да — нет».

Приведем конкретный пример (физика 10 класс). Завершение темы «Электростатика», подготовка к решению задач на взаимодействие двух заряженных шаров, подвешенных на нитях.

Лист тетради делится на две половины вертикальной чертой (1-я половина — «ДА», 2-я половина — «НЕТ») и объявляются правила игры. Они просты. Ученик задает косвенный вопрос, характеризующий либо явление, либо процесс, либо физическую величину, либо прибор, которым пользовался учитель в процессе изучения темы. Задача учителя — объявить, какому структурному элементу системы знаний будет посвящен фрагмент игры.

Например, учитель объявляет, что он разыгрывает понятие, связанное с изучаемой темой. Естественно, само понятие не озвучивается, но имеется в памяти учителя. Например, понятие «электрическое поле». Фраза учителя: «Я задумал понятие, связанное с изученной темой, прошу задавать вопросы, связанные с этим понятием». Ученикам разрешается пользоваться рабочей тетрадью. Возможные варианты вопросов учащихся следующие.

1. Оно связано с процессом трения? В качестве утвердительного ответа учитель ставит знак плюс на доске под словом «да».

2. Оно имеет обозначение? В качестве отрицательного ответа учитель ставит знак плюс на доске под словом «нет».

Игра идет до трех утвердительных и трех отрицательных ответов. После этого приглашаются учащиеся для того, чтобы проанализировать все положительные, все отрицательные ответы и дать правильный ответ. Как правило, положительный ответ оценивается в 2 балла, отрицательный остается без оценивания. Таким образом, можно пройти по всем элементам структуры знаний. Наш опыт говорит о том, что эта игра вызывает живой интерес и желание изучать предмет.

Очень серьезные дидактические задачи учат систематизировать учебный материал, анализировать факты, сопоставлять разные стороны одного и того же явления, процесса, физической величины, понятия, закона и т.д. Кроме этого, идет глубокое повторение учебного материала, темы в живой и нена-

вязчивой форме. После такой игры, а она длится не более 10-15 минут, приступаем к обсуждению условия задачи по взаимодействию двух шаров, подвешенных на нитях.

Подобное мы стараемся проводить во всех классах, в особенности в седьмых и восьмых, дети которых очень быстро увлекаются игрой, да и структурные элементы знаний у них еще свежи с первых уроков физики седьмого класса. К девятому и, особенно, к десятому классам, учащиеся четко знают, что такое «явление», отличают его от «процесса», усваивают суть термина «понятие», имеют представление о законах, как существенных и необходимых связующих физических величин, характеризующих тот или иной физический процесс или явление.

Литература

1. Усова А.В. Психолого-дидактические основы формирования физических понятий: учебное пособие к спецкурсу. — Челябинск: Челяб. гос. пед. ин-т, 1988. — 90 с.

2. Браверман Э.М. Советы изучающим и преподающим физику и не только. Учимся и учим действовать: пособие для учителей и методистов. В 3 книгах / Сост. и под ред. Э.М. Браверман. — М.: Академия АПК и ППРО, 2009. Кн. 1.

3. Преподавание физики, развивающее ученика: пособие для учителей и методистов. Кн. 2. Развитие мышления: общие представления, обучения мыслительным операциям / Сост. и под ред. Э.М. Браверман. — М.: Ассоциация учителей физики, 2005. — 272 с.

4. Гин А.А. Приемы педагогической техники: Свобода выбора. Открытость. Деятельность. Обратная связь. Идеальность: пособие для учителя. — Вита-Пресс, 2006. — 112 с.

5. Khakhulina N.B., Trukhina N.I., Ivanov B.I. The role of competence approach in formation of functional literacy of learners // 7th International Conference On Education And Social Sciences. Abstracts & Proceedings, 2020. — P. 128–133.

Дата поступления рукописи (Received): 09.04.2023.

Опубликовано (Published): 18.07.2023.

«АстроФест» — 2023



Детям были предложены интересные творческие занятия, подкрепляющие полученные теоретические знания, а на улице они могли поиграть в веселые игры.



С наступлением темноты для детей проводилась «Экскурсия по звездному небу» — небольшая лекция на наблюдательной площадке с показом основных созвездий, звезд, других объектов.

ПОДПИСКА 2024. I 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

P1611

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

Подписной индекс

P4996

ВНИМАНИЕ!

Комплекты журналов
со скидкой

«ФИЗИКА
В ШКОЛЕ»
и
«ФИЗИКА ДЛЯ
ШКОЛЬНИКОВ»
Подписной
индекс — P4996



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 • Руконт - rucont.ru • eLIBRARY.RU – Научная электронная библиотека

○ Подписка на электронные версии печатных журналов оформляется на сайте 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

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

ISSN 0130-5522



05

9 770130 552236

Физика в школе, 2023, № 5, 1–64

ISSN 0130-5522

