

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

6 2023

ФИЗИКА В ШКОЛЕ



Вильгельм Рентген и его чудодейственные лучи

**Лабораторное исследование как способ
достижения метапредметных результатов**

Раздел «Астрономия»

**Компьютерное моделирование сил притяжения
к планетам**

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

Рисунки к статье Д.Л. Харичевой «Применение гибридной модели обучения на уроках физики»



Рис. 5. Оборудование для трансляции зоны демонстрационного стола и блок управления для проведения видеоконференций

Рис. 6. Интерактивная доска — основной экран для трансляции зоны демонстрационного стола



Рис. 7. Ознакомительный этап гибридного занятия по дисциплине «Избранные вопросы физики»



а)



б)

Рис. 9. Основной этап занятия — подготовка демонстрационного эксперимента командами студентов: а) трансляция интерактивной доски с демонстрационным столом и монитором подключившихся студентов онлайн; б) монитор, передающий изображение демонстрационной зоны на домашние компьютеры студентов



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

СТРАНИЧКИ ИСТОРИИ (HISTORY PAGES)

- **А.В. Овчаров, П.Д. Голубь**
Вильгельм Рентген и его чудодейственные лучи 3

МЕТОДИКА. ОБМЕН ОПЫТОМ (METHODOLOGY. EXCHANGE OF EXPERIENCE)

- **В.В. Майер, Е.И. Варакина**
Градуировка школьного демонстрационного электрометра 9
- **А.О. Белоусов**
Алгоритм деятельности учителя по формированию мотивации совместной деятельности в конвергентном физическом образовании 17

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ (PEDAGOGICAL TECHNOLOGIES)

- **Д.Л. Харичева**
Применение гибридной модели обучения на уроках физики. 27
- **С.А. Ловягин**
Лабораторное исследование как способ достижения метапредметных результатов. 36

ЭКСПЕРИМЕНТ (EXPERIMENT)

- **Е.К. Титаева, О.В. Лебедева, Е.Л. Ким**
Практикум по росту кристаллов как одно из средств профессионального самоопределения школьников 45
- **Н.А. Парфентьева, Н.А. Парфентьев**
Труба Рубенса (принцип действия). 49

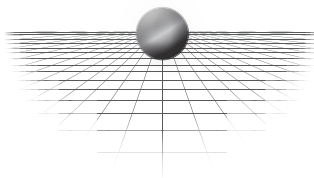
ЗАДАЧИ И ВОПРОСЫ (TASKS AND QUESTIONS)

- **А.М. Кириллов**
«Треугольник» или поиск КПД термодинамического цикла 52

АСТРОНОМИЯ (ASTRONOMY)

► **П.И. Совертков**

Компьютерное моделирование сил притяжения к планетам 57



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
Милинский 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

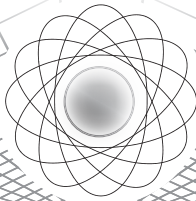
Формат 84×108/16. Усл. п. л. 4,0. Изд. № 3793. Заказ

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, № 6



ВИЛЬГЕЛЬМ РЕНТГЕН И ЕГО ЧУДОДЕЙСТВЕННЫЕ ЛУЧИ

WILHELM X-RAY AND HIS MIRACULOUS RAYS

Научная статья

Scientific article

УДК 372.853

DOI 10.47639/0130-5522_2023_6_3

А.В. Овчаров , д.п.н., профессор, заведующий кафедрой технологических дисциплин, Алтайский государственный педагогический университет, г. Барнаул; oav.ovcharov2010@yandex.ru	A.V. Ovcharov , DrSci (Pedagogy), professor, head of the Department of Technological disciplines of Altai state pedagogical University, Barnaul; oav.ovcharov2010@yandex.ru
П.Д. Голубь , к.ф.-м.н., профессор, Алтайский государственный педагогический университет, г. Барнаул; golubpd@yandex.ru	P.D. Golub , PhD (Physics and Mathematics), professor, Altai state pedagogical University, Barnaul; golubpd@yandex.ru
Ключевые слова: Вильгельм Рентген, сведения, относящиеся к истории открытия X-лучей, малоизвестные факты из биографии Рентгена	Keywords: Wilhelm Roentgen, information, deep knowledge of the history of the discovery of X-rays, little-known facts from the biography of Roentgen
Аннотация. Статья посвящена памяти выдающегося физика-экспериментатора, лауреата первой Нобелевской премии по физике В. Рентгена, открывшего для человечества новый вид излучения — X-лучи. Авторы статьи в хронологическом порядке прослеживают историю этого открытия, которое сейчас носит название «рентгеновские лучи». Собран и выстроен в логическую схему обширный фактический материал, освещающий ту роль, которую оказал этот ученый на дальнейшее развитие физической науки	Abstract. The article is dedicated to the memory of the outstanding experimental physicist, winner of the first Nobel Prize in Physics V. Roentgen, who discovered a new type of radiation for mankind — X-rays. The authors of the article chronologically trace the history of this discovery, which now is called «X-rays». The authors have collected and arranged into a logical scheme extensive factual material highlighting the role that this scientist had on the further development of physical science

© Овчаров А.В., Голубь П.Д., 2023

В 2023 году ученый мир отметит печальную дату — сто лет со дня смерти великого ученого-физика Вильгельма Конрада Рентгена.

Известный всему миру немецкий физик-экспериментатор, лауреат первой Нобелевской премии по физике (1901), открыватель чудодейственных X-лучей, названных позднее его именем, В. Рентген родился 27 марта 1845 г. в небольшом городке Лене в Пруссии.

Он был единственным сыном в семье, его

отец владел небольшой суконной фабрикой, а мать происходила из богатой голландской семьи. Именно мать — образованная и культурная женщина — оказывала благотворное влияние на будущего ученого.

В гимназии Рентген учился посредственно и даже был исключен из нее за то, что не выдал одноклассника, нарисовавшего карикатуру на нелюбимого учителя. Не получив аттестата зрелости, он поступил в Цюрихский политехнический институт (туда принимали без аттестата). На первых порах Рентген си-

стематически наукой не занимался, однако на старших курсах его способности рассмотрел преподаватель физики — талантливый экспериментатор Кундт, который и увлек Рентгена предметом, оставив его работать у себя на кафедре ассистентом.

Изучая особенности катодных лучей, Рентген часто засиживался допоздна в своей лаборатории, оборудованной в основном самодельными приборами. В очередной раз он задержался в лаборатории 8 ноября 1895 г., в тот вечер и состоялось главное открытие в его научной жизни. Он, было уже, собрался уходить домой, но обнаружил, что светится один из экранов на демонстрационном столе. Оказалось, что катодная трубка, закрытая чехлом, осталась не выключенной. Но чехол трубки был непроницаем для катодных лучей, кроме того, они пронизывали лишь небольшую толщу воздушного слоя (не более 10 сантиметров), значит причиной свечения экрана, покрытого платино-синеродистым барием, являются не катодные лучи, а какое-то новое неизвестное еще излучение. Более того, оно обладало невероятно высокой проникающей способностью — просвечивало чехол, двухметровую толщу воздуха (на таком расстоянии находился экран от трубки), деревянную болванку, книгу толщиной около 1000 страниц, а когда на его пути оказалась рука Рентгена, то он увидел отчетливое изображение костей и даже изображение кольца на пальце.

Опытный исследователь (Рентгену в то время было уже 50 лет) понял, что он стоит на пороге важного открытия. Осторожный в своих выводах, он сначала сомневался в этом. В беседе с одним из своих коллег Рентген сообщал: *«Я нашел что-то интересное, но пока не знаю, верны ли мои наблюдения»* [1]. Чтобы удостовериться в правоте своих мыслей, он, оставив все — студентов, дом, институтские дела — на протяжении семи недель практически не выходил из лаборатории, проводя всестороннее изучение свойств открытых им X-лучей (так он их назвал в своей первой статье по этой темати-

ке). В результате исследований он пришел к выводу, что X-лучи не идентичны катодным лучам, но возбуждаются ими в стеклянных стенках разрядной трубки. В последующих экспериментах он обнаружил, что помимо стекол X-лучи возбуждаются и в металлах. Сам он отмечал: *«Не оказалось ни одного твердого тела, которое под действием катодных лучей не возбуждало бы X-лучей»*. Сравнивая свойства открытых им лучей со свойствами других известных излучений, Рентген установил, что *«они ведут себя иначе, чем ультрафиолетовые, видимые и инфракрасные лучи»* [2].

Его жена Берта была вхожа в лабораторию Рентгена во время проведения им опытов с X-лучами, приносила ему еду и передавала новости, произошедшие за стенами лаборатории. Описывая состояние мужа, она сообщала родственникам в те дни, что с ним происходит что-то невероятное и что она серьезно обеспокоена его здоровьем. Рентген сфотографировал в X-лучах кисть ее руки и показал ей полученный снимок. Женщина была настолько потрясена увиденным, что с ужасом воскликнула: *«Я видела свою смерть!»*. Именно этот снимок, приложенный к статье об открытии нового излучения и его огромной проникающей способности, обошел большинство научных журналов Европы. Таким образом, Рентгена можно смело считать первым рентгенологом, получившим снимки костей человека *«без мяса»*. И не случайно ему была присвоена ученая степень доктора медицины.

Однако на первых порах не все складывалось гладко с опубликованием Рентгеном своего открытия. Первый раз он отправил 28 декабря 1895 г. (именно этот день вошел в историю физики как официальная дата открытия рентгеновских лучей) свою рукопись под названием *«Über eine neue Art von Strahlen»* («О новом виде лучей») для опубликования в «Трудах» Вюрцбургского физико-медицинского общества, но она была отклонена. Тогда 1 января 1896 г. он разослал свою статью с фотографиями

рентгеновского изображения руки жены, где отчетливо просматривались кости пальцев вместе с кольцом на одном из них, по 90 адресам своим коллегам-физикам. Так ученый мир узнал об эпохальном открытии нового вида излучения.

И все-таки публикация статьи Рентгена не заставила себя долго ждать. Этому событию способствовал неожиданный случай. Уже 4 января 1896 г. на один из званных вечеров был приглашен ученый-физик, который к тому времени не только ознакомился с рукописью Рентгена, но и был восхищен его открытием настолько, что носил с собой и статью, и приложенный к ней рентгеновский снимок «руки Берты». Все это он продемонстрировал собравшимся участникам вечера. Среди присутствующих находился гость из Праги. Пораженный увиденным, он попросил показанные физиком материалы и дома показал их отцу — редактору крупнейшей венской газеты. И уже утром следующего дня на первой ее полосе появилось сообщение об исследованиях Рентгеном X-лучей под названием «Сенсационное открытие». Это сообщение в последующие дни было перепечатано многими газетами мира. Так о рентгеновских лучах стало известно всему человечеству.

Известие об X-лучах вызвало небывалый интерес не только ученых, но и простых, далеких от физики людей. Каждое научное общество считало за честь принять у себя Рентгена с сообщениями о своем открытии, а самое главное, воочию увидеть демонстрацию столь чудодейственных лучей. Их автор слыл малообщительным человеком, но все же 23 января 1896 г. согласился выступить с лекцией на заседании все того же Вюрцбургского физико-медицинского общества, в ходе которой он не только продемонстрировал высочайшее проникающее действие X-лучей, но и с помощью их сделал снимок кисти руки самого председателя этого общества — профессора анатомии Альберта фон Келликера. Доктор фон Келликер, восхищенный результатами

опытов с X-лучами, предложил назвать их рентгеновскими. Присутствующие в лаборатории встретили это предложение бурными овациями. С тех пор открытые Рентгеном лучи носят его имя [3].

Во многих источниках по истории физики отмечается случайный характер открытия рентгеновских лучей. На наш взгляд, такое однозначное утверждение является не совсем корректным. Действительно, этому открытию способствовало немало случайностей, однако сам Рентген в беседе со своим коллегой из Англии говорил: «*Я искал невидимые лучи. Я полагал, что платиноси-неродистый барий окажется подходящим веществом, чтобы продемонстрировать невидимые лучи, которые могли исходить из трубки*» [4]. В свете этого высказывания можно сделать вывод о том, что Рентген сознательно искал X-лучи, а путь, приведший его к столь великому открытию, представляется закономерным результатом многолетнего исследования катодных лучей, сопровождаемый целой цепочкой случайностей.

В истории науки негласно действует закон «созревания» открытий, наступает время, когда открытие должно быть сделано. Этот закон можно применить и к открытию X-лучей, поскольку оно уже «*вitalo в воздухе*». Дело в том, что катодные трубки использовались в экспериментах еще за 40 лет до исследований Рентгена, и эффекты, связанные с воздействием этих лучей, физиками уже наблюдались. Например, французский физик Антуан Масон еще в 1853 г. при изучении высоковольтного разряда в газе при низких давлениях наблюдал его красноватое свечение, что может быть вызвано рентгеновскими лучами. А за 11 лет до Рентгена преподаватель физики Бакинского реального училища Е.С. Каменский обнаружил лучи, способные оказывать фотохимическое действие. Позднее он даже пытался оспорить приоритет Рентгена на открытые им X-лучи, но комиссия Академии Наук не усмотрела для этого достаточных оснований. Обнаружены

также дневниковые записи знаменитого ученого Н. Тесла, который еще в 1887 г. описал лучи, подобные рентгеновским, но не придавал им серьезного значения. И наконец, в экспериментах с катодными лучами в трубке Крукса известный немецкий физик Г. Герц вместе со своим учеником Ф. Ленардом обнаружили лучи, вызывающие почернение фотопластинок, находящихся в упаковке непроницаемой для катодных лучей. Следовательно, рентгеновское излучение могло быть открыто и другими учеными, но только Рентген — опытный физик-экспериментатор — первым провел, всесторонне исследовал и научно описал открытые им X-лучи.

Рентген был весьма немногословным человеком и мало пишущим ученым. Им опубликовано всего 25 статей, и только три из них посвящены X-лучам. Это объясняется его требовательностью к законченности своих исследований и четкому пониманию их результатов. В противном случае работа считалась им незаконченной, а все незаконченные работы, согласно его завещанию, были сожжены. И тем не менее, скрупулезность, тщательность и всесторонность экспериментов сослужили добрую службу ему в вопросе о приоритете открытия X-лучей. Ведь попытку оспорить первенство в открытии невидимых лучей еще при жизни Рентгена предпринял его соотечественник Ф. Ленард, причастный своими работами к открытию электрона, который посчитал наблюдения им вместе с упомянутым уже Г. Герцем почернения фотопластинок достаточным основанием для того, чтобы приписать себе приоритет в открытии X-лучей. Более того, этот физик, разделявший идеологию фашизма, потеряв скромность (а по большому счету, и совесть), назвал X-лучи ленардовыми лучами. Однако ни публикаций, ни сообщений об этом открытии у Ленарда не было. Рентген же свое право на открытие подтвердил журнальными статьями и письменными сообщениями в большинстве научных центров Европы.

Уязвленный таким вероломством, Рентген запретил произносить слово «электрон» в своей лаборатории. (Попытайтесь объяснить механизм возникновения рентгеновских лучей и их спектры без понятия «электрон»!?) Этот запрет длился около 10 лет. И только усилиями российского ученого А.Ф. Иоффе, лучшего ученика Рентгена, измерившего удельный заряд электрона, запрет на «электрон» Рентгеном был отменен.

Труды Рентгена вызвали широчайший резонанс в ученом мире и высоко оценены физиками многих стран. Не остались в стороне и российские физики. Так, в январе 1896 г. в Петербурге была опубликована его брошюра на русском языке под названием «Новый род лучей», а в конце того же месяца известный русский физик — изобретатель радио — А.С. Попов собрал первую в нашей стране рентгеновскую установку, используя которую повторил опыты Рентгена, получив первую в России рентгенограмму. Подобную работу в Москве проделал другой известный русский физик П.Н. Лебедев. Российские физики с глубочайшим уважением относились к Рентгену и как к великому ученому, и как к личности в целом. По их инициативе память Рентгена была увековечена памятником, установленным в Ленинграде в 1920 г.

Как уже отмечалось, автор открытия X-лучей описал их свойства лишь в трех своих статьях, считая, по-видимому, что он их изучил достаточно полно. Однако интерес к изучению рентгеновского излучения со временем только возрастал, и это дало возможность обнаружить ряд его новых свойств, весьма важных для физики и для науки в целом. В 1912 г. немецкие физики во главе с Максом Лауэ установили, что прохождение рентгеновских лучей через кристаллы сопровождается их дифракцией. Наблюдаемое явление подтвердило утверждение о волновой природе рентгеновского излучения. Известно [5], что явление дифракции возможно лишь при условии, когда длина

волны излучения не превышает двойного размера постоянной решетки. А так как X-лучи дифрагируют лишь на кристаллах, то их длина волны должна быть соизмеримой с межатомным расстоянием кристаллической решетки. Значение длины волны рентгеновских лучей можно определить, используя уравнение Вульфа–Брэгга для их дифракционных максимумов. В настоящее время с точки зрения классической физики доказано, что рентгеновское излучение представляет собой электромагнитные волны с длиной волны порядка 10^{-10} метра.

Таким образом, установлено, что взаимодействие этого вида излучения носит электромагнитную природу. Далее было выявлено два вида рентгеновского излучения — тормозное со сплошным спектром и характеристическое с линейчатым спектром, а тот факт, что амплитуда рассеяния рентгеновских лучей на электронных оболочках атомов возрастает с увеличением порядкового номера элемента, позволил французскому физiku Мозли в 1913 г. установить зависимость между длиной волны (частотой характеристического излучения) и атомным номером элемента. Линейчатые спектры и закон Мозли объясняются лишь в рамках квантовой теории, т.е. рентгеновское излучение проявляет не только волновые свойства, но и квантовые. Данный факт следует воспринимать как еще одно доказательство корпускулярно-волнового дуализма, имеющего место быть не только в физике, но и в природе в целом.

В 1915 г. английские физики отец и сын Брэгги были отмечены Нобелевской премией за разработку основ рентгеноструктурного анализа, представляющего собой методы анализа внутренней структуры вещества с использованием явления дифракции рентгеновских лучей. Ныне рентгеноструктурный анализ нашел широкое применение в кристаллографии и биохимии, а также на промышленных предприятиях для обнаружения дефектов в металлических изделиях. Однако свое первое применение рентге-

новские лучи нашли в медицине — уже с 20 января 1896 г. американские врачи стали использовать рентгеновское излучение для анализа переломов костей человека. Так возникла рентгенодиагностика. Она появилась еще до завершения изучения всех свойств X-лучей. Об этом писал английский физик Шустер: *«Моя лаборатория была наводнена врачами, приводившими своих пациентов, подозревающих, что они имеют иголки в различных частях тела»*. Затем стала развиваться рентгенотерапия, призванная бороться с опухолевыми образованиями, например, для уничтожения раковых клеток при эндокринных заболеваниях. С развитием компьютерной техники были созданы системы «рентгеновская установка — компьютер», положившие начало компьютерной томографии.

При помощи рентгеновских лучей проводятся исследования внутренних слоев шедевров искусства — старинных картин при их реставрации. Эксперты получили возможность точно определять подлинность картин, выявлять отличия драгоценных камней от подделок. Рентгеновские установки, используемые на таможенных постах и аэропортах, в различных общественных местах, позволили просвечивать чемоданы и сумки, не вскрывая их. Это важно для обнаружения контрабандных товаров, взрывчатых веществ и других запрещенных для провоза предметов. Со временем область применения рентгеновских лучей неуклонно расширяется. Возникло даже новое научное направление — рентгеновская астрономия, призванное проводить исследования ближнего и дальнего космоса, изучать «черные дыры». Для этих целей создаются специальные приборы и оборудование — рентгеновские телескопы. Например, на ранее работающей в космосе орбитальной станции «Салют-4» были установлены такие телескопы (РТ-4 и «Филин»).

Несмотря на то, что на глазах у Рентгена рушились старые представления физики, его мировоззрение целиком принадлежало

классической физике. Он высоко ценил лучших представителей новой физики Резерфорда, Эйнштейна, Бора, но сам держался в стороне от нее, хотя собственное его открытие обогатило как раз новую физику.

В жизни Рентгена поражает его исключительная скромность. Он не придавал значения славе, почестям и деньгам. Несмотря на весьма выгодные предложения, он отказался от патентного права на применение X-лучей, отказался от орденов, отказался от дворянского звания, дающего права прибавления к его фамилии приставки «фон». Он принял только Нобелевскую премию, присужденную ему в 1901 г. Когда он, первый лауреат Нобелевской премии по физике, в годы первой мировой войны оказался в крайне стесненном материальном положении, его друзья из Голландии присылали голодающему ученому масло и сыр, но он отправлял посылки в пункты общественного распределения, так как не мог позволить себе личное благополучие в обстановке бедствия своего народа. Только явная угроза голодной смерти заставила его согласиться на дополнительный паек.

Как преподаватель института он был строгим, но справедливым. Однажды злостный прогульщик сдавал ему экзамен по физике в Мюнхенском университете. Первый заход оказался неудачным, со второго захода студент сумел назвать фамилии лекторов, на что Рентген удовлетворенно заметил: *«Сегодня у нас дела продвинулись. Вы уже знаете фамилии профессоров, лекции которых слушали. Теперь учите сами лекции»* [6].

По политическим воззрениям Рентген был либералом и противником монархии. Он протестовал против царившего в Германии шовинизма, возмущался тем, что в немецких концлагерях пленные гибли от тифа, болезненно переживал рост антисемитизма, осуждал всякие проявления расизма. Когда коричневая чума фашизма захлестнула Германию, имя Рентгена стало мишенью для нападок. К тому времени он умудрился заслужить немилость самого

кайзера Германии Вильгельма II. Инцидент произошел в Мюнхенском музее, где Рентген показывал Вильгельму экспонаты. В ответ кайзер стал весьма посредственно объяснять Рентгену содержание отдела артиллерии, знатоком которой он себя считал. Рентген, будучи принципиальным и честным человеком, прямо заметил, что все это давно и хорошо известно и содержит мало интересного. Оскорбленный кайзер ушел, не прощаясь, и на всю жизнь возненавидел Рентгена.

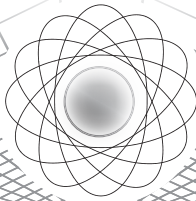
Суровый и замкнутый от природы Рентген с годами становился все менее общительным. Он не участвовал в научных съездах, очень мало и неохотно выступал с докладами, лекции его были сухими и скучными. Своей школы он не создал, с учеными-физиками, в том числе и известными всему миру, его отношения остались сугубо деловыми.

В 1919 г. умерла его жена, в этом же году он ушел в отставку и остался совершенно один (детей у Рентгена не было). С этой поры он вел практически отшельнический образ жизни. 10 февраля 1923 г. в возрасте 78 лет Рентген умер, умер от болезни, вызванной открытым им же излучением — X-лучами. В память о себе он оставил потомкам свое бессмертное открытие.

Литература

1. *Левшин Л.В.* Сергей Иванович Вавилов. — М.: Просвещение, 1970.
2. *Арлазоров М.М.* Фронт идет через КБ. — М.: Знание, 1969.
3. Литературная газета от 25 июня 1984 года.
4. 220 лет Академии Наук СССР. Т. I. — М.-Л., 1945.
5. *Яворский Б.М., Детлаф А.* Справочник по физике. — М.: Наука, 1979. — 942 с.
6. *Лебедев А.А.* Из воспоминаний о С.И. Вавилове // В кн.: Труды Института истории естествознания и техники. Т. I. — М., 1957.

Дата поступления рукописи (Received): 03.03.2023.
Опубликовано (Published): 17.08.2023.



ГРАДУИРОВКА ШКОЛЬНОГО ДЕМОНСТРАЦИОННОГО ЭЛЕКТРОМЕТРА

GRADUATION OF SCHOOL DEMONSTRATION ELECTROMETER

Научная статья

Scientific article

УДК 372.853

DOI 10.47639/0130-5522_2023_6_9

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, Glazov State Pedagogical Institute named after V.G. Korolenko, the Udmurt Republic, Glazov; varaksina_ei@list.ru
Ключевые слова: школьный демонстрационный электрометр, градуировка по напряжению, конденсаторный умножитель, градуировка по заряду	Keywords: school demonstration electrometer, voltage calibration, capacitor multiplier, charge calibration
Аннотация. В статье приведены результаты исследования проблемы повышения доказательности учебных опытов, в которых применяется школьный демонстрационный электрометр. Подробно рассмотрены и проанализированы варианты его градуировки по напряжению и заряду. Градуировка электрометра необходима для измерения электрических зарядов, потенциалов и напряжений. Она позволяет установить связь между реальными физическими явлениями и многочисленными учебными задачами по электростатике	Abstract. The article presents the results of a study of the problem of increasing the evidence of educational experiments in which a school demonstration electrometer is used. The variants of its voltage and charge calibration are considered and analyzed in detail. Electrometer calibration is necessary to measure electric charges, potentials and voltages. It allows us to establish a connection between real physical phenomena and numerous educational tasks in electrostatics

© Майер В.В., Вараксина Е.И., 2023

Насколько нам известно, современные школьники примерно в 7 классе учатся градуировать мензурку и динамометр. Больше о градуировке физических приборов на протяжении следующих четырех лет изучения физики в школе ни они, ни их учитель не вспоминают. Между тем градуировка — важнейший этап создания измерительно-

го прибора. Количественное изучение физических явлений предполагает обучение школьников простейшим способам проверки правильности градуировки используемого прибора. Еще более важной задачей является градуировка тех измерительных приборов, шкалы которых не отградуированы или вообще отсутствуют.

В настоящей статье обобщены результаты многолетней работы по поиску таких способов градуировки школьного демонстрационного электromетра [1; 2, с. 300–301; 3, с. 61–83; 4, с. 22–52], которые могут быть использованы непосредственно на уроках [5, с. 277–330]. Все приведенные здесь рекомендации проверены авторами и их учениками в реальных учебных процессах средней школы и педагогического ВУЗа.

1. Самый простой способ градуировки демонстрационного электromетра

Оборудование: 1) высоковольтный источник постоянного напряжения, снабженный плавным регулятором и измерителем величины этого напряжения; 2) школьный демонстрационный электromетр; 3) многожильные гибкие провода в хлорвиниловой изоляции с «крокодилами».

Регулятор напряжения высоковольтного источника поворачивают в крайнее левое положение и включают питание прибора. Убеждаются, что источник дает регулируемое высоковольтное напряжение и устанавливают его на нуль. Клеммы источника проводами соединяют с корпусом и стержнем электromетра. Плавно повышая напряжение, производят градуировку шкалы этого прибора. По отклонению стрелки до максимального деления шкалы определяют предел измерения электromетра (рис. 1).

При выполнении этого эксперимента логично сначала собрать установку по нарисованной на доске принципиальной схеме, затем регулятор напряжения прибора установить на нуль и только после этого включить питание высоковольтного источника. Однако такая последовательность действий с имевшимся в нашем распоряжении высоковольтным источником приводит к кратковременному скачку напряжения, который резко отбрасывает стрелку электromетра до упора. В результате электromетр может быть выведен из строя.

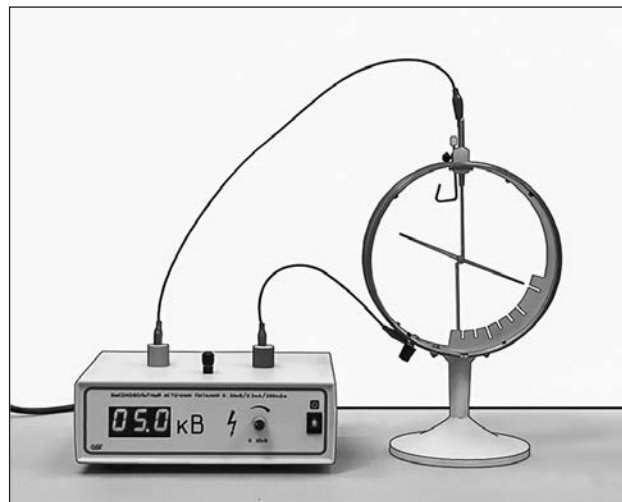


Рис. 1. Градуировка демонстрационного электromетра с помощью высоковольтного источника напряжения

2. Конденсаторный умножитель напряжения

Оборудование: 1) школьный демонстрационный электromетр; 2) батарея на 9 В — «Крона», 9V 6F22; 3) лампа накаливания — 6,3 В $\times$ 0,3 А; 4) неоновая лампа ВМН-2 или любая другая с напряжением зажигания 60–100 В; 5) конденсаторы емкостью 0,01 мкФ $\times$ 630 В — 10 шт; 6) пластинка изолона размером примерно 8 $\times$ 35 $\times$ 190 мм; 7) полиэтиленовые стяжки — 4 шт.

Подключают на мгновение к батарее на 9 В маломощную лампу накаливания на 6,3 В и показывают, что при этом лампа ярко вспыхивает. Теперь эту же батарею соединяют с неоновой лампой — никакого свечения нет.

Объясняют результат опыта тем, что напряжение зажигания неоновой лампы значительно превышает напряжение батареи.

Спрашивают: как с помощью перечисленного оборудования добиться загорания неоновой лампы?

Нетрудно сообразить, что при последовательном соединении n одинаковых конденсаторов, заряженных до одного и того же

напряжения U_0 так, чтобы они складывались, на выводах этой конденсаторной батареи напряжение U будет в n раз больше, чем напряжение на каждом конденсаторе: $U = nU_0$. Показывают, что это действительно так.

Для этого используют цепочку спаянных выводами конденсаторов, закрепленную полиэтиленовыми стяжками на вырезанной из изолона полоске так, как это показано на рисунке 2.

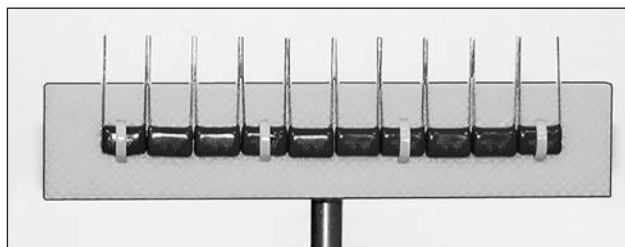


Рис. 2. Конденсаторный умножитель напряжения из 10 конденсаторов

Один за другим заряжают конденсаторы получившегося *умножителя напряжения* от батареи на 9 В так, чтобы минус следующего конденсатора соединялся с плюсом предшествующего. Подключают один электрод неоновой лампы к крайнему выводу умножителя, а другим последовательно касаются выводов первого, второго и т.д. конденсаторов. Внезапно при соединении с k -м конденсатором неоновая лампа на мгновение вспыхивает.

Это означает, что через нее разрядились k последовательно соединенных конденсаторов. Таким образом, конденсаторный умножитель действительно работает и позволяет грубо оценить, например, напряжение зажигания U_3 неоновой лампы: $U_3 \approx kU_0$.

Пробуют напряжение с конденсаторного умножителя подать на демонстрационный электрометр. Стрелка прибора при этом даже не шелохнется. Значит, электрометр реагирует на гораздо более высокие напряжения.

3. Использование школьного блока питания

Оборудование: 1) школьный демонстрационный электрометр; 2) блок питания (выпрямитель) типа ВУП-2; 3) мультиметр типа DT9205A; 4) конденсаторный умножитель напряжения; 5) неоновая лампа ВМН-2 или любая другая с напряжением зажигания 60–100 В; 6) постоянные резисторы сопротивлением $R_1 = 1$ МОм, $R_2 = 43$ кОм и мощностью не ниже 1 Вт.

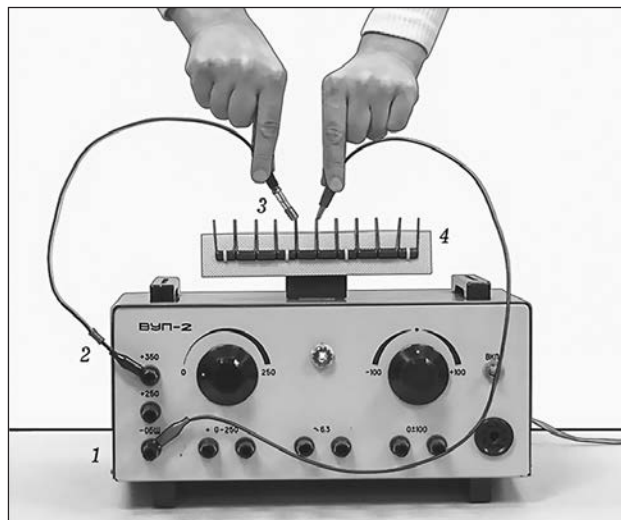


Рис. 3. Применение блока питания ВУП-2 для зарядки конденсаторов умножителя напряжения. Неоновая лампа 3 своими вспышками показывает только то, что конденсаторы заряжаются, поэтому ее применение не обязательно

Экспериментальное исследование показало, что школьный демонстрационный электрометр не реагирует на напряжения порядка 10 и 100 В. Значит, нужно увеличить подаваемое на него напряжение по крайней мере еще на порядок, т.е. примерно до 1000 В. Для этого необходим подходящий источник постоянного напряжения. Подойдет, например, выпускавшийся много лет в советский период и отличающийся высокой надежностью сетевой блок питания типа ВУП-2.

Максимальное значение постоянного на-

пряжения, которое дает школьный блок питания ВУП-2, составляет $U = 350$ В. Однако подавать такое напряжение непосредственно на электрометр нельзя, потому что это опасно для экспериментатора и блока питания, который случайно может быть замкнут накоротко. Чтобы устранить эти причины, с клеммой блока +350 В соединяют резистор сопротивлением примерно $R_1 = 1$ МОм.

К выходу получившегося источника подключают бытовой мультиметр типа DT9205A, переведенный в режим вольтметра с пределом измерения 1000 В. Так как внутреннее сопротивление этого вольтметра 10 МОм, то он показывает значение напряжения, примерно равное 300 В. Это напряжение и подают на электрометр. Сила тока, идущего через резистор $R_1 = 1$ МОм при коротком замыкании электрометра, не превышает $I = U/R = 350/10^6 = 0,35$ мА, поэтому безопасна как для человека, так и для блока ВУП-2.

Собрав и тщательно проверив правильность электрической цепи этой простой экспериментальной установки, включают блок питания и убеждаются, что при подаче на электрометр напряжения 300 В его стрелка остается на месте. Но если до этого напряжения один за другим зарядить все 10 конденсаторов умножителя (рис. 2 и 3) и суммарное напряжение 3000 В подать на электрометр, то его стрелка отклонится на два больших деления. Значит, цена одного малого деления примерно равна 500 В.

На рисунке 3 показан вариант описанного опыта, который более убедителен, но менее безопасен. С клеммой +350 В выпрямителя 1 соединен резистор 2 сопротивлением $R_2 = 43$ кОм, а на конце провода, идущего от этого резистора, расположена неоновая лампа 3 типа ВМН-2. Изолирующая подставка конденсаторного умножителя 4 небольшой полоской двухстороннего скотча закреплена на крышке выпрямителя. Когда выводами проводов, идущих от выпрямителя, касаются выводов очередного конденсатора, по цепи идет зарядный ток, и неоновая лампа на мгновение вспыхивает (рис. 4).

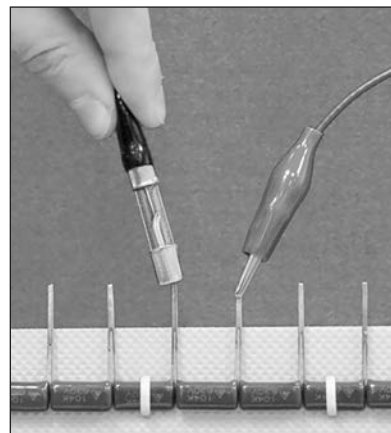


Рис. 4. Свечение одного из электродов неоновой лампы при зарядке конденсатора

Учащиеся, наблюдая вспышки неоновой лампы, убеждаются, что каждый конденсатор умножителя заряжается от источника. Чтобы улучшить условия наблюдения, вспышки лампы должны быть достаточно яркими. Поэтому пришлось увеличить силу тока, идущего через лампу. Для этого сопротивление резистора, включенного последовательно с источником, уменьшено с 1 МОм до 43 кОм. Поэтому учитель, демонстрирующий этот опыт, должен быть предельно внимателен.

Таким образом, задача градуировки электрометра в принципе решена. Однако применение блока ВУП-2 в опытах не слишком удобно, так как он небезопасен и загромождает демонстрационный стол. Гораздо более удобен маломощный источник питания на 500 В.

4. Маломощный источник постоянного напряжения

Оборудование: 1) полупроводниковые диоды КД105Б — 2 шт.; 2) конденсаторы емкостью 0,47 мкФ на рабочее напряжение 400 В — 2 шт.; 3) постоянный резистор сопротивлением 7,5 кОм и мощностью 2 Вт; 4) постоянные резисторы мощностью 0,5 Вт, сопротивлением 10 МОм — 1 шт. и 1 МОм — 2 шт.; 5) мультиметр типа DT9205A.

Разработка конструкции и изготовление

такого источника могут быть осуществлены в процессе внеурочной проектной деятельности школьников под руководством учителя [6–8]. Выполняя этот проект, исполнители привыкнут неукоснительно соблюдать правила безопасности при работе с сетевыми источниками питания, научатся проектировать и изготавливать простые электронные приборы, получают практически значимый для обучения образовательный продукт.

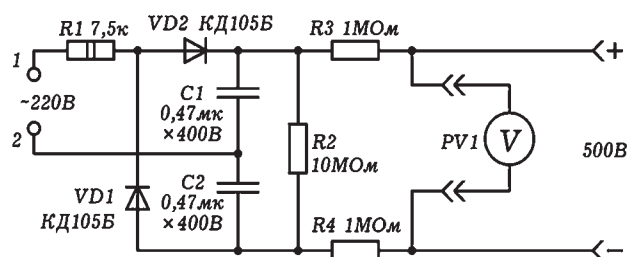


Рис. 5. Принципиальная схема удвоителя сетевого напряжения, на выходе которого получается напряжение примерно 500 В

На рисунке 5 изображена принципиальная схема сетевого удвоителя напряжения, собранного на полупроводниковых диодах $VD1$, $VD2$ и конденсаторах $C1$, $C2$ [7, 8]. Резистор $R1$ ограничивает ток зарядки конденсаторов и уменьшает силу тока, идущего через диоды. Резистор $R2$ сопротивлением 10 МОм обеспечивает разрядку конденсаторов после выключения прибора из сети. Высокоомные резисторы $R3$ и $R4$ ограничивают выходной ток прибора. Выходное напряжение $U_{\text{вых}} = 500$ В снимается с двух пар клемм, одна пара которых предназначена для подключения вольтметра $PV1$.

Принцип действия удвоителя напряжения вполне доступен учащимся 10 класса. Допустим, в некоторый полупериод переменного напряжения на входной клемме 1 положительный потенциал относительно клеммы 2. Тогда электрический ток идет по замкнутой цепи от клеммы 1 через резистор $R1$, диод $VD2$, конденсатор $C1$ к клемме 2, заряжая конденсатор $C1$ до амплитудного значения напряжения:

$$U_1 = \sqrt{2} U = 1,41 \cdot 220 \approx 311 \text{ В.}$$

Через диод $VD1$ ток идти не может, так как этот диод для указанной полярности напряжения электроосветительной сети включен в обратном направлении.

В следующий полупериод полярность переменного напряжения на входе удвоителя изменяется на противоположную, поэтому электрический ток идет от клеммы 2 через конденсатор $C2$, диод $VD1$ и резистор $R1$ к клемме 1, заряжая конденсатор $C2$ до напряжения $U_2 = \sqrt{2} U \approx 311$ В. Через диод $VD2$ ток идти не может, так как этот диод для указанной полярности напряжения включен в обратном направлении.

Конденсаторы $C1$ и $C2$ включены последовательно, поэтому постоянные напряжения на них просто складываются: $U_{\text{вых}} = U_1 + U_2 \approx 622$ В. На самом деле напряжения U_1 и U_2 меньше амплитудных значений, так как при зарядке конденсаторов напряжение падает на резисторе $R1$ и диодах $VD1$, $VD2$. Кроме того, удвоитель нагружен на резистор $R2$ и на мультиметр, поэтому напряжение на его выходе примерно равно $U_{\text{вых}} = 500$ В.

Нетрудно видеть, что удвоитель напряжения — это тот же самый умножитель (рис. 2 и 3), но работающий автоматически и состоящий не из десяти, а только из двух последовательно соединенных конденсаторов.

Конструкция удвоителя напряжения [7] понятна из фотографии, приведенной на рисунке 6. Корпус 1 прибора размером 20×60×80 мм склеен из пластика (пластин вспененного поливинилхлорида зеленого цвета) и снабжен съемной крышкой из оргстекла. На левой стенке корпуса закреплен разъем 2 сетевого шнура. На правой стенке расположены две пары клемм, одна из которых 3 предназначена для подключения вольтметра, а на вторую 4 выведено постоянное напряжение 500 В для опытов. Сам удвоитель напряжения собран на плате из фольгированного гетинакса так, чтобы учащиеся могли представить себе принципиальную схему прибора.

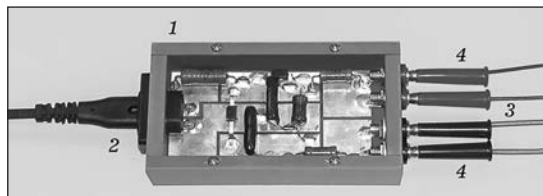


Рис. 6. Одна из возможных конструкций удвоителя сетевого напряжения для градуировки электрометра

5. Градуировка электрометра по напряжению

Оборудование: 1) школьный демонстрационный электрометр; 2) удвоитель сетевого напряжения; 3) мультиметр типа DT9205A; 4) конденсаторный умножитель напряжения.

Для демонстрационных опытов необходимы более простые и наглядные конструкции приборов, чем та, которая показана на рисунке 6. Начиная с конца прошлого века, мы используем метод В.А. Величкова [9] изготовления учебных электронных приборов на картонных панелях. За этот срок отработана простая и доступная технология:

1) на белом листе формата А5 или А4 лазерным принтером распечатывают принципиальную схему прибора;

2) лист со схемой аккуратно клеим ПВА наклеивают на картон такого же формата;

3) на противоположную поверхность картона также тщательно наклеивают второй такой же лист из той же бумаги;

4) готовую панель высушивают под прессом — одинаковая бумага, приклеенная с противоположных сторон картона, предотвращает искривление будущей панели;

5) детали устройства закрепляют в отверстиях панели, проколотых шилом возле их условных изображений на схеме;

6) монтаж осуществляют пайкой на задней стороне панели;

7) готовое изделие помещают в конверт из толстого полиэтилена, который приобретают в магазине канцелярских товаров.

Таким способом изготовлен демонстрационный удвоитель напряжения для градуи-

ровки электрометра [10]. Соответствующая экспериментальная установка изображена на рисунке 7. На штативе со стальной стойкой закреплены конденсаторный умножитель напряжения и мультиметр посредством магнитного держателя; удвоитель напряжения просто прислонен к штативу. Корпус электрометра соединен с выводом умножителя, к стержню электрометра подключен провод. С выходом удвоителя соединен вольтметр мультиметра, который показывает напряжение, близкое к 500 В.

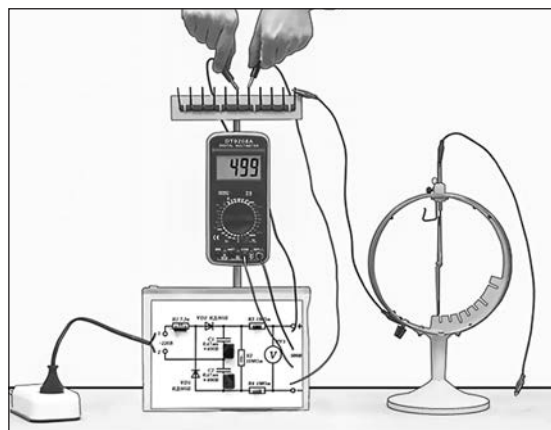


Рис. 7. Демонстрационная экспериментальная установка для градуировки электрометра по напряжению, в которой удвоитель сетевого напряжения собран методом картонной платы

Градуировку электрометра по напряжению производят следующим образом. Включают источник постоянного напряжения на 500 В и его выводами поочередно прикасаются к каждому конденсатору батареи (рис. 7) так, чтобы напряжения на конденсаторах складывались. Время зарядки одного конденсатора от рассмотренного в п. 4 источника составляет не более 2 с. Чтобы обеспечить одинаковость условий, каждый конденсатор заряжают в течение времени, необходимого для быстрого счета вслух от одного до пяти.

После зарядки всех конденсаторов удвоитель отключают от сети, берут за изоляцию провод, идущий от стержня электрометра,

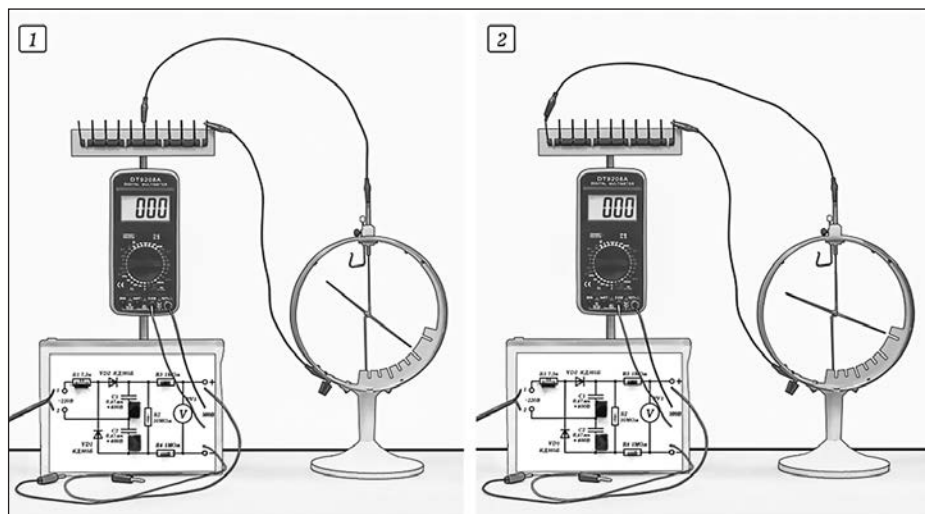


Рис. 8. Соединение электрометра с конденсаторным умножителем: 1 — между стержнем и корпусом электрометра подано напряжение с пяти конденсаторов; 2 — на электрометр подано напряжение с десяти последовательно соединенных конденсаторов

и касаются его концом выводов последовательно первого, второго и т.д. конденсаторов умножителя напряжения (рис. 8.1). Стрелка хорошего электрометра начинает отклоняться уже при напряжении на нем в 500 В, а при напряжении 5000 В стрелка прибора отклоняется на всю шкалу (рис. 8.2).

Таким образом, градуировка неравномерной шкалы электрометра показывает, что ее деления соответствуют примерно следующим значениям напряжения: 0, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5 и 5,0 кВ.

6. Градуировка электрометра по заряду

Оборудование: 1) школьный демонстрационный электрометр, отградуированный по напряжению; 2) мультиметр типа DT9205A.

На начальном этапе изучения электростатики, когда понятия потенциала и разности потенциалов еще не введены, электрометр используется в демонстрационных опытах для сравнения величин электрических зарядов. Градуировка электрометра по заряду имеет важное значение для формирования у обучающихся верного представления о величинах электрических зарядов,

с которыми они имеют дело в опытах и при решении физических задач.

Чтобы отградуированный по напряжению U электрометр отградуировать по заряду q , нужно воспользоваться формулой $q = CU$, где C — емкость электрометра. Действовать нужно следующим образом. Подбирают радиотехнический конденсатор емкостью порядка 100 пФ и, измерив его емкость мультиметром, подсоединяют к этому конденсатору электрометр и измеряют емкость получившейся системы. Вычитая из последнего результата первый, убеждаются, что емкость электрометра без шарового кондуктора равна примерно $C = 10$ пФ. Заметим, что непосредственное измерение мультиметром столь небольшой величины дает противоречивые результаты.

Таким образом, предел измерения заряда демонстрационным электрометром составляет $q_{\max} = 10 \cdot 10^{-12} \cdot 5 \cdot 10^3 = 50$ (нКл). Найденная величина позволяет произвести необходимую градуировку шкалы прибора по заряду.

7. Физико-инженерный проект

Школьникам запрещены самостоятельные эксперименты с напряжениями в сот-

ни и тысячи вольт. Поэтому подготовка и проверка описанного в статье оборудования, сборка экспериментальной установки и градуировка электрометра могут быть осуществлены только в совместной внеурочной экспериментальной деятельности учителя и ученика [11].

Эта экспериментальная деятельность включает физический, инженерный и педагогический компоненты исследовательского характера [12] и реализуется примерно в следующих этапах:

- 1) осознание проблемы исследования;
- 2) физический анализ проблемы;
- 3) поиск решения и предварительные эксперименты;
- 4) изучение и освоение электроизмерительных приборов;
- 5) разработка конструкции и технологии изготовления новых приборов;
- 6) изготовление и налаживание разработанного оборудования;
- 7) сборка и освоение экспериментальных установок;
- 8) создание методики выполнения демонстрационных опытов на уроках;
- 9) проверка нового элемента учебной физики в педагогическом эксперименте.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства просвещения Российской Федерации в рамках государственного задания (дополнительное соглашение Министерства просвещения Российской Федерации и ФГБОУ ВО «Глазовский государственный педагогический институт имени В.Г. Короленко» № 073-03-2023-026/2 от 20.06.2023 к соглашению № 073-03-2023-026 от 27.01.2023, регистрационный № НИОКТР 1022080500004-8-5.3.1).

Литература

1. Электрометры с принадлежностями. — М.: Просвещение, 1978. — 7 с.
2. Учебное оборудование для кабинетов физики общеобразовательных учреждений / Ю.И. Дик, Ю.С. Песоцкий, Г.Г. Никифоров и др.; под ред. Г.Г. Никифорова. — М.: Дрофа, 2005. — 396 с.
3. Шахмаев Н.М., Каменецкий С.Е. Демонстрационные опыты по электричеству: пособие для учителя. — М.: Учпедгиз, 1963. — 327 с.
4. Демонстрационный эксперимент по физике в старших классах средней школы: Т. 2. Электричество. Оптика. Физика атома / В.А. Буров, Б.С. Зворыкин, А.П. Кузьмин, А.А. Покровский, И.М. Румянцев; под ред. А.А. Покровского. — М.: Просвещение, 1972. — 448 с.
5. 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.
6. Майер В.В., Вараксина Е.И. Школьный демонстрационный электрометр как электроизмерительный прибор // Учебная физика. 2016. № 4. С. 15–21.
7. Майер В.В., Вараксина Е.И., Васильев И.А. Безопасный, маломощный и простой удвоитель сетевого напряжения // Учебная физика. 2021. № 1. С. 26–28.
8. Вараксина Е.И., Майер В.В. Обобщенный план изучения физической величины и измерение разности потенциалов в электростатике // Современное образование и педагогическое наследие академика А.В. Усовой: сборник материалов международной научно-практической конференции, Челябинск 4-5 окт. 2021 г.: в 2-х ч. Ч. 1 / под ред. И.И. Беспаль. — Челябинск: Край Ра, 2021. — С. 99–106.
9. Величков В.А. Повышение результативности обучения // Учебная физика. 2008. № 2. С. 184–188.
10. Вараксина Е.И., Толстогозова К.А. Удобная и безопасная конструкция удвоителя сетевого напряжения // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Выпуск 38. — М.: ИСРО РАО, 2023. — С. 54–55.
11. Майер В.В., Вараксина Е.И. Экспертиза новых учебных физических экспериментов // Учебная физика. 2022. № 4. С. 54–66.
12. Вараксина Е.И. Основные этапы научного исследования учебного физического эксперимента // Учебная физика. 2022. № 3. С. 61–67.

Дата поступления рукописи (Received): 28.06.2023.

Опубликовано (Published): 17.08.2023.

АЛГОРИТМ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧИТЕЛЯ ПО ФОРМИРОВАНИЮ
МОТИВАЦИИ СОВМЕСТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
В КОНВЕРГЕНТНОМ ФИЗИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ

THE ALGORITHM OF THE TEACHER'S ACTIVITY
ON THE FORMATION OF MOTIVATION FOR JOINT ACTIVITIES
IN CONVERGENT PHYSICAL EDUCATION

Научная статья
УДК 372.853

Scientific article
DOI 10.47639/0130-5522_2023_6_17

А.О. Белоусов , директор, «Лицей № 142 г. Челябинска», г. Челябинск; licei_142@list.ru	A.O. Belousov , director, Lyceum No. 142 of Chelyabinsk, Chelyabinsk; in-nadya@mail.ru
Ключевые слова: конвергентное физическое образование, обучение физике, алгоритм деятельности учителя	Keywords: convergent physical education, teaching physics, the algorithm of teacher activity
Аннотация. В статье описан алгоритм деятельности учителя по формированию мотивации совместной деятельности в конвергентном физическом образовании, включающий этап предметных действий, дидактический, методический и рефлексивный этапы. Приведен пример организации деятельности учителя при решении физических задач	Abstract. The article describes the algorithm of the teacher's activity for the formation of motivation for joint activities in convergent physical education, including the stage of subject actions, didactic, methodological stage and reflexive stages. An example of the organization of the teacher's activity in solving physical problems is given

© Белоусов А.О., 2023

Целью современного образования становится формирование личности, способной к самоопределению, самообразованию, саморазвитию и сотрудничеству. В современное общество должны приходить предприимчивые и компетентные молодые люди, стремящиеся к совместному творческому труду, мобильные, готовые к поиску и реализации новых эффективных форм организации своей деятельности в коллективе, способные вписываться в реалии информационного общества. А следовательно, в годы обучения в школе необходимо создавать условия для формирования у обучающихся мотивации такой деятельности с целью успешной адаптации к условиям окружающей среды, социализации в обществе, выстраивания межличностных взаимоотношений [3–5].

На основе деятельностного подхода в обучении [8] для реализации модели методики мотивации совместной деятельности в конвергентном физическом образовании нами разработан алгоритм деятельности учителя физики по конструированию учебного процесса.

Алгоритм включает следующие этапы.

І. Этап предметных действий:

- 1) постановка задачи;
- 2) анализ ресурсного обеспечения образовательной организации мотивации совместной деятельности в конвергентном физическом образовании;
- 3) определение предметных (физика, информатика, черчение, технологии) знаний-описаний и знаний-предписаний, необходимых для выполнения в совместной деятель-

ности конвергентных заданий по физике;

4) выделение физического содержания конвергентного задания, необходимых материальных, информационных, технических ресурсов и возможности конвергентной образовательной среды образовательной организации для его выполнения;

5) определение перечня и уровня предметных (физика, математики, информатика, черчение, технологии) и метапредметных умений, усваиваемых обучающимися в процессе совместной деятельности при выполнении конвергентного задания с целью дальнейшего получения нового учебного результата и мотивации к такому виду деятельности.

II. Дидактический этап:

1) определение необходимой и достаточной помощи со стороны учителей информатики, черчения, технологии для выполнения конвергентного задания, форм организации совместной деятельности учитель–ученик и ученик–ученик, вида деятельности (урочная, внеурочная), время ее осуществления (основное или дополнительное образование);

2) определение начального уровня мотивации совместной деятельности, предметных знаний и умений, уровня рефлексивности;

3) развитие результатов по мотивации совместной деятельности, достигнутых ранее, при выполнении конвергентных заданий;

4) определение возможного использования в учебном процессе по физике «продуктов» (конструкций, моделей, программного обеспечения и др.), полученных в совместной деятельности при выполнении конвергентного задания.

III. Методический этап:

1) разработка комплекса конвергентных заданий, способствующих мотивации совместной деятельности в конвергентном физическом образовании;

2) разработка методических рекомендаций по выполнению конвергентных заданий и созданию условий по мотивации к

совместной деятельности при их выполнении;

3) постановка цели, достигаемой в процессе совместной деятельности по выполнению конвергентного задания;

4) организация совместной деятельности учитель ↔ обучающийся, обучающийся ↔ обучающийся по выполнению конвергентного задания по физике с учетом структуры такой деятельности и возможности конвергентной среды образовательной организации, мотивирующей к совместной деятельности;

5) реализация приемов регулирования межличностных отношений всех участников, задействованных в выполнении конвергентного задания;

6) создание эмоционального фона, стимулирующего совместную деятельность по выполнению конвергентного задания.

IV. Рефлексивный этап:

1) контроль результатов совместной деятельности учитель ↔ обучающийся, обучающийся ↔ обучающийся, обучающийся ↔ обучающиеся, реализации условий мотивации совместной деятельности по выполнению конвергентного задания;

2) создание мотивационной ситуации для публичной презентации полученного «продукта» (конструкций, моделей, программного обеспечения и др.) в процессе совместной деятельности по выполнению конвергентного задания;

3) определение достигнутых обучающимися уровней мотивации совместной деятельности в конвергентном физическом образовании и уровней рефлексивности.

Предложенный алгоритм состоит из четырех этапов, сочетающих анализ научных основ предмета «Физика», возможностей других школьных предметов (математики, информатики, черчения, технологии и др.), дидактический анализ педагогической ситуации по мотивации совместной деятельности и возможности конвергентной среды образовательной организации и методические действия учителя физики. Описанная

последовательность определяет пошаговый план действий учителя для эффективного включения конвергентных заданий в учебный процесс с целью мотивации совместной деятельности в конвергентном физическом образовании.

Реализация алгоритма деятельности учителя по формированию мотивации совместной деятельности в конвергентном физическом образовании должна быть соотнесена с основными этапами усвоения содержания образования и содержания совместной деятельности по выполнению конвергентных заданий на основе перечисленных выше этапов, составляющих основу процессуального компонента модели.

Базируясь на обобщенной схеме алгоритма деятельности учителя по мотивации совместной деятельности в конвергентном физическом образовании с использованием возможности лицейского коворкинга, проиллюстрируем на конкретном примере деятельность учителя физики.

Простейшим таким примером может являться проведение демонстрационных и лабораторных экспериментов, в ходе выполнения которых осуществляется автоматизированное снятие и обработка данных, причем обучающимся предлагается готовая сборка проекта (рис. 1).

Например, обучающимся на занятиях физики предлагается проведение эксперимента по механическому движению. Тема «Механическое движение» изучается в 7, 9 и 10 классах.

Для проведения данного эксперимента по изучению закономерностей равноускоренного движения могут быть использованы имеющиеся предметные цифровые лаборатории. В частности, демонстрационный набор «Механика» (рис. 2) позволяет провести эксперимент с использованием датчиков и компьютеризированных систем обработки данных. Преимущества такого эксперимента очевидны. Вследствие того, что установка для его выполнения предъявляется обучающимся в виде готового для сборки проекта,

у них нет возможности внести в нее какие-либо изменения конструктивного характера, а также реализовать дополнительные цели экспериментального исследования.

Помимо набора для демонстраций по физике «Механика» обучающиеся используют лабораторный комплекс Polytech (рис. 3).

Учитывая особенности единого информационно-образовательного пространства лица, обучающимся также на занятиях предлагаются различные симуляторы. Одним из таких симуляторов является ресурс «Физика в школе — HTML5 (Физика Анимации/Симуляции)» (<https://www.vascak.cz/physicsanimations.php?l=ru>). С его помощью можно изучать такие разделы и темы по физике, как «Механика», «Гравитация», «Механические колебания и волны», «Молекулярная физика и термодинамика», «Электростатика», «Электрический ток», «Полупроводник», «Электрический ток в жидкостях», «Электрический ток в газах и вакууме», «Магнитное поле», «Переменный ток», «Оптика», «Специальная теория относительности», «Атомная физика», «Ядерная физика». На рисунке 4 приведен пример приложения по теме «Движение по окружности».

При необходимости обучающийся может отобразить на экране используемые формулы в вычислениях (рис. 5).

Аналогичное исследование можно провести в системе «3D Интерактивное физическое моделирование» (<https://www.new3jcn.com/simulation.html>). На рисунке 6 представлено конкретное задание по теме «Движение под углом».

Здесь обучающемуся предлагается ввести исходные данные, сформулировать гипотезу, самостоятельно вычислить итоговые значения и проверить свои предположения опытным путем. При выборе кнопки «Запустить симуляцию» обучающиеся смогут проверить свою гипотезу (рис. 7).

Также на занятиях обучающимся предлагается использование отдельного программного продукта «Algodo» (рис. 8).

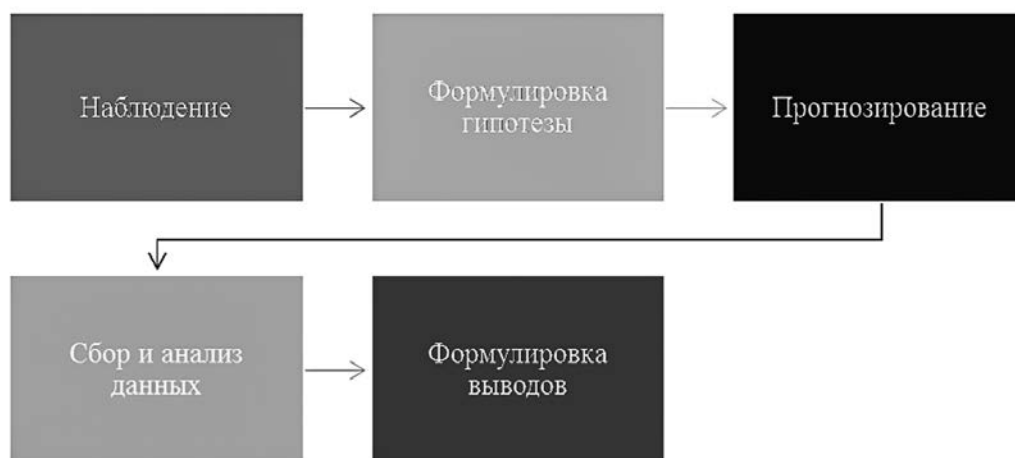


Рис. 1. Алгоритм деятельности обучающегося при использовании готовых конструкций в проекте



Рис. 2. Набор для демонстраций по физике «Механика»



Рис. 3. Лабораторный комплекс Polytech

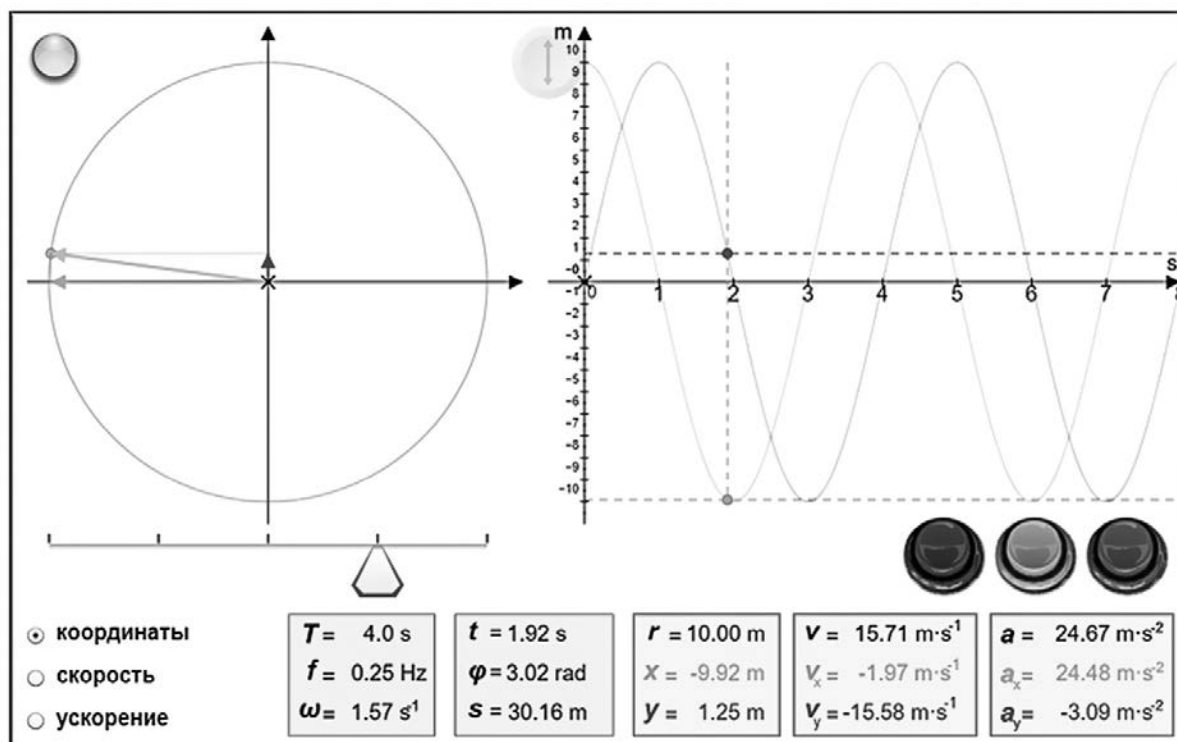


Рис. 4. Тема «Движение по окружности»

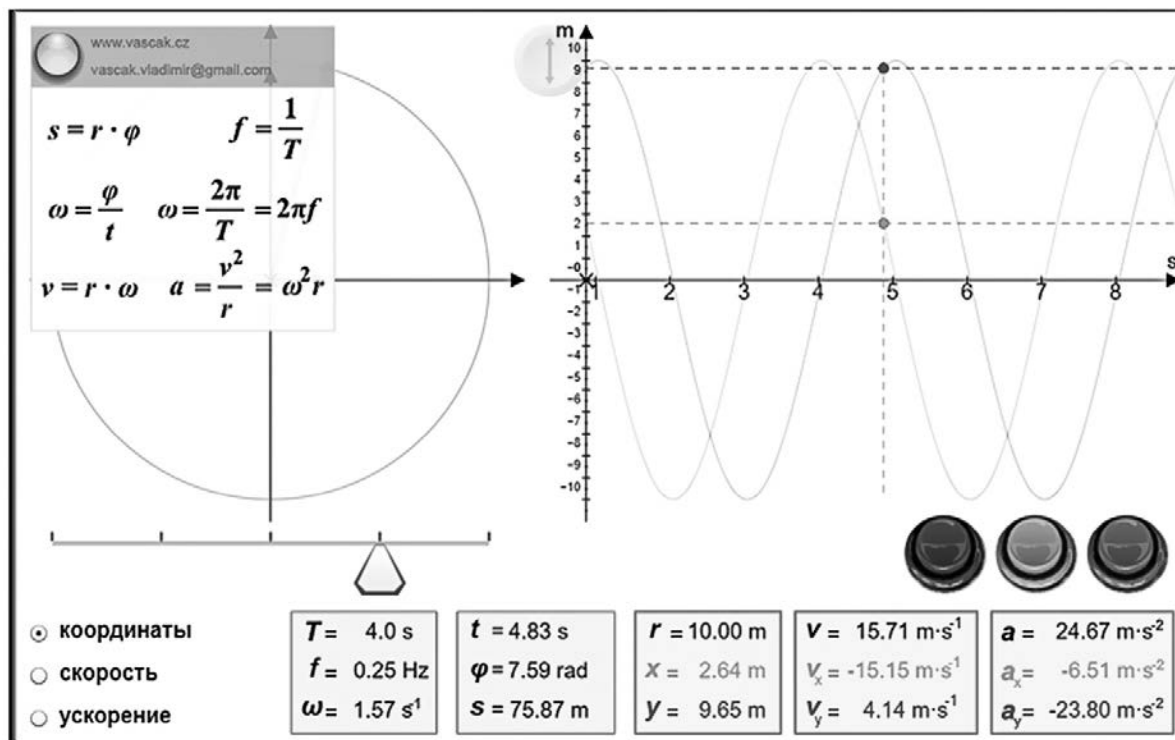


Рис. 5. Просмотр используемых физических формул

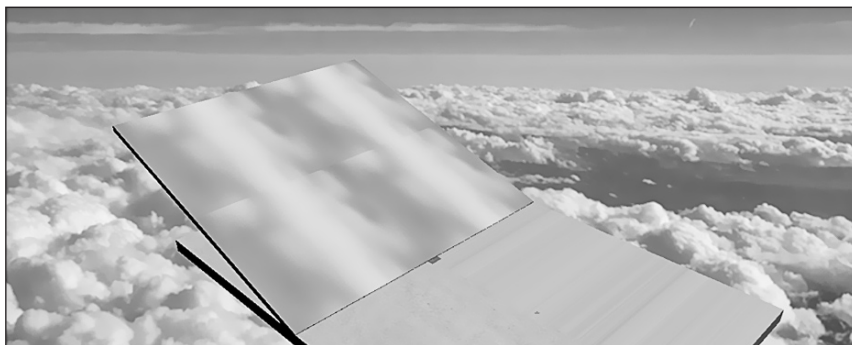


Рис. 6. Выполнение эксперимента по теме «Движение под углом»

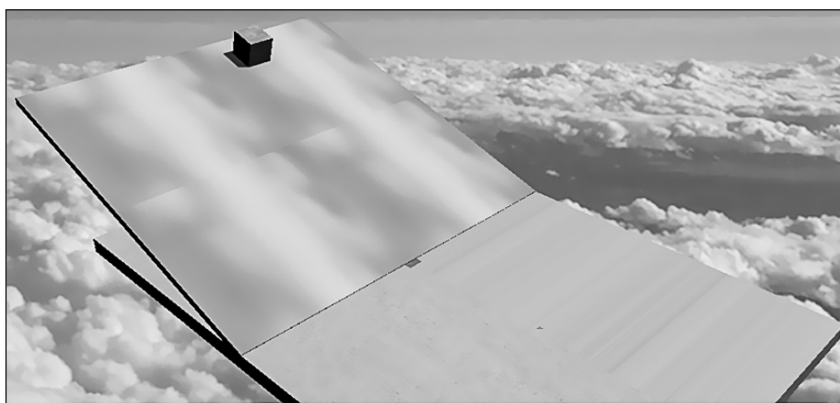


Рис. 7. Запуск симуляции движения кубика по наклонной плоскости

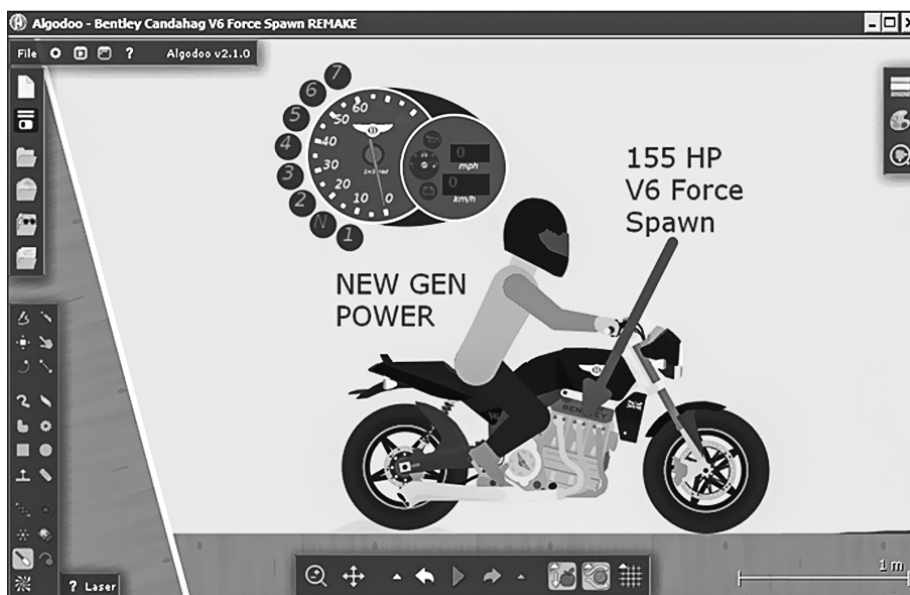


Рис. 8. Программный продукт «Algodoo»

«Algodoo» — программа-конструктор для симуляции/анимации механических движений объектов двумерного физического мира. Учащимся доступны инструменты для создания объектов любой формы, для задания им физических и кинетических параметров, для управления операциями над объектами как в статике, так и в динамике. С помощью этой программы можно создавать интерактивные уроки по физике, игры, симуляторы механических устройств, а также наблюдать за поведением объектов в зависимости от внешних воздействий.

В данной системе школьники могут изображать объекты, определять их местоположение, снабжать их моторчиками, пружинами и другими элементами и приводить их в движение. Такое движение будет возможным только в случае правильного планирования физической сцены. Поэтому педагог должен следить за процессом размещения объектов, определения их свойств, методов взаимодействия с другими объектами, в том числе и с окружающей действительностью. В программе предусмотрена возможность запуска программы на исполнение после выполнения отдельного шага действий, что дает обучающемуся контролировать процесс выполнения проекта и при необходимости вносить изменения.

Преимуществами таких конвергентных лабораторных работ являются:

- автоматизация получения данных измерений;
- высокая точность измерений датчиковыми системами;
- автоматическое представление данных в табличном и графическом виде.

В разработанных лабораторных работах робот, собранный из конструктора Lego Education EV3, используется одновременно и как элемент лабораторного оборудования для демонстрации движения, и как измеритель.

Для измерения кинематических характеристик движения на занятиях при выполнении проектов широко используется присо-

единенный к микроконтроллеру ультразвуковой датчик расстояния. Преимуществом робота-измерителя является его способность проводить измерения с высокой частотой и точностью, что играет важную роль при построении графиков движения и сравнении результатов с данными, полученными из физических уравнений. Программное обеспечение робота позволяет определить не только его пространственные координаты, но также вычислить скорость и ускорение движения. Причем кривая будет построена по экспериментальным точкам методом наименьших квадратов, и тем самым программа позволяет автоматически вычислить кинематические характеристики движения. При такой организации лабораторной работы учащийся может управлять мощностью двигателя, что дает возможность формулировать новые задачи и решать их опытным путем, идти от простого к сложному.

Проиллюстрируем деятельность учителя физики при выполнении сложного конвергентного задания — модель гидроаккумулирующей электростанции (ГАЭС) (иллюстрация использования шлюзов и возобновляемой энергии).

I. Этап предметных действий.

- Предоставление конвергентного задания — разработать модель ГАЭС.
- Выбор информационно-коммуникационных средств, конструктора и его составляющих — микроконтроллер Arduino. При использовании наборов по образовательной робототехнике возможно самостоятельное конструирование обучающимися экспериментальной установки и при необходимости ее последующая модернизация. Выбор оптимальных конструктивных решений при создании установки, программирование хода эксперимента, а также снятие и обработка его данных позволяют школьникам освоить практику самостоятельной разработки и создания робототехнических установок по физике [6, 7]. Это важный дополнительный педагогический результат в направлении

политехнической подготовки учащихся [10–12]. При разработке лабораторных и демонстрационных установок для учебного процесса по физике реализуются не только основные образовательные функции школьного предмета, но и робототехники как инструмента познания, объекта познания и средства обучения, развития и воспитания учащихся [1, 2, 6]. В результате использования робототехнических установок дети смогут осознать общую структуру любого такого устройства и изучить назначение его элементов, осмыслить физические основы их работы и взаимодействия с другими элементами конструкции. При самостоятельном проектировании и создании таких установок у обучающихся формируются умения в применении знаний по физике в решении конкретных практических задач, позволяющих внести вклад в со-

вместную деятельность по выполнению конвергентного задания, что является основой для их мотивации к данной деятельности.

- Определение первичных знаний, умений — проведение тестирования.
- Выделение физического содержания задания — принцип работы гидростанции и достигаемых результатов обучения при совместной деятельности над заданием (рис. 9).

II. Дидактический этап:

- определение временных затрат на выполнение в процессе совместной деятельности конвергентного задания — занятия на базе лицейского коворкинга раз в неделю в течение учебного года;
- определение необходимого объема помощи учителей-предметников для выполнения конвергентного задания по созданию модели ГАЭС: со стороны учителей

- Формирование познавательных интересов, интеллектуальных и творческих способностей

- Формирование самостоятельности в приобретении новых знаний и практических умений

- Регулятивные УУД

Овладение навыками организации учебной деятельности, постановки целей, планирования и оценки результатов своей деятельности, умениями предвидеть возможные результаты своих действий

- Познавательные УУД

Формирование умений воспринимать, перерабатывать, предъявлять информацию в требуемой форме

Формирование умений обработки экспериментальных данных

- Коммуникативные УУД

Развитие речи, умения выражать свои мысли, способности коммуницировать в группе, отстаивать свою точку зрения

- Знать формулу скорости при равномерном и равноускоренном движении, формулу ускорения, уравнение равномерного и равноускоренного движения

Рис. 9. Дидактические задачи и планируемые результаты обучения

информатики (программирование микроконтроллера Arduino и работа с программой Компас-3D) и черчения (разработка чертежей конструкции);

- создание временного творческого коллектива и обсуждение плана совместной работы над конвергентным заданием;
- определение начального уровня мотивации совместной деятельности — проведение анкетирования;
- определение возможного использования установок, компьютерных программ и т.д., имеющихся ресурсов образовательной среды.

III. Методический этап.

- Обсуждение плана совместной деятельности по выполнению конвергентного задания (модель ГАЭС), распределение обязанностей между членами временно творческого коллектива.

1. Анализ литературы по физическим принципам работы гидроаккумулирующей электростанции, подготовка реферативной части задания (приложение 4), обсуждения подготовленного материала.

2. Изучение среды программирования «Arduino».

3. Изучение возможностей 3D моделирования в программном обеспечении КОМПАС 3D.

4. Разработка чертежей гидроаккумулирующей электростанции.

5. Выполнение 3D моделирования гидроаккумулирующей электростанции.

6. Сборка и отладка модели гидроаккумулирующей электростанции.

7. Презентация работы гидроаккумулирующей электростанции на уроках физики.

- Конкретизация задач каждого члена временного творческого коллектива по достижению цели совместной деятельности.
- Разработка методических рекомендаций, направленных на достижение цели совместной деятельности. Создать прототип электростанции с двумя бассейнами как у оригинальной электростанции. Посредством 3D принтера печатаются

отдельные детали. Основными в печати являются шестеренки, дамба (плотина), которая удерживает поток воды в верхнем бассейне, и дополнительные детали. Вода из нижнего бассейна при помощи насоса перекачивает воду в верхний (в качестве бассейнов можно использовать пластиковые тары, например, пищевые контейнеры), после чего по команде микроконтроллера при нажатии на кнопку отрывается дамба (плотина), у основания которой укреплен двигатель. На его оси имеется пропеллер, имитирующий турбину. Поток воды, попадая в лопасти пропеллера, приводит его во вращение, тем самым вырабатывая электрический ток. С концов двигателя будет считываться напряжение вырабатываемого электрического тока посредством вольтметра, собранного из микроконтроллера Arduino. Организация сборки и отладки модели ГАЭС опирается на понимание обучающимися принципов работы станции и овладении средой программирования «Arduino».

- Организация совместной деятельности на основе структуры деятельности по выполнению конвергентных заданий.
- Создание эмоционального фона за счет использования материала об истории реальных прототипов станции, качественной оценки результатов промежуточной работы каждого члена временного творческого коллектива по созданию модели.

IV. Рефлексивный этап:

- технологизация процесса достижения цели совместной деятельности, соблюдение всех его этапов, контроль деятельности — запуск электростанции с представлением показаний считываемых датчиков, выявление возможных предложений усовершенствований гидроаккумулирующей электростанции, не только модели, но и действующих гидроаккумулирующих электростанций;
- создание мотивационной ситуации для

презентации результатов совместной деятельности — при изучении физики в 7 классе для демонстрации работы шлюзов (использование возобновляемых источников энергии);

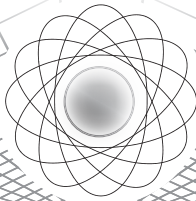
- определение достигнутых уровней мотивации и уровней рефлексивности посредством методик.

Таким образом, описанный алгоритм может быть использован педагогами для формирования мотивации совместной деятельности при решении конвергентных задач в курсе физики посредством использования информационно-образовательной среды лица.

Литература

1. *Ершов М.Г., Оспенникова Е.В.* Образовательная робототехника как инструмент познания в учебном процессе по физике // Вестник Челябинского государственного педагогического университета. 2015. № 4. С. 109–124.
2. *Ершов М.Г.* Робототехника как объект изучения в курсе физики средней школы // Педагогическое образование в России. 2015. № 3. С. 117–125.
3. *Крайнева С.В.* Конвергенция законов физики и спорта / С.В. Крайнева, О.Р. Шефер, Т.Н. Лебедева, Е.Н. Эрентраут, Ю.А. Ахкамова, О.Е. Акулич // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2022. № 8(210). С. 144–149. DOI 10.34835/issn.2308-1961.2022.8. Р. 144–150.
4. *Лебедева Т.Н.* Реализация конвергентного подхода в образовательной среде лица для мотивации обучающихся к научно-техническому творчеству: монография / Т.Н. Лебедева, О.Р. Шефер, А.О. Белоусов. — Челябинск: Южно-Уральский научный центр РАО, 2021. — 321 с.
5. *Орлик Е.А.* Конвергентное обучение как средства реализации метапредметного подхода в колледже физической культуры / Е.А. Орлик, А.О. Белоусов, М.В. Габов, С.В. Крайнева, О.Р. Шефер, Т.Н. Лебедева // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2022. № 2(204). С. 326–330. DOI 10.34835/issn.2308-1961.2022.2. Р. 326–330.
6. *Оспенникова Е.В., Ершов М.Г.* Образовательная робототехника как инновационная технология реализации политехнической направленности обучения физике в средней школе // Педагогическое образование в России. 2015. № 3. С. 34–41.
7. *Оспенникова Е.В.* Принцип политехнизма в обучении физике: современная интерпретация и технологии реализации в средней школе: моногр. / Е.В. Оспенникова, И.В. Ильин, М.Г. Ершов, А.А. Оспенников; под общ. ред. Е.В. Оспенниковой. — Пермь: Перм. кн. изд-во, 2014. — 502 с.
8. *Петровский А.В.* Деятельностный подход в социально-психологическом исследовании // Вестник МГУ. Серия 14. Психология. 1978. № 4. С. 3–10.
10. *Шефер О.Р., Мокляк Д.С.* Готовность будущих учителей к организации проектной деятельности обучающихся // Профессиональное образование. Столица. 2018. № 8. С. 40–42.
11. *Шефер О.Р.* Конвергенция как синергичный подход в образовании / О.Р. Шефер, С.В. Крайнева, Т.Н. Лебедева // Современные технологии в науке и образовании — СТНО-2022: Сборник трудов V Международного научно-технического форума. В 10 томах, Рязань, 02–04 марта 2022 года. Том 10. — Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет, 2022. — С. 34–38.
12. *Ospennikova E.V., Ershov M.G., Ilyin I.V.* Educational Robotics as an Inovative Educational Technology // Procedia — Social and Behavioral Sciences. 2015. Vol. 214C. Р. 18–26.

Дата поступления рукописи (Received): 09.06.2023.
Опубликовано (Published): 17.08.2023.



ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНОЙ МОДЕЛИ ОБУЧЕНИЯ НА УРОКАХ ФИЗИКИ

APPLICATION OF A HYBRID MODEL OF TEACHING IN PHYSICS LESSONS

Научная статья

Scientific article

УДК 372.853

DOI 10.47639/0130-5522_2023_6_27

Д.Л. Харичева , д.т.н., профессор, Московский педагогический государственный университет, Москва; hdl@mail.ru	D.L. Haricheva , DrSci (Technical), Professor, Moscow State Pedagogical University; hdl@mail.ru
Ключевые слова: гибридная модель обучения, физика, гибридная аудитория, физический эксперимент, лабораторное оборудование, демонстрационная зона	Keywords: hybrid learning model, physics, hybrid classroom, physical experiment, laboratory equipment, demonstration zone
Аннотация. В статье представлен опыт работы по гибридной модели обучения физике в высшем учебном заведении. Особое внимание уделено формам, структуре проведения занятия, а также работы с лабораторным физическим оборудованием и постановке наглядного эксперимента. Указаны возможности применения данной модели в образовательном процессе	Abstract. The article presents the experience of working on a hybrid model of teaching physics at a higher educational institution. Special attention is paid to the forms, structure of the lesson, as well as working with laboratory physical equipment and staging a visual experiment. The possibilities of using this model in the educational process are indicated

© Харичева Д.Л., 2023

В настоящее время в условиях развития дистанционных технологий обучения возникает вопрос о поиске новых форм взаимодействия в системе «учитель — ученик» для общеобразовательных организаций, «преподаватель — студент» — для высших учебных заведений и «преподаватель — слушатель» — в системе дополнительного профессионального образования.

Появившийся термин «гибридное обучение» является комплексным отражением методики преподавания дисциплин в специально оборудованном классе (аудитории), в котором находится одна часть обучающихся очно, а другая их часть одновременно подключена к видеотрансляции в удаленном доступе при помощи специализированных программ, обе-

спечивающих режим видеоконференции на домашних компьютерах [1, 2].

Основная идея гибридного обучения — обеспечить целостное образовательное пространство с использованием цифровой среды. Такой подход может учитывать индивидуальные особенности обучающихся, их физическое состояние, а также уровень подготовки и мыслительной активности. Применение методов обучения, например, в ВУЗах, когда используется гибридное обучение, представлено на рисунках 1 и 2.

Роль каждого участника образовательного процесса и виды их деятельности на занятиях по физике показаны на рисунке 3.

Основные модели гибридного обучения (рис. 4) являются гибкими и могут использо-



Рис. 1

Форматы обучения, использующие возможности синхронного и асинхронного онлайн-участия студентов:

- **Онлайн обучение:** дистанционные форматы без присутствия студентов в аудитории, акцент на самоорганизацию студентов как фактор учебного процесса
- **Смешанное (Blended) обучение:** в основе аудиторная работа, дополненная дистанционными элементами, синхронные форматы обучения преобладают
- **Гибридное (Hybrid) обучение:** студенты разделены на офлайн и онлайн участников, присутствующих на занятии одновременно; фокус на активное взаимодействие преподавателя со студентами
- **HyFlex обучение:** студент как активный участник, выбирающий удобный для себя формат участия в занятиях (синхронно онлайн или офлайн или асинхронно в записи)

Рис. 2

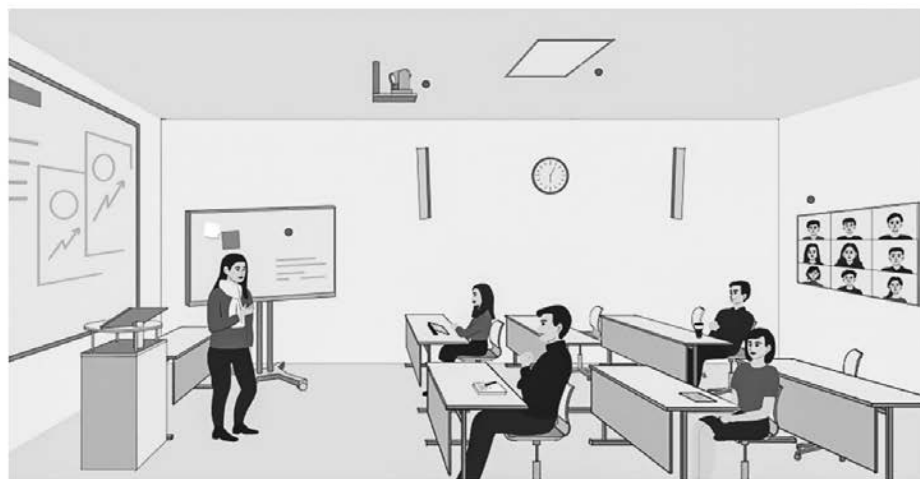
ваться с другими моделями образовательного процесса.

Такой формат обучения возможен на занятиях, например, по гуманитарным дисциплинам, когда преподаватель не использует никакого оборудования и не требует от обу-

чающихся выполнения практического эксперимента. В этом случае гибридный формат расширяет возможности:

- для преподавателя — онлайн-инструменты в оффлайн-аудитории;
- для студентов — непрерывное обучение

лекция дискуссия презентации совместная работа



ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

рассказывает материал занятия, делает пометки на слайдах, отвечает на вопросы студентов

ОФЛАЙН СТУДЕНТЫ

видят слайды преподавателя, задают вопросы с места и слышат вопросы своих онлайн-коллег

ОНЛАЙН СТУДЕНТЫ

без труда следят за преподавателем и его рассказом, слышат все, что происходит в аудитории, могут быстро уточнить информацию в интернете

Рис. 3

вне зависимости от географии (от стажировки до включенного обучения);

- для ВУЗа — потенциал расширения целевой аудитории (экспорт образования).

Ситуация меняется, когда возникает необходимость развития практических навыков и компетенций обучающихся в области работы с лабораторным оборудованием или постановки физического эксперимента, что характерно для дисциплин по прикладной и экспериментальной физике.

В соответствии с требованиями к преподаванию физических дисциплин на занятиях обучающиеся должны получить знания о сути физических процессов, смысле физических законов, раскрывающих связь изученных физических эффектов, получить умения пользоваться методами научного исследования явлений природы, проводить наблюдения, планировать и выполнять эксперименты, обрабатывать результаты измерений, представлять результаты измерений с помощью таблиц, графиков и формул, обнаруживать зависимости между физическими величинами, объяснять полученные результаты и делать выводы, оценивать границы погрешности результатов измерений [3–5].

Важным направлением обучения является развитие таких умений, как умения применять теоретические знания по физике на практике, умения решать физические задачи на применение полученных знаний, умения объяснять принципы действия важнейших технических устройств, демонстрационного и лабораторного оборудования, а также решения практических задач повседневной жизни.

Опираясь на полученные знания по физике осуществляется развитие теоретического мышления на основе формирования умений устанавливать факты, различать причины и следствия того или иного физического явления, строить модели и выдвигать гипотезы, отыскивать и формулировать доказательства выдвинутых гипотез, выводить из экспериментальных фактов и теоретических моделей физические законы.

В этом случае возрастает роль экспериментальных исследований по физике, лабораторных работ и проектной деятельности учащихся. Поэтому в программы обучения закладываются учебные часы на проведение таких занятий, и в некоторых случаях время на изучение отдельных тем может полностью занимать, например, проведение

Модель	Описание	С точки зрения онлайн-обучающихся	С точки зрения обучающихся очно
Дифференцированная	Синхронное и регулярное взаимодействие между онлайн- и очной группами студентов.	Обучающиеся присоединяются к занятию по видеосвязи и взаимодействуют со всей группой. Если нужно разбиваться на подгруппы, это происходит в отдельных видеочатах.	Обучающиеся взаимодействуют так же, как и при традиционном обучении, соблюдая правила социальной дистанции, и изучают тот же контент, что и онлайн-участники. На занятиях есть элементы взаимодействия между очными и онлайн-участниками.
Мультитрековая модель	Обучающиеся на синхронных занятиях разделены на когорты, каждая из которых следует своей образовательной траектории.	Виртуальная группа изучает то же самое, что и очная группа, но без взаимодействия с последней. Лекционный материал группа может слушать в синхронном и асинхронном формате.	Обучающиеся взаимодействуют так же, как и при традиционном обучении, соблюдая правила социальной дистанции. При выполнении очной групповой работы преподаватель переключается на взаимодействие с виртуальной группой.
А/В-модель	Обучающиеся меняются видами обучения: очно или онлайн. Онлайн-обучение при этом происходит в основном асинхронно.	Обучающиеся выполняют домашнюю работу, изучают учебный материал, работают над своей частью проекта.	Обучающиеся участвуют в дискуссиях, задают вопросы преподавателю и получают обратную связь, объединяются в работе над проектами.
Виртуальная групповая	Если обучающихся, присутствующих онлайн, немного (3 – 4 человека), они могут функционировать как виртуальная автономная группа, время от времени подключаясь к очным занятиям по видеосвязи.	Обучающиеся участвуют во всех активностях занятия наравне с очными участниками.	Обучающиеся участвуют в традиционном очном занятии; как правило, один из студентов ассистирует преподавателю и онлайн-участникам, помогая убедиться в стабильной видеосвязи.
Автономно-проектная	Небольшой группе онлайн-обучающихся предлагается к выполнению небольшой проект.	Обучающиеся работают над проектом.	Обучающиеся продолжают занятие в обычном режиме.

Рис. 4. Модели организации гибридного обучения

физического эксперимента, на базе которого формируются знания об исследуемых закономерностях физических явлений, а также коммуникативные умения докладывать о результатах своего исследования, участво-

вать в дискуссии, отвечать на заданные вопросы, использовать справочную литературу и другие источники информации [5].

В условиях использования гибридной методики значительно возрастает роль препода-

давателя, который должен осуществлять во время занятия эффективное комплексное сочетание дистанционного и онлайн-обучения, применения мультимедийных материалов с традиционной работой в аудитории.

Для гибридного обучения физическим дисциплинам требуется:

- определить платформу для видеоконференций, соответствующую требованиям учебного заведения и позволяющую обеспечивать устойчивый видеопоток вне зависимости от места расположения обучающихся;
- персональные ноутбуки;
- оборудование для видеоконференций (см. рис. 5, 2 ст. обложки);
- интерактивные доски (см. рис. 6, 2 ст. обложки);
- демонстрация экрана;
- демонстрационный стол для показа экспериментов или физических явлений;
- электронные доски;
- системы управления обучением;
- образовательные приложения;
- и т.д.

Все это в комплексе повышает требования к оснащению гибридных аудиторий, что, в свою очередь, помогает обеспечивать успешность образовательного процесса. Для проведения занятий в таких аудиториях в гибридном режиме подачи изучаемого материала с постановкой демонстрационного эксперимента или работой с физическим оборудованием необходимо учитывать некоторые особенности, рассмотренные ниже.

Среди различных этапов реализации гибридных технологий обучения при использовании физического эксперимента и лабораторного оборудования целесообразно выделить следующие.

1. Подготовительный.
2. Организационный.
3. Начальный.
4. Ознакомительный.
5. Основной.
6. Аналитический.
7. Заключительный.

1. **Подготовительный этап** необходим для выработки стратегии проведения гибридного занятия, определения его цели, задач, содержания, материально-технического обеспечения, включая используемое учебное оборудование, подбор и подготовку соответствующих методических материалов, а также для четкого понимания в каком составе обучающиеся будут находиться в учебной и в онлайн аудиториях.

2. На **организационном этапе** от преподавателя заранее требуется провести предварительное тестирование блока управления для проведения видеоконференций, оборудования для трансляции зоны демонстрационного стола, работы интерактивных досок, участвующих в обеспечении обратной связи с онлайн аудиторией, определить корректность постановки физического натурного эксперимента в условиях его трансляции с демонстрационного стола для создания наиболее полной наглядности, а также проведение всех профилактических работ, позволяющих исключить ошибки в толковании физических явлений, в получаемых результатах, в работе оборудования и т.д.

3. **Начальный этап** характеризуется началом учебного занятия, проводимого в гибридной форме, когда одни обучающиеся разместились в аудитории, а другие — подключились по конференцсвязи. Здесь важно проконтролировать систему обратной связи и возможность обучающихся общаться в онлайн режиме с преподавателем и группой в аудитории.

4. **Ознакомительный этап** должен включать момент учебного занятия, предполагающего создание эффективных условий для взаимодействия преподавателя и обучающихся. На этом этапе они знакомятся с целью и последующими задачами занятия для формирования установок на восприятие и осмысление учебной информации.

5. На **основном этапе** обучающиеся могут слушать лекционный материал, выполнять практические или лабораторные работы и осуществлять учебную деятельность в

соответствии с целью проводимого занятия. Как правило, это один из самых длительных по времени этапов.

6. Аналитический этап проведения занятий исключительно важен для систематизации полученных знаний. На этом этапе происходит, например, осмысление физических закономерностей или определение динамики измеряемых физических величин, построение зависимостей, получение результатов и т.д. В условиях гибридного формата проведения занятия преподаватель должен четко контролировать всю целевую аудиторию и вовремя давать пояснения при выполнении индивидуальных, лабораторных и практических работ.

7. На заключительном этапе обучающимся обычно требуется сделать выводы по проделанной работе, определить корректность полученных результатов, объяснить полученные аналитические зависимости физических величин, преподавателю —

оценить работу обучающихся, обсудить возникающие вопросы и возможные трудности при постановке эксперимента и получении решений.

В соответствии с существующими конструктивными особенностями построения занятий по физике в гибридной модели обучения можно предложить соответствующее применение демонстрационного и лабораторного оборудования (табл. 1).

По типу занятия (I) оборудование может использоваться в элементах структуры занятия 2) и 3) (см. табл. 1). При изложении нового материала возможны, например, демонстрации физических явлений, хода натурального эксперимента, пояснение работы и смысла многих технических устройств с учетом разделов физики: динамики, кинематики и др. Это также применимо и к занятиям по типу (II).

Занятия (III) и (IV) типов во многом похожи, однако имеют разные цели. Общность

Таблица 1

Конструктивные особенности занятий по гибридной модели обучения для работы с лабораторным и демонстрационным оборудованием на уроках физики

№	Тип занятия	Основные элементы структуры занятия
I	Комбинированное занятие	1) Проверка знаний ранее изученного материала. 2) Изложение нового материала. 3) Первичное закрепление новых знаний, применение их на практике
II	Занятие сообщения и усвоения новых знаний	1) Изложение нового материала. 2) Первичное закрепление новых знаний, применение их на практике
III	Занятие повторения и обобщения полученных знаний	1) Постановка проблем и выдача заданий. 2) Выполнение обучающимися заданий и решение практических задач. 3) Анализ ответов и оценка результатов работы, исправление ошибок. 4) Подведение итогов
IV	Занятие закрепления знаний, выработки умений и навыков	1) Определение и разъяснение цели занятия. Воспроизведение обучающимися знаний, связанных с содержанием предстоящей работы. 2) Сообщение и содержание задания, инструктаж его выполнения. 3) Самостоятельная работа обучающихся под руководством преподавателя. 4) Обобщение и оценка выполненной работы
V	Занятие применения знаний, умений и навыков	1) Определение и разъяснение целей занятия. Установление связи с ранее изученным материалом. 2) Инструктаж по выполнению работы. 3) Самостоятельная работа обучающихся, оценка ее результатов

возникает, когда обучающиеся уже имеют некоторую базу знаний и могут воспользоваться предлагаемым лабораторным или демонстрационным оборудованием при поддержке преподавателя или самостоятельно по прилагаемым методическим материалам. Поэтому использование физических приборов, механизмов и лабораторных стендов, как правило, применяется после постановки проблем, определения и разъяснения целей занятия, установления связи с ранее изученным материалом и, далее, выдаче заданий с соответствующим инструктажем.

В подтверждение вышесказанного в качестве эксперимента в гибридной аудитории Московского городского педагогического университета было проведено 30 мая 2023 года занятие со студентами бакалавриата 2-го курса направления «Педагогическое образование» по дисциплине «Избранные вопросы физики».

С учетом выделенных и описанных этапов проведения занятия по гибридной методике была разработана комплексная структура занятия по типу (IV) (см. табл. 1).

На рисунке 7 (2 ст. обложки) показан этап постановки цели, задач и краткий инструктаж по выполнению заданий.

Демонстрационный монитор, размещенный на стене, показывает количество обучающихся, подключившихся к занятию дистанционно. В этом случае важную роль приобретает оборудование, передающее полную картину происходящего в аудитории.

Было установлено, что минимально необходимое количество видеокамер должно составлять не менее трех: одну видеокамеру следует направить на демонстрационный стол, где ведется трансляция эксперимента или физического явления крупным планом, две другие — в аудиторию для демонстрации всего происходящего с разных ракурсов. В таком сочетании обучающиеся в группе дистанционного формата смогут наиболее наглядно увидеть и понять представляемый материал, а также задавать вопросы и общаться с аудиторией. В этом случае можно максимально полно достичь эффекта их присутствия.

В ходе проведения занятия обучающиеся были поделены на команды, каждая из которых выполняла практические задания, представленные в таблице 2.

Элементы подготовки и работы команд по организации демонстрации физических

Таблица 2

Задания для обучающихся в гибридном формате

№ команды	Практическое задание	Примечание
1)	Подготовить демонстрацию физического эксперимента «Вращение плоскости поляризации кристаллическими телами»	Работа в аудитории
2)	Подготовить демонстрацию экспериментального определения постоянной Планка и показать полученные основные экспериментальные зависимости физических величин	Работа в аудитории
3)	Подготовить демонстрацию модели сахариметра и пояснить физический смысл его работы	Работа в аудитории
4)	а) Подготовить теоретические сведения по всем трем темам демонстраций физических экспериментов. б) Подготовить контрольные вопросы для проверки знаний (10 шт.) по этим темам. в) Подготовить 10 тестовых вопросов с вариантами ответов (не меньше 4-х) для всех команд	Работа дистанционно, онлайн на домашних компьютерах

экспериментов представлены на рисунках 8–10 (1, 2, 3 стр. обложки).

Каждой команде была поставлена цель, в рамках которой они должны были показать свои знания из разделов физики конденсированного состояния, по которому успели прослушать курс лекций и выполнить лабораторный практикум. Поэтому с учетом полученных ими знаний и навыков работы с таким оборудованием больших проблем при выполнении постановки физического эксперимента у обучающихся не возникло.

На демонстрационный стол была сфокусирована видеокамера, транслирующая все происходящие на нем действия (рис. 9). Картинка с демонстрационного стола передавалась при помощи управляющего блока (рис. 5) и соответствующего программного обеспечения для команды, находящейся онлайн. В правом верхнем углу рисунка 9а показан монитор, закрепленный на штативе, с изображением, которое обучающие дистанционного формата видели у себя на экранах. На данный момент занятия команды в гибридной аудитории разрабатывали алгоритм проведения физического эксперимента, поэтому пустое демонстрационное пространство отображалось на мониторе, интерактивной доске (рис. 9б) и домашних компьютерах студентов.

В результате подготовки каждая из команд, находящихся в гибридной аудитории, успешно подготовила свой демонстрационный эксперимент по заданной теме с использованием соответствующего лабораторного оборудования. На рисунках 10 и 11 (см. 3 стр. обложки) представлены результаты некоторых демонстраций.

На интерактивной доске, размещенной за демонстрационным столом (рис. 11б), наглядно виден собранный лабораторный стенд и возникающие при этом физические эффекты, что в целом характеризует результативное использование гибридного формата при демонстрации физического явления.

По условиям задания команда, находя-

щаяся в онлайн режиме, должна была подготовить теоретические вопросы и тестовые задания по каждой из представленных демонстраций.

По окончании каждого выступления обучающиеся из четвертой команды должны были зачитывать вопросы, соответствующие теме, и давать на них развернутые ответы. После этого транслировались варианты тестовых заданий на интерактивной доске гибридной аудитории.

В результате такого взаимодействия получилось вполне корректно показать различные варианты работы с двумя группами обучающихся, одна из которых находилась в дистанционном формате работы, а другая — в очной, традиционной форме — присутствовала в аудитории.

Хорошая оснащенность кабинета позволила передать ход работы, этапы проведения физического эксперимента и продемонстрировать необходимые эффекты физических явлений. Тем не менее, следует заметить, что приобретенный опыт в результате обучения у команд в гибридной и онлайн аудиториях получился разным. Студенты, работавшие с лабораторным стендом и использовавшие экспериментальную установку, получили практические навыки по монтажу, отладке и постановке физического эксперимента, что нельзя сказать про другую группу, обучающуюся в онлайн режиме.

Гибридная методика преподавания зарекомендовала себя как один из возможных способов работы в сложный период пандемии, а также для проведения занятий для лиц с ОВЗ. Ее вполне можно использовать в средних и высших образовательных организациях, центрах ДО и ДПО как отдельно, так и сочетая с традиционными технологиями обучения. Такой способ подачи материала будет особенно интересен при организации дополнительных курсов повышения квалификации, когда аудитория расширяется за счет участия и привлечения слушателей из других регионов. Поэтому гибридное обучение может помочь, например, мо-

тивированным школьникам или студентам из отдаленных регионов получить знания на открытых лекциях ведущих ВУЗов по интересующим разделам физики.

Однако на ряду с положительными моментами не стоит забывать, что для успешного проведения занятий требуется дорогостоящие технические средства управления демонстрацией и программное обеспечение, качественные видеокамеры, создающие всестороннюю трансляцию с разных ракурсов, устойчивый, скоростной интернет. Для успешного освоения курса требуется высокая самодисциплина и самоорганизация со стороны студентов, находящихся онлайн. У некоторых из них могут возникать сложности из-за плохого интернета или отсутствия компьютера, позволяющего подключаться по конференцсвязи.

В каждой конкретной ситуации предложенные этапы проведения гибридных занятий должны варьироваться, уточняться, детализироваться в соответствии с особенностями тематики, что накладывает определенные требования к профессиональной подготовке преподавателя (учителя), дополнительную нагрузку при разработке методических и дидактических материалов, а также ответственность за результат обучения. Важна логика построения гибридного занятия, одновременный контроль учебной деятельности обучающихся находящихся в онлайн формате и в конкретной аудитории, а также построение лекций и семинаров как системы обучения, позволяющей полностью формировать необходимые практические компетенции.

Изучение физических дисциплин во многом базируется на получении знаний через эксперимент, работе с лабораторным оборудованием и получении практических навыков монтажа лабораторного стенда, проведении опыта (исследования), анализе полученных результатов. Наверняка, никто не хотел бы оказаться на приеме у хирурга, просидевшего в онлайн-группе в рамках гибридной модели обучения, получившего

знания по видео на домашнем компьютере. Поэтому все занятия, связанные с развитием практических компетенций обучающихся для выполнения лабораторных работ по физике не целесообразно проводить в данном формате.

Необходимо отметить, что гибридная модель проведения занятий при соответствующей организации образовательного процесса важна и особенно нужна при обучении лиц с ОВЗ, но будет полезна только в сочетании с традиционными методами преподавания физических дисциплин. Поэтому требуется взвешено и с осторожностью подходить к разработке таких занятий для обеспечения качественных результатов обучения.

Литература

1. Алканова О.Н. Белая книга. Гибридное обучение / О.Н. Алканова, Д.П. Ананин, А.Е. Байзаров, К.А. Баранников, Т.В. Бобрусь, О.И. Игнатьева, Н.Г. Стрикун, Е.В. Титова. — М.: СПб: Грин Принт, 2022. — 120 с.
2. Ананин Д.П., Стрикун Н.Г. Гибридное обучение в структуре высшего образования: между онлайн и офлайн // Наука, образование, культура. 2022. № 4. С. 60–74.
3. Основы методики преподавания физики в средней школе / под редакцией А.В. Перышкина, В.Г. Разумовского, В.А. Фабриканта. — М.: Просвещение, 1984. — 397 с.
4. Концепция преподавания учебного предмета «Физика» в образовательных организациях Российской Федерации, реализующих основные общеобразовательные программы (утв. решением Коллегии Министерства просвещения РФ, протокол от 3 декабря 2019 г. N ПК-4вн). <https://docs.edu.gov.ru/document/60b620e25e4db7214971c16f6b813b0d?ysclid=lj5ukandzl520429697>.
5. Приказ Минобрнауки России от 07.08.2014 N 937 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.03.02 Физика (уровень бакалавриата)».

Дата поступления рукописи (Received): 21.06.2023.

Опубликовано (Published): 17.08.2023.

ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КАК СПОСОБ ДОСТИЖЕНИЯ МЕТАПРЕДМЕТНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

LABORATORY RESEARCH AS A PATH TO SOFT SKILLS

Научная статья

Scientific article

УДК 372.853

DOI 10.47639/0130-5522_2023_6_36

С.А. Ловягин, к.п.н., старший методист, автономная некоммерческая образовательная организация «Хорошевская школа», Москва; lovyagins@gmail.com	S.A. Lovyagin, PhD (Pedagogy), lead methodologist at private «Khoroshevskaya school», Moscow; lovyagins@gmail.com
Ключевые слова: лабораторное исследование, универсальные учебные действия, базовые исследовательские действия, метапредметные результаты	Keywords: laboratory research, basic research actions, soft skills
Аннотация. В статье описаны содержание и методика проведения лабораторных исследований в курсе физики основной школы. Обосновывается тезис о метапредметном характере данного вида деятельности учащихся, позволяющем формировать все виды универсальных учебных действий. Описан опыт и приводится универсальная структура и примеры рабочих листов экспериментальных исследовательских заданий, позволяющих выполнить полный цикл исследования в рамках одного урока. В публикации также рассмотрена методика оценивания базовых исследовательских действий. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-14215	Abstract. The article describes the content and methodology of laboratory research in secondary school physics. The thesis about the specific nature of this type of student activity, which makes it possible to form all types of soft skills, is substantiated. The experience is described and a special frame and examples of worksheets of experimental research tasks are given, allowing to complete the full cycle of research within one lesson. The publication also describes the assessment procedure of basic research actions

© Ловягин С.А., 2023

Введение

Современные образовательные стандарты требуют от учителя работы не только над предметными знаниями, но и формирования универсальных учебных действий. Растет число и сложность педагогических задач. При этом ресурс учебного времени, выделенного на предмет, не увеличивается. Как и в любой другой деятельности, необходим эффективный педагогический инструмент, позволяющий решить эту проблему и одновременно достигать и предметных, и метапредметных результатов. Такой инструмент в физике есть — это экспериментальная исследовательская деятельность. Нужно только отработать мето-

дику ее организации во время уроков, чтобы имеющегося учебного времени хватило для решения всех задач. В публикуемом материале содержится описание разработанной нами технологии интеграции в уроки физики лабораторных исследований. В приложении приведены примеры рабочих листов для учащихся, которые представляют собой авторские разработки, сделанные нами практически по каждой изучаемой теме программы.

Проведенное нами предварительное исследование показало, что лабораторные исследования обладают уникальным потенциалом — в процессе их проведения формируются не только исследовательские действия,

но и весь диапазон универсальных учебных действий.

1. Познавательные и логические действия: выявлять закономерности; выявлять причинно-следственные связи; делать выводы, выдвигать гипотезы; выбирать способ решения.

2. Цифровые действия: использовать цифровую лабораторию; фиксировать данные в таблице; строить графики; фиксировать на видео; проводить компьютерные расчеты.

3. Работа с информацией: анализировать и систематизировать информацию; представлять информацию.

4. Коммуникативные действия: задавать вопросы и высказывать идеи; выражать мысли в форме текста; публично представлять результаты.

5. Совместная деятельность (сотрудничество): выстраивать общие цели и распределять роли; выполнять работу, координируя свои действия с другими.

6. Регулятивные действия (самоорганизация): составлять план действий; делать выбор и брать на себя ответственность.

7. Самоконтроль (рефлексия): анализировать причины достижения/недостижения результатов; вносить коррективы в деятельность; оценивать соответствие результата цели.

Экспериментальные исследовательские задания составляют основу содержания обучения физике в соответствии с разработанной нами авторской рабочей программой. Формулировка заданий дает возможность учащимся проводить исследование с высокой степенью самостоятельности. Выполнение исследовательских заданий предполагает использование цифровых инструментов для фиксации результатов, обработки и представления данных, моделирования. Лабораторное исследование включает создание отчета и презентацию результатов. Оно рассчитано на 30–40 минут учебного времени.

Сформулируем рабочее определение того, что мы называем учебным лабораторным

исследованием. **Лабораторное исследование** — это лабораторный эксперимент, содержащий все этапы научного исследования и выполняемый учащимися самостоятельно по одной из тем программы в рамках урока.

В процессе разработки этого типа заданий мы опирались на стандартную структуру исследовательского процесса, как он реализуется во всех научных исследованиях и излагается в публикациях.



Рис. 1. Этапы исследования в науке и обучении

Исходя из этой последовательности этапов нами в процессе педагогической работы был уточнен список базовых исследовательских действий и дано описание каждого из них, что позволило приблизить к образовательной практике соответствующий раздел описания метапредметных результатов в рабочей программе по физике. Были также выявлены и описаны компоненты (элементы) исследовательских УУД, что позволяет фокусировать внимание учителя на составляющих исследовательских действий при их формировании и оценке. Разработанное нами уровневое описание исследовательских действий было положено в основу процедуры оценки их сформированности у каждого учащегося. Поскольку продукты учебной работы, включая заполненные рабочие листы и отчеты о проведенных лабораторных

исследованиях, выложены на цифровую платформу (зафиксирован цифровой след ученика), становится возможной непосредственная оценка уровня освоения учащимися исследовательских действий.

Описание базовых исследовательских действий

1. Планирование исследования (умение применять принципы исследовательского подхода, чтобы спланировать исследование):

- приводить примеры видов деятельности, характерных для науки;
- перечислять и выстраивать в последовательность виды деятельности, составляющие процесс исследования;
- приводить примеры того, каким образом элементы исследования присутствуют в обычной жизни.

2. Наблюдение и описание (умение наблюдать явление, процесс или объект и описывать результаты наблюдений):

- различать факты и теории, описание непосредственных наблюдений и теоретической модели;
- наблюдать и замечать детали явления;
- описывать непосредственные наблюдения в устной и письменной форме.

3. Формулирование вопросов и гипотез (умение формулировать исследовательский вопрос и гипотезу исследования):

- формулировать исследовательский вопрос;
- формулировать проверяемую гипотезу исследования;
- обосновывать гипотезу исследования.

4. Проведение экспериментов (умение собирать экспериментальную установку и проводить эксперимент):

- выбирать оборудование, подходящее для достижения цели эксперимента;
- конструировать экспериментальную установку;
- выполнять правила безопасного и аккуратного обращения с приборами и оборудованием;

- идентифицировать изменяемую и зависимую величины, а также фиксированные параметры эксперимента;
- объяснять, как манипулировать величинами;
- объяснять важность получения повторных измерений;
- планировать методику эксперимента;
- описывать методику эксперимента как последовательность шагов.

5. Сбор и обработка данных (умение применять приемы сбора, обработки и представления данных):

- выбирать и использовать подходящий измерительный прибор;
- определять погрешность измерений и предел измерения прибора;
- структурировано записывать данные;
- представлять данные в виде таблиц и графиков.

6. Анализ данных и вывод (умение анализировать полученные данные и делать вывод):

- анализировать графики;
- подбирать подходящую функциональную зависимость;
- оценивать надежность данных;
- оценивать методику эксперимента.

7. Применение математики (умение рассчитывать необходимые величины):

- обрабатывать полученные данные (среднее значение и др.);
- вычислять искомые величины, используя соответствующие формулы и результаты прямых измерений;
- при необходимости переводить единицы измерения из одной системы единиц в другую.

8. Создание и использование моделей (умение выбирать или строить модели явлений, процессов и объектов):

- приводить примеры моделей;
- описывать роль моделирования в научном исследовании;
- строить простые модели;
- проводить эксперимент с физической и цифровой моделями и делать вывод о

возможном поведении моделируемого объекта.

9. Выстраивание логики объяснений (умение объяснять явления, используя научные законы и теории):

- указывать закон или теорию, подходящие для объяснения;
- определять причину и следствие;
- отличать причинно-следственную связь от хронологической последовательности событий,
- строить объяснение в виде последовательности логически связанных утверждений.

Структура рабочего листа лабораторного исследования

Везде, где в рабочем листе стоит двоеточие, предполагается его заполнение самим учащимся, если информация изначально не дана учителем. Соотношение «двоеточий» и «точек» в рабочем листе определяет степень самостоятельности учащихся и, соответственно, уровень сформированности у них соответствующих исследовательских действий.

НАЗВАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ...

1. Изучаемое явление и проблемный вопрос.
2. Исследовательский вопрос.
3. Гипотеза.
4. Исследуемые величины и параметры.
 - 4.1. Изменяемая величина:
 - 4.2. Зависимая величина:
 - 4.3. Фиксированные параметры.
5. Оборудование.
6. Методика эксперимента.
 - 6.1. Инструктивная часть (если исследование предполагает использование новых для учащихся методов или приборов):
 - 6.2. Описание эксперимента.
7. Результаты эксперимента.
 - 7.1. Исходные данные:
 - 7.2. Таблица:
 - 7.3. Расчеты:

7.4. График зависимости:

8. Анализ данных.

8.1. Вывод:

8.2. Подтвердилась ли гипотеза?

9. Формат отчета (что выложить на платформу, например: рабочий лист, таблицу, график, видео и т.д.).

Алгоритм разработки экспериментальных исследовательских заданий

Алгоритм разработан на основе 10-летнего опыта работы автора с учителями, методистами и студентами педагогических ВУЗов.

Важная предпосылка разработки — понимание того факта, что учащиеся не могут самостоятельно открыть законы природы. Их вывод не обязан совпадать со строгой научной формулировкой. Степень обобщения тоже невысока. Они проводят учебное исследование.

1. Выбор физического явления для исследования в рамках программы.
2. Составление списка величин, возможных для исследования (что можно менять, измерять или иначе фиксировать).
3. Проектирование эксперимента (разработка методики).
4. Заполнение структуры рабочего листа.
5. Удержание рамки времени выполнения работы (отказ от избытка вопросов и заданий).
6. Учет возможностей учащихся (знаний, навыков, в том числе исследовательских).
7. Учет вариативности результатов экспериментов учащихся (погрешности измерений и неаккуратности).

Методика формирования исследовательских навыков

Для курса физики нами был разработан 51 рабочий лист лабораторных исследований по всем темам программы (11 — для

7-го класса, 15 — для 8-го, 25 — для 9-го). Все рабочие листы, а также другие материалы опубликованы в методическом пособии «Физика в цифре» [1].

Помимо учебных материалов важна методика проведения и оценивания лабораторных исследований, основные элементы которой описаны ниже.

1. Полноценная основа для самостоятельной работы учащихся. Умение учиться опирается на самостоятельные действия учащегося. Чтобы это обеспечить, нужна ориентировочная основа действия. Роль такой основы играют четко сформулированные задания со всей необходимой информацией, а также понимание учащимися методологии научного исследования и владение соответствующим понятийным аппаратом (межпредметными понятиями), выполняющим в исследовательской деятельности инструментальную роль.

2. «Орудийность» (инструментальность). Исследовательская деятельность учащихся опирается на структуру рабочего листа или отчета, повторяющую структуру научного исследования. Наряду с понятийным аппаратом рабочий лист является полноценным инструментом деятельности.

3. Групповая форма выполнения исследований. Все лабораторные исследования, за исключением итоговых проверочных работ, выполняются учащимися в парах или мини-группах. За счет такой взаимной поддержки и коммуникации существенно повышается результативность учебной деятельности. Это не снижает результативности «ведомых» учащихся, которые, как показывают итоговые работы, также овладевают исследовательскими действиями в своей зоне ближайшего развития.

4. Поддержка самостоятельной групповой и индивидуальной работы педагогом. Педагог оказывает учащимся значительную поддержку, особенно на старте: он демонстрирует новые для учеников приборы и действия, фокусирует их внимание на сложных моментах эксперимента, поясняя

ет, отвечает на вопросы, активно помогает группам на начальных этапах формирования исследовательских действий, дает индивидуальную и общую обратную связь в процессе и по итогам лабораторных исследований.

5. Многократное повторение. Лабораторные исследования постоянно повторяются в течение учебного года, число их постоянно растет, доходя до практически еженедельного выполнения в 9 классе (каждая новая тема начинается с исследования, и только потом вводится теория, во многом опирающаяся на их результаты). Такое повторение дает возможность сформировать устойчивый навык выполнения исследовательских и других универсальных учебных действий.

6. Постепенность. Обучение исследовательской методологии происходит постепенно: каждое действие требует отдельного внимания и времени для освоения. Начинается изучение физики в 7 классе с метапредметного модуля, который так и называется: «Исследовательский метод». На начальном этапе (7 класс) в каждом лабораторном исследовании происходит отдельная отработка (акцент) одного или двух исследовательских действий. В рабочих листах постепенно уменьшается инструктивная часть и законченность формулировок (например, исследовательского вопроса). При уверенном выполнении исследовательских действий возникает возможность добавлять формирование других универсальных учебных действий (9 класс).

7. Рефлексивная оценка в итоге каждого исследования и всего обучения в целом. Каждое лабораторное исследование заканчивается подведением итога. В конце изучения темы происходит рефлексивная оценка достигнутых образовательных результатов, в том числе сформированных в процессе изучения этой темы исследовательских действий. В конце изучения физики подводится итог и оценка результатов изучения курса каждым учащимся.

Критерии оценки отчета (рабочего листа) учащегося

В зависимости от работы и учебных целей каждый из критериев может иметь свой вес. Например, все вместе они могут дать ученику максимально 100 баллов. Если учащиеся только начали осваивать исследовательский подход, основной вес должен быть у 1, 3 и 4 критерия, как самых сложных на старте.

1. Сформулирован исследовательский вопрос.
2. Записана гипотеза.
3. Выбраны изменяемая и зависимая величины.
4. Записаны фиксированные параметры.
5. Собрана лабораторная установка.
6. Проведены эксперименты в соответствии с методикой.
7. Дано описание эксперимента (в том числе, как проведены измерения).
8. Зафиксированы результаты (таблица), указаны единицы измерения.
9. Сделана обработка данных (расчеты и/или графики).
10. Сформулирован вывод.

Данный список критериев во многом совпадает со списком исследовательских действий, что позволяет педагогу оценивать

эти действия после каждого лабораторного исследования по продуктам учебной работы (заполненным рабочим листам). При наличии соответствующей разметки рабочего листа эту оценку в ближайшем будущем может выполнить искусственный интеллект. В настоящий момент подобная экспертная оценка исследовательских действий по рабочим листам выполняется педагогом. Из экономии времени оценка происходит по итогам изучения больших тем (10–12 за год), когда учащийся пишет проверочную работу, также имеющую формат лабораторного исследования. Цифровая платформа позволяет фиксировать и накапливать оценки каждого действия. В этом случае простым алгоритмом автоматизированной оценки уровня сформированности какого-либо исследовательского действия может быть следующий: если три раза подряд учащийся успешно выполнил данное действие, его можно оценить как освоенное.

Результативность освоения исследовательских действий

Чтобы оценить уровень сформированности исследовательских действий, нами был разработан онлайн-опросник и проведен опрос в трех 9-х классах в конце учебного

Таблица 1

Рефлексивная оценка уровня сформированности исследовательских действий у учащихся по итогам обучения в 9 классе (указан процент учащихся, получивших оценку соответствующего уровня)

	Исследовательские действия/оценка	0	1	2	3	4
1	Планировать исследования	0	3%	25%	50%	22%
2	Наблюдать и описывать явления	0	0	8%	50%	42%
3	Формулировать вопросы и гипотезы	0	0	28%	56%	17%
4	Проводить эксперименты	0	0	22%	44%	33%
5	Измерять параметры эксперимента	0	11%	19%	42%	28%
6	Анализировать данные и делать вывод	0	3%	25%	47%	25%
7	Рассчитывать величины	0	8%	33%	39%	19%
8	Строить и использовать модели	0	6%	36%	42%	17%
9	Объяснять явления	0	0	39%	56%	6%

года. Учащиеся должны были оценить, на каком уровне у них сформировано каждое из исследовательских действий по шкале от 0 до 4, используя следующий рубрикатор:

0 — навык совершенно отсутствует;

1 — навык присутствует, но в небольшой степени;

2 — навык сформирован на базовом уровне (могу выполнить описанное действие, но недостаточно уверенно);

3 — навык полностью сформирован (свободно выполняю описанное действие);

4 — в этом навыке я могу быть экспертом.

Результаты опроса показывают высокую оценку освоения всех видов исследователь-

ских действий: более 60% учащихся считает, что исследовательские действия полностью сформированы.

Заключение

Проведенная апробация показывает, что разработанные нами рабочие листы вместе с методикой проведения и оценивания лабораторных исследований являются эффективным педагогическим инструментом формирования предметных и универсальных учебных действий.

В ближайшей перспективе планируется разработка инструмента оценивания метапредметных результатов, в том числе частичная автоматизация его работы.

Примеры рабочих листов лабораторных исследований

Почему рвется нить? Лабораторное исследование

Работа выполняется в группах по 3 человека.

1. Изучаемое явление. Если подвесить груз на одну нить, а внизу привязать вторую и медленно потянуть, верхняя нить порвется. А если потянуть быстро, порвется нижняя. *Почему рвется нижняя нить?*

2. Исследовательский вопрос. *Как меняется натяжение обеих нитей, когда обрывается нижняя нить?*

3. Гипотеза.

4. Оборудование:

- 1) штатив с муфтой и стержнем,
- 2) датчик силы 50 Н — 2 шт.,
- 3) цифровая лаборатория,
- 4) груз с крючком — 5 шт.,
- 5) нитка.

5. Методика эксперимента.

- 5.1. Во время эксперимента проводите измерение натяжения обеих нитей датчиком силы и проанализируйте изменение обеих сил, все время сравнивая их друг с другом.

- 5.2. Закрепите один датчик силы в верхней части штатива крючком вниз.

- 5.3. Сделайте две нитяных петли (рис. 2). Для этого сложите нить вдвое и завяжите узел на конце. Затяните его покрепче. Должна получиться петля. Длина не важна.

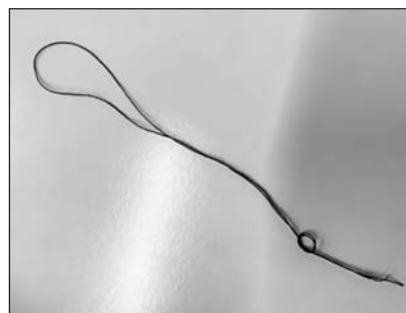


Рис. 2. Нитяная петля

- 5.4. Подвесьте петлю на крючок датчика силы (электронного динамометра) и зацепите за нее цепочку из пяти грузов.
- 5.5. На крюк нижнего груза цепочки повесьте вторую нить и зацепите

ее снизу крючком второго датчика силы (рис. 3).



Рис. 3. Вид установки

- 5.6. Перед началом эксперимента установите на цифровой лаборатории частоту сбора данных 100 замеров в секунду и длительность 10 секунд.
- 5.7. Начиная эксперимент, запустите запись измерений и только после этого потяните за нить.
- 5.8. *Придерживайте сверху стержень штатива, предохраняя его от падения.*
- 5.9. *Постарайтесь вовремя отдернуть руку после обрыва, чтобы грузы не упали на руку.*

6. Результаты эксперимента

- 6.1. Сфотографируйте и рассмотрите графики измерений обоих датчиков силы.
- 6.2. Если нужно, увеличьте фрагмент графика.

7. Анализ данных

7.1. Вывод.

7.2. Подтвердилась ли гипотеза?

7.3. Почему при медленном натяжении рвется верхняя нить? Обоснуйте ответ данными эксперимента.

7.4. Почему при быстром натяжении рвется нижняя нить? Обоснуйте ответ данными эксперимента.

Измерение скорости звука. Лабораторное исследование на школьном дворе

Исследовательский вопрос. Какова задержка по времени между вспышкой петарды и звуком?

Оборудование: петарды — 3–4 шт. («Корсар 4» – шумовая петарда), каминные спички, защитные очки, массивный деревянный брусок с отверстием глубиной 5 см и диаметром 15 мм.

Методика эксперимента

1. Учащиеся выходят на улицу вместе с учителем. На школьном дворе длиной 200–300 м учитель расставляет детей группами вдоль прямой на расстоянии 100 м друг от друга, деля их на три группы. Первая группа стоит всего в 50 м от петарды. Сам он становится в начале этой линии и поджигает петарду, которая производит только вспышку и сильный грохот. Необходимо для безопасности закрепить петарду на каком-нибудь массивном предмете, например, вставить ее вертикально в отверстие внутри деревянного бруска, чтобы она высовывалась из него на 3 см. Учащиеся наблюдают, как вспыхивает петарда, и мгновением позже слышат звук.

2. Перед расстановкой следует предупредить детей о способах сигнализации в тот момент, когда каждая группа услышит грохот: нужно поднять руку в момент, когда увидишь дым (петарда зажжена), и резко опустить ее в момент, когда услышишь грохот. Основная масса детей должна стоять на максимальном удалении от петарды (не менее 100 м, но лучше 200–300 м). Именно они видят, как по очереди опускают руки

предыдущие группы детей, и, кроме того, для них отчетливее всего становится рас-
согласование вспышки и грохота.

3. В каждой группе нужно снимать весь процесс на видео с хорошей оптикой круп-
ным планом. Для повышения точности
измерения интервала между вспышкой и
грохотом внизу кадра нужно держать циф-
ровой секундомер (на смартфоне).

4. После завершения опыта каждый уча-
щийся должен измерить в шагах расстояние
до места взрыва (длину своего шага можно
померить, пройдя 10–20 шагов и измерив
это расстояние рулеткой).

Задание (после возвращения в класс).

1. Опишите эксперимент и свои наблю-
дения.

2. Запишите расстояние от места наблю-
дения до места подрыва петарды.

3. По данным из видеосъемки запиши-
те промежуток времени между вспышкой и
грохотом.

4. Запишите расстояние от петарды до
места съемки.

5. Рассчитайте скорость звука.

Вывод

Обсудите результаты с другими группами и сделайте вывод: *какова задержка по времени между вспышкой петарды и грохотом?*

Исследование звука музыкальных инструментов.

Итоговая проверочная работа

Цель: исследовать связь между длинами звуковых волн и размером звучащей части музыкального инструмента.

Исследовательский вопрос (Как зави-
сит... от ...?).

Гипотеза

Методика исследования

Длину звуковой волны можно вычис-

лить, измерив частоту звука. (**Это вся ин-
струкция для продвинутых исследова-
телей.**)

Подробная инструкция — дополни-
тельно используйте подсказки.

1. Подготовьте таблицу. Лучше всего в
Excel.

2. Измерьте частоту звуков.

3. Рассчитайте периоды колебаний.

4. Рассчитайте длины волн.

5. Измерьте длины звучащей части ин-
струмента (зажатой пальцем струны, или
столба воздуха внутри флейты, или длину
резонатора камертона).

6. Постройте график зависимости.

7. На какую математическую функцию
 $y(x)$ он похож?

Ответьте на вопросы

и выполните задания

1. Опишите, как вы выполнили экспе-
римент.

1.1. Оборудование.

1.2. Опишите свои действия:

1.2.1. что делал,

1.2.2. что измерял и как,

1.2.3. что вычислял и как.

2. Выложите на платформу:

2.1. фото экспериментальной установ-
ки,

2.2. фото рабочего листа,

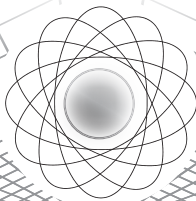
2.3. скриншот таблицы с графиком.

Литература

1. Ловягин С.А. Физика в цифре. Изучение
физики в насыщенной цифровой среде в 7–9
классах на основе лабораторных исследований
и цифровых инструментов: Учебно-методическое
пособие. — Воронеж: Научная книга, 2023. —
324 с.

Дата поступления рукописи (Received): 28.06.2023.

Опубликовано (Published): 17.08.2023.

ПРАКТИКУМ ПО РОСТУ КРИСТАЛЛОВ КАК ОДНО ИЗ СРЕДСТВ
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО САМООПРЕДЕЛЕНИЯ ШКОЛЬНИКОВWORKSHOP ON CRYSTAL GROWTH AS A MEAN
OF PROFESSIONAL SELF-DETERMINATION OF PUPILS

Научная статья

Scientific article

УДК 372.853

DOI 10.47639/0130-5522_2023_6_45

Е.К. Титаева , м.н.с., Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Н. Новгород; titaeva@unn.ru	E.K. Titaeva , junior researcher, Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod; titaeva@unn.ru
О.В. Лебедева , д.п.н., профессор, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Н. Новгород; lebedeva@phys.unn.ru	O.V. Lebedeva , DrSci (Pedagogy), professor, Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod; lebedeva@phys.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, Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod; kim@phys.unn.ru
Ключевые слова: профессиональное самоопределение учащихся, готовность к получению физического образования, кристаллофизика, практикум по росту кристаллов	Keywords: pupils professional self-determination, readiness to physical education, crystall physics, practice for crystal growth
Аннотация. С целью расширения знаний в области кристаллофизики предложен практикум по росту кристаллов, позволяющий учащимся осознанно подойти к выбору будущей профессии. Данный практикум направлен на ознакомление школьников с закономерностями и методами кристаллизации, развивает интерес в данной области науки и приобщает к научной деятельности. Практикум может быть организован как на профильной кафедре ВУЗа, так и в учреждениях дополнительного образования, например, ДТ Кванториум. Большинство работ практикума можно организовать и на базе школьного кабинета физики, так как предложены доступные и безопасные материалы, оборудование кабинета может быть дополнено самодельными кристаллизаторами	Abstract. The crystal growth practical work was suggested to achieve extension of crystallography knowledge that allows pupils to look for a future care are more deliberate. The workshop is aimed to meet pupils with patterns and methods of crystallization. It enhances the interest to this sphere of physics and let pupils to dig into science activity. The workshop can be implemented on an institute chief as well as in an additional education center (for example «Quantorium»). The most part of works included to the workshop can be arranged at school lesson of physics suggested experimental equipment is safe and widely available and the list of equipment can be extended with manually-developed cristallizators

В соответствии с ФГОС основного общего образования в результате освоения программы по физике обучающиеся должны *«иметь представления о сферах профессиональной деятельности, связанных с физикой и современными технологиями, основанными на достижениях физической науки, позволяющими обучающимся рассматривать физико-техническую область знаний как сферу своей будущей профессиональной деятельности»* [1].

Интереснейшим разделом физики является кристаллофизика. В настоящее время существует явный запрос высокотехнологического производства и академических институтов нашего региона в высококвалифицированных, заинтересованных специалистах-кристаллографах, способных решать современные задачи. Например, рост крупных малодефектных монокристаллов является актуальной задачей нелинейной оптики.

Однако в школьной программе темам «Кристаллы», «Кристаллические тела» уделяется очень малое количество часов. Данные темы вообще не рассматриваются в программе базового уровня, а в программе профильного обучения на тему «Твердые тела и их превращение в жидкости» отводится 4 часа.

Ввиду малого объема часов, выделяемых на изучение темы «Кристаллы» в школьной программе, мы предлагаем расширять знания учащихся по данной теме во внеурочной деятельности циклом лабораторных работ, которые могут быть организованы: на факультативных занятиях в школе, на занятиях на практикующей кафедре ВУЗа, в учреждениях дополнительного образования, например, ДТ Кванториум.

Цель практикума заключается в том, чтобы учащиеся узнали, что такое кристалл, основные свойства кристаллов, где используются кристаллы, зачем они выращиваются, какие методы их роста существуют; а главное, выполняя работы, учащиеся

смогут составить представление о работе кристаллографов и понять, готовы ли они связать с кристаллографией свою будущую профессию.

Мы предполагаем, что в ходе выполнения работ практикума учащиеся научатся работать с основным оборудованием, которое используется в лаборатории: кристаллизаторами, микроскопом, аналитическими весами, рефрактометрами, pH-метрами и т.д. Содержание практикума выстроено по принципу движения от кристаллизации в макросистеме к кристаллизации в микросистеме. Каждая работа начинается с формулировки цели, отдельных задач и этапов ее выполнения, далее дан литературный обзор по теме эксперимента, преимущественно базирующийся на школьной программе, затем следует изложение хода работы. Все работы выполняются в малых группах по 2–3 человека. Предполагается выполнение следующих видов работ.

1. Выращивание крупных кристаллов из водных растворов

Данный вид работ является наиболее доступным для понимания школьников и простым в аппаратном смысле. Даже без специального оборудования можно получить кристаллы размерами 2–3 см в самодельном кристаллизаторе. Схема кристаллизатора представлена на рисунке 1, а сам кристаллизатор — на рисунке 2. Особенностью описываемого метода является перепад температуры внутри вертикального кристаллизатора. В зоне повышенной температуры, равной комнатной, в его верхней части имеется запас растворяющегося вещества в виде сростков неоднородных кристаллов, в нижней его части, в более холодной зоне, происходит рост кристалла на небольшом кристаллике (затравке). Понижение температуры в нижней части кристаллизатора на уровне затравки обеспечивается влажным марлевым поясом.

В данном случае размер кристаллов является мотиватором к использованию мето-

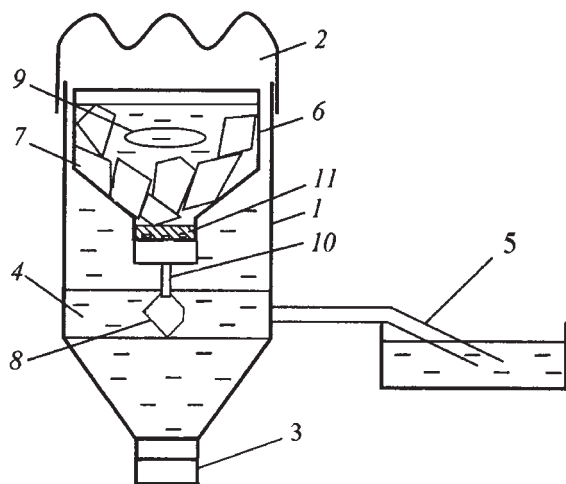


Рис. 1. Схема кристаллизационного устройства, сделанного из пластиковых бутылок: 1 — бутылка с отрезанным дном, 2 — крышка (из донышка бутылки), 3 — пробка бутылки, 4 — марлевый пояс, 5 — сосуд с водой (из нижней части другой бутылки), 6 — вкладыш (часть другой бутылки), 7 — запас вещества в виде сrostков, 8 — растущий кристалл, 9 — отверстия во вкладыше, 10 — ниппель, 11 — отверстия в горловине вкладыша

да, ибо учащиеся воочию без микроскопов видят, как растет кристалл. Продолжительность выращивания обычно составляет около двух недель. При этом получают кристаллы размером до 2–3 см.

В данной работе можно использовать доступные каждому такие вещества, как поваренная соль и медный купорос. Однако наиболее интересным будет выращивание кристаллов алюмокалиевых квасцов ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$). Кристаллы смешанных квасцов фиолетового цвета растут из растворов с добавкой хромокалиевых квасцов ($\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), которые имеют густо фиолетовый цвет.

Выполняя данный цикл работ, учащиеся знакомятся с существующими методами роста кристаллов из раствора методом охлаждения, методом испарения и методом температурного перепада.



Рис. 2. Кристаллизатор, сделанный из пластиковых бутылок

2. Выращивание кристаллов в геле

Примером образования кристаллов в геле является засахаривание варенья или меда. Гели — вязкое, студнеобразное состояние раствора.

В практикуме описана методика роста кристаллов в геле, которая может быть реализована в школьном кабинете физики или в домашних условиях и позволяет на простом оборудовании при комнатной температуре вырастить кристаллы до 1–2 мм в каждом измерении с использованием пищевого желатина и более крупные при использовании метасиликатного геля ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$). Кристаллы в данном методе растут в пробирках, размер которых ограничивает и размер самих кристаллов. Тем самым уменьшается размер системы: вместо 2–3 сантиметровых кристаллов в

первом цикле работ практикума мы получаем кристаллы размерами 2–4 мм.

Настоящая работа может иметь продолжение, заключающееся в исследовании условий для выращивания кристаллов. Интересным будет изучение количества образовавшихся кристаллов в зависимости от молярности питающего раствора. Процесс образования кристаллов при комнатной температуре будет несколько отличаться от кристаллизации при повышенной или пониженной температуре. Методика выращивания кристаллов в геле описана нами в статье [2].

3. Рост кристаллов в микросистемах

В данном цикле описаны такие работы, как «Выращивание нитевидных кристаллов», «Кристаллизация в капле и в тонком слое раствора», «Ориентированная кристаллизация на слюде» и др.

Здесь параметры системы уменьшаются до долей миллиметра. Школьники учатся работать с микросистемами и с микроскопом. При достижении некоторого критического размера системы учащиеся осознают различие в кристаллизации в макросистеме и микросистеме.

В данных работах тоже не требуются специфические вещества, например, процессы кристаллизации в каплях прекрасно демонстрирует поваренная соль.

В ходе выполнения работ учащиеся знакомятся с тем, где в науке и на производстве используются эти методы. На кафедре кристаллографии и экспериментальной физики проводятся исследования в области разработки новейших материалов для лазерной техники, нелинейной оптики. Преобразование длины волны, мощности излучения, изменение временных параметров лазерного луча достигается с применением совершенных кристаллических материалов [3–5].

После завершения работ практикума учащиеся выполняют полноценную учебно-исследовательскую работу по росту кристал-

лов тем или иным способом и изучению их свойств. Завершается практикум защитой выполненных работ на конференции.

Анкетирование учеников 8 класса, принявших участие в выполнении работ практикума, показало явный интерес к теории зарождения и методам роста кристаллов. Абсолютное большинство хотело бы заниматься данной темой в дальнейшем.

Литература

1. Федеральный государственный образовательный стандарт основного общего образования [электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202107050027> (дата обращения 23.03.2023).

2. *Тимаева Е.К.* Рост кристаллов в геле как учебно-исследовательский проект учащихся // Физика в школе. 2021. № 7. С. 52–54.

3. *Егорова А.Е., Портнов В.Н., Воронцов Д.А., Ким Е.Л., Малафеева (Тимаева) Е.К.* Влияние комплексов хрома, меди и марганца на рост кристаллов квасцов, сегнетовой соли и KDP // Вестник ННГУ им. Н.И. Лобачевского. 2011. № 6. С. 58–62.

4. *Егорова А.Е., Карнеева Т.В., Малафеева (Тимаева) Е.К., Марычев М.О.* Рост centrosимметричных кристаллов, легированных примесями, и генерация в них второй гармоники // Материалы нано-, микро- и оптоэлектроники: физические свойства и применение: тезисы докладов междунар. науч.-практ. конф. — Саранск, Мордовия, 2007. — С. 101.

5. *Тимаева Е.К., Лебедева О.В., Федосеев В.Б.* Исследование эффектов кристаллизации в системах малого объема в рамках лабораторной работы по физике // Проблемы учебного физического эксперимента. Сборник научных трудов XXVII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. — М., 2022. — С. 68–70.

Дата поступления рукописи (Received): 27.03.2023.

Опубликовано (Published): 17.08.2023.

ТРУБА РУБЕНСА (ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ)

RUBENS PIPE (OPERATING PRINCIPLE)

Научная статья
УДК 372.853

Scientific article
DOI 10.47639/0130-5522_2023_6_49

Н.А. Парфентьева , к.ф.-м.н., зав. кафедрой физики, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, учитель физики, Международная гимназия в Новых вешках, Москва; nparfentyeva@gmail.com	N.A. Parfentieva , PhD (Physics and Mathematics), Head of the Department of Physics, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Physics teacher of the International Gymnasium in Novye Veshki. Moscow; nparfentyeva@gmail.com
Н.А. Парфентьев , к.ф.-м.н., ст. науч. сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений, Москва; nik_parfenium@mail.ru	N.A. Parfentiev , PhD (Physics and Mathematics), art. sci. Employee, All-Russian Research Institute of Optical and Physical Measurements, Moscow; nik_parfenium@mail.ru
Ключевые слова: стоячая волна, звук, горение, труба, принцип действия	Keywords: standing wave, sound, combustion, pipe, operating principle
Аннотация. Широкое распространение физического эксперимента со стоячими звуковыми волнами, как правило, не сопровождается объяснением природы этого явления. Авторы, не претендуя на приоритет в интерпретации указанного эксперимента, дают подробное описание процессов горения газа в трубе Рубенса. Материал ориентирован на более глубокое понимание физических процессов, лежащих в основе опыта. Приведены рекомендации пожаробезопасного варианта трубы для демонстрации на уроках по физике	Abstract. The widespread physical experiment with standing sound waves, as a rule, is not accompanied by an explanation of the nature of this phenomenon. The authors, without claiming priority in the interpretation of this experiment, give a detailed description of the processes of gas gorenje in the Rubens pipe. The material is focused on a deeper understanding of the physical processes underlying the experience. Recommendations of a fire-safe version of the pipe for demonstration in physics lessons are given

© Парфентьева Н.А., Парфентьев Н.А., 2023

В 1904 г. Генрих Рубенс, в чью честь называли этот эксперимент, взял 4-х метровую трубу, просверлил в ней 200 маленьких отверстий с шагом 2 см и заполнил ее горючим газом [1]. После получения пламени (высота огоньков примерно одинакова по всей длине трубы) он заметил, что источник звука, установленный у конца трубы, создает стоячую волну с длиной волны, равной половине длины волны подводимого звука.

На рисунке 1 приведена фотография трубы Рубенса с отверстиями для выхода горючего газа. На одном из концов трубы уста-

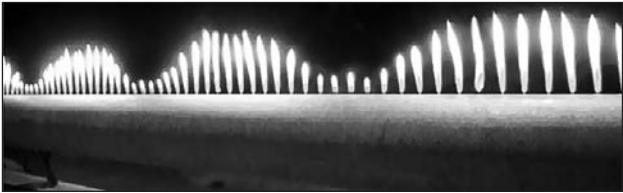


Рис. 1. Труба Рубенса

новлен источник звуковых волн, на другом — отражатель. В результате внутри трубы образуется стоячая звуковая волна.

В настоящее время эксперимент с трубой Рубенса является популярной физической демонстрацией, сопровождающей уроки

физики, связанные со стоячими звуковыми волнами, темой, которая не очень легко дается учащимся. Модель стоячей звуковой волны, которую демонстрирует труба Рубенса, поможет лучше понять тему «Колебания и волны», как образуются пучности (интерференционные максимумы), что изменяется по гармоническому закону при возбуждении звуковой волны.

Трубу Рубенса из-за ее эффектности можно встретить и в качестве украшения дискотек, где встречаются ее двумерные варианты. В этом случае в трубу подается не гармоническая волна, а популярная мелодия.

Однако редко в литературе и интернете [2–4] можно найти описание принципа действия трубы Рубенса, который может служить хорошим примером проблем горения газовой смеси.

Действительно, в стоячей звуковой волне, образовавшейся в воздухе, существуют точки, в которых давление остается постоянным, и точки, где давление газа (из-за давления звука) меняется по гармоническому закону при том же значении среднего давления газа. Поскольку частота звука очень высока, общий объем выходящего газа во всех точках должен быть одинаковым,

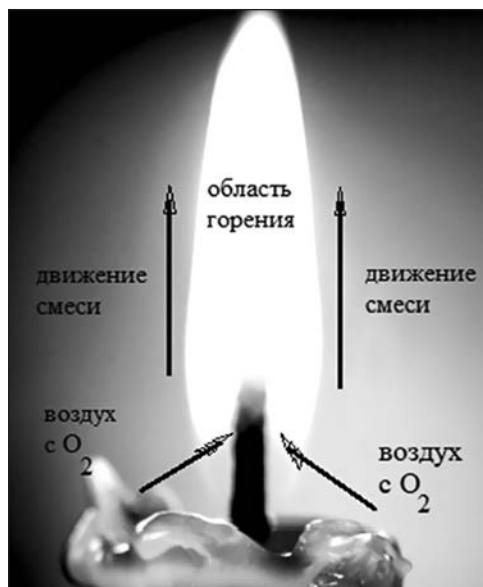


Рис. 2. Горение свечи

и высота «факела» — постоянной для всех выходных отверстий.

Для анализа процессов, протекающих в отверстии трубы Рубенса, рассмотрим горение обычной свечи. Отметим, что при этой демонстрации учащихся дополнительно может заинтересовать такой интереснейший процесс — процесс горения.

Для горения любого материала необходим кислород. Идущий вверх ламинарный поток горячего воздуха увлекает поток холодного, насыщенного кислородом воздуха в нижней части пламени. Это явление носит название конвекции и обязано своей природой наличию силы гравитации. Сама форма пламени свечи определяется движением потоков горячего и холодного воздуха.

В отверстии трубы Рубенса давление меняется от величины, превышающей среднее значение, до величины меньшей среднего.

В момент, когда давление меньше среднего, происходит засасывание холодного воздуха в локальный участок трубы. Затем при нулевом избыточном давлении в данном месте происходит смешивание горючего газа и воздуха, насыщенного кислородом. При последующем повышении давления готовая для горения смесь вытекает в отверстие и поступает в область горения.

В целом, последовательность процессов подобна тому, что происходит в двигателях внутреннего сгорания, отличаясь лишь тем, что само сгорание происходит не внутри, а снаружи. Тем самым устройство реализует как бы промежуточный тип горения, находящегося между внутренним и внешним.

В обычной демонстрационной практике



Рис. 3. Три фазы смешения воздуха и газа в каждом отверстии трубы Рубенса

труба Рубенса используется редко, поскольку требует соблюдения строгих правил пожарной безопасности при работе с газовой магистралью.

Однако в продаже имеются баллончики с горючим газом для зажигалок. Не представляет труда наполнение газом от такого баллончика небольшого воздушного шарика из непроницаемой пленки. Процесс изготовления трубы Рубенса достаточно прост и многократно описан в интернете. Соединение макета трубы и наполненного газом шарика с помощью обычного крана также элементарно. Для обеспечения постоянного давления газа на пластиковый шарик можно положить плоский груз. В результате получаем устройство для эффективной демонстрации стоячих звуковых волн на

уроках по физике. Полезным для школьников и учащихся колледжей будет также приведенное нами объяснение принципа действия трубы Рубенса.

Литература

1. Никитина Ж.Ю., Никитин Д.С., Тугушева З.М. Исследование звуковых волн. Труба Рубенса // Старт в науке. 2016. № 1.
2. wikipedia.org https://ru.wikipedia.org/wiki/Труба_Рубенса.
3. Наука детям. Труба Рубенса. 2016.
4. Труба Рубенса с изменяющейся длиной и геометрией. <https://usamodelkina.ru> › ... › Звук и акустика. 2020.

Дата поступления рукописи (Received): 09.04.2023.

Опубликовано (Published): 17.08.2023.

Информация

Самый большой из когда-либо созданных квазикристаллов (с вибрирующими стальными сферами)

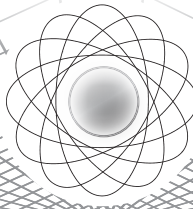
Французские исследователи недавно совершили прорыв в изучении квазикристаллов — структур с неповторяющейся структурой. Используя большие стальные сферы и специальную вибрационную технику, они создали самый большой квазикристалл из когда-либо наблюдавшихся. Это достижение может открыть новые возможности для создания квазикристаллов из других типов строительных блоков, несмотря на трудности, связанные с определением стабильности таких систем.

Квазикристаллы — это материалы, которые нарушают традиционные правила кристаллографии. Они были открыты в 1982 году Даном Шехтманом.

Ученые вместо частиц нанометрового или микрометрового размера, которые используются обычно, решили использовать объекты в тысячу раз крупнее. В неглубокую коробку насыпали около 4000 стальных сфер диаметром 2,4 или 1,2 мм, сформировав почти двумерную конфигурацию.

Затем с помощью вибрационного метода они потрясли коробку с частотой 120 Гц в течение примерно 170 часов. Все это время они фиксировали изменения в конфигурации бусин. Результат оказался удивительным: бусинки организовывались в тонкий квазикристалл, самый большой из когда-либо созданных.

Источник: New-Science.ru <https://new-science.ru/samyj-bolshoj-iz-kogda-libo-sozdannyh-kvazikristallov-s-vibrirujushimi-stalnymi-sferami/>



ЗАДАЧИ И ВОПРОСЫ

TASKS AND QUESTIONS

Физика в школе. 2023. № 6. С. 52–56

Physics at School. 2023. No. 6. P. 52–56

«ТРЕУГОЛЬНИК» ИЛИ ПОИСК КПД ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ЦИКЛА

«TRIANGLE» OR SEARCH FOR THE EFFICIENCY OF THE THERMODYNAMIC CYCLE

Научная статья

Scientific article

УДК 530.1, 53.01, 53.02, 372.853

DOI 10.47639/0130-5522_2023_6_52

А.М. Кириллов, к.ф.-м.н., доцент, Сочинский государственный университет, г. Сочи; kirill806@gmail.com

A.M. Kirillov, PhD (Physics and Mathematics), associate professor, Sochi state university; kirill806@gmail.com

Ключевые слова: КПД, коэффициент полезного действия, термодинамический цикл, круговой процесс, цикл Карно, идеальная тепловая машина, теплота, количество теплоты, внутренняя энергия, давление, объем, температура, первый закон термодинамики, работа газа, изопроцессы, изохорный процесс, изобарный процесс, адиабатический процесс, изотерма, адиабата, MathCAD

Keywords: thermodynamic cycle efficiency, circular process, Carnot cycle, ideal heat engine, heat, amount of heat, internal energy, pressure, volume, temperature, first law of thermodynamics, gas work, isoprocesses, isochoric process, isobaric process, adiabatic process, isotherm, adiabat. MathCAD

Аннотация. В статье в популярной форме рассмотрена нетривиальная задача по поиску КПД термодинамического цикла в виде «треугольника» на pV -диаграмме. Приведено подробное решение с анализом происходящих процессов. Выполнен переход из координат $p-V$ в координаты $p-T$. В численных расчетах и при построении графиков использовался математический пакет MathCAD

Abstract. In the article, in a popular form, a non-trivial problem of finding the efficiency of a thermodynamic cycle in the form of a «triangle» on the pV -diagram is considered. A detailed solution with an analysis of the ongoing processes is given. Transition from $p-V$ coordinates to $p-T$ coordinates is performed. The mathematical package MathCAD was used in numerical calculations and plotting

© Кириллов А.М., 2023

«...И опыт, сын ошибок трудных...». Строка из Пушкина уместна для той ситуации, в которой я, автор, оказался: принимал участие в конкурсе для учителей и преподавателей физики, и одно из заданий послужило основой для материала данной статьи.

Задание звучало так: «Когда Акакию Акакиевичу в процессе подготовки к ЕГЭ по физике надоело решать обычные задачи

на изопроцессы, он решил вычислить, во сколько раз КПД цикла, график которого в координатах $\frac{p}{p_0} - \frac{V}{V_0}$ представляет собой треугольник с вершинами в точках (1; 1), (1; 4) и (4; 1), меньше КПД цикла Карно при соответствующих минимальной и максимальной температурах для одноатомного идеального газа».

Построим вначале pV -диаграмму данного цикла (рис. 1).

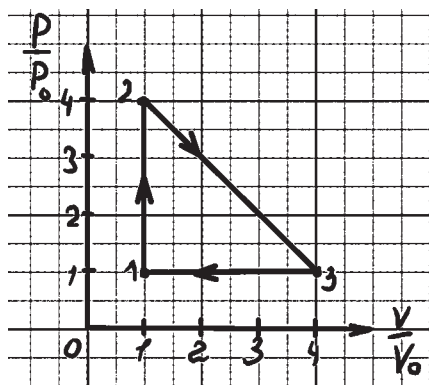


Рис. 1. pV -диаграмма заданного цикла

Можно видеть, что в координатах p – V (давление — объем) заданный по условию задачи круговой процесс (цикл) выглядит как треугольник, поэтому в дальнейшем будем данный цикл называть «треугольником». Состоит он из трех процессов: 12 — изохорный нагрев, 23 — расширение с падением давления, 31 — изобарное сжатие. Цифры 1, 2, 3 на рисунке 1 и в обозначении процессов соответствуют начальным и конечным состояниям газа в указанных выше процессах.

Первая часть задачи по нахождению «КПД цикла Карно при соответствующих минимальной и максимальной температурах» большой сложности не представляет. Надо найти только, во сколько раз максимальная температура $T_{\max}$ больше минимальной температуры $T_{\min}$. Но даже тут я допустил ошибку, которая косвенно отразилась и на решении второй части задачи (поиск КПД «треугольника»), так как из-за нее я не сделал важного вывода, касающегося поведения температуры в процессе 23. Могу себя оправдывать тем, что при решении конкурсных заданий было ограничение времени, а заданий было около трех десятков. Поэтому «ну случайно, ну шутя, сбился с верного пути!».

Посчитал, что минимальная температура соответствует состоянию 1 (и это, действительно, так). А максимальная — состояниям 2 и 3, температура в которых

одинакова, так как они могут принадлежать одной изотерме ($p_2V_2 = p_3V_3$). Т.е. $T_{\min} = T_1 = T_0$, а $T_{\max} = T_2 = T_3$. Последнее и было той фатальной ошибкой, которая привела к неверному расчету КПД идеальной тепловой машины (Карно) и не позволила сделать верных выводов при нахождении КПД «треугольника». За это коллеги, которые более искушены в решении подобных задач, и могут подвергнуть меня остракизму. Но кто из нас не ошибался?!

Согласно числовым значениям на pV -диаграмме $T_2 = T_3 = 4T_0$. Ошибочный расчет КПД цикла Карно дал результат:

$$\eta_k = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{T_{\max}} = \frac{4T_0 - T_0}{4T_0} = 0,75.$$

Позже, когда появилась информация о том, какие задания решены верно, а какие нет, я увидел, что данная задача решена неверно, и начал с ней детально на досуге разбираться.

Вначале понял, что максимальная температура в «треугольнике» не соответствует состояниям 2 и 3. Действительно, точки, лежащие на «гипотенузе» (процесс 23) данного треугольника, могут принадлежать изотермам с более высокими температурами (рис. 2).

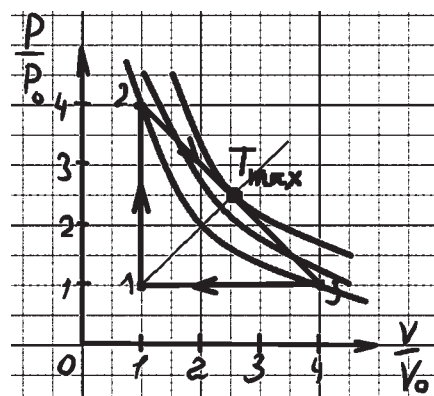


Рис. 2. Изотермы, соответствующие отдельным состояниям в процессе 23

Равнобедренность данного треугольника (его симметричность относительно биссектрисы прямого угла) позволяет заключить,

что состояние с более высокой температурой соответствует середине «гипотенузы». Для середины гипотенузы мы имеем объем $V = 2,5V_0$ и давление $p = 2,5p_0$. Отсюда максимальная температура $T_{\max} = 6,25T_0$. КПД цикла Карно:

$$\eta_k = \frac{6,25T_0 - T_0}{6,25T_0} = 0,84.$$

Рассмотрим еще варианты нахождения максимальной температуры в заданном «треугольном» цикле. Для начала найдем уравнение зависимости давления от объема на участке, соответствующем гипотенузе треугольника, в виде $p(V) = kV + b$ (где k — угловой коэффициент уравнения прямой, а b — ее свободный член). Несложно определить, что $k = -\frac{p_0}{V_0}$, а $b = 5p_0$. Таким образом, уравнение зависимости давления от объема на участке 23 цикла:

$$p(V) = -\frac{p_0}{V_0}V + 5p_0. \quad (1)$$

Используя выражение (1) и уравнение Менделеева–Клапейрона, получим уравнение зависимости температуры от давления для данного участка:

$$T(p) = -\frac{V_0}{p_0 \nu R} p^2 + \frac{5V_0}{\nu R} p, \quad (2)$$

где ν — количество газа (моль), R — универсальная газовая постоянная.

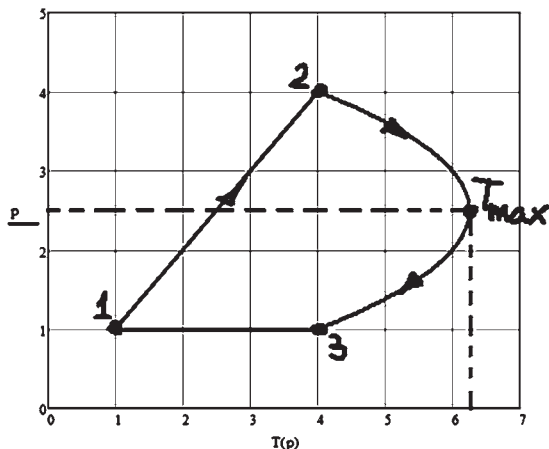


Рис. 3. pT -диаграмма цикла

Теперь построим заданный цикл в виде pT -диаграммы (рис. 3). Для построения участка 23 использовался математический пакет MathCAD.

На диаграмме можно видеть, что максимальная температура действительно приходится на значение $6,25T_0$.

Найти максимальную температуру можно, взяв производную от зависимости температуры от давления (2) и приравняв ее к нулю:

$$\frac{dT}{dp} = -\frac{2V_0}{p_0 \nu R} p + \frac{5V_0}{\nu R} = 0. \quad (3)$$

Решив полученное уравнение (3), находим, что экстремум (максимум) функции (2) приходится на давление $p = 2,5p_0$. Подставив полученное значение в выражение (3), получаем:

$$T_{\max} = \frac{6,25p_0 V_0}{\nu R} = 6,25T_0.$$

Следующий шаг задачи — определение КПД «треугольника». Как уже упоминалось выше, не выяснив, что на участке 23 происходит изменение роста температуры на ее падение, и что возможно изменение направления теплового потока, т.е. что, возможно, получение газом теплоты ($Q > 0$) меняется на ее отдачу ($Q < 0$), я неверно рассчитал КПД «треугольника». Взяв теплоту, полученную от нагревателя, за $Q_h = Q_{12} + Q_{23}$, получил значение КПД

$$\eta = \frac{A}{Q_h} = 0,375.$$

Работа газа в цикле равна его «площади» на pV -диаграмме: $A = 4,5p_0 V_0$. Теплота в процессе 12:

$$\begin{aligned} Q_{12} &= \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \Delta(pV) = \\ &= \frac{3}{2} (4p_0 V_0 - p_0 V_0) = 4,5p_0 V_0 \end{aligned}$$

(работа в изохорном процессе 12 равна нулю).

Теплота в процессе 23:

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} = 0 + \frac{4p_0 + p_0}{2} \cdot 3V_0 = 7,5p_0V_0$$

(изменение внутренней энергии в процессе 23 равно нулю, так как $T_2 = T_3$).

Теперь мы знаем, что происходит с температурой на участке 23. Но означает ли это, что в состоянии с $T_{\max} = 6,25T_0$ происходит смена направления теплового потока (с получением газом теплоты от нагревателя на ее отдачу от газа охладителю)? Не факт! Работа газа на участке 23 всегда положительна (на всем участке расширение). Изменение внутренней энергии меняет свой знак с «+» на «-» в состоянии с температурой $6,25T_0$. Но возможно, что в состоянии с $T_{\max}$ значение работы еще превышает модуль отрицательного изменения внутренней энергии ($A > |\Delta U|$), и тогда мы будем иметь дело с получением газом теплоты от нагревателя. Другими словами, состояние, в котором происходит смена направления теплового потока, может находиться «ниже» середины «гипотенузы» (состояния с $T_{\max}$).

Используя первый закон термодинамики, выведем уравнение зависимости теплоты от объема на участке 23:

$$Q = \Delta U + A = \frac{3}{2} \Delta(pV) + \frac{4p_0 + p}{2} \cdot (V - V_0).$$

Далее, используя выражение (1) и проводя соответствующие алгебраические преобразования, получим:

$$Q(V) = -2 \frac{p_0}{V_0} V^2 + 12,5p_0 V - 10,5p_0 V_0. \quad (4)$$

Приведем график этой зависимости (рис. 4).

Из графика, представленного на рисунке 4, можно видеть, что при объеме газа, немного превышающем $3V_0$, происходит смена направления теплового потока. Данное состояние действительно «ниже» на «гипотенузе» состояния с максимальной температурой, достигаемой при $V = 2,5V_0$. Т.е. при $V < 3V_0$ газ получает теплоту от нагревателя,

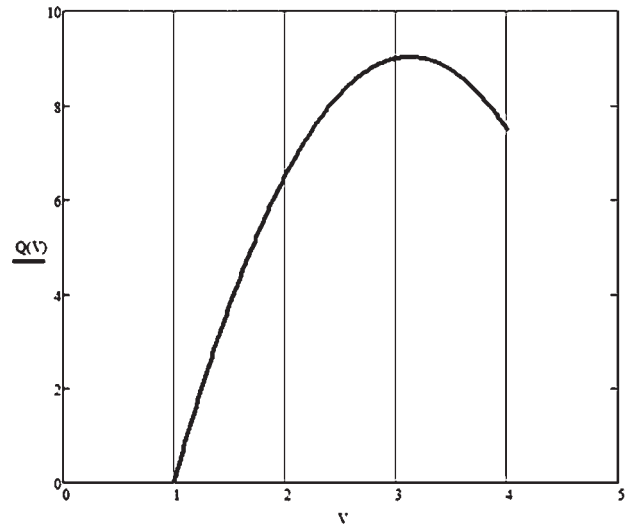


Рис. 4. Зависимость количества теплоты, получаемой газом в процессе расширения на участке 23

ля, а при $V > 3V_0$ — начинает передавать теплоту холодильнику.

Точное значение этого «экстремального» объема V_Q найдем, взяв производную от функции $Q(V)$ и приравняв ее к нулю:

$$Q' = -4 \frac{p_0}{V_0} V + 12,5p_0 = 0.$$

Решив полученное уравнение, получаем

$$V_Q = \frac{25}{8} V_0 = 3,125V_0.$$

Используя выражение (1), можно определить значение давления, соответствующего смене направления теплового потока:

$$p_Q = \frac{15}{8} p_0 = 1,875p_0.$$

Теперь найти теплоту, получаемую в цикле от нагревателя, как говорится, «дело техники».

$$\begin{aligned} Q_n &= Q_{12} + Q_{2Q} = \frac{9}{2} p_0 V_0 + \Delta U_{2Q} + A_{2Q} = \\ &= \frac{9}{2} p_0 V_0 + \frac{3}{2} (p_Q V_Q - p_2 V_2) + \\ &\quad + \frac{p_2 + p_Q}{2} (V_Q - V_2) = \end{aligned}$$

$$= \frac{9}{2} p_0 V_0 + \frac{3}{2} \left(\frac{15}{8} p_0 \frac{25}{8} V_0 - 4 p_0 V_0 \right) + \\ + \frac{4 p_0 + \frac{15}{8} p_0}{2} \left(\frac{25}{8} V_0 - V_0 \right) = \dots = \frac{433}{32} p_0 V_0.$$

$$\text{Итак, } Q_n = \frac{433}{32} p_0 V_0.$$

Таким образом, в итоге КПД «треугольника»:

$$\eta = \frac{A}{Q_n} = \frac{\frac{9}{2} p_0 V_0}{\frac{433}{32} p_0 V_0} = \frac{144}{433} \approx 0,33.$$

В результате, отвечая на главный вопрос задачи, определяем, что КПД цикла Карно больше КПД «треугольника» в

$$\frac{\eta_k}{\eta} = \frac{0,84 \cdot 433}{144} \approx 2,53 \text{ раза.}$$

А как найти экстремальную точку $p_Q V_Q$, не получая функции $Q(V)$ и, соответственно, не дифференцируя ее? Запишем первый закон термодинамики для элементарного количества теплоты

$$\delta Q = dU + \delta A = \frac{3}{2} d(pV) + p dV = \\ = \frac{3}{2} p dV + \frac{3}{2} V dp + p dV = \frac{5}{2} p dV + \frac{3}{2} V dp.$$

В состоянии, в котором происходит смена направления теплового потока, $\delta Q = 0$. Тогда из $\frac{5}{2} p dV + \frac{3}{2} V dp = 0$ можно выразить

$$\frac{dp}{dV} = -\frac{5}{3} \frac{p}{V}. \quad (5)$$

С учетом того, что $\frac{dp}{dV}$ — это угловой коэффициент прямой 23, выражение (1) для искомой точки примет вид $p = -\frac{5}{3} \frac{p}{V} V + 5 p_0$, откуда $p = \frac{15}{8} p_0$. Подставив полученный результат в (1), получаем

$$V = \frac{25}{8} V_0 = 3,125 V_0.$$

Конечно, интересно было бы ответить на вопрос, а что же это за точка такая $p_Q V_Q$, точка, в которой происходит смена направления теплового потока?

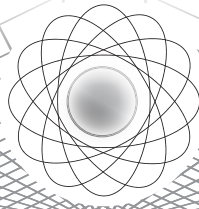
Разделив переменные в соотношении (5), получим дифференциальное уравнение

$\frac{dp}{p} = -\frac{5}{3} \frac{dV}{V}$, решение которого приводит нас к уравнению адиабаты $p V^{\frac{5}{3}} = \text{const}$, в котором $\gamma = \frac{5}{3}$ — показатель адиабаты (коэффициент Пуассона). Действительно, коэффициент Пуассона находится через число степеней свободы молекул газа, которое для одноатомного газа равно трем ($i = 3$), и

$$\gamma = \frac{i+2}{i} = \frac{3+2}{3} = \frac{5}{3}.$$

Таким образом, можно сделать вывод, что «экстремальная» точка на графике процесса 23 является точкой касания прямой 23 и соответствующей адиабаты.

Дата поступления рукописи (Received): 10.05.2023.
Опубликовано (Published): 17.08.2023.



КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛ ПРИТЯЖЕНИЯ К ПЛАНЕТАМ

COMPUTER SIMULATION OF GRAVITATIONAL FORCES TO PLANETS

Научная статья

Scientific article

УДК 372.853

DOI 10.47639/0130-5522_2023_6_57

П.И. Совертков , к.ф.-м.н., Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург; psovertkov@mail.ru	P.I. Sovertkov , PhD (Physics and Mathematics), Russian State Pedagogical University named after A.I. Herzen; psovertkov@mail.ru
Ключевые слова: компьютерное моделирование сил притяжения с различными условиями	Keywords: computer simulation of attractive forces with different conditions
Аннотация. В статье рассматривается построение гравитационных сил притяжения к двум и трем планетам	Abstract. The article deals with the construction of gravitational forces of attraction to two and three planets

© Совертков П.И., 2023

Закон взаимного притяжения двух тел изучается в школьном курсе физики. Используя этот закон и небольшое расширение навыков компьютерного моделирования, можно сформулировать интересное направление для поисковой деятельности учащихся и студентов. Привлечение компьютерной графики позволяет сделать изучение этого закона более интересным и направленным на интегративное освоение математики, физики и информатики. Программирование выполняется на языке Pascal ABC.net [1], знакомом большинству учащихся. Изменяя параметры, учащиеся могут проводить различные эксперименты.

Две планеты M_1 и M_2 с соответствующими массами m_1 и m_2 находятся на расстоянии d (рис. 1). Считаем массы планет сосредоточенными в центрах планет и размеры планет значительно меньше расстояния между планетами. Между планетами и другими небесными телами действуют силы

притяжения, рассчитанные по закону всемирного тяготения.

Для данной модели будем вычислять силу притяжения по формуле

$$F = \frac{\gamma m_1 m_2}{r^2},$$

где m_1 , m_2 — массы двух тел, r — расстояние между телами, γ — константа, которая выбирается в данной модели таким образом, чтобы расположение тел на рисунке и действующие силы можно было наглядно изобразить.

Начало декартовой системы координат находится в точке O на отрезке $M_1 M_2$, в которой силы гравитационного притяжения к планетам равны по величине, но имеют противоположные направления.

Точка O делит отрезок $M_1 M_2$ в отношении $\sqrt{m_1} : \sqrt{m_2}$,

$$OM_1 = \frac{\sqrt{m_1} d}{\sqrt{m_1} + \sqrt{m_2}}, OM_2 = \frac{\sqrt{m_2} d}{\sqrt{m_1} + \sqrt{m_2}}.$$

Обозначим

$$x_1 = -\frac{\sqrt{m_1}d}{\sqrt{m_1} + \sqrt{m_2}}, x_2 = -\frac{\sqrt{m_2}d}{\sqrt{m_1} + \sqrt{m_2}}.$$

Космический корабль единичной массы с двигателями для корректировки направления движется первый раз по прямой l_1 , а во второй раз — по прямой l_2 . Заметим, что небесное тело, пролетая в поле тяготения двух планет без корректировки двигателя, будет иметь другую траекторию под влиянием гравитационных полей планет.

Пусть корабль имеет координаты x и y .

На корабль действуют силы притяжения к планетам M_1 и M_2 :

$$F_1 = \frac{\gamma m_1}{(x_1 - x)^2 + y^2}, F_2 = \frac{\gamma m_2}{(x_2 - x)^2 + y^2}.$$

Учитывая направление сил к планетам, получаем векторы сил притяжения

$$\vec{F}_1 = \left(\frac{\gamma m_1 (x_1 - x)}{\sqrt{(x_1 - x)^2 + y^2}^3}; \frac{-\gamma m_1 y}{\sqrt{(x_1 - x)^2 + y^2}^3} \right),$$

$$\vec{F}_2 = \left(\frac{\gamma m_2 (x_2 - x)}{\sqrt{(x_2 - x)^2 + y^2}^3}; \frac{-\gamma m_2 y}{\sqrt{(x_2 - x)^2 + y^2}^3} \right).$$

На рисунке 1 построены диаграммы сил притяжений к планете M_1 и планете M_2 в нескольких точках прямых. Построенные отрезки изображают величины действующих сил и указывают направления к планетам, для которых $m_2 = 2m_1$.

Кстати, измерьте линейкой длины отрезков OM_2 и OM_1 на рисунке 1 и убедитесь, что программа правильно изобразила отношение $OM_2 : OM_1 = \sqrt{m_2} : \sqrt{m_1} = \sqrt{2}$.

Компьютерная программа построения рисунка 1:

```
Uses GraphABC; Var m1,m2,d,x0,y0,i,j:
Integer; x1,x2,r1,r2,x,y,xf1,yf1,xf2,yf2,k:
real; Begin x0:=200; y0:=240;d:=160;;m1:=10
00;m2:=2000; k:=180;
```

```
x1:=-d*Sqrt(m1)/(Sqrt(m1)+Sqrt(m2));
x2:=d*Sqrt(m2)/(Sqrt(m1)+Sqrt(m2));
```

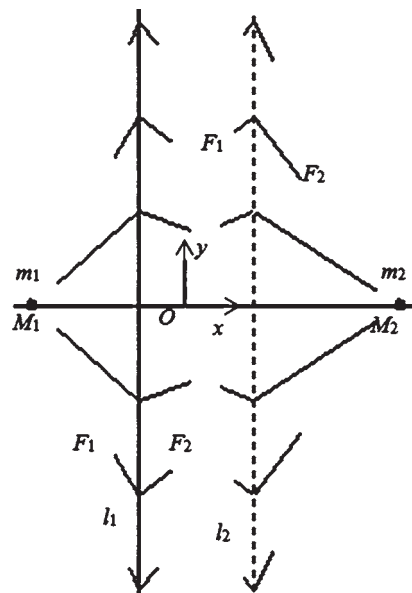


Рис. 1

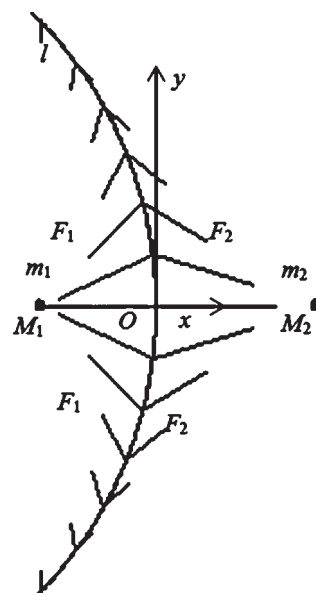


Рис. 2

```
Line (x0,y0,x0+30,y0); Line (x0,y0,x0,y0-20);
x:=-20; For i:=-4 To 4 Do Begin
y:= i*40; r1:=Sqrt ((x-x1)*(x-x1)+y*y);
r2:=Sqrt ((x-x2)*(x-x2)+y*y);
xf1:= -m1*k*(x-x1)/(r1*r1*r1);yf1:=-
m1*k*y/(r1*r1*r1); SetPenColor (clBlue);
Line (x0+round(x),y0-round(y),
x0+round(x+xf1),y0-round(y+yf1));
```

```

xf2:= -m2*k*(x-x2)/(r2*r2*r2);yf2:=
m2*k*y/(r2*r2*r2); SetPenColor (clGreen);
Line (x0+round(x),y0-round(y),
x0+round(x+xf2),y0-round(y+yf2));End;
x:=30; For i:=-4 To 4 Do Begin
y:= i*40; r1:=Sqrt ((x-x1)*(x-x1)+y*y);
r2:=Sqrt ((x-x2)*(x-x2)+y*y);
xf1:= -m1*k*(x-x1)/(r1*r1*r1);yf1:=
m1*k*y/(r1*r1*r1); SetPenColor (clBlue);
Line (x0+round(x),y0-round(y),
x0+round(x+xf1),y0-round(y+yf1));
xf2:= -m2*k*(x-x2)/(r2*r2*r2);yf2:=
m2*k*y/(r2*r2*r2); SetPenColor (clGreen);
Line (x0+round(x),y0-round(y),
x0+round(x+xf2),y0-round(y+yf2));End;
SetPenStyle(psDot);SetPenWidth
th(2); SetPenColor (clBlue); Circle
(x0+round(x1),y0,2);
SetPenColor (clGreen); Circle (x0+round
(x2),y0,2);SetPenWidth(1); SetPenColor (cl
Black);
Line (x0+round(x),y0-200-
,x0+round(x),y0+200); SetPenStyle(psSolid);
Line (x0+round(-20),y0-200,x0+round(-20-
),y0+200); End.

```

Замечание. Учащимся можно предложить дополнить программу так, чтобы она строила сложение сил в рассматриваемых точках, т.е. наглядно изображала результирующий вектор притяжения.

Найдем множество точек $M(x, y)$ на плоскости, в которых силы притяжения к планетам равны, т.е. выполняется равенство

$$\frac{\gamma m_1}{M_1 M^2} = \frac{\gamma m_2}{M_2 M^2},$$

$$\frac{m_1}{\left(x + \frac{d\sqrt{m_1}}{\sqrt{m_1} + \sqrt{m_2}}\right)^2 + y^2} = \frac{m_2}{\left(x - \frac{d\sqrt{m_2}}{\sqrt{m_1} + \sqrt{m_2}}\right)^2 + y^2},$$

$$(m_2 - m_1)x^2 + 2d\sqrt{m_1 m_2}x + (m_2 - m_1)y^2 = 0.$$

Если массы планет равны, то искомым множеством точек является прямая $x = 0$.

Если $m_2 \neq m_1$, то множеством точек, в которых силы притяжения в планетах равны, является окружность

$$\left(x + \frac{d\sqrt{m_1 m_2}}{m_2 - m_1}\right)^2 + y^2 = \left(\frac{d\sqrt{m_1 m_2}}{m_2 - m_1}\right)^2$$

с центром $\left(0; -\frac{d\sqrt{m_1 m_2}}{m_2 - m_1}\right)$ и радиусом $\frac{d\sqrt{m_1 m_2}}{m_2 - m_1}$.

На рисунке 2 построена часть такой окружности l и показаны силы притяжения с равными величинами в каждой точке к двум планетам.

```

Uses GraphABC;
Var m1,m2,d,x0,y0,i,j: Integer; x1,x2,r1,r
2,rs,x,y,xf1,yf1,xf2,yf2,g: real; Begin
x0:=360; y0:=240;d:=160;m1:=1000;m2:=2
000; g:=300;
x1:=-d*Sqrt(m1)/(Sqrt(m1)+Sqrt(m2));
x2:=d*Sqrt(m2)/(Sqrt(m1)+Sqrt(m2));
Line (x0,y0,x0+30,y0);Line (x0,y0,x0,y0-
100);
rs:=Sqrt(m1*m2)/(m2-m1)*d;
Arc(x0-round(rs),y0,round(rs),0,360);
For i:=-6 To 6 Do Begin
x:=-rs+rs*cos(i*pi/24); y:=rs*sin(i*pi/24);
r1:=Sqrt ((x-x1)*(x-x1)+y*y); r2:=Sqrt ((x-
x2)*(x-x2)+y*y);
xf1:= -m1*g*(x-x1)/(r1*r1*r1);yf1:=
m1*g*y/(r1*r1*r1); SetPenColor (clBlue);
Line (x0+round(x),y0-round(y),
x0+round(x+xf1),y0-round(y+yf1));

```

```

xf2:= -m2*g*(x-x2)/(r2*r2*r2);yf2:=
m2*g*y/(r2*r2*r2); SetPenColor (clGreen);
Line (x0+round(x),y0-round(y),
x0+round(x+xf2),y0-round(y+yf2));End;
SetPenStyle(psDot);
SetPenWidth(2); SetPenColor (clBlue);
Circle (x0+round(x1),y0,2);
SetPenColor (clGreen); Circle
(x0+round(x2),y0,2);
SetPenWidth(1); SetPenColor (clBlack);
End.

```

На рисунке 3 построены линии равного притяжения для двух планет с массами m_1 и $m_2 = qm_1$ для различных значений q .

В этом случае масса второй планеты меняется, поэтому ранее рассмотренную систему координат использовать сложно, так как ее начало будет смещаться для каждого значения q .

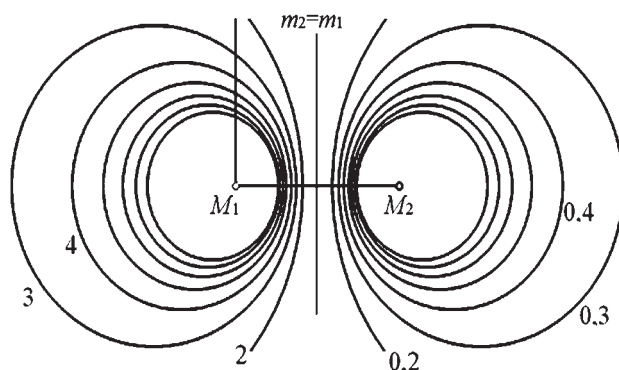


Рис. 3

Начало координат фиксированной системы для моделирования таких линий удобнее выбрать в точке M_1 , тогда получаем уравнение

$$\frac{m_1}{x^2 + y^2} = \frac{qm_1}{(d-x)^2 + y^2}$$

или

$$(q-1)x^2 + 2dx + (q-1)y^2 = d^2.$$

При $m_2 = m_1$ искомым множеством точек является серединный перпендикуляр к отрезку M_1M_2 .

Если массы планет различны, то уравнение примет вид

$$x^2 + \frac{2dx}{q-1} + y^2 = \frac{d^2}{q-1}$$

или

$$\left(x + \frac{d}{q-1}\right)^2 + y^2 = \frac{d^2 q}{(q-1)^2}.$$

Полученное уравнение определяет окружность с центром $\left(-\frac{d}{q-1}; 0\right)$ и радиусом $\frac{d\sqrt{q}}{|q-1|}$.

Программа построения нескольких линий с равными притяжениями к двум пла-

нетам (на рисунке 3 возле некоторых линий указаны значения коэффициента q):

Uses GraphABC;

Var m1,d,x0,y0,i: Integer;

m2,q,xs,rs,x,y,g: real; **Begin**

x0:=240; y0:=240;d:=100;m1:=1000;

Line (x0,y0,x0+d,y0);Line (x0,y0,x0,y0-100);

For i:=2 **To** 8 **Do Begin**

q:=i; m2:=q*m1;

xs:=-d/(q-1);rs:=d*Sqrt(q)/Abs(q-1);

Arc(x0+round(xs),y0,round(rs),0,360);**End**;

For i:=2 **To** 8 **Do Begin**

q:=1/i; m2:=m1/q;

xs:=-d/(q-1);rs:=d*Sqrt(q)/Abs(q-1);

Arc(x0+round(xs),y0,round(rs),0,360);**End**;

SetPenColor (clBlue); Circle (x0,y0,2);

SetPenColor (clGreen); Circle (x0+d,y0,2);

End.

Найдем линии на плоскости, для точек которой сила притяжения к планете M_2 в k ($k > 0$) раз больше силы притяжения к планете M_1 (рис. 4), и напечатаем программу построения такой линии.

Снова начало координат фиксированной системы для моделирования такой линии выберем в точке M_1 , тогда получаем уравнение

$$\frac{km_1}{x^2 + y^2} = \frac{m_1}{(d-x)^2 + y^2}$$

или

$$(m_2 - km_1)x^2 + 2km_1dx + (m_2 - km_1)y^2 = km_1d^2.$$

Если $m_2 = km_1$, то искомым множеством точек является серединный перпендикуляр к отрезку M_1M_2 .

Если $m_2 \neq km_1$, то уравнение примет вид

$$x^2 + \frac{2km_1dx}{m_2 - km_1} + y^2 = \frac{km_1d^2}{m_2 - km_1}$$

или

$$\left(x + \frac{km_1d}{m_2 - km_1}\right)^2 = \frac{m_1m_2kd^2}{(m_2 - km_1)^2}.$$

Полученное уравнение определяет окружность с центром $\left(-\frac{km_1d}{m_2 - km_1}; 0\right)$ и радиусом $\frac{\sqrt{m_1m_2kd}}{|m_2 - km_1|}$.

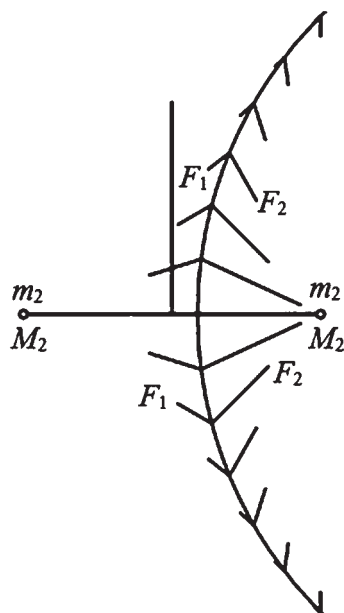


Рис. 4

На рисунке 4 в нескольких точках такой линии построены векторы притяжения к планетам для случая $k = 2$. Измерьте линейкой длины векторов и найдите отношение длин.

Программа построения линии, для которой сила притяжения к планете M_2 в k ($k > 0$) раз больше силы притяжения к планете M_1 :

```
Uses GraphWPF;
Var m1,d,x0,y0,i: Integer; m2,k,g,r1,r2,rs,
xs,x,y,xf1,yf1,xf2,yf2: real; Begin
  x0:=360; y0:=240;d:=140;m1:=1000;
  g:=200;m2:=1000;k:=2;
  Line (x0,y0,x0+d,y0);Line
  (x0+d/2,y0,x0+d/2,y0-100);
  rs:=d*Sqrt(m1*m2*k)/ABS(m2-k*m1);xs:=-
  k*m1*d/(m2-k*m1);
  Arc(x0+xs,y0,rs,0,360);
  For i:=18 To 30 Do Begin
```

```
  x:=xs+rs*cos(i*pi/24); y:=rs*sin(i*pi/24);
  r1:=Sqrt(x*x+y*y); r2:=Sqrt((x-d)*(x-
  d)+y*y);
  xf1:= -m1*g*x/(r1*r1*r1);yf1:=-m1*g*y/
  (r1*r1*r1);
  Line (x0+x,y0-y, x0+x+xf1,y0-(y+yf1));
  xf2:= m2*g*(d-x)/(r2*r2*r2);yf2:=-m2*g*y/
  (r2*r2*r2);
  Line (x0+x,y0-y, x0+x+xf2,y0-
  (y+yf2));End;
  Circle(x0,y0,2);Circle(x0+d,y0,2);
End.
```

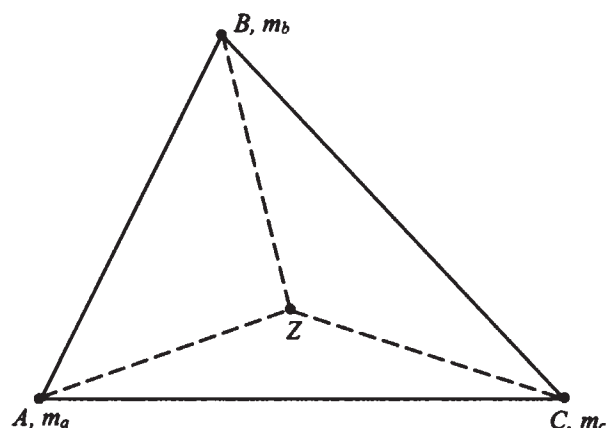


Рис. 5

Рассмотрим три планеты, расположенные в вершинах треугольника ABC (рис. 5), с соответствующими массами m_a, m_b, m_c .

Для тела, расположенного в точке Z с массой, равной 1, получаем силы притяжения.

На участке ZA действует сила

$$F_{ZA} = \gamma \frac{m_a}{ZA^2}.$$

На участке ZB действует сила

$$F_{ZB} = \gamma \frac{m_b}{ZB^2}.$$

На участке ZC действует сила

$$F_{ZC} = \gamma \frac{m_c}{ZC^2}.$$

Напряженность гравитационного поля, создаваемая несколькими телами, равна

векторной сумме напряженностей полей каждого тела:

$$\vec{F} = F_{ZA} \frac{\vec{ZA}}{|\vec{ZA}|} + F_{ZB} \frac{\vec{ZB}}{|\vec{ZB}|} + F_{ZC} \frac{\vec{ZC}}{|\vec{ZC}|}.$$

Пусть $A(x_a; y_a)$, $B(x_b; y_b)$, $C(x_c; y_c)$, $Z(x; y)$, тогда вектор напряженности равен

$$\vec{F} = \begin{pmatrix} m_a \frac{x_a - x}{ZA^3} + m_b \frac{x_b - x}{ZB^3} + m_c \frac{x_c - x}{ZC^3}; \\ m_a \frac{y_a - y}{ZA^3} + m_b \frac{y_b - y}{ZB^3} + m_c \frac{y_c - y}{ZC^3} \end{pmatrix},$$

где

$$ZA = \sqrt{(x_a - x)^2 + (y_a - y)^2},$$

$$ZB = \sqrt{(x_b - x)^2 + (y_b - y)^2},$$

$$ZC = \sqrt{(x_c - x)^2 + (y_c - y)^2}.$$

Напряженность гравитационного поля в точке Z зависит от 6 фиксированных параметров: трех сторон треугольника — a , b , c , от трех масс — m_a , m_b , m_c и от расположения точки Z на плоскости относительно треугольника.

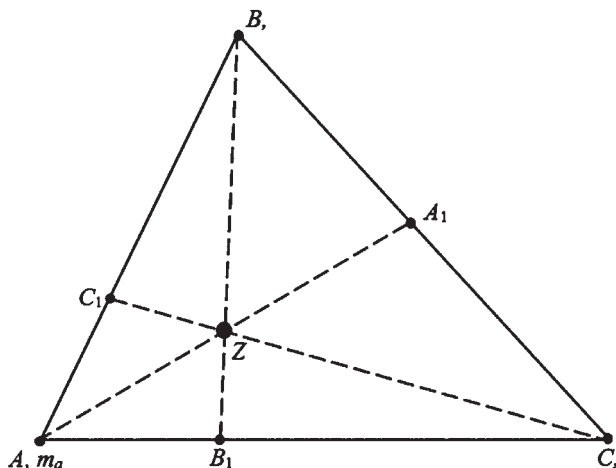


Рис. 6

Рассмотрим на отрезке BC (рис. 6) точку A_1 , в которой силы притяжения к точкам B и C уравниваются, т.е.

$$F_{A_1B} = F_{A_1C}$$

или

или

$$\gamma \frac{m_b}{A_1B^2} = \gamma \frac{m_c}{A_1C^2}$$

$$\frac{A_1B^2}{A_1C^2} = \frac{m_b}{m_c}.$$

$$\text{Следовательно, } \frac{A_1B}{A_1C} = \sqrt{\frac{m_b}{m_c}}.$$

Точка A_1 делит отрезок BC в отношении $\sqrt{m_b} : \sqrt{m_c}$.

Аналогично на отрезке CA существует точка B_1 , в которой притяжение к вершинам C и A уравновешено, причем эта точка делит отрезок CA в отношении $\sqrt{m_c} : \sqrt{m_a}$.

На отрезке AB существует точка C_1 , в которой притяжение к вершинам A и B уравновешено, причем эта точка делит отрезок AB в отношении $\sqrt{m_a} : \sqrt{m_b}$.

Найдем произведение отношений отрезков:

$$\frac{BA_1}{A_1C} \cdot \frac{CB_1}{B_1A} \cdot \frac{AC_1}{C_1B} = \frac{\sqrt{m_b}}{\sqrt{m_c}} \cdot \frac{\sqrt{m_c}}{\sqrt{m_a}} \cdot \frac{\sqrt{m_a}}{\sqrt{m_b}} = 1.$$

По теореме Чебы отрезки AA_1 , BB_1 , CC_1 пересекаются в одной точке Z .

Исследуем свойства напряженности гравитационного поля в окрестности точки Z .

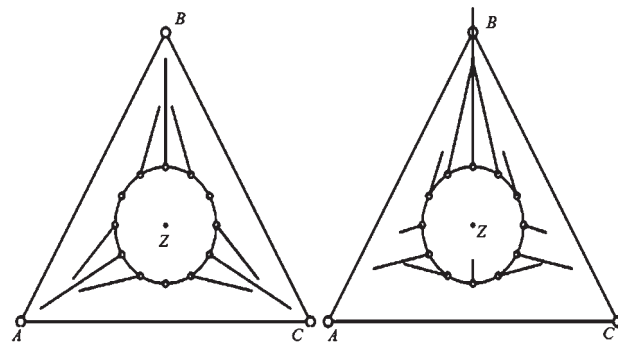


Рис. 7

Рис. 8

На рисунках 7, 8 построены равносторонние треугольники, Z — точка пересечения медиан треугольника.

Вокруг точки Z рассматривается окрестность, границей которой является окружность. На окружности выбираются n точек,

в каждой из которых построен вектор силы притяжения.

Рассмотрены векторы сил притяжения к вершинам для следующих масс:

ma:=2000; mb:=2000; mc:=2000 —

на рисунке 7

ma:=2000; mb:=3000; mc:=2000 —

на рисунке 8.

Программа построения вектора напряженности гравитационного поля для рисунка 8:

Uses GraphWpf;

Var x0,y0,i,n:Integer;

a,b,c,ma,mb,mc,g,u,xa,ya,xb,yb,xc,yc,r,xz,yz,xzt,yzt,ra,rb,rc,rz,u0,fx,fy:real;**Begin**

b:=200; c:=200; u:=pi/3; a:=Sqrt(b*b + c*c - 2 * b * c * Cos(u)); {длины сторон и угол треугольника}

ma:=2000; mb:=3000; mc:=2000; {массы в вершинах}

g:=300;x0:=200; y0:=300; {гравитационная постоянная и точка отсчета}

xa:=0; ya:=0; xc:=b; yc:=0; xb:=c*cos(u); yb:=c*sin(u); {координаты вершин треугольника}

Line (x0 + xa, y0 - ya,x0 + xc, y0 - yc); {построение сторон треугольника}

Line (x0 + xa, y0 - ya,x0 + xb, y0 - yb);

Line (x0 + xb, y0 - yb,x0 + xc, y0 - yc);

Circle (x0+xa,y0-ya,3); Circle (x0+xb,y0-yb,3); Circle (x0+xc,y0-yc,3); {вершины треугольника}

xz:=(xa+xb+xc)/3; yz:=(ya+yb+yc)/3; {точка Z в центре масс}

Circle(x0+xz,y0-yz,1); {выделение Z маленьким кругом}

ra:=Sqrt((xz-xa)*(xz-xa)+(yz-ya)*(yz-ya)); {расстояния от Z до вершин треугольника}

rb:=Sqrt((xz-xb)*(xz-xb)+(yz-yb)*(yz-yb));

rc:=Sqrt((xz-xc)*(xz-xc)+(yz-yc)*(yz-yc));

rz:=35; Arc(x0+xz,y0-yz,rz,0,360);n:=12;

{окрестность точки Z и n точек на окружности}

For i:=0 **To** n **Do Begin** {цикл построения точек по окружности и сил из этих точек}

u0:=2*pi/n; {угол для перехода к следующей точке на окружности}

xzt:=xz+rz*cos(i*u0);yzt:=yz+rz*sin(i*u0); {координаты точки на окружности}

Circle (x0+xzt,y0-yzt,2); {изображение точки на окружности}

ra:=Sqrt((xzt-xa)*(xzt-xa)+(yzt-ya)*(yzt-ya)); {расстояния от точки окружности до вершин}

rb:=Sqrt((xzt-xb)*(xzt-xb)+(yzt-yb)*(yzt-yb));

rc:=Sqrt((xzt-xc)*(xzt-xc)+(yzt-yc)*(yzt-yc));

fx:=g*(ma*(xa-xzt)/ra/ra/ra+mb*(xb-xzt)/rb/rb/rb+mc*(xc-xzt)/rc/rc/rc); {проекция вектора силы}

fy:=g*(ma*(ya-yzt)/ra/ra/ra+mb*(yb-yzt)/rb/rb/rb+mc*(yc-yzt)/rc/rc/rc);

Line(x0+xzt,y0-yzt,x0+xzt+fx,y0-yzt-fy); {изображение вектора силы}

End;End.

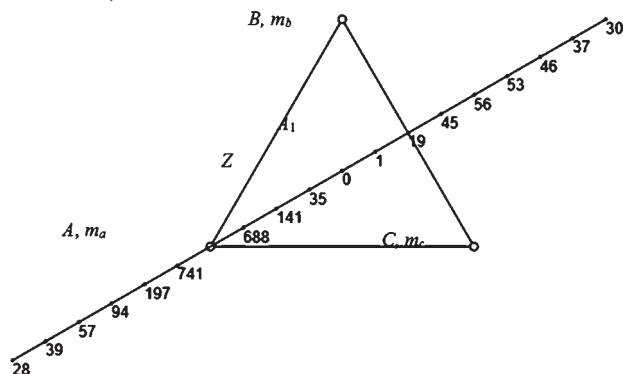


Рис. 9

Следующая программа строит равносторонний треугольник ABC, в вершинах которого находятся планеты одинаковой массы (рис. 9). Для точки A₁, являющейся серединой стороны BC, построена прямая AA₁, определена точка Z пересечения медиан треугольника и найдены значения величины результирующей силы притяжения (на рисунке их значения напечатаны возле точек прямой) для точек на прямой AA₁ к трем планетам A, B и C. Построенный рисунок с помощью компьютерной программы под-сказывает, что в точке Z величина вектора

притяжения равна нулю. И действительно, алгебраическая сумма трех векторов притяжения из центра правильного треугольника Z с любой массой к трем планетам одинаковой массы равна нулевому вектору.

```

Uses GraphWPF;
Var x0,y0,i,n:Integer;
    b,c,ma,mb,mc,g,u,xa,ya,xb,yb,xc,yc,xz,yz,r
a,rb,rc,fx,fy,f,xa1,ya1,xaal,yaal,x,y:real;Beg
in
    b:=200; c:=200; u:=pi/3; {длины сторон и
    угол треугольника}
    ma:=2000; mb:=2000; mc:=2000; {массы в
    вершинах}
    g:=300; x0:=200; y0:=300; {гравитацион-
    ная постоянная и точка отсчета}
    xa:=0; ya:=0; xc:=b; yc:=0; xb:=c*cos(u);
    yb:=c*sin(u); {координаты вершин треуголь-
    ника}
    Line (x0 + xa, y0 - ya, x0 + xc, y0 -
    yc); {построение сторон треугольника}
    Line (x0 + xa, y0 - ya, x0 + xb, y0 - yb);
    Line (x0 + xb, y0 - yb, x0 + xc, y0 - yc);
    Circle (x0+xa,y0-ya,3); Circle (x0+xb,y0-
    yb,3); Circle (x0+xc,y0-yc,3); {вершины треу-
    гольника}
    xz:=(xa+xb+xc)/3; yz:=(ya+yb+yc)/3; {точка
    Z в центре масс}
    Circle(x0+xz,y0-yz,1); {выделение Z ма-
    леньким кругом}
    ra:=Sqrt((xz-xa)*(xz-xa)+(yz-ya)*(yz-
    ya)); {расстояния от Z до вершин треуголь-
    ника}
    rb:=Sqrt((xz-xb)*(xz-xb)+(yz-yb)*(yz-yb));
    rc:=Sqrt((xz-xc)*(xz-xc)+(yz-yc)*(yz-yc));
    xa1:=(Sqrt(mc)*xb+Sqrt(mb)*xc)/
    (sqrt(mb)+Sqrt(mc));
    ya1:=(Sqrt(mc)*yb+Sqrt(mb)*yc)/
    (sqrt(mb)+Sqrt(mc));
    xaal:=xa1-xa; yaal:=ya1-ya; Line
    (x0+xa-xaal,y0-(ya-yaal),x0+xa+2*xaal,y0-
    (ya+2*yaal));

```

```

    n:=6;
    For i:=1 To 2*n Do
    Begin
        x:=xa+i*(xa1-xa)/n; y:=ya+i*(ya1-ya)/
        n; Circle(x0+x,y0-y,1);
        ra:=Sqrt((x-xa)*(x-xa)+(y-ya)*(y-
        ya)); {расстояния от точки до вершин}
        rb:=Sqrt((x-xb)*(x-xb)+(y-yb)*(y-yb));
        rc:=Sqrt((x-xc)*(x-xc)+(y-yc)*(y-yc));
        fx:=g*(ma*(xa-x)/ra/ra/ra+mb*(xb-x)/rb/
        rb/rb+mc*(xc-x)/rc/rc/rc); {проекция вектора
        силы}
        fy:=g*(ma*(ya-y)/ra/ra/ra+mb*(yb-y)/rb/rb/
        rb+mc*(yc-y)/rc/rc/rc);
        f:=Sqrt(fx*fx+fy*fy); TextOut(x0+x,y0-
        y,Int(f)); End;
    For i:=-n To -1 Do
    Begin
        x:=xa+i*(xa1-xa)/n; y:=ya+i*(ya1-ya)/
        n; Circle(x0+x,y0-y,1);
        ra:=Sqrt((x-xa)*(x-xa)+(y-ya)*(y-
        ya)); {расстояния от точки до вершин}
        rb:=Sqrt((x-xb)*(x-xb)+(y-yb)*(y-yb));
        rc:=Sqrt((x-xc)*(x-xc)+(y-yc)*(y-yc));
        fx:=g*(ma*(xa-x)/ra/ra/ra+mb*(xb-x)/rb/
        rb/rb+mc*(xc-x)/rc/rc/rc); {проекция вектора
        силы}
        fy:=g*(ma*(ya-y)/ra/ra/ra+mb*(yb-y)/rb/rb/
        rb+mc*(yc-y)/rc/rc/rc);
        f:=Sqrt(fx*fx+fy*fy); TextOut(x0+x,y0-
        y,Int(f)); End; End.

```

Литература

1. Совертков П.И. Компьютерное моделирование: Учебное пособие. — СПб: Изд-во «Лань», 2023. — 424 с.
2. Совертков П.И. Справочник по элементарной математике: Учебное пособие. — СПб. Изд-во «Лань», 2018. — 404 с.

Дата поступления рукописи (Received): 15.04.2023.
Опубликовано (Published): 17.08.2023.

Рисунки к статье Д.Л. Харичевой «Применение гибридной модели обучения на уроках физики»



а)



б)



в)

Рис. 10. Демонстрация экспериментального определения постоянной Планка:
а), б) трансляция физического эксперимента на интерактивной доске; в) использование интерактивной доски для описания хода проведения эксперимента и получения аналитических зависимостей



а)



б)

Рис. 11. Демонстрация модели сахариметра: а), б) поэтапное проведение измерений

Фото на первой странице обложки рис. 8 к статье Д.Л. Харичевой. Основной этап занятия: подготовка демонстрационного эксперимента

ПОДПИСКА 2024. I ПОЛУГОДИЕ

Подписывайтесь на журнал «ФИЗИКА В ШКОЛЕ»!

Издается с 1934 года. Входит в перечень ВАК

Статьям журнала присваивается DOI



ПОЧТА РОССИИ

на сайте
podpiska.pochta.ru

в мобильном приложении
Почты России

через почтальона

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



06

9 770130 552236

Физика в школе, 2023, № 6, 1–64

ISSN 0130-5522

