

Уважаемые читатели!

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



научно-методический журнал

ISSN 0130-5522

1
2023

ФИЗИКА В ШКОЛЕ



Атомные электростанции

**Особенности построения графиков при выполнении
школьниками олимпиадных экспериментальных задач**

Раздел «Астрономия»

**Астрономические кейсы как комплекс развития
когнитивных навыков**

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

Новости астрономии

Миниатюрному спутнику удалось сфотографировать обратную сторону Луны



Лунная миссия Артемиды-1 помимо корабля Орион несла дюжину кубсатов — мини-спутников, имеющих размер не больше коробки из-под обуви. Одному из этих кубсатов удалось получить снимок обратной стороны Луны. EQUULEUS (EQUilibriUm Lunar-Earth point 6U Spacecraft) — спутник Японского космического агентства, задачей которого является изучение плазмы вокруг Земли (для этого он должен быть расположен вблизи точки Лагранжа 2). Эти снимки были сделаны во время его ближайшего пролета к Луне на расстоянии около 5 000 км. На них видно, что невидимая нам сторона Луны более изрезана, чем та, которую мы видим обычно, со множеством ударных кратеров и относительно небольшим количеством плоских, темных лунных морей

Космический корабль Орион также сфотографировал эту скрытую сторону. EQUULEUS потребует шесть месяцев, чтобы добраться до точки Лагранжа 2, а затем провести там шесть месяцев, проводя научные исследования. Данные, собранные приборами, позволят разработать стратегии защиты людей и электроники во время длительных космических полетов вокруг системы Земля–Луна

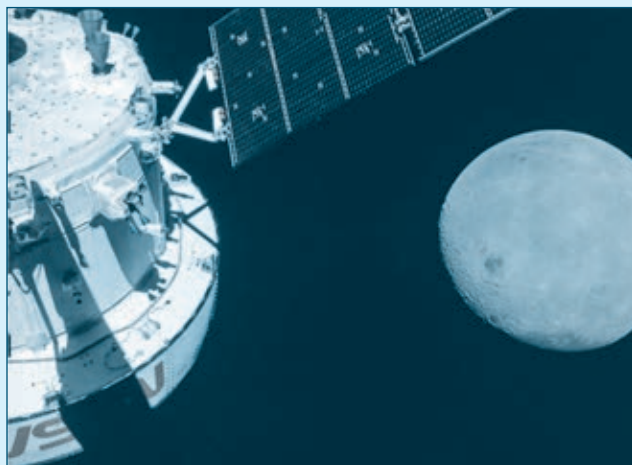
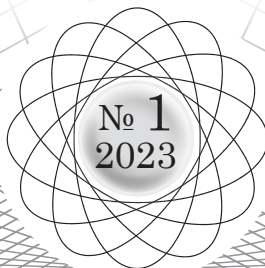


Фото на обложке: 25 февраля 2022 года во время своего 40-го пролета вблизи Юпитера космический аппарат «Юнона» увидел, как Ганимед отбрасывает на планету большое темное пятно



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

ДОСТИЖЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ (ACHIEVEMENTS OF PHYSICS)

- ▶ **И.В. Разумовская, Н.В. Шаронова, М.Э. Прангишвили, Т.А. Соловьева**
Атомные электростанции. Безопасность и экологичность 3
- ▶ **Г.М. Чулкова**
Нобелевская премия по физике 2022 16

МЕТОДИКА. ОБМЕН ОПЫТОМ (METHODOLOGY. EXCHANGE OF EXPERIENCE)

- ▶ **П.С. Тихонов**
Особенности построения графиков при выполнении школьниками
олимпиадных экспериментальных задач 20
- ▶ **С.В. Соболев**
К вопросу об изучении движения заряженной частицы в магнитном поле 30
- ▶ **Н.А. Парфентьева, Л.В. Лескова**
Физика в биологии 35

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ (PEDAGOGICAL TECHNOLOGIES)

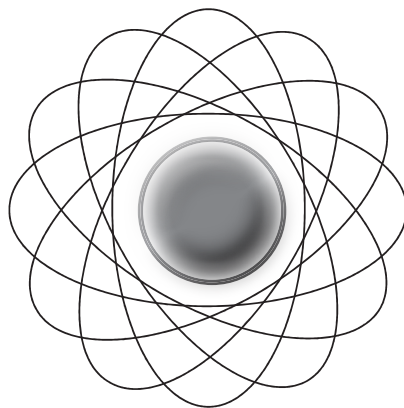
- ▶ **М.М. Зуев, М.А. Петрова, А.Н. Маслов, Д.Р. Бритов**
Применение цифровых технологий для формирования естественнонаучных
и ИТ-компетенций учащихся в рамках технологической школы. 5–6 класс 42

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (INFORMATION TECHNOLOGIES)

- ▶ **В.Л. Рыппо, А.А. Орлов**
Кубиты и сыпучая среда 49

АСТРОНОМИЯ (ASTRONOMY)

- ▶ **М.В. Солодихина, А.А. Солодихина**
Астрономические кейсы как комплекс развития когнитивных навыков 59



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	Naumov A.V. , DrSci of Physics and Mathematics, Professor Russian Academy of Sciences
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, Associate member RAE
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.

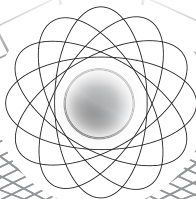
Интернет [http:// www.школьнаяпресса.рф](http://www.школьнаяпресса.рф) E-mail: fizika@schoolpress.ru

Формат 84×108/16. Усл. п. л. 4,0. Изд. № 3730. 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.



АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ. БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

NUCLEAR POWER PLANTS. SAFETY AND ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS

Научная статья

Scientific article

УДК 372.853

DOI 10.47639/0130-5522_2023_1_3

И.В. Разумовская , д. хим. н., профессор, Московский педагогический государственный университет, Москва; irinarasum9@mail.ru	I.V. Razumovskaya , DrSci (Chemical science), Professor, MPSU, Moscow; irinarasum9@mail.ru
Н.В. Шаронова , д.п.н., профессор, Московский педагогический государственный университет, Москва; nvshar@mail.ru	N.V. Sharonova , DrSci (Pedagogy), Professor, MPSU, Moscow; nvshar@mail.ru
М.Э. Прангишвили , редактор, издательство «Детская литература», Москва; m.prangishvili@detlit.ru	M.E. Prangishvili , Editor of publishing house «Detskaya literature»; m.prangishvili@detlit.ru
Т.А. Соловьева , руководитель отдела специальных проектов, издательство «Детская литература», Москва; t.solovyova@detlit.ru	T.A. Solovyova , Head of special projects of the Department of publishing house «Detskaya literature»; t.solovyova@detlit.ru
Ключевые слова: физические основы работы АЭС, виды АЭС, экологичность АЭС, возможности включения вопросов об АЭС в школьный курс физики	Keywords: the physical basis of AES work, the types of AES, the environmental friendliness of AES, the possibility of information about AES inclusion in school course of physics
Аннотация. В статье освещены вопросы истории развития и физические основы работы атомных электростанций, а также экологические проблемы, связанные с созданием и эксплуатацией АЭС. Сформулированы рекомендации по изучению данных вопросов в средней школе	Abstract. In the article the problems of the development history and work physical basis for atomic electric power station (AES) are observed together with the ecologic problems, connected with creation and exploitation of AES. The recommendations about study given problems in the secondary school are formulated

© Разумовская И.В., Шаронова Н.В., Прангишвили М.Э., Соловьева Т.А., 2023

В первой статье [1] цикла об атомной энергетике авторы предложили программу элективного (факультативного) курса и обсудили некоторые его вопросы. Особого внимания требует раздел курса, посвященный атомным электростанциям (АЭС). Чернобыльская катастрофа подорвала доверие общества к атомной энергетике, и хотя с тех

пор прошло 36 лет, и АЭС принципиально изменились, недоверие к их безопасности и экологичности у части населения остается. Поэтому так важен конкретный материал о современных АЭС и перспективах их развития.

Со времени запуска первого в мире реактора (Чикагский университет, группа Энри-

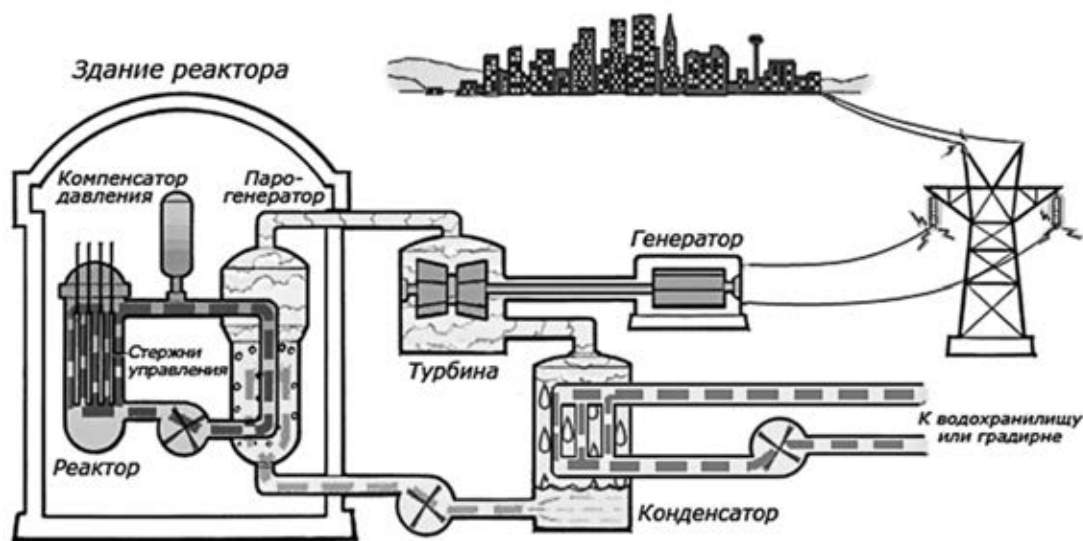


Рис. 1. Схема АЭС [Википедия]

ко Ферми, 2 декабря 1942 г.) прошло почти 80 лет. 68 лет назад заработала первая АЭС (Обнинск, 27 июня 1954 г.). Естественно, с тех пор конструкции реакторов и АЭС существенно изменялись, использовались новые идеи, новые конструкционные и функциональные материалы. Но принципиальная их схема остается и выглядит следующим образом (рис. 1).

Энергия, выделяющаяся в реакторе, нагревает вещество в первом контуре. Если это так называемый водно-водяной реактор, то в первом контуре используется вода, обычно перегретая (под давлением), для увеличения КПД. Управляющие стержни, поглотители нейтронов, регулируют работу реактора. Вещество первого контура *бесконтактно* (чтобы избежать возможной передачи радиоактивных веществ) нагревает второй контур с водой. Фактически далее работает обычная схема ТЭЦ¹. Для охлаждения пара во втором контуре иногда используется близлежащий водоем, озеро. Были случаи, когда отмечалось увеличение разнообразия и количества птиц и рыб, вызванное небольшим повышением температуры воды в водоеме при АЭС.

¹ Разновидность тепловой электростанции.

Обсуждаются реакторы с одним водяным контуром. В реакторах на быстрых нейтронах в качестве теплоносителя необходимо использовать вещества, которые мало замедляют нейтроны. Обычно это жидкие металлы — натрий, свинец, сплавы свинец-висмут. Разрабатываются концепции реакторов с теплоносителем-газом, с циркулирующим топливом и пр.

Безопасность АЭС

Всякая новая техника (автомобильная, авиационная, космическая) содержит потенциальные опасности, которые не всегда очевидны в начале ее развития. Сейчас смешно вспоминать, что «огромная» скорость первых поездов и автомобилей вызывала опасения, выдержит ли их человеческий организм. Однако наибольшей опасностью при использовании автомобилей оказался человеческий фактор, который приводит к большинству аварий и трагедий. Применительно к атомной энергии вначале как учеными-исследователями, так и специалистами при практическом применении реакторов не до конца оценивалась радиационная опасность. Первые аварии на АЭС заставили понять, как важен человеческий фактор и в этом случае.

Первой была авария 28 марта 1979 г. на АЭС в Три-Майл-Айленде, штат Пенсильвания США. Основной причиной была признана недостаточная подготовка операторов, их легкомыслие и ошибка в отключении автоматической работы системы аварийного охлаждения. Одновременно были обнаружены технические недостатки, в том числе в щите управления, и подвергнуты критике базовые принципы оценки безопасности АЭС. К счастью, аварию достаточно быстро ликвидировали, практически без радиационного заражения окружающей местности. Тем не менее, аварии был присвоен 5-й уровень по международной шкале ИНЕС². Всего имеется 7 уровней, степень серьезности от уровня к уровню возрастает примерно в 10 раз. Основным негативным последствием был психологический стресс населения из-за противоречивой информации СМИ и непродуманной рекомендации губернатора штата о добровольной эвакуации. Около миллиарда долларов потребовалось на работы по дезактивации и захоронению радиоактивных отходов. В итоге в США развилось массовое антиядерное движение, прошли тысячные демонстрации, и развитие атомной энергетики сильно затормозилось. Был отменен ввод в строй намеченных 71 АЭС. Вместе с тем была осуществлена мощная программа по пересмотру техники безопасности, и с тех пор на ста с лишним атомных реакторах США не произошло ни одной аварии.

26 апреля 1986 г. взорвался реактор четвертого энергоблока Чернобыльской АЭС (Украинская ССР) — крупнейшая мировая авария на АЭС по экономическим последствиям, числу пострадавших и погибших людей (7-й, высший уровень по шкале ИНЕС). Причиной аварии были недостатки в конструкции реактора (в частности, в неправильной конструкции стержней системы управления и защиты (СУЗ), нестабильно-

сти работы реактора в широком диапазоне условий работы и пр.), а также все тот же человеческий фактор (недостаточная информированность операторов, их ошибки и пр.).

Чернобыльская катастрофа также заставила пересмотреть соответствующие стандарты. Появилась Всемирная ассоциация операторов атомных электростанций ВАО АЭС (WANO), некоммерческая, неправительственная организация, в которой состоят все организации, эксплуатирующие АЭС, и которая за время своего существования проинспектировала фактически все мировые коммерческих реакторы (рис. 2, 3).

Начиная с 1999 г. на российских станциях не зафиксировано ни одного нарушения безопасности выше первого уровня (соответствует так называемой «аномальной ситуации»).



Рис. 2. Эмблема Всемирной ассоциации атомных электростанций ВАО АЭС

Однако, как и в США, авария на Чернобыльской АЭС привела к временной остановке в развитии советской атомной энергетики. Было приостановлено (на разных стадиях готовности) строительство восьми блоков с реакторами повышенной мощности. Позднее в ставшей независимой Литве была необоснованно (скорее, по политическим причинам) закрыта АЭС с двумя успешно работавшими мощнейшими в мире реакторами с электрической мощностью по 1500 МВт каждый. Планировался ввод еще одного такого блока, в итоге литовская АЭС стала бы одной из самых мощных в мире.

² Международная шкала ядерных событий (англ. INES, сокр. International Nuclear Event Scale).



Рис. 3. Начальники смен Кольской АЭС после семинара ВАО АЭС, апрель 2022 г.

После ее закрытия Литва вынуждена была вместо успешного экспорта электроэнергии перейти на ее импорт.

Кроме человеческого фактора на безопасность работы АЭС может повлиять природная или техногенная катастрофа. Так случилось на АЭС Фукусима-1 11 марта 2011 г. В результате Великого восточно-японского землетрясения магнитудой 9–9,1 и последующего цунами пострадали в разной степени все 4 японских АЭС. На Фукусима-1 радиационная авария была высшего, 7-го уровня. Причиной аварии послужили недооценка опасности землетрясений и цунами, устаревшая конструкция (реакторам было от 32 до 40 лет), замалчивание нарушений техники безопасности, отсутствие надзорного органа и независимых экспертов, национальные особенности управленческой культуры. Таким образом, неблагоприятно сложились все три фактора: технический, человеческий и природный.

Печальный опыт аварий АЭС привел к принципиально иному отношению к их безопасности. На защиту сегодня тратится

примерно 40% общей стоимости станций.

Современные российские АЭС имеют четыре ступени защиты (рис. 4).

Во-первых, это сами топливные таблетки в виде керамики (карбиды, нитриды, карбонитриды урана), что предотвращает выход из них продуктов деления. Задача АЭС — получить и использовать только внутреннюю энергию атомной реакции. Во-вторых, прочная оболочка тепловыделяющего элемента (ТВЭЛа), в который собраны топливные таблетки. Она также препятствует выходу продуктов деления из циркониевых трубок. Третья ступень — изоляция от продуктов деления корпуса реактора (выдерживает в холодном состоянии 200 атм.) и главного циркуляционного контура. Она завершает защиту системы герметичных оболочек (контейнмент). Контейнмент часто состоит из двух оболочек: внешней, с металлическими тросами, натянутыми внутри толстого слоя (порядка 1 м) бетона, и внутренней, из стали или предварительно напряженного железобетона. Существуют различные вариации, в том числе однооболочечные контейн-



Рис. 4. Четыре барьера системы безопасности АЭС и дополнительные противоаварийные системы [10]

менты со стальной внутренней облицовкой и т.д. Во всех случаях контеймент должен защищать АЭС от внешнего воздействия, а окружающую среду — от внутренних последствий аварии. Контеймент «Роснано» (рис. 5) может выдержать следующие внешние экстремальные факторы:

- падение со скоростью 720 км/час самолета массой 20 т;
- ураган, смерч со скоростью до 200 км/час (56 м/с);
- землетрясение до 8 баллов;
- наводнение;
- ударная волна с давлением до 30 кПа.

Но контеймент выдержит и внутреннее давление, даже если вся поданная в реактор вода превратится в пар. Для снижения давления пара внутри него устанавливается система разбрызгивания раствора бора и других веществ, которые также препятствуют распространению радиоактивности.

Существуют и специальные аварийные емкости с борной кислотой.

Дополнительно предусмотрены системы, автоматически срабатывающие в случае различных нарушений работы АЭС. В современных терминах их можно назвать «умными системами». Например, при прекращении подачи электроэнергии управляющие стержни из карбида бора, поглощающие нейтроны и тормозящие атомную реакцию, под действием собственной силы тяжести падают вниз. Повышение температуры воды в первом контуре также автоматически приводит к уменьшению скорости реакции. Система пассивного отвода тепла из защитной оболочки сработает при отказе активных систем, и т.д. В случае максимальной опасности включится ловушка расплава на дне шахты реактора. Это огромный тигель с «жертвенным» материалом из оксидов железа и борной кислоты, который

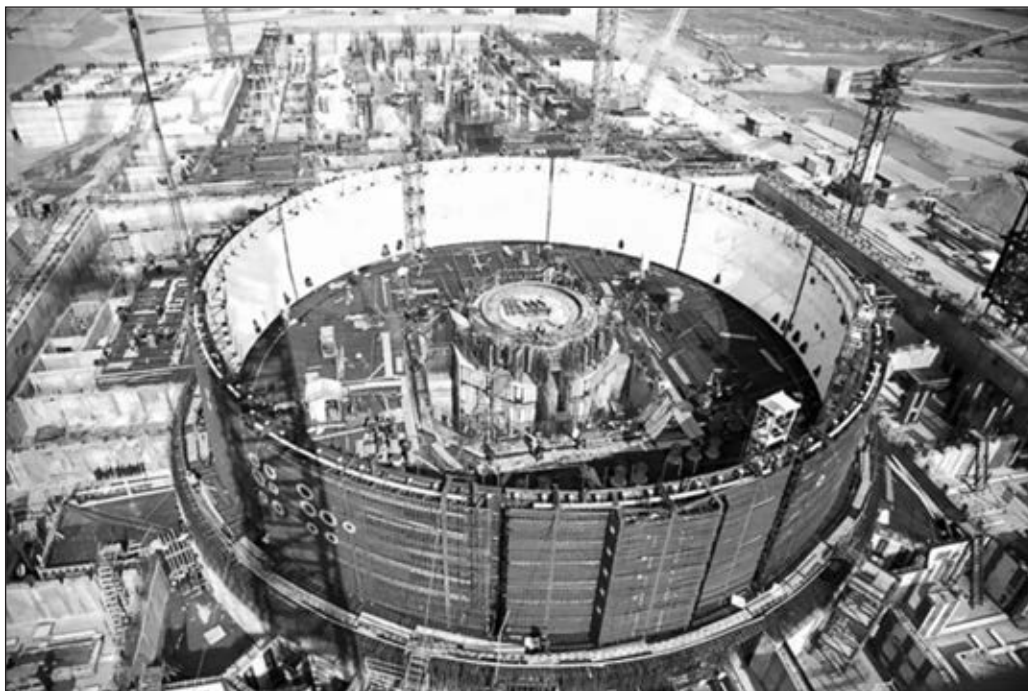


Рис. 5. Строительство контейнмента Курской АЭС-2

позволяет мгновенно остудить расплав и заглушить реакцию.

Все системы защиты в короткой статье трудно перечислить.

Фильм [11] демонстрирует основные системы защиты АЭС «Росатома».

Малые АЭС

В последние годы в ряде стран разрабатываются и даже уже используются малые АЭС на базе малых модульных реакторов (ММР), одним из преимуществ которых является исходная безопасность. При размерах в 100 раз меньше традиционных малые АЭС имеют мощность всего в 10 раз меньше. Упрощенная конструкция позволяет реализовать высокую степень надежности и ставит задачу серийного производства на заводах. Малые АЭС должны обслуживать небольшие поселки, в том числе в отдаленных районах, отдельные кварталы города, что исключает необходимость высоковольтных линий передач электроэнергии и не требует сложной инфраструктуры. ММР также станут основой гибридных энергетических систем, сочетающих ядерные и альтернативные источники энергии, включая возобновляемые источники. Во всем мире в настоящее время имеется около 70 проектов малых АЭС разной степени готовности. В России и Китае они уже работают. Предполагается широкое их развертывание после 2030 г. В частности, экономически выгодным признается использование инфраструктуры теперешних угольных электростанций с заменой их на малые АЭС с ММР.

Разработанная в Орегоне (США) малая АЭС NuScale (рис. 6) имеет водяное охлаждение и может обеспечивать электричеством городской район.

В Китае разрабатывается самая маленькая в мире АЭС размером 6,1×2,6 метра и мощностью 10 МВт (рис. 7). Она позволит обслуживать опресненной водой около 50 тыс. жилых домов (АЭС разместят на одном из островов Китайского моря). Реактор планируется построить на быстрых нейтронах, поэтому в первом контуре будет не вода, а жидкий свинец.



Рис. 6. Малая АЭС
NuScale



Рис. 7. Проект китайской малой АЭС

Экологичность атомной энергетики

На настоящий момент атомная энергетика — безальтернативная энергетика будущего. Солнечная энергетика, ветроэнергетика зависят от природных условий. Поэтому они сейчас выступают скорее в роли дополнительных источников энергии в паре с другой формой ее получения (гидроэнергетикой, ТЭС и т.п.). Кроме того, не следует забывать, что для оценки экологичности того или иного вида энергетики следует учитывать весь цикл ее обеспечения: изготовление на заводах солнечных элементов, учет производства и замены элементов ветряных двигателей и пр. На настоящий

момент атомная энергетика с точки зрения выброса в атмосферу углекислого газа является самой экологичной (табл. 1).

Следует также учитывать, что атомная энергетика — единственный вариант для освоения людьми дальнего космоса, начиная с колонизации Марса.

Во Франции, которая по количеству реакторов занимает второе место в мире после США, 58 реакторов на 19 АЭС в 2017 г. обеспечивали 76,3% электроэнергии. В России это пока 19,7%.

Географические особенности России делают очень важными плавучие атомные теплоэлектростанции — ПАТЭС. В дека-

Таблица 1

**Выброс в атмосферу углекислого газа (грамм)
за весь цикл производства 1 кВт·ч электроэнергии**

Атомные электростанции	6
Ветряные двигатели	11
Солнечные электростанции (с учетом производства батарей)	80
Газовые турбины	420
Угольные электростанции	820



Рис. 8. Атомные электростанции мира



Рис. 9. Атомные электростанции России



Рис. 10, 11. ПАТЭС «Академик Ломоносов», декабрь 2019 г.
(город Певек Чукотского автономного округа)

бре 2019 г. ПАТЭС «Академик Ломоносов» символически зажгла огни городской новогодней елки в нашем самом северном порту Певек. Она снабжает город теплом и электроэнергией. Планируется постройка новых ПАТЭС, в них заинтересованы и некоторые островные государства, зарубежные заказчики Росатома.

Следует вспомнить, что еще в 1969 г. на Тюменском судостроительном заводе была построена первая плавучая газотурбинная

электростанция (ПЛЭС) проекта «Северное сияние» для снабжения электричеством и теплом труднодоступных районов Севера России. Она была отбуксирована на расстояние более 10 тыс. км по рекам Туре, Тоболу, Иртышу, Оби и по Ледовитому океану в поселок Черский в Якутии. Всего до 1983 г. было построено 6 таких ПЛЭС, для знакомства с соответствующими технологиями на Тюменский завод приезжали инженеры США и Канады.

Вопросы экологии, связанные с ядерным топливом

В статье [1] мы отмечали, что четверть мирового урана добывают методом скважного выщелачивания — экономичным, экологичным, безопасным. Через руду прокачивают реагенты, растворяющие урановые минералы. Это экологически чистый метод: нет отвалов пустых пород, почвенный покров не страдает (рис. 12). Дозиметры нужны только на перерабатывающей части производства. Но пока существуют геологические ограничения применения этого способа.

Важнейшей проблемой остается захоронение отходов ядерной энергетики. В мире их накоплено более 450 тыс. тонн, почти треть приходится на долю США. Это отработанное топливо, отдельные компоненты которого радиоактивны сотни и даже тысячи лет. Его отправляют на долговременное хранение, при этом также соблюдается принцип многобарьерной защиты. Однако фактически это ценнейший топливный ресурс, содержащий прежде всего плутоний и уран-238. Доля использованного в реакторе урана составляет всего лишь 6–7%. Про-

мышленной переработкой отработанного ядерного топлива (ОЯТ) занимаются всего несколько стран, в том числе Россия. Различные компоненты ОЯТ (плутоний, обедненный уран, в том числе остатки U-235, америций, кюрий, нептуний) могут войти в состав топлива различных реакторов. Америций используется в РИТЭГах (радиоизотопный источник электроэнергии) космических аппаратов.

Принципиальным решением является переход к реакторам на быстрых нейтронах (бридерах), о которых мы писали в [1]. В бридерах (размножителях) производится больше ядерного топлива, чем требуется для работы реактора. При этом происходит полная реализация урановой руды (т.е. экономия энергии) — бридеры производят из природного урана в 50–60 раз больше энергии, чем реакторы на медленных нейтронах. Соответственно отходы таких реакторов по радиоактивности не превышают радиоактивность начальной руды. Это так называемая технология замыкания, которая не только решает проблему радиоактивных отходов, но позволяет в полной мере использовать природный уран, делая



Рис. 12. «Умный полигон» Хиагда, Бурятия



Рис. 13. Закрытие российского реактора АДЭ-2 для производства оружейного плутония

его практически неисчерпаемым ресурсом и позволяя отнести атомную энергетику к числу истинно «зеленых энергетик».

В частности, в бридерах можно перерабатывать оружейное топливо. В 1991 г. было подписано соглашение США–Россия о закрытии промышленных реакторов по производству оружейного плутония (рис. 13). Первый такой промышленный реактор заработал в Хэнфорде, США, в 1944 г. в соответствии с Манхэттенским проектом. Сибирская АЭС впервые в мире совместила функции наработки оружейного плутония и энергетические (2010 г.)

По созданию АЭС с реакторами на быстрых нейтронах Россия является мировым лидером. Теоретические основы работы таких реакторов были разработаны академиком АН Украинской ССР, учеником А.Ф. Иоффе, Александром Ильичем Лейпунским, первые экспериментальные реакторы запускали под руководством Олега Дмитриевича Казачковского.

В 1959 г. в Обнинске был запущен БР-5 — первый в СССР и в Европе натриевый

реактор на быстрых нейтронах. На Белоярской АЭС в 1980 г. заработал промышленный реактор на быстрых нейтронах, в 2014 г. к нему присоединился еще один. В настоящее время это единственные в мире промышленные реакторы на быстрых нейтронах (рис. 14). Опыт Белоярской АЭС изучается другими странами. В 2011 г. был запущен экспериментальный китайский реактор на быстрых нейтронах, созданный при активном участии Госкорпорации «Росатом». Переход к реакторам на быстрых нейтронах означает начало новой эры в атомной энергетике.

В последние годы Госкорпорация «Росатом» осуществляет проект «Прорыв»: создание опытно-демонстрационного, а затем промышленного комплексов, которые реализуют идею замыкания топливного цикла. Среди проектов — не имеющий аналогов в мире реактор со свинцовым теплоносителем БРЕСТ-ОД-300 с так называемой «естественной безопасностью».

По сравнению со всеми современными технологиями ядерные технологии становятся максимально безотходными.



Рис. 14. Уникальная Белоярская АЭС (2 реактора на быстрых нейтронах)

И в заключение — *Homo «activus»*

Так авторы [8] называют нас с вами, подчеркивая, что человеческое тело содержит радионуклиды, что существует природный радиационный фон, полезные радоновые источники, что сама эволюция человека, вероятно, сделала принципиальный скачок в связи со случайно повысившейся в одном из районов Африки радиоактивностью. Эта небольшая книга помогает преодолеть необоснованные фобии, связанные с радиоактивностью, и правильно оценить как ее опасность, так и полезные применения, в том числе в атомной энергетике.

Перспективы

В нашей цивилизации универсальным видом энергии является электрическая энергия. Между тем в настоящее время около миллиарда человек не имеют к ней постоянного доступа. Примерно одна треть электроэнергии поставляется угольными электростанциями, самыми неэкологичными.

К 2030 г. по прогнозу Международного энергетического агентства (МЭА) производство электроэнергии в мире увеличится более чем в 2 раза и превысит 30 трлн кВт·ч, а согласно прогнозам Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) в условиях «ренессанса» атомной энергетики ее доля увеличится до 25% мирового производства электроэнергии, причем уже в течение ближайших 15 лет в мире будет построено свыше 100 новых реакторов, а мощность АЭС возрастет с 370 млн кВт в 2006 г. до 679 млн кВт в 2030 г. При этом существует специальная платформа МАГАТЭ по ММР и их применению, которая поддерживает страны в проектировании, разработке и развертывании этой новейшей и безопасной ядерной технологии.

В России в 2020 г. была утверждена программа «Развитие техники, технологий и научных исследований в области использования атомной энергии в Российской Фе-

дерации на период до 2024 года», ставшая 14-м национальным проектом.

Заключение

Изучение вопроса об атомных электростанциях учащимися может проходить не только на занятиях предлагаемого факультативного или элективного курсов, но и в 9 и 11 классах в рамках тем, посвященных строению атомного ядра.

Весь представленный выше материал является совершенно новым. Учащиеся получают неизвестную для них информацию. Проявление самостоятельности при этом затруднительно.

Видимо, целесообразна организация (на уроках или занятиях факультативного курса) работы по составлению систематизирующих таблиц, в которых можно сравнивать АЭС по различным характеристикам (мощности, применяемому топливу, системам безопасности и пр.).

Кроме того, можно предложить подготовку рефератов как первой ступени проектно-исследовательской деятельности. Например, по следующим темам.

1. Энергетическая целесообразность и экологическая безопасность АЭС: в чем противоречие?

2. Каковы основные причины аварий на АЭС?

3. Отношение к атомным электростанциям (к их целесообразности и безопасности) в разных странах: общее и различное.

4. Физические основы систем безопасности атомных электростанций.

5. Перспективы развития малых АЭС: преимущества и проблемы.

Обсуждение перечисленных и целого ряда других важных технических, технологических, экономических и социальных проблем, связанных с АЭС, может стать содержанием различных внеурочных мероприятий — лекций, конференций, викторин (которые теперь принято проводить с применением ИКТ и называть «квиз»), квестов.

Любая форма работы с учащимися по об-

суждаемой проблематике будет способствовать формированию целого ряда межпредметных понятий (энергия, эффективность, экологичность, технологии, проблема, противоречие и пр.) и выработке личного отношения к важным современным проблемам мирового масштаба.

Литература

1. Разумовская И.В., Шаронова Н.В., Прангишвили М.Э., Соловьева Т.А. Российская атомная энергетика // Физика в школе. 2021. № 5. С. 12–20.

2. Кузнецова Р.В. Курчатов. — М.: Молодая гвардия, 2017. — 431 с. (Жизнь замечательных людей: сер. биогр.; вып. 1663.)

3. Астапенков П.Т. Курчатов. — М.: Молодая гвардия, 1968. — 200 с. (Жизнь замечательных людей: сер. биогр.; вып. 9 (435).)

4. Бодрихин Н.Г. Николай Доллежалъ. — М.: Молодая гвардия, 2019. — 394 с.

5. Иоффе Б.Л. История науки: атомные проекты: Монография для вузов. — М.: Издательство Юрайт, 2020.

6. Горобец Б.С. Ядерный реванш Советского Союза. Книга 1. Об истории атомного проекта СССР. — М.: КРАСАНД, 2021. — 352 с. Книга 2. Судьбы героев, дважды героев, трижды героев атомной эпопеи. — М.: КРАСАНД, 2021. — 240 с.

7. Акулова Н., Разумовская И.В. Игорь Курчатов. Секрет Бороды. — М.: Дет. лит., 2021. — 112 с. — Издание с дополненной реальностью.

8. Акатов А.А., Коряковский Ю.С. Интересные факты об атоме и радиации, fakty.pdf (atomic-energy.ru).

9. <https://rosatom.ru/about-nuclear-industry/safety-russian-npp/>

10. <https://rosatom.ru/upload/iblock/cce/cce05a85f7b195d81be4cac8cb18147a.mp4>

11. <https://proryv2020.ru/news/nauchnyy-rukovoditel-proekta-proryv/>

12. <https://habr.com/ru/post/435006/>

13. <https://www.iaea.org/ru/temy/malye-modulnye-reaktory>

Дата поступления рукописи (Received): 06.09.2022.

Опубликовано (Published): 18.01.2023.

НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ ПО ФИЗИКЕ 2022 ГОДА

NOBEL PRIZE IN PHYSICS 2022

Научная статья

Scientific article

УДК 372.853

DOI 10.47639/0130-5522_2023_1_16

Г.М. Чулкова , д. ф.-м. н., профессор, МПГУ, профессор МИЭМ ВШЭ, Москва; gm.chulkova@mpgu.su	G.M. Chulkova , DrSci (Physics and Mathematics), Professor of Moscow State Pedagogical University; Professor of Moscow Institute of Electronics and Mathematics (HSE); gm.chulkova@mpgu.su
Ключевые слова: нобелевская премия по физике, запутанные квантовые состояния, квантовая телепортация, квантовый компьютер	Keywords: nobel prize in physics, entangled quantum states, quantum teleportation, quantum computer
Аннотация. В статье рассматриваются основные идеи и результаты исследований физиков, удостоенных Нобелевской премии 2022 года	Abstract. The article discusses the main ideas and research results of physicists awarded this year's Nobel Prize

© Чулкова Г.М., 2023



Ален Аспе



Джон Клаузер



Антон Цайлингер

Нобелевскую премию по физике в 2022 г. присудили следующим ученым: французскому физiku **Алену Аспе**, американскому специалисту по квантовой механике **Джону Клаузеру** и австрийскому физiku **Антону Цайлингеру**, который первым осуществил квантовую телепортацию с использованием фотонов.

Ален Аспе, Джон Клаузер и Антон Цайлингер провели новаторские эксперименты с использованием запутанных квантовых состояний, когда две частицы ведут себя как единое целое, даже когда разделены.

Результаты их исследований открыли путь для новых технологий, основанных на квантовой информации.

Данная Нобелевская премия может поставить точку в споре Нильса Бора и Альберта Эйнштейна о парадоксе, якобы указывающем на неполноту квантовой механики. Российский физик, академик Российской академии наук Александр Сергеев считает: «Знаменитый парадокс Эйнштейна–Подольского–Розена, сформулированный в 1930-х годах, является попыткой указать на неполноту квантовой механики с помо-

пью мысленного эксперимента. С критикой этого парадокса выступил Нильс Бор, который привел свои аргументы в поддержку квантовой механики. И вот сегодня этот спор можно считать завершенным с вручением Нобелевской премии по физике 2022 года исследователям Аспе, Клаузеру и Цайлингеру. Фактически, их работы в области квантовой механики и, в частности, так называемой квантовой телепортации доказали, что Нильс Бор был прав». «Еще один важный момент, — Цайлингер является иностранным членом Российской академии наук. Таким образом, его награду можно считать признанием того, что в РАН высочайший уровень, цвет мировой, как минимум физической, науки», — сказал Сергеев [1].

Квантовая механика позволяет двум или более частицам существовать в так называемом запутанном состоянии. То, что происходит с одной из частиц в запутанной паре, определяет то, что происходит с другой частицей, даже если они находятся далеко друг от друга [2]. Загадка запутанных частиц немало озадачила физиков в 1930-е гг. Эйнштейн даже назвал это явление «жутким действием на расстоянии». Что же тут жуткого?

Согласно теории относительности никакая частица не может передвигаться быстрее скорости света. Передача информации быстрее этого предела тоже невозможна. Кажется, что в квантовом мире этот принцип как будто не соблюдается: одна из запутанных частиц мгновенно отвечает на изменение свойств другой, не передавая информацию. Этот принцип получил название **нелокальности**.

Вероятностный характер предсказаний квантовой механики объясняется наличием скрытых параметров, т.е. неполнотой описания. Скрытые параметры влияют на любую физическую характеристику квантовой частицы. Только эксперимент может подтвердить или опровергнуть наличие скрытых параметров.

В 1960-х гг. Джон Стюарт Белл показал, как можно подтвердить или опровергнуть реальность запутанных состояний, и разработал математические неравенства, названные в его честь. Эти неравенства утверждают, что при наличии скрытых параметров корреляция между результатами большого количества измерений никогда не превысит определенных значений, зависящих от свойств квантовых частиц.



Джон Стюарт Белл.

Фото с сайта en.wikipedia.org

Поясним, в чем заключается **теорема Белла**. Пусть есть пара запутанных частиц, которые нужно экспериментально измерить. Закодируем результаты каждого измерения по определенному правилу числами в интервале от -1 до $+1$, подставим их в алгебраическую формулу и усредним результаты по всем измерениям. В итоге получится функция (S) , зависящая от угла, под которым установлены детекторы частиц, или от расстояния между детекторами (фактически эта функция описывает математическое ожидание). Из **теоремы Белла** следует, что для незапутанных частиц значения этой функции при любом расположении детекторов всегда лежат в промежутке от -2 до $+2$ (это одна из версий **неравенства Белла**). Утверждение верно, если каждая частица любой пары, уйдя от источника, сохраняет свое собственное состояние, не подвергаясь воздействию далекого близнеца. Если же частицы в паре даже вдали от источника связаны друг с другом

квантовомеханической запутанностью, то выполнение **неравенства Белла** не гарантируется.

Выполнить экспериментальную проверку этой теоремы удалось далеко не сразу. Создание и регистрация запутанных состояний — непростая задача. Джон Клаузер с коллегами предложили свою формулировку неравенств Белла и идею опытов по их подтверждению с использованием поляризованных фотонов [3]. Опыты по наблюдению нарушения неравенств Белла впервые были выполнены Клаузером еще в 1972 г.

Следующие эксперименты были проведены Аспе и его партнерами. Им также удалось доказать нарушение неравенства Белла. Кратко можно описать эти опыты так: запутанные фотоны излучаются кальциевым источником в противоположных направлениях. Они попадают на переключатели, перенаправляющие их либо на одну пару поляризаторов и детекторов, либо на другую. Расстояние между поляризаторами составляло примерно 12 м. Неравенство Белла для такой конфигурации было сформулировано так, что функция S *должна была быть от 0 до -1* . Измерения группы Аспе позволили установить, что $S = 0,101 \pm 0,020$.

Однако окончательно мощь неравенства Белла была продемонстрирована в самом конце прошлого столетия с участием еще одного нобелевского лауреата этого года Антона Цайлингера.

Цайлингер и члены его группы продемонстрировали нарушение этого неравенства на расстоянии 400 м. Цайлингер также приложил руку к созданию теоретической концепции так называемого обмена запутанностью. На рисунке 1 представлена схема опытов. Есть две пары запутанных фотонов 1 и 2. Фотоны первой пары идут в каналы 1 и 2, второй — в каналы 3 и 4. Одновременное измерение производится над фотонами, вошедшими в каналы 2 и 3, в результате чего фотон из второго канала телепортируется в четвертый. В условиях эксперимента фотоны в каналах 1 и 4 об-

разуют запутанную пару, хотя физически они друг с другом никак не взаимодействовали. Наблюдения проводились на расстоянии 400 м, фотоны рождались при помощи квантового генератора случайных чисел.

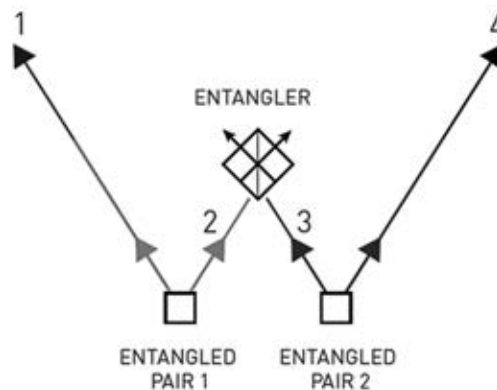


Рис. 1. Схема эксперимента по обмену запутанностью — квантовой телепортации (опыты Цайлингера).

Рисунок из пресс-релиза Нобелевского комитета, с сайта nobelprize.org.

Цайлингер продолжил исследования, так как его целью было не ограничиваться рамками лаборатории и вновь на большом расстоянии осуществить обмен запутанностью, который получил название квантовой телепортации. Эксперименты были перенесены в свободное пространство. На острове Ла-Пальме (Карибский архипелаг) создаются две запутанные пары фотонов (схема опыта приведена на рисунке 2). Фотоны 1 и 2, по одному из каждой пары, подвергаются измерению состояния Белла, после чего два других фотона, 0 и 3, запутываются, даже если они никак не взаимодействуют. Фотон от источника (Алиса) распространяется по 100-метровому оптическому волокну и измеряется на Ла-Пальме. Фотон приемника (Боб) передается через телескопы по 143-километровой линии связи в открытом космосе на наземную оптическую станцию Европейского космического агентства на острове Тенерифе. В результате квантовое состояние фотона было телепортировано через спутник на расстояние 143 км.

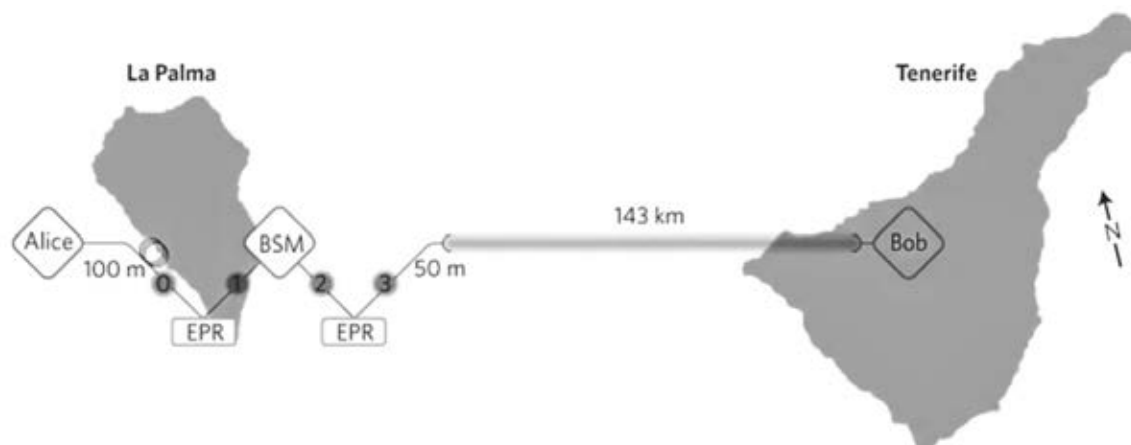


Рис. 2. Передача запутанных фотонов на большие расстояния между Канарскими островами Ла-Пальма и Тенерифе (рисунок из [4]).

Система запутанных частиц, как бы сильно она ни была размазана по пространству, — это всегда единое целое. Такие системы — буквально золотое дно для информатики. Они не позволяют передавать сигналы со сверхсветовой скоростью, этот запрет специальной теории относительности остается нерушимым. Однако, с их помощью можно копировать состояние квантовых объектов даже на километровых расстояниях и осуществлять передачу сообщений, полностью защищенных от перехвата (это так называемая квантовая криптография). Феномен запутанности открывает путь и к созданию квантовых компьютеров, которые могут одновременно оперировать огромным количеством чисел, недоступным для любого классического вычислительного устройства. И это свойство связано как раз с тем, что он использует запутанные состояния.

«Становится все более очевидным, что появляется новый вид квантовой технологии. Мы видим, что работа лауреатов с запутанными состояниями имеет большое значение, даже помимо фундаментальных вопросов интерпретации квантовой механики», — говорит Андерс Ирбек, председатель Нобелевского комитета по физике [1].

Однако эти результаты не всегда удается понять в контексте нашего повседневного опыта, поскольку мы живем не в квантовом,

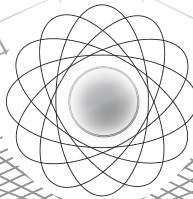
а в классическом мире. По нашему мнению, благодаря исследованиям Клаузера, Аспе и Цайлингера разрыв между этими уровнями понимания объективной реальности немного сузился. Ведь не случайно мощную волну научных исследований, инициированную гениальными прозрениями Джона Стюарта Белла и работами этой великолепной триады, называют Второй квантовой революцией.

Список источников

1. https://elementy.ru/novosti_nauki/434024/Nobelevskaya_premiya_po_fizike_2022.
2. Чулкова Г.М. О шифровании и квантовой криптографии // Физика в школе. 2021. № 8. С. 11–18.
3. Clauser J.F. et al. Proposed experiment to test local hidden-variable theories). 1969.
4. Zeilinger A. Quantum teleportation, onwards and upwards// Nature physics. 2018. Vol. 14. P. 3–4.
5. Aspect A. et al. Experimental test of Bell's inequalities using time-varying analyzers, 1982.
6. Weihs G. et al. Violation of Bell's inequality under strict Einstein locality conditions). 1998.
7. <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2022/press-release/>

Дата поступления рукописи (Received): 10.11.2022.

Опубликовано (Published): 18.01.2023.



ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ГРАФИКОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ШКОЛЬНИКАМИ ОЛИМПИАДНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗАДАЧ

FEATURES OF PLOTTING WHEN STUDENTS PERFORM OLYMPIAD EXPERIMENTAL TASKS

Научная статья

Scientific article

УДК 372.853

DOI 10.47639/0130-5522_2023_1_20

П.С. Тихонов , методист, Центр педагогического мастерства, тренер сборной команды Москвы участников Всероссийской олимпиады школьников по физике, Москва; paveltihonov@ya.ru	P.S. Tikhonov , methodist, Pedagogical skills center, coach of the Moscow team of participants of the All-Russian Olympiad for school students in physics, Moscow; paveltihonov@ya.ru
Ключевые слова: график, олимпиада школьников, физический эксперимент	Keywords: graph, school students olympiad, physical experiment
Аннотация. В статье приведен краткий обзор литературных источников, содержащих учебно-методические рекомендации для школьников и студентов по построению графиков экспериментальных физических зависимостей. Представлены результаты анализа типичных ошибок, допускаемых участниками олимпиады [2] при их построении. Принимая во внимание актуальность проблемы подготовки школьников в указанном аспекте, автор разработал и изложил в данной статье свод рекомендаций по построению графиков при выполнении задач экспериментального тура олимпиад по физике	Abstract. The article provides a brief review of literary sources containing educational and methodological recommendations for students of schools and universities on plotting experimental physical dependencies. The results of the analysis of typical mistakes made by the participants of the school students olympiad [2] in plotting of graphs are reviewed. Taking into account the relevance of the problem of training schoolchildren in this aspect, the author developed and presented in this article a set of recommendations for plotting graphs in the experimental round of physics olympiads

© Тихонов П.С., 2023

График — это простой, но мощный инструмент визуализации и анализа экспериментальных данных. При решении экспериментальных задач именно он позволяет максимально быстро и наглядно показать проявление того или иного явления, определить основные параметры исследуемой зависимости. Построение графика при решении олимпиадной экспериментальной

задачи — ключевой элемент работы, который достоин отдельного пристального внимания. В младших классах зачастую оно является основным требуемым результатом работы на экспериментальном туре.

При обучении школьников построению графиков физических зависимостей учителя сталкиваются с рядом сложностей. Основная из них — отсутствие общеприня-

тых олимпиадным сообществом строгих требований по исполнению отдельных их элементов (существуют лишь рекомендации).

Имеющиеся информационные источники, посвященные технике построения графиков экспериментальных зависимостей, представлены в формате учебно-методических пособий (например, [1, 5]) и статей в журналах (например, [3]). Что мы можем сказать про эти публикации? Зачастую они адресованы студентам технических ВУЗов и учащимся физико-математических лицеев и не учитывают олимпиадной специфики. По этой причине данные пособия не могут эффективно использоваться при подготовке школьников к экспериментальному туру олимпиад. В ряде случаев авторы, формулируя свои рекомендации, не приводят оснований, устанавливающих их справедливость. Иногда возникает впечатление, что предписания, излагаемые в подобного рода литературе, основываются на субъективном восприятии и толковании авторами значения и принципов выполнения отдельных элементов графика. Например, это касается встречающихся в литературе указаний величины минимальной доли площади листа, которую должен занимать график. Так, в статье [3] рекомендуется использовать минимум 70% площади листа. Возникает логичный вопрос: почему автор принял в качестве опорной величины доли площади именно эту величину? Ввиду отсутствия дополнительных комментариев можно сделать вывод, что достижение указанного процентного соотношения — это достаточное основание для того, чтобы не пытаться увеличивать размеры графика (пусть даже технически этому ничто не препятствует). Например, график занимает 70% листа, можно сделать график крупнее, но зачем? Ведь требование формально уже выполнено, а поскольку время на олимпиадах является ресурсом критичной важности, то нет смысла его тратить на то, что и так заслуживает наивысшего балла. А между тем,

зачастую дальнейшее увеличение размера графика позволяет повысить точность интерпретации экспериментальных данных.

Часто при выполнении графика какой-либо конкретной экспериментальной зависимости школьники оказываются в ситуации, когда нет возможности строго выполнить все указанные рекомендации. Исполнение разных элементов приводит к противоречию: либо одно получается выполнить строго в соответствии с ними (отступив от них в другом элементе), либо другое. Рассмотрим пример. Как известно, стандартный лист бумаги можно использовать в книжном и в альбомном формате (рис. 1). В первом случае вертикальной является длинная сторона листа, а во втором — короткая.

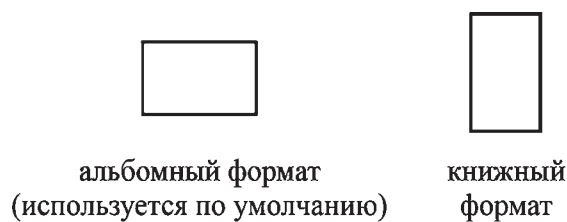


Рис. 1. Формат листа

Довольно часто при попытке построить график в каком-либо одном формате листа мы не имеем возможности использовать максимум доступной нам площади (остается много свободного места). Поворот листа и его использование в другом формате часто позволяет решить эту проблему: за счет иного масштабирования осей график начинает занимать больше места (например, книжный вместо альбомного, как показано на рисунке 2). Однако, в работе [3] автор настаивает, что следует использовать только альбомный формат, ссылаясь на тот факт, что человеку привычнее воспринимать информацию визуально построчно — по горизонтали. С этой точки зрения горизонтальная (альбомная) ориентация листа предпочтительнее. Таким образом, возникает ситуация, в которой мы вынуждены отступить либо от одного, либо от другого требования (либо мы используем книжный формат и получим

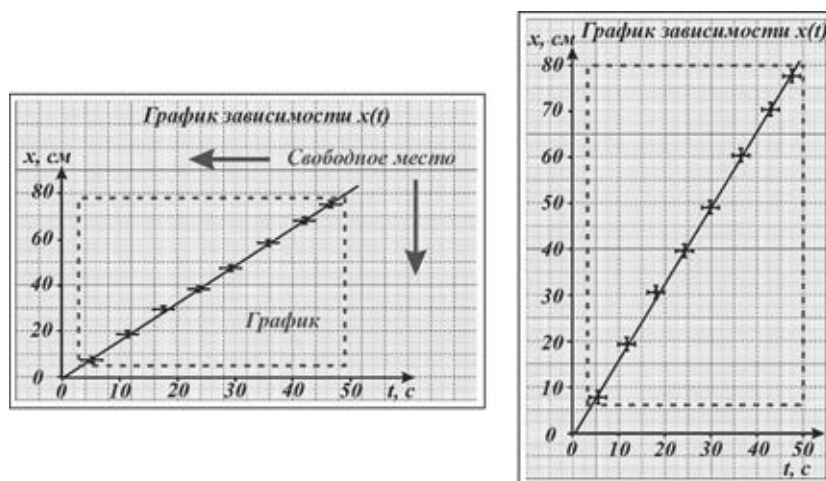


Рис. 2. Пример зависимости, график которой при соблюдении всех правил построения на листе размера А5 лучше всего строить в книжном формате

более крупный график, либо мы используем более привычный альбомный формат, но будем вынуждены довольствоваться тем размером графика, который при этом получится). Следовательно, отталкиваясь от такого набора рекомендаций, в ряде конкретных случаев график никогда нельзя будет считать выполненным абсолютно верно.

Весьма полезным в подобного рода учебно-методических пособиях был бы пошаговый разбор построения графика на конкретном примере. Это позволило бы учащимся проследить как общий алгоритм работы, так и применение правил выполнения того или иного элемента (масштаб, оцифровка и т.д.).

Опираясь на приведенные соображения, а также на собственный многолетний опыт по подготовке сборной команды Москвы к участию в экспериментальном туре Всероссийской олимпиады школьников (далее — ВСОШ) по физике, автор поставил задачу адаптировать и дополнить упомянутые рекомендации. С целью разобраться в том, какие ошибки чаще всего допускают участники экспериментального тура олимпиад при построении графиков, было проведено небольшое исследование. Были использованы электронные копии работ участников регионального этапа ВСОШ по физике

2021/2022 учебного года г. Москвы. Так как построение графика для решения требовалось только в двух задачах (по одной в IX и в XI классах), в исследовании рассматривались работы участников только из этих классов без указания личных данных их авторов (шифровка работ, выполненная организаторами олимпиады, была сохранена). Ввиду большого числа участников данной олимпиады изучение ограничено только анализом работ, которые были оценены жюри в диапазоне от 8 до 11 баллов из максимально возможных 20. При выборе данного диапазона автор исходил из того, что в работах, оцененных на меньшее число баллов, скорее всего совсем не построен график, а в оцененных на большее число баллов почти не сделано ошибок при его построении. Число работ из указанного диапазона, содержавших в решении экспериментальных задач графики, оказалось равным 125. При их изучении использовались критерии, применявшиеся жюри данной олимпиады.

По результатам анализа этих работ в 69 из них (55%) была использована некорректная оцифровка осей: выбранные для оцифровки числа и интервалы между ними в совокупности не обеспечивали возможности определить координаты точек графика без дополнительных ухищрений.

В 65 работах (52%) была допущена ошибка выбора масштаба графика: размеры графиков были неоправданно маленькими. В 32 работах (25%) количество чисел в оцифровке осей было либо слишком большим, либо слишком маленьким. В 18 работах (14%) отсутствовала или была нанесена неверно аппроксимирующая кривая. В 17 графиках (14%) отсутствовали указания размерностей величин, откладываемых по осям графиков. В 14 работах (11%) были некорректно нанесены точки: они были либо малозаметными, либо очень жирными, что не давало возможности точно определить их координаты. Полученные данные позволили автору выявить основные ошибки при построении графиков, на которые следует обратить внимание при разработке рекомендаций.

Ниже изложен разработанный свод рекомендаций по построению графиков при выполнении школьниками задач экспериментальных туров олимпиад по физике. Для начала определим основные элементы, которые должны присутствовать на графике (рис. 3).

Общие принципы оформления элементов графика нацелены на то, чтобы обеспечить

возможность максимально легко и быстро определять координату любой точки в поле построения графика. Это касается не только экспериментальных (измеренных в эксперименте) точек, но и любой геометрической точки на нем.

На сегодняшний день при проверке работ участников экспериментального тура ВсОШ по физике жюри руководствуется следующими основными критериями [3, 4]:

- оптимальность выбранного масштаба графика;
- правильность оформления координатных осей (количество отметок, оцифровка, обозначение величин и т.д.);
- присутствие на графике всех измеренных точек в соответствии с данными из представленных в работе таблиц;
- присутствие на графике аппроксимирующей прямой или кривой (в зависимости от задачи).

Это ориентиры для ответа на вопрос о том, на чем следует акцентировать внимание при построении графика.

При выполнении задачи на экспериментальном туре графики принято строить на клетчатой масштабно-координатной

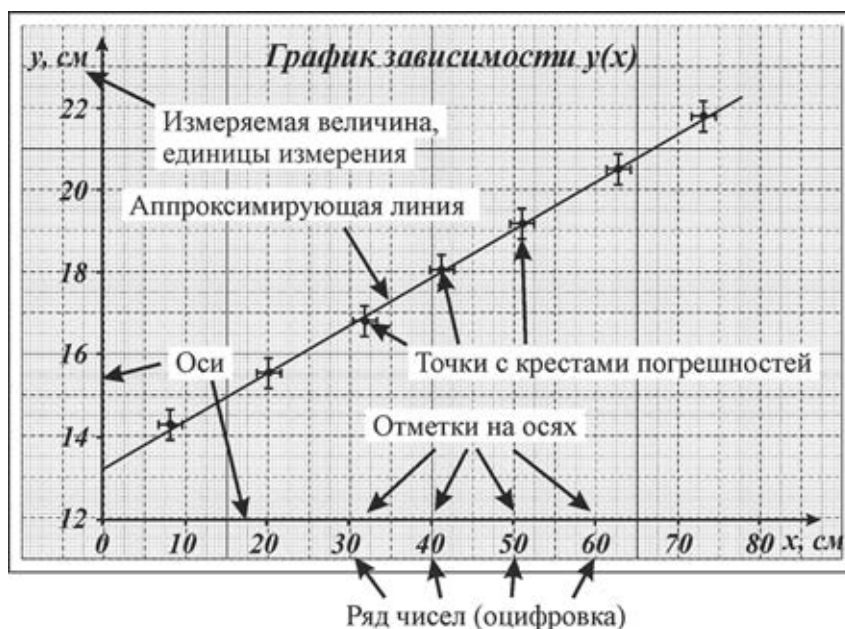


Рис. 3. Основные элементы графика

(миллиметровой) бумаге либо на бланках, оснащенных специальным клетчатым полем, устроенным аналогичным образом. Лист миллиметровой бумаги обычно имеет размер А4 (297 мм × 210 мм) или А5 (210 мм × 148 мм). В последние годы на заключительном этапе ВсОШ область построения графика ограничивается размером А5 (т.е. половиной листа А4). Стандартная масштабно-координатная бумага получила название «миллиметровой», потому что размер наименьшей клетки в ее сетке равен 1 мм. Следует иметь в виду, что для того, чтобы лишить участника возможности использовать лист миллиметровой бумаги для измерений при проведении опытов, масштабно-координатная бумага, выдаваемая участнику для построения графиков, зачастую масштабируется специальным образом так, чтобы наименьшая клетка на листе уже не соответствовала 1 мм реальной длины.

Масштаб определяет величину отрезка на листе, которому на графике соответствует единица измеряемой величины. При построении графика следует выбирать такой масштаб, чтобы область, которую занимают экспериментальные точки, занимала максимально много места, не выходя за установленные границы. Иногда рекомендации содержат в себе указание на минимально допустимый процент площади, который

должен занимать график от общей площади клетчатой области на листе. Однако разумнее всего руководствоваться следующей логикой: при соблюдении всех остальных правил построения график должен занимать максимально возможную площадь. Если при проверке жюри найдет способ, как можно было сделать график крупнее, нежели он есть, соответствующий балл, предусмотренный в критериях оценивания работы, будет снят.

Как уже отмечалось, лист бумаги может использоваться в книжном и в альбомном формате (рис. 1). Существует устойчивое мнение, что при использовании экспериментатором альбомного формата достигается наилучшее зрительное восприятие данных. Поэтому следует стараться использовать по умолчанию именно альбомный формат. Однако, если при использовании альбомного формата и соблюдении других правил оформления отдельных элементов графика достичь наилучшего масштаба не удастся, то в этом случае с целью увеличения площади графика допускается использовать и книжный формат листа. Напомним, что выход графика за пределы области построения на листе не допускается.

Оси на графике играют роль линеек, по которым экспериментатор должен иметь возможность определить координаты любой точки (не только измеренной в эксперимен-

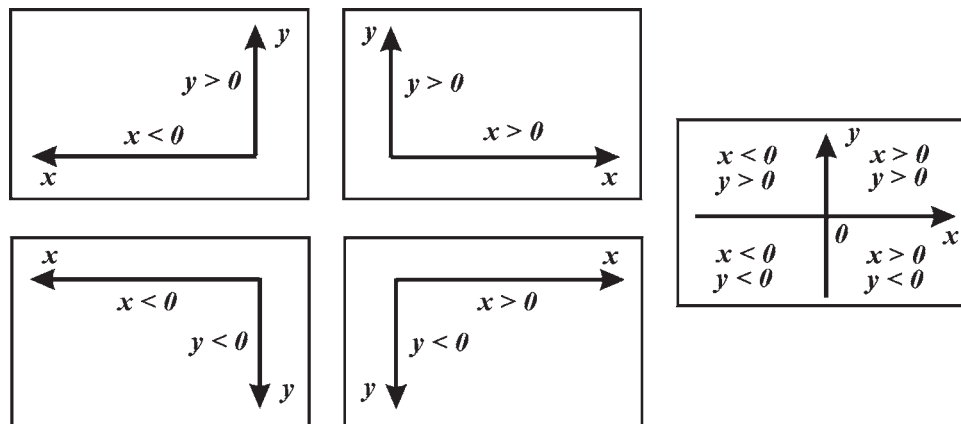


Рис. 4. Положение осей на листе

те, но и любой другой). Отсчет по осям осуществляется слева направо и снизу вверх. Допустимое положение осей на листе в зависимости от диапазона изображаемых на графике величин показано на рисунке 4.

Если координаты экспериментальных точек содержат только положительные значения, то вертикальная ось проводится в левой части графика, а горизонтальная ось — в нижней. Оси не обязательно должны начинаться с нуля. Но если на оси есть точка 0, то вторая ось должна пересекать эту ось по нулевой отметке. Первая и последняя отметки на оси определяются диапазоном величин, которые требуется изобразить на графике. Вертикальная ось должна соответствовать значениям функции, а горизонтальная — значениям ее аргумента. Каждая ось должна быть подписана: необходимо указать физическую величину, отложенную вдоль этой оси, и (через запятую) единицу ее измерения. Оси на графике рисуются с отступом 1–2 см от края клетчатой области на листе. Отступ нужен для того, чтобы осталось место для нанесения оцифровки осей. Числа оцифровки должны легко читаться. Для этого они должны быть написаны достаточно крупным разборчивым почерком.

Отметки на осях наносятся через равные интервалы. Отталкиваясь от используемых форматов бумаги, можно рекомендовать следующее их количество: по длинной оси графика должно быть оцифровано от 5 до 11 делений, по короткой — от 4 до 7 (рис. 5).

При построении графика на эксперимен-

тальном туре олимпиады при оцифровке осей настоятельно рекомендуется использовать только четыре ряда чисел:

$$\begin{aligned} &1, 2, 3, 4... \cdot 10^n, \\ &2, 4, 6, 8... \cdot 10^n, \\ &4, 8, 12, 16... \cdot 10^n, \\ &5, 10, 15, 20... \cdot 10^n, \end{aligned}$$

где n — натуральное число. В некоторых особых случаях (которые обычно обговариваются членами жюри перед туром) использование ряда чисел 4, 8, 12, 16... для оцифровки может ограничиваться или быть запрещено.

Числа при оцифровке округляются до одинакового разряда и приводятся к такому виду, при котором их запись наиболее компактна и удобна для восприятия: числа не должны содержать большое количество нулей, которые можно вынести в общий множитель (рис. 6). Этот множитель следует вынести и записать рядом с указанием измеряемой величины.

Пример. Ряд чисел 1200, 1400, 1600..., обозначающих частоту f , измеряемую в герцах, должен быть преобразован к виду 1,2, 1,4, 1,6..., тогда обозначение на оси примет вид « $f, \cdot 10^3 \text{ Гц}$ » или « $f, \text{ кГц}$ ».

Число клеток сетки между отметками на осях (*шаг сетки*) должно обеспечивать возможность легко и точно наносить точки, а также определять их координаты. Для этого следует придерживаться следующих рекомендаций:

- для ряда чисел оцифровки оси 1, 2, 3, $4... \cdot 10^n$ следует использовать шаг сетки, кратный 2, 5, 10 и т.д.;

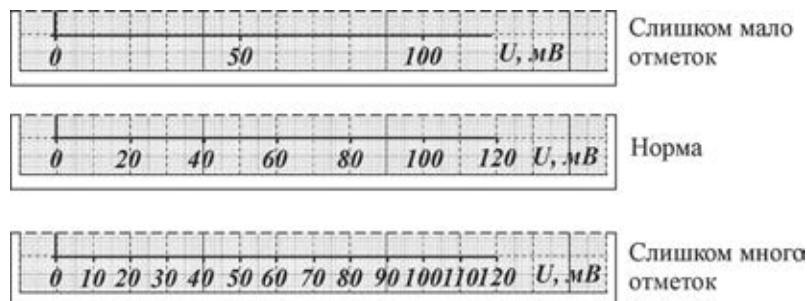


Рис. 5. Возможные варианты выбора числа отметок на оси

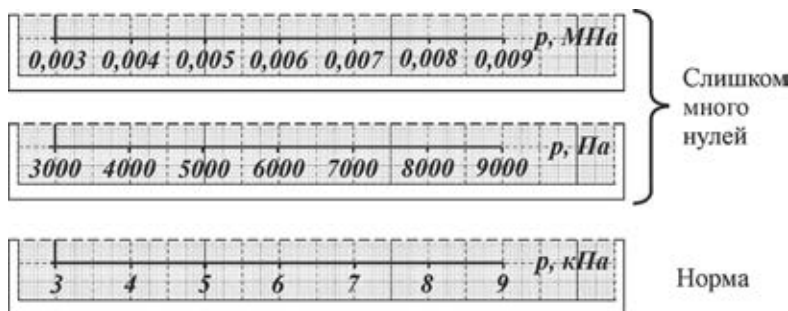


Рис. 6. Оформление оцифровки оси

- для ряда чисел 2, 4, 6, 8... $\cdot 10^n$, а также ряда 4, 8, 12, 16... $\cdot 10^n$ — шаг сетки, кратный 2, 4, 10 и т.д.;
- для ряда 5, 10, 15, 20... $\cdot 10^n$ — шаг сетки, кратный 5, 10 и т.д.

Пример 1. Оцифровка 50, 55, 60, 65, 70, 75... может быть использована. Оцифровка 52, 57, 62, 67, 70, 77... (несмотря на то, что числа, как и в первом случае, идут с шагом 5) не может использоваться.

Пример 2. Оцифровка 20, 22, 24, 26, 28... может быть использована. Оцифровка 21,5, 23,5, 25,5, 27,5, 29,5... не может использоваться.

Точки на график нужно наносить так, чтобы они были четко видны (рис. 7).

Для того, чтобы показать, что величина, наносимая на график, имеет погрешность, из каждой точки проводятся отрезки вверх и вниз, вправо и влево. Длина горизонтальных отрезков соответствует абсолютной погрешности величины, отложенной по горизонтальной оси в масштабе графика, дли-

на вертикальных отрезков — погрешности величины, отложенной по вертикальной оси. Таким образом, обозначаются области определения экспериментальной точки, называемые *крестами ошибок* или *крестами погрешностей* (рис. 3).

Замечание. В некоторых случаях кресты погрешностей в масштабе графика получаются настолько малы, что нанести их на график не представляется возможным. В этом случае допускается не наносить их. Но тогда величины этих погрешностей обязательно должны быть указаны в отчете (в решении задачи).

Через точки на графике экспериментальной зависимости должна быть проведена *аппроксимирующая прямая или кривая* (в зависимости от задачи). Аппроксимирующая прямая (кривая) должна быть проведена как можно ближе к каждой из точек. В случае, если невооруженным глазом можно заметить точки, которые выпадают из общего характера зависимости, следует задуматься о причинах этого явления. Ча-

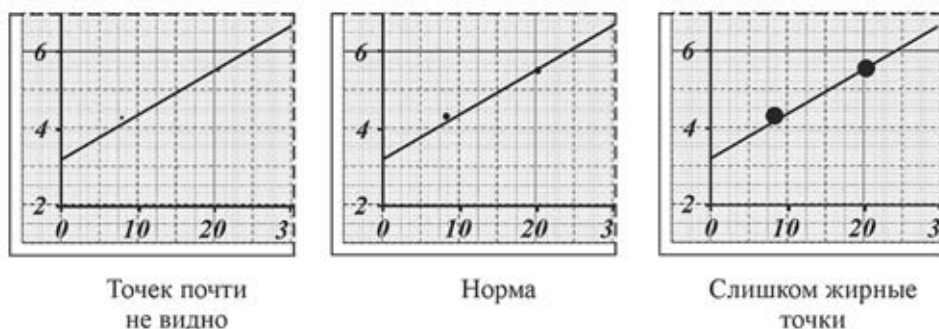


Рис. 7. Выбор размера точек (в случае, когда кресты погрешностей отсутствуют)

сто это свидетельствует о том, что при проведении конкретного измерения были допущены ошибки. Тогда аппроксимирующую кривую придется провести, проигнорировав ошибочную точку. Нелишним будет указать сверху название графика.

Теперь давайте разберем процесс построения графика на конкретном примере. Рассмотрим таблицу с экспериментальными данными (табл. 1).

Таблица 1

Экспериментальные данные

x , см	y , см	σ_x , см	σ_y , см
5,4	11,7	1,5	0,4
10,6	12,8		
22,2	13,6		
32,0	15,0		
51,0	17,2		
62,5	18,5		
73,0	19,8		

Здесь σ_x и σ_y — абсолютные погрешности величин x и y . Требуется построить график зависимости величины y от величины x . Пусть в нашем распоряжении есть лист миллиметровой бумаги размера А5. По короткой стороне на листе имеется 13 «сантиметровых» клеток, по длинной — 20. Вспомним, что для оформления оцифровки оси необходимо отступить от краев листа на 1–2 см. Итого, по длинной стороне остается максимум 19 «сантиметровых» клеток, по короткой — 12. Диапазон численных значений величины x начинается почти от нуля. В таком случае отметку 0 стоит внести в диапазон оцифровки. Тогда, начиная с нуля, численный диапазон величины x (округленно) — от 0 до 75–80. Диапазон величины y округленно начинается с 10 или с 11 и заканчивается 20. Как уже было сказано, формат листа, который мы постараемся использовать, — альбомный. Попробуем подобрать оцифровку для оси x при таком формате.

– При выборе ряда чисел 0, 5, 10... 75 количество отметок — минимум 16. Это

слишком много (максимально допустимо 11 отметок).

- При выборе ряда чисел 0, 10, 20... 80 количество отметок равно 9. Это удовлетворяет требованиям.
- При выборе ряда чисел 0, 20, 40, 60, 80 количество отметок равно 5. Формально это тоже нам подходит. Однако в этом случае информативность хуже. Остановимся на предыдущем варианте.

Теперь выберем шаг сетки для оси x .

- При шаге сетки «одна «сантиметровая» клетка на одно деление по оси x » мы задействуем лишь 8 клеток. Это меньше половины длины листа. Рациональным такой масштаб явно не назовешь.
- При шаге сетки «две «сантиметровых» клетки на одно деление» мы задействуем 16 клеток из 19. Это то, что надо.

Остальные варианты приведут к тому, что диапазон значений по оси x не поместится на листе. В этом нетрудно убедиться самостоятельно. Далее выберем ряд чисел для оцифровки оси y .

- При выборе ряда чисел 10, 11, 12...20 количество отметок — 11. Это количество было бы допустимым, если бы мы использовали книжный формат. В нашем случае эта ось будет изображена вдоль короткой стороны листа (для которой максимальное число отметок — 7).
- При выборе ряда чисел 10, 12, 14... 20 количество отметок равно 6. Это нам подходит.
- При выборе ряда чисел 10, 15, 20 количество отметок — 3. Это слишком мало.

Выберем шаг сетки для оси y .

- При шаге сетки «одна «сантиметровая» клетка на одно деление по оси y » мы задействуем лишь 5 клеток из 12. Слишком мало.
- При шаге сетки «две «сантиметровых» клетки на одно деление» мы задействуем 10 клеток из 12. Это наилучший вариант.

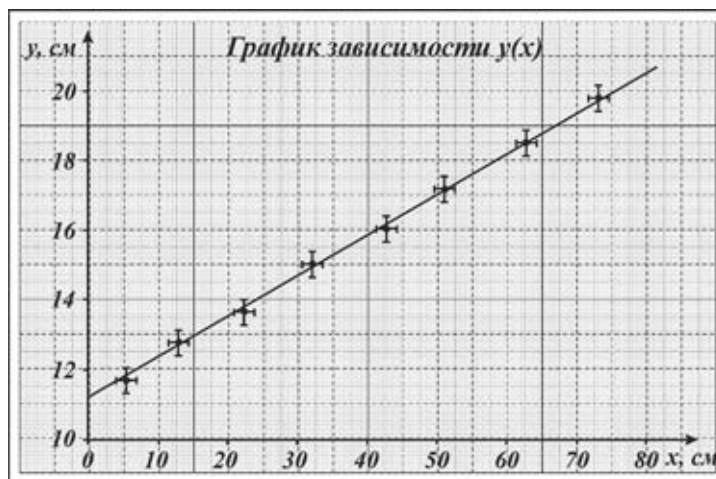


Рис. 8. Построенный нами график

Остальные варианты снова приведут к тому, что ось y не поместится на листе. Аналогичную логику мы применяем, используя книжный формат. Сравнив наилучшие варианты масштаба графика для двух форматов (альбомного и книжного), мы останавливаемся на альбомном. На график наносим оси, метки, оцифровку, подписи величин, точки. Рассчитаем размеры крестов погрешностей: величине $\sigma_x = 1,5$ см в масштабе графика соответствуют три «миллиметровых» клетки, величине $\sigma_y = 0,4$ см — четыре «миллиметровых» клетки. Кресты погрешности одинаковые для всех точек. Через точки, как можно ближе к каждой из них, проведем аппроксимирующую линию. Сверху напомним название графика. Результат нашей работы представлен на рисунке 8.

Вышеизложенные рекомендации входят в общее количество результатов научно-исследовательской работы автора по разработке эффективной научно-обоснованной методической системы повышения квалификации учителей физики в области формирования у школьников умения решать экспериментальные олимпиадные задачи [6–9].

Подводя итог, можно сказать, что сформулированные в этой статье рекомендации в целом соответствуют общепринятым пра-

вилам графического представления экспериментальных данных. При выработке этих рекомендаций учтены особенности, связанные прежде всего со спецификой олимпиадных задач. Система оценивания работ на олимпиаде в совокупности с условиями работы участника на экспериментальном туре приводит к необходимости выработки и использования специальных рекомендаций, содержащих строгие критерии исполнения элементов графика, сопровождающиеся разъяснением их принципов.

Литература

1. Ананьева Н.Г., Ананьева М.С., Самойлов В.Н. Графическое оформление результатов эксперимента. — М.: Кафедра общей физики физического факультета МГУ, 2016. — 23 с.
2. Всероссийская олимпиада школьников по физике. — URL: <https://vos.olimpiada.ru/> (дата обращения 19.07.2022).
3. Замятнин М.Ю. Культура построения графиков // Потенциал. Математика. Физика. Информатика. 2018. № 11 (166). С. 21–30.
4. Сайт подготовки национальных команд Российской Федерации к Международной олимпиаде по физике IPhO и Международной естественнонаучной олимпиаде юниоров IJSO. — URL: <http://4ipho.ru> (дата обращения 19.07.2022).
5. Сергеев С.Н. Обработка результатов фи-

зического эксперимента в лаборатории физического практикума. — М.: СУНЦ МГУ, 1998. — 40 с.

6. *Тихонов П.С.* Дистанционные образовательные технологии как инструмент повышения квалификации учителей физики в области формирования у школьников умения решать экспериментальные олимпиадные задачи // *Наука и школа*. 2020. № 6. С. 130–137.

7. *Тихонов П.С.* Методическая система повышения квалификации учителей физики в области обучения школьников решению экспериментальных олимпиадных задач: предварительные результаты апробации // *Школа будущего*. 2020. № 2. С. 54–63.

8. *Тихонов П.С.* Новые подходы к повышению

квалификации учителей физики в области обучения школьников решению экспериментальных олимпиадных задач // *Вестник Московского Университета. Серия 20 Педагогическое образование*. 2019. № 2. С. 86–94.

9. *Тихонов П.С., Черников Ю.А., Якута А.А.* Опыт организации кружка по подготовке школьников к участию в экспериментальных турах олимпиад по физике // *Сборник трудов XIV Международной учебно-методической конференции «Современный физический практикум»*. — М.: Издательский дом Московского физического общества, 2016. — С. 252–253.

Дата поступления рукописи (Received): 01.08.2022.

Опубликовано (Published): 18.01.2023.

Это интересно

Почему Луна не считается планетой?

Солнечная система наполнена множеством небесных тел, которые различаются по размеру и форме. Среди этих объектов, вращающихся в космосе, естественные спутники относятся к особой категории. Луна не является исключением и является спутником Земли. Она имеет достаточно большой размер по сравнению с Землей: примерно четверть диаметра нашей планеты. Диаметр Луны велик не только по сравнению с Землей, но он больше и аналогичного параметра карликовой планеты Плутон. Если это так, почему же она не считается планетой?

Согласно решению, принятому на XXVI Ассамблее Международного астрономического союза, планетами считаются небесные тела, соответствующие трем критериям. Планеты должны:

- 1) вращаться вокруг Солнца;
- 2) обладать гравитацией, достаточной для придания формы близкой к сферической;
- 3) занимать свою орбиту в одиночку, т.е. «очистить» свое окружение от всех других небесных тел (кроме своих спутников).

Согласно этому определению, Луна не может быть классифицирована как планета. Поскольку она вращается вокруг Земли, а не вокруг Солнца, то является естественным спутником.

Тем не менее ученые считают, что Луна формировалась как планета, так как имеет кору, мантию и ядро. На ней наблюдалась вулканическая активность, о чем свидетельствуют темные пятна на поверхности — результат потоков лавы. Хотя вулканическая активность прекратилась около 3 миллиардов лет назад, миссии «Аполлон» зафиксировали тысячи сейсмических колебаний лунной поверхности. Это свидетельствует о том, что на Луне происходят геологические явления, аналогичные земным.

Источник: <https://new-science.ru/pochemu-luna-ne-schitaetsya-planetoj/>

К ВОПРОСУ ОБ ИЗУЧЕНИИ ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

ON THE QUESTION OF STUDYING THE MOTION OF A CHARGED PARTICLE IN A MAGNETIC FIELD

Научная статья

Scientific article

УДК 372.853

DOI 10.47639/0130-5522_2023_1_30

С.В. Соболев , к. ф.-м. н., профессор, Курский институт развития образования, г. Курск; svsobolev49@mail.ru	S.V. Sobolev , PhD (Physics and Mathematics), Professor, Kursk Institute of Educational Development, Kursk; svsobolev49@mail.ru
Ключевые слова: заряженная частица, магнитное поле, сила Лоренца, инвариант, магнитное зеркало	Keywords: charged particle, magnetic field, Lorentz force, invariant, magnetic mirror
Аннотация. В статье рассматривается вопрос о движении заряженной частицы в переменном во времени и неоднородном магнитных полях	Abstract. The article deals with the question of the motion of a charged particle in time-variable and inhomogeneous magnetic fields

© Соболев С.В., 2023

Изучение движения заряженных частиц в магнитном поле в курсе физики средней школы ограничивается случаем, когда его индукция $\vec{B}$ не меняется с течением времени. На практике такая ситуация реализуется весьма редко. При произвольной зависимости $\vec{B}$ от координат и времени исследование движения заряженной частицы сопряжено со значительными математическими трудностями. Вместе с тем в ряде случаев, когда $\vec{B} = \vec{B}(r, t)$, удается исследовать движение частицы, не выходя за рамки содержания учебного предмета «Физика», изучаемого на углубленном уровне. Рассмотрению некоторых из таких ситуаций посвящена данная статья.

1. Движение в постоянном однородном магнитном поле

В этом случае, как известно, движение нерелятивистской частицы массой m с зарядом q , происходящее под действием силы Лоренца, складывается из ее движения с постоянным импульсом $p_{\parallel}$ вдоль линий магнитного поля и равномерного вращения

в плоскости, перпендикулярной линиям поля, с угловой скоростью ω по окружности радиусом r , равными

$$\omega = \frac{|q|B}{m}, \quad r = \frac{p_{\perp}}{|q|B} \quad (1)$$

($p_{\perp}$ — импульс частицы в направлении, поперечном полю). В результате сложения этих движений траекторией частицы служит спираль с постоянным шагом

$$h = \frac{2\pi p_{\parallel}}{|q|B}. \quad (2)$$

Отметим также, что ввиду ортогональности силы Лоренца и скорости частицы работа этой силы равна нулю, вследствие чего кинетическая энергия частицы не меняется с течением времени:

$$\frac{p^2}{2m} = \frac{p_{\parallel}^2 + p_{\perp}^2}{2m} = \text{const}. \quad (3)$$

2. Движение в однородном переменном во времени магнитном поле

Пусть теперь магнитное поле однородно, а его индукция изменяется с течением вре-

мени настолько медленно, что *относительное изменение модуля индукции поля за время, равное периоду вращения частицы* $T = \frac{2\pi}{\omega}$ *вокруг линий поля, много меньше единицы*. В этом случае можно считать, что в течение времени T движение частицы перпендикулярно линиям поля происходит по окружности радиусом r с угловой скоростью ω , определяемым формулами (1).

В соответствии с законом электромагнитной индукции Фарадея в точках контура, совмещенных с этой окружностью, будет возникать вихревое электрическое поле (и связанная с ним ЭДС индукции $\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}$), работа которого приведет к изменению кинетической энергии частицы. Для положительно заряженной частицы в случае усиления магнитного поля описанная ситуация представлена на рисунке 1.

Изменение кинетической энергии частицы ΔE_k за период ее вращения T можно рассчитать так:

$$\Delta E_k = -q\varepsilon_i = -q \left(-\frac{\Delta\Phi}{T} \right) = q\pi r^2 \frac{\Delta B}{T} = \frac{p_{\perp}^2}{2m} \frac{\Delta B}{B} \quad (4)$$

(учтено, что $T = \frac{2\pi}{\omega}$ и использованы формулы (1)).

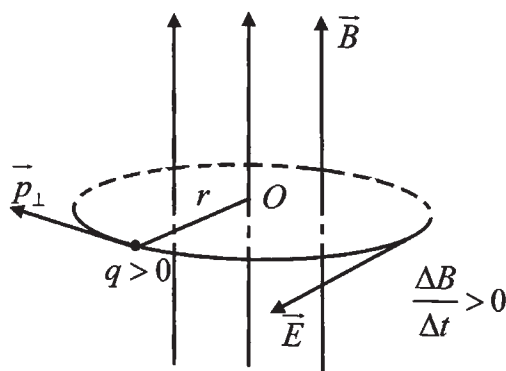


Рис. 1

С другой стороны, ввиду неизменности $p_{\parallel}^2$, можно написать

$$\Delta E_k = \frac{1}{2m} \Delta p^2 = \frac{1}{2m} \Delta p_{\perp}^2. \quad (5)$$

Приравнявая правые части (4) и (5), находим

$$\frac{\Delta p_{\perp}^2}{p_{\perp}^2} - \frac{\Delta B}{B} = 0,$$

откуда

$$I = \frac{p_{\perp}^2}{B} = \text{const}. \quad (6)$$

Таким образом, при движении заряженной частицы в однородном медленно изменяющемся магнитном поле величина I (6) остается постоянной, т.е. является *инвариантом* (или интегралом движения).

3. Движение в постоянном неоднородном аксиально-симметричном магнитном поле. Магнитное зеркало

Рассмотрим движение заряженной частицы в постоянном неоднородном магнитном поле, обладающем осевой (или аксиальной) симметрией. Индукция такого поля $\vec{B} = \vec{B}(\rho, z)$, где ρ — расстояние от данной точки до оси симметрии поля, совпадающей с декартовой координатой z .

Будем считать, что мгновенный центр вращения частицы вокруг линий поля также лежит на оси z . В этом случае частица будет двигаться вокруг этой оси по спирали,

шаг которой $h = \frac{2\pi p_{\parallel z}}{|q|B_{\parallel}}$ не будет оставаться постоянным. Считаем также, что пространственное изменение магнитной индукции происходит достаточно медленно. А именно: *относительное изменение модуля индукции поля* $\frac{\Delta B}{B} \ll 1$ *как на расстоянии*

$r = \frac{p_{\perp z}}{|q|B_{\parallel}}$, *так и на расстоянии* $v_{\parallel z} T$, *которое частица проходит вдоль оси z за период вращения вокруг линий поля*. (В последних выражениях для h и r индексы $\parallel z$ и $\perp z$ определяют составляющие соответствующих величин в направлении оси z и в перпендикулярном ей направлении соответственно.)

Как известно, при движении частицы в аксиально-симметричном силовом поле проекция момента импульса $\vec{M}$ на ось симметрии (в нашем случае на ось z) не меняется с течением времени. Это означает, что $M_z = r p_{\perp z} = \text{const}$. При указанном пространственном характере изменения поля можно считать, что в течение периода T частица движется по окружности радиусом $r = \frac{p_{\perp z}}{|q| B_{\parallel z}}$.

Поэтому из условия постоянства величины M_z следует, что при движении заряженной частицы вдоль оси постоянного медленно меняющегося аксиально-симметричного магнитного поля

$$I = \frac{p_{\perp z}^2}{B_{\parallel z}} = \text{const}, \quad (7)$$

т.е. I (7) является инвариантом движения.

Рассмотрим движение частицы в направлении возрастания $B_{\parallel z}$. В этом случае, согласно (7), величина $p_{\perp z}^2$ также должна увеличиваться. Так как при движении в постоянном магнитном поле $p_{\parallel z}^2 + p_{\perp z}^2 = \text{const}$, то значение $p_{\parallel z}^2$ должно уменьшаться. Причина такого «перехода» $p_{\parallel z}^2$ в $p_{\perp z}^2$ состоит в следующем (рис. 2).

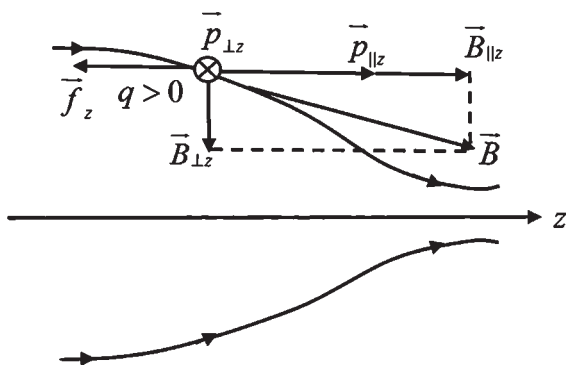


Рис. 2

Наличие не равной нулю индукции $\vec{B}_{\perp z}$ магнитного поля приводит к появлению у силы Лоренца составляющей $\vec{f}_z$, которая независимо от знака заряда частицы направлена «навстречу» ее движению. При этом

$$f_z = -\frac{|q| p_{\perp z}}{m} B_{\perp z}.$$

Работа этой силы и приводит к уменьшению части кинетической энергии частицы $\frac{p_{\parallel z}^2}{2m}$, связанной с ее движением вдоль оси z .

Одновременное возрастание части кинетической энергии $\frac{p_{\perp z}^2}{2m}$ объясняется следующим образом.

Известно, что если в «покоящейся» (лабораторной) системе отсчета напряженность электрического и индукция магнитного полей равны $\vec{E}$ и $\vec{B}$, то в движущейся относительно нее со скоростью $\vec{v}$ ($v \ll c$, c — скорость света в вакууме) системе отсчета характеристики этого электромагнитного поля $\vec{E}'$ и $\vec{B}'$ выражаются как

$$\vec{E}' = \vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}, \quad \vec{B}' = \vec{B}$$

($\times$ — знак векторного произведения).

По определению, векторным произведением векторов $\vec{a}$ и $\vec{b}$ называется вектор $\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b}$. Этот вектор перпендикулярен плоскости, содержащей векторы $\vec{a}$ и $\vec{b}$. При этом он направлен так, что с его конца кратчайший поворот от вектора $\vec{a}$ к вектору $\vec{b}$ на угол ϕ виден против часовой стрелки (рис. 3). Модуль вектора $\vec{c}$ равен площади параллелограмма, построенного на векторах $\vec{a}$ и $\vec{b}$: $c = ab \sin \phi$. Укажем также, что $\vec{a} \times \vec{b} = -(\vec{b} \times \vec{a})$.

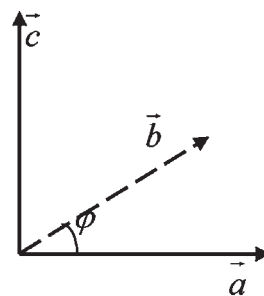


Рис. 3

Рассмотрим систему отсчета, движущуюся вместе с частицей со скоростью $v_{\parallel z}$ вдоль оси z . Представив $\vec{v}$ и $\vec{B}$ в виде

$$\vec{v} = \vec{v}_{\parallel z} + \vec{v}_{\perp z}, \quad \vec{B} = \vec{B}_{\parallel z} + \vec{B}_{\perp z},$$

находим, что в этой системе отсчета возникает электрическое поле с составляющими напряженности

$$\vec{E}_1' = \vec{v}_{\parallel z} \times \vec{B}_{\perp z}, \quad \vec{E}_2' = \vec{v}_{\perp z} \times \vec{B}_{\parallel z}. \quad (8)$$

Направления входящих в (8) векторов для частицы с положительным зарядом показаны на рисунке 4.

Видим, что в каждый момент времени направление электрической силы $\vec{F}_1 = q\vec{E}_1$ совпадает с направлением скорости вращения частицы $v_{\perp z}$ вокруг оси z . Поэтому работа этой силы положительна, что и приводит к увеличению части $\frac{p_{\perp z}^2}{2m}$ кинетической энергии частицы. Что касается силы $\vec{F}_2 = q\vec{E}_2$, то она не совершает работу над частицей, поскольку $\vec{F}_2 \perp \vec{v}$.

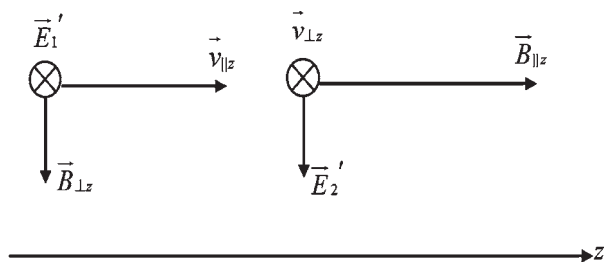


Рис. 4

При движении частицы в направлении возрастания $B_{\parallel z}$ может случиться так, что при некотором значении $z = z_0$ проекция импульса частицы $p_{\parallel z}$ обратится в ноль. Сразу после остановки $p_{\parallel z}$ изменит знак на противоположный и частица начнет двигаться в обратном направлении. Плоскость, перпендикулярная оси z и содержащая точку $z = z_0$, называется *магнитным зеркалом*.

Если на оси z расположены два магнитных зеркала, то часть заряженных частиц, находящихся между ними, может быть захвачена магнитным полем. Область, заключенная между такими зеркалами, называется *магнитной ловушкой*. В качестве примера рассмотрим следующую задачу.

Какая часть n заряженных частиц, испущенных равномерно во все стороны радиоактивной пылинкой, расположенной на оси магнитной ловушки, останется внутри нее? Индукция магнитного поля в центре ловушки B_1 , а на ее краях — $B_2 > B_1$ (рис. 5).

Решение

Рассмотрим частицу, начальный импульс которой p образует с осью z угол $\theta = \theta_0$. В силу инвариантности величины I (7) можно написать

$$\frac{p^2 \sin^2 \theta_0}{B_1} = \frac{p^2 \sin \theta}{B}. \quad (9)$$

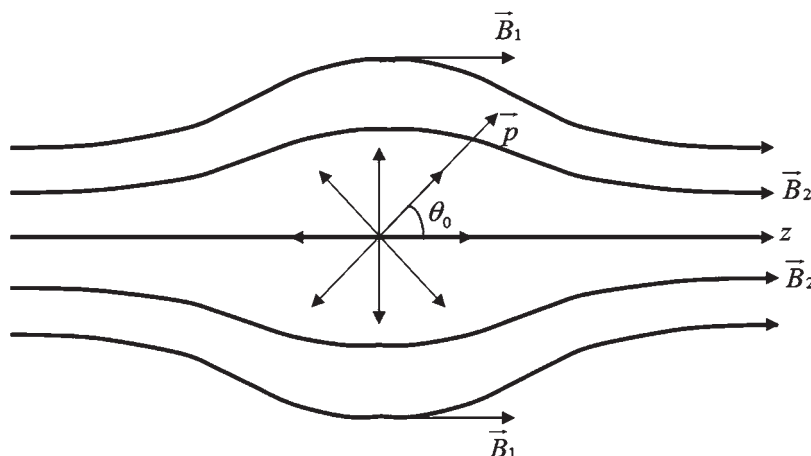


Рис. 5

По мере движения частицы в направлении возрастающей индукции поля B угол θ также будет увеличиваться. Если угол θ_0 таков, что при $B = B_2$ θ достигает максимального значения, равного $\frac{\pi}{2}$ ($p_{\parallel z} = 0$), то в этот момент частица отразится от магнитного зеркала и начнет двигаться в обратном направлении. При этом из (9) следует, что

$$\sin^2 \theta_0 = \frac{B_1}{B_2}. \quad (10)$$

В ловушке будут оставаться частицы, у которых угол $\theta_0 < \theta < \pi - \theta_0$. Так как пылинка излучает заряженные частицы равномерно во все стороны, то оставшуюся в ловушке часть частиц n найдем, разделив телесный угол Ω_0 , в который попадают первоначальные векторы импульсов частиц, на полный телесный угол, равный 4π ср (стерадиан): $n = \frac{\Omega_0}{4\pi}$. Величина Ω_0 вычисляется так:

$$\begin{aligned} \Omega_0 &= \int d\Omega = \int \sin \theta d\theta d\varphi = \int_0^{2\pi} \left(\int_{\theta_0}^{\pi-\theta_0} \sin \theta d\theta \right) d\varphi = \\ &= 4\pi \cos \theta_0. \end{aligned}$$

Учитывая теперь, что, согласно (10),

$$\cos \theta_0 = \sqrt{1 - \sin^2 \theta_0} = \sqrt{1 - \frac{B_1}{B_2}}, \text{ окончательно получаем:}$$

$$n = \sqrt{1 - \frac{B_1}{B_2}}.$$

Рассмотренные в статье вопросы о движении заряженной частицы в магнитном поле имеют непосредственное отношение к радиационным поясам и, в целом, к магнитосфере Земли — области околоземного космического пространства, заполненной частицами солнечного ветра (в основном это протоны и электроны), которые удерживаются земным магнитным полем. Частицы радиационных поясов быстро вращаются вокруг линий поля и одновременно движутся вдоль них. По мере приближения к полярным областям они попадают в область усиливающегося

магнитного поля (магнитное зеркало). В результате часть из них изменяет направление движения на противоположное, т.е. оказывается захваченной магнитным полем Земли.

При протекании на Солнце различных активных процессов параметры солнечного ветра (скорость, концентрация частиц и ряд других) могут испытывать скачкообразные изменения. Это приводит к сжатию земного магнитного поля и появлению электрических полей. В результате происходят магнитные бури, нарушается теле- и радиосвязь. Это сопровождается вторжением частиц, захваченных магнитным полем Земли, в верхние слои полярных областей атмосферы. При их столкновениях с атомами и молекулами атмосферы происходит возбуждение последних. Излучение этих возбужденных частиц в видимом диапазоне наблюдается как полярное сияние.

Движение заряженных частиц в магнитных полях встречается в самых разных устройствах и технологических процессах. К ним относятся электронные микроскопы, циклические ускорители заряженных частиц, в которых формирование траекторий частиц осуществляется с помощью магнитного поля; магнетронное напыление металлов и сплавов на различные поверхности и многие другие.

Литература

1. Альвен Г., Фельтхаммар К.Г. Космическая электродинамика. — М.: Мир, 1967. — 260 с.
2. Воробьев И.И., Зубков П.И., Кутузова Г.А. и др. Задачи по физике / Под ред. О.Я. Савченко. — Новосибирск: Новосибирский гос. ун-т. 2008. — 370 с.
3. Физика. 10 класс: учеб. для общеобразоват. учреждений и шк. с углубл. изучением физики: профил. уровень / [О.Ф. Кабардин, В.А. Орлов, Э.Е. Эвенчик и др.]; под ред. А.А. Пинского, О.Ф. Кабардина. — М.: Просвещение, 2014. — 416 с.

Дата поступления рукописи (Received): 12.04.2022.
Опубликовано (Published): 18.01.2023.

ФИЗИКА В БИОЛОГИИ

PHYSICS IN BIOLOGY

Научная статья
УДК 28.071

Scientific article
DOI 10.47639/0130-5522_2023_1_35

Н.А. Парфентьева , к.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой общей и прикладной физики, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Москва; учитель физики, Международная гимназия в Новых Вешках; nparfentyeva@gmail.com	N.A. Parfentyeva , PhD (Physics and Mathematics), Professor, Head of the Department of General and Applied Physics, Moscow State University of Civil Engineering (MGSU) National Research University; Physics teacher, Non-State General education private institution Education Center «International Gymnasium in New Veshki»; nparfentyeva@gmail.com
Л.В. Лескова , преподаватель, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Москва; grass.62 mail @ru	L.V. Lescova , teacher, Moscow State University of Civil Engineering (MGSU) National Research University; grass.62 mail @ru
Ключевые слова: методика преподавания физики и биологии, микрообъекты, клетка, общие проблемы физики и биологии, биофизика, молекулярная биология	Keywords: methods of teaching physics and biology, micro objects, cell, general problems of physics and biology, biophysics, molecular biology
Аннотация. Авторы статьи продолжают тему интеграции наук. В этой статье говорится о связи физики с биологией. Показано, что при всем различии этих наук (наук о живой и неживой природе) они нуждаются во взаимодействии и дают взаимное обогащение. Показаны примеры их связи, необходимости знания физических законов и понятий для изучения живой природы. В свою очередь биология стимулирует физиков на создание новых приборов, с помощью которых можно изучать такие микрообъекты как клетки. Изучение общих проблем физиками и биологами привело, в частности, к возникновению биофизики, к развитию молекулярной биологии	Abstract. In this article the author deals with the topic of integration of sciences and talks about the connection of physics with biology. It is shown that for all the differences between these sciences (biology is the science of animate nature and the physics – of inanimate), they need interaction and provide mutual enrichment. There are the examples of their connection, it is shown the need for knowledge of physical laws and concepts for the study of living nature. Biology encourages for its part physicists to create new devices that can be used to study such micro objects as a cell. The study of common problems by physicists and biologists led in particular to the emergence of biophysics and to the development of molecular biology

© Парфентьева Н.А., Лескова Л.В., 2023

Опыт показывает, что из-за общности мира мы... можем помогать друг другу и друг друга радовать, и это происходит лишь в тех случаях, когда мы друг друга слушаем. Выясняется, в частности, что если устанавливается взаимопонимание, то люди охотно разговаривают и иногда охотно выслушивают ответы.

Э. Шредингер

Физики изучают неживую природу, биологи же, наоборот, — природу живую. Казалось бы, у представителей этих двух наук абсолютно разные поля деятельности. Однако это далеко не так. Физика необходима биологии для объяснения и описания множества процессов, происходящих в живой природе, создания приборов для исследований, биологи их применяют, а также используют физические понятия, законы и термины [1, 2, 8].

Самое важное, что дала физика биологам, да и не только им, — это использование моделей, т.е. упрощения при рассмотрении данного явления, при этом сохраняя свойства, которые их определяют [3–5]. Сначала простая модель, затем ее усложнение с включением все новых фрагментов, присутствующих данному явлению.

Например, сердце — это насос, кровеносная система, система сосудов-труб, по кото-

рым движется вязкая жидкость и т.д.

В приведенной ниже таблице приведены только три примера проблем биологии, в которых широко используются законы и понятия физики.

Один из основных вопросов, волнующих и биологов, и физиков, — достаточны ли открытые физикой законы для научного объяснения того, что происходит с живой материей?

Каковы особенности живой природы? Начиная с семнадцатого века виталисты (от слова жизнь *vita* — жизнь) [6, 7] утверждали, что живое отделено от неживого непреодолимым барьером и подчиняется не наблюдаемым в природе закономерностям, а «жизненной силе», которая управляет, поэтому объяснение законов живой природы непостижимо для человека. По их мнению, физика и химия не могут объяснить процессы, происходящие в организме.

Таблица 1

Биология, темы	Физика, разделы
1. Строение глаза	Оптика
Получение изображения на сетчатке глаза	Геометрическая оптика
Зрительный анализатор	Электричество и молекулярная физика: физическая и химическая связь нейронов, понятия потенциалов покоя и действия, электрический ток, диффузия и осмос
2. Кровеносная система	
Сердце	Механика: колебания, период и частота колебаний, упругая деформация
Движение крови по сосудам	Гидромеханика: скорость, давление, законы Паскаля и Бернулли, вязкость жидкости, два характера течения жидкости
Обогащение крови кислородом	Молекулярная физика: диффузия и осмос
Эритроциты в крови	Электричество: заряд, разность потенциалов между симметричными точками тела
Выравнивание температуры тела	Термодинамика: теплопередача
3. Жизнь растений	
Капилляр	Молекулярная физика: подъем жидкости в капиллярах, осмос
Поглощение листьями солнечного света	Волновая оптика: спектр солнечного излучения

Однако изобретение микроскопа, опыты химиков, наблюдения за живыми организмами позволили полностью отречься от этой теории, которая включала еще такое понятие как мистические силы, поддерживающие жизнь в организме.

Уже начиная с XVIII в. и даже раньше, физики активно начали внедряться в биологию, не только создавая приборы, но и предлагая модели и свои объяснения явлений живой природы.

Нильс Бор применил свой знаменитый принцип дополнительности — дополнительность применяемых в биологии соображений физико-химического характера к понятиям, связанным с целостностью организма.

Эрвин Шредингер, бесконечно увлекшийся биологией, дал ответы на следующие вопросы [8]. 1. Чем поддерживается неравновесное состояние организма? 2. Почему клетка состоит из большого числа атомов? 3. Чем определяется высокая устойчивость генов, состоящих из легких атомов?

В настоящее время никто не отрицает применимость законов физики и химии к исследованию биологических явлений. Разнообразные проявления жизни в конечном счете можно объяснить на основании тех же физических и химических законов, которым подчиняются неживые системы.

Напомним определение, дающее ключ к пониманию связи биологии с физикой и химией: жизнь есть особое проявление физических и химических процессов, протекающих в сложных молекулярных системах, взаимодействующих с другими системами путем обмена энергией и веществом, что изучает термодинамика открытых систем.

Особенности биологических объектов (отличие от тел неживой природы): самовоспроизводство и адаптация к изменяющимся внешним условиям, тончайшая регуляция и самосогласование всех биологических процессов, происходящих в живых системах и обеспечивающих их жизнедеятельность.

Молекулы, входящие в состав живых

организмов, необычайно велики, многообразны и сложны. Самыми сложными и разнообразными из всех молекул, входящих в состав клеток, являются белковые молекулы. Их молекулярные массы находятся в пределах от нескольких десятков тысяч до нескольких миллионов единиц — это макромолекулы.

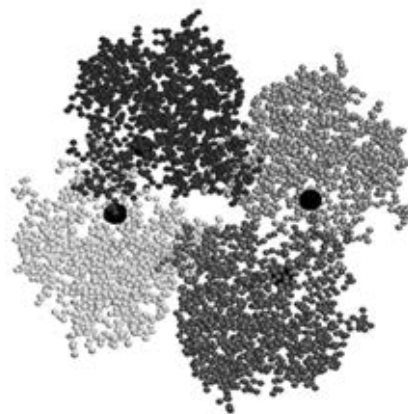


Рис. 1. Пример молекулы белка

К макромолекулам относятся белки, жиры, углеводы и, наконец, нуклеиновые кислоты, основными функциями которых является передача, хранение и реализация наследственной информации. Молекула ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота) — одна из самых знаменитых макромолекул — строится из четырех типов нуклеотидов, которые представляют собой комбинации атомов фосфора, азота, водорода и кислорода.



Рис. 2. Молекула ДНК

Молекула — основное понятие молекулярной физики и физики вообще.

«Если бы в результате какой-то мировой катастрофы все накопленные научные знания оказались бы уничтоженными, ... то наибольшую информацию принесло бы утверждение о том, из чего состоит вещество» (Р. Фейнман).

По мере увеличения числа атомов в системе появляются новые качества и свойства, а некоторые явления можно объяснить, только изучая огромные ансамбли молекул, не задумываясь о поведении каждой отдельной молекулы этого ансамбля, как, например, звуковые волны, температура, давление.

Все своеобразие живых организмов, отличающее их от тел неживой природы, возникает в результате особой организации сложных молекулярных систем, в основе которых лежат те же элементарные законы, которые определяют свойства атомов и молекул и построенных из них тел неживой природы.

Однако, теоретическая биофизика должна учитывать существенное отличие биологических объектов от тел неживой природы. Основные процессы в живых организмах происходят при непереносимой затрате энергии. Эта энергия поставляется продуктами питания.

Не надо думать, что вся энергия, получаемая от продуктов питания, переходит в энергию человека. Так, например, человек съел небольшой кусок торта, энергетическая ценность которого равна 150 ккал ($1 \text{ ккал} = 4,2 \text{ кДж}$). Расход энергии у человека при ходьбе со скоростью 6 км/ч 300 ккал/час. Для того чтобы израсходовать полученную энергию, он должен ходить достаточно быстро в течение получаса, т.е. пройти больше 3 км. Эта цифра несколько удивляет. Мы подошли к этому расчету с точки зрения физика. На самом деле это не так. Человек непрерывно обменивается энергией и массой с окружающей средой, и на передвижение тратится только часть поступившей энергии.

Человек — открытая система. И все биологические объекты являются такими же. Их жизнедеятельность возможна только при обмене с окружающей средой энергией и веществом.

Если построение белков из аминокислот в клетках живых организмов требует затраты энергии, то их распад в водной среде может происходить самопроизвольно с выделением энергии. По некоторым данным период полураспада белков сердечной мышцы равен примерно 30 дням. Организм должен непрерывно заменять распадающиеся белковые молекулы новыми.

Все белки и, следовательно, все живые организмы находятся в метастабильном (неустойчивом) состоянии. Жизнь возможна только потому, что переход от такого неустойчивого состояния к устойчивому, соответствующему полному термодинамическому равновесию, требует очень большого времени. Если бы это время сократилось, то уменьшилась бы и продолжительность жизни.

Рассмотрим связь физики и биологии (физиологии) на примере восприятия звука.

Звуковые волны — это механические волны, распространяющиеся в упругих средах [8, 9]. С точки зрения физики, они характеризуются амплитудой, частотой, скоростью распространения.

Звуковые волны используются для передачи информации, т.е. происходит излучение и поглощение звука.

Звук, издаваемый человеком, возникает при прохождении воздуха через голосовые связки, которые находятся между хрящами гортани и образованы складками слизистой оболочки. Пространство между голосовыми связками называют голосовой щелью. Когда человек молчит, голосовые связки расходятся, и голосовая щель имеет вид равнобедренного треугольника (рис. 3). Голосовыми связками управляет головной мозг, посылая по нервам соответствующие сигналы.



Рис. 3. Положение голосовых связок

Окончательное формирование звука происходит в полостях носоглотки — своеобразных резонаторах, которые представляют собой колебательную систему, в которой происходит увеличение энергии колебаний за счет резонанса с вынуждающей силой. Обычно резонаторы обладают дискретным набором собственных резонансных частот.

Голосовые связки — это фактически камертон. После удара камертон подносят к уху, так как звук, им издаваемый, тихий. Но если к камертону поднести, например, полный сосуд, то звук усилится. Этот пример можно перенести на звучание голоса: связки — камертон, резонатор — голова и грудная клетка.

Приемник звука или орган слуха — ухо. Это природное устройство поражает при его изучении своей сложностью и в то же время разумностью устройства (рис. 4). У человека оно состоит из трех отделов: наружного уха, среднего уха и внутреннего уха. Наружное ухо — ушная раковина, слуховой проход и барабанная перепонка. Его функция — улавливание звука и его проведение.

Среднее ухо — заполненная воздухом камера объемом 1–2 мл. В ней три подвижные косточки: молоточек, наковальня и стремечко. Молоточек соединен с барабанной перепонкой, а стремечко — через овальное окошко с внутренним ухом. Среднее ухо через евстахиеву трубу объединено с носоглоткой.



Рис. 4. Строение уха

Физика может ответить на многие вопросы, связанные с устройством уха. Например, почему внутреннее ухо заполнено жидкостью; что определяет колебания барабанной перепонки — ее упругие свойства, а также амплитуда и частота звуковой волны. Звуковые колебания воздуха вызывают колебания барабанной перепонки, соответствующей мембране микрофона, и через слуховые косточки передаются к внутреннему уху, где вызывают колебания жидкости, заполняющей канал улитки. При этом начинают колебаться волокна основной мембраны и так называемые волосковые клетки кортиева органа. При каждом подъеме они волосками упираются в покровную мембрану, волоски при этом сгибаются, мембранный потенциал (понятие, введенное в электростатике) клеток изменяется и в нервных волокнах возникает возбуждение. Головной мозг постоянно обрабатывает поступающие импульсы, в результате чего создаются звуковые ощущения.

Но восприятие звука, его громкость и даже частота зависят от человека.

Поэтому вводятся две характеристики звука (табл. 2).

Для физики субъективные характеристики являются абсолютно нетипичными, так как эта наука исследует объективную реальность, но когда мы рассматриваем биологические процессы, такие характеристики являются необходимыми.

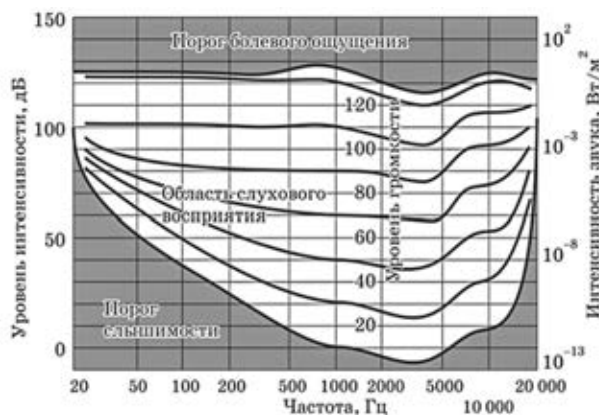
Таблица 2

Характеристики звука

Объективные	Субъективные
Амплитуда колебаний	Громкость
Частота	Высота тона
Набор частот	Тембр, окраска звука

При распространении звука изменяется звуковое давление, избыточное давление воздуха, которое при волне одной частоты изменяется по гармоническому закону.

Интенсивность звука пропорциональна квадрату амплитуды избыточного давления. Звуковые волны разных частот при одной и той же амплитуде кажутся человеку разной громкости (рис. 5).

**Рис. 5. Звуковое поле**

На кривых зависимости интенсивности звуковой волны от частоты при постоянной громкости мы видим, что при частоте порядка 3000 Гц человек слышит звук самой малой интенсивности, а для частоты 50 Гц, чтобы волна воспринималась как звук, интенсивность должна быть увеличена в сто тысяч раз.

Также можно рассмотреть с точки зрения физики и биологии устройство глаза, органы обоняния (кстати, восприятие запахов объясняется с точки зрения квантовой физики).

Необходимо отдельно поговорить о физи-

ческих методах исследования в биологии.

В настоящее время биологи получили ряд физических методов, позволяющих изучать структуру молекул с разным пространственным разрешением: от размера, соответствующего размерам целой молекулы, до размера, соответствующего расстояниям между отдельными атомами в молекуле.

Методы исследования.

1. Дифракция рентгеновских лучей, получение рентгенограмм.

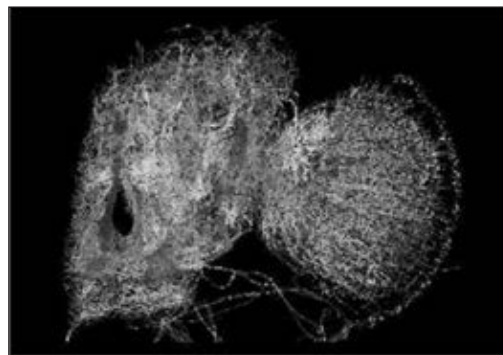
2. Гидродинамический метод, основанный на анализе диффузии, седиментации (оседание частиц) и вязкости. Этими методами впервые были определены размеры белков. При сочетании методов седиментации и диффузии можно определять молекулярные массы белков.

Определение трения, действующего на молекулу при вращательном движении, основано на опытах по измерению характеристической вязкости биологических макромолекул.

Ориентация в гидродинамическом поле (эффект Максвелла) и электрическом поле (эффект Керра) позволяет определить объем макромолекул.

3. Методы рассеивания света, микроскопии, калориметрии, ядерный магнитный резонанс.

Главные два физических метода: рентгеновская кристаллография и ядерный магнитный резонанс.

**Рис. 6. Модель нейронных связей мозга дрозофилы. Трехмерная каркасная модель (2016 г.)**

Японские ученые для получения этой модели модифицировали метод рентгеновской кристаллографии. Модель имеет разрешение около 600 нанометров и включает примерно 100 тысяч нейронов. Выделено 362 сети нейронов с известными функциями, а также ряд неизвестных структур из нервных клеток. Распределение таких структур сочетается с распределением контактов между отростками нейронов, что свидетельствует об их важной роли в работе мозга.

Функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ) дает возможность увидеть изменения кровообращения головного мозга в зависимости от его активности; это способ получения изображений внутренней структуры мозга, который использует сильные магнитные поля. Такие изображения показывают, какие участки мозга активированы при выполнении определенных заданий (рис. 7).



Рис. 7. Сканирование головного мозга

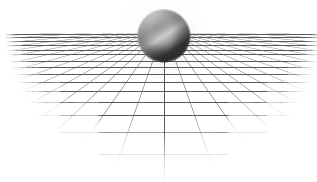
Перед физикой в XXI веке стоят задачи получения знаний об объемной, пространственной структуре все большего числа

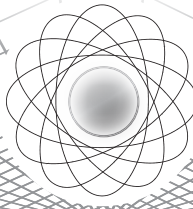
биологических макромолекул, структурных изменений в процессе функционирования отдельной макромолекулы, переноса этих знаний на уровень клетки, а в последующем — на уровень целого организма.

Литература

1. Физика и другие науки. URL: <http://ens.tpu.ru>.
2. Петрова Е.Б. Физические основы биологических процессов. — М.: Прометей, 2021. — 234 с.
3. Борисова А. Между физикой и биологией // За науку, 2019. — URL: <https://zanauku.mipt.ru/2019/04/29/mezhdue-fizikoj-i-biologii/> (дата обращения: 01.11.2022).
4. Пустынникова И.Н., Михайлова А.С., Саакян Д.Н. Использование на уроках физики примеров из биологии // European research. 2016. № 6 (17). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-na-urokah-fiziki-primerov-iz-biologii> (дата обращения: 01.11.2022).
5. Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. Биология. — М.: Мир, 1996.
6. Galatzer-Levy R.M. Psychic Energy, A Historical Perspective // Ann Psychoanal. 1976. 4:41–616.
7. Воейков В.Л. Витализм: Новая философская энциклопедия: в 4 т. / пред. науч.-ред. совета В.С. Степин. — М.: Мысль, 2010. — 2816 с.
8. Шредингер Э. Что такое жизнь с точки зрения физики? — М.: АСТ, 2018. — 230 с.
9. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б., Парфентьева Н.А., Чаругин В.М. Физика. 11 класс. Классический курс. — М.: Просвещение, 2016. — 185 с.

Дата поступления рукописи (Received): 03.08.2022.
Опубликовано (Published): 18.01.2023.





ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫХ И ИТ-КОМПЕТЕНЦИЙ УЧАЩИХСЯ В РАМКАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ. 5–6 КЛАСС

THE USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES FOR THE FORMATION OF NATURAL SCIENCE AND IT COMPETENCIES OF STUDENTS IN THE FRAMEWORK OF THE TECHNOLOGY SCHOOL. 5–6 GRADE

Научная статья

Scientific article

УДК 372.853

DOI 10.47639/0130-5522_2023_1_42

М.М. Зуев , учитель физики, школа № 1502 «Энергия», Москва; zuev-mm@1502.moscow	M.M. Zuev , teacher of physics, School No 1502 «Energy», Moscow; zuev-mm@1502.moscow
М.А. Петрова , к.п.н., председатель МО специальных инженерных дисциплин, учитель физики, школа № 1502 «Энергия», Москва; mars1502@mail.ru	M.A. Petrova , PhD (Pedagogy), Chairwoman of the Ministry of Education of Special Engineering Disciplines, teacher of physics, School No 1502 «Energy», Moscow; mars1502@mail.ru
А.Н. Маслов , старший преподаватель, Московский энергетический институт (ТУ), учитель робототехники, школа № 1502 «Энергия», Москва; maslov-an@1502.moscow	A.N. Maslov , Senior Lecturer at Moscow Power Engineering Institute (MPEI), teacher of Robot Engineering, School No 1502 «Energy», Moscow; maslov-an@1502.moscow
Д.Р. Бритов , заместитель директора, учитель физики, школа № 1502 «Энергия», Москва; britov-dr@1502.moscow	D.R. Britov , Deputy Headmaster, teacher of physics, School No 1502 «Energy», Moscow; britov-dr@1502.moscow
Ключевые слова: естествознание, современная образовательная среда, цифровые технологии, робототехника	Keywords: natural science, modern educational environment, digital technologies, robot engineering
Аннотация. Статья посвящена вопросам формирования естественнонаучных (ЕН) и ИТ-компетенций при проведении курсов дополнительного образования в 5–6 классах основной школы. Использование в этих классах цифровых технологий дает возможность более эффективно формировать эти компетенции у учащихся	Abstract. The article is devoted to the formation of natural science and IT competencies in the course of additional education in the 5 th and 6 th grades of middle school. The use of digital technologies in the 5 th and 6 th grades makes it possible to form these competencies among students in a more effective way

© Зуев М.М., Петрова М.А., Маслов А.Н., Бритов Д.Р., 2023

Формирование естественнонаучных и ИТ-компетенций учащихся 5–6 классов — запрос времени

Современный учебный процесс сопровождается формированием в каждой школе нашей страны индивидуальных наборов образовательных инструментов, которыми определяется ее уникальная информационно-образовательная среда (далее ИОС).

Функционал ИОС достаточно разнообразен и, в первую очередь, обеспечивает организацию образовательного процесса: информационно-методическую поддержку, планирование и ресурсное обеспечение, дистанционное взаимодействие всех участников образовательного процесса. Развитая система сбора информации об участниках образовательного процесса каждого населенного пункта требует от ИОС школы: мониторинг, фиксацию хода и результатов образовательного процесса, дистанционное взаимодействие образовательного учреждения с другими организациями социальной сферы [1].

Нельзя забывать также и про другую важнейшую функцию ИОС — это современные процедуры создания, поиска, сбора, анализа, обработки, хранения и представления информации.

Цифровые технологии стали неотъемлемой частью современной образовательной среды.

- В рабочем поле ученика современной школы находится все большее разнообразие аппаратных средств: персональный компьютер, документ-камера, интерактивная доска, проектор, цифровой микроскоп, цифровые лаборатории по физике, химии, биологии.
- Современные школьники учатся получать знания с помощью разнообразных дистанционных платформ, работать с электронной почтой и облачными средами, оперативно обмениваться информацией в мессенджерах.
- Социальное взаимодействие учащихся также переходит в электронные формы и

имеет ярко выраженный цифровой характер (соцсети, мессенджеры, игры и пр.).

Одновременно можно констатировать спад интереса у абитуриентов к «чистой» ИТ-сфере как дальнейшей траектории обучения или области будущей профессии. На сегодняшний день выпускникам необходимо применять ИТ-компетенции в инженерной, технологической, конструкторской, дизайнерской и иной деятельности [1].

Современный мир требует формирования навыков, позволяющих современным детям действовать в условиях многозадачности, проявлять способности к генерации новых идей, обладать коммуникативными навыками, умениями совместной работы для достижения поставленных личностных и профессиональных задач. Вызовы времени требуют поиска новых способов, методов, технологий для формирования навыков будущего у детей.

Раннее развитие учащихся в области естествознания — это важная задача в нашем быстроменяющемся мире. Уровень развития технологий таков, что вырисовывается необходимость в ранней профориентации и формировании значимых компетенций даже на уровне основного общего образования. Только тогда выстроенная траектория и освоенные компетенции на уровне старшей школы будут совершенствоваться и приведут к осознанному выбору профессии после окончания общеобразовательной школы.

Все это говорит о том, что развитие ЕН- и ИТ-компетенций учащихся начальной и основной школы — это запрос времени, выраженный в ранней профилизации образования и формировании ключевых технологических компетенций учащихся 5–6 классов [1].

Что называется цифровыми технологиями в ЕН-образовании и в области ИТ?

Термин «цифровые технологии» имеет большое количество значений и примене-

ний в современном мире. Чтобы очертить интересующую нас область цифровых технологий, которые требуются в учебном процессе, следует обратиться к понятиям ЕН- и ИТ-компетенций.

Естественнонаучная компетенция — это способность учащихся использовать полученные знания в области физики, химии, биологии, астрономии, географии для:

- выявления в реальных ситуациях проблем, которые могут быть исследованы и решены с помощью научных методов;
- получения выводов, основанных на наблюдениях и экспериментах.

Эти выводы необходимы учащемуся для понимания окружающего мира и тех изменений, которые в него вносит деятельность человека. Выбор пути решения проблемы должен производиться в результате анализа полученных данных.

ИТ-компетенция — это способность учащегося уверенно, эффективно и безопасно выбирать и применять цифровые технологии в разных сферах жизни. Она основана на непрерывном овладении знаниями и развитии умений (поиск информации, использование цифровых устройств, производство мультимедийного контента, работа с облачными технологиями и пр.), а также формировании мотивации и ответственности.

Программы обучения детей до 4 класса уже формируют базу для реализации развития ЕН- и ИТ-компетенций [5]. В частности, предметы «Окружающий мир», «Математика» дают первые представления о физических явлениях и способах их исследования, а программы внеурочной деятельности, например, «Юный исследователь», «Ментальная арифметика», «Робототехника», «Информатика», предоставляют возможность развития логики учащихся и формируют ранние предпрофессиональные интересы учащихся.

Сформированные программы по трем направлениям для учащихся 5–6 класса («Мир естествознания», «Мир робототех-

ники», «Мир моделирования») определяют развитие учащихся в трех направлениях, главным из которых является технологическое, а на него, как на нить, нанизаны компоненты робототехники и естественнонаучных дисциплин.

Общим для всех этих направлений является деятельностный характер обучения и проектный способ построения каждого из курсов.

В данной статье дано описание взаимосвязи и взаимопроникновения двух «миров»: «Мира естествознания» и «Мира робототехники».

Логика расстановки учебных тем в программах курсов основана на взаимопроникновении этих дисциплин и выстроена таким образом, чтобы изучение комплексных тем в рамках одних курсов предварялось изучением некоторых простых аспектов этих тем в других курсах. К примеру, в «Мире робототехники» идет изучение и построение алгоритмов управления роботом при помощи цифровых сигналов, значит, в курсе «Мир естествознания» изучение электрических и магнитных явлений будет проводиться ранее или параллельно изучению связанных с этими понятиями в робототехнике.

Проблема «черного ящика» в цифровых технологиях

Еще двадцать лет назад в профессиональной педагогической литературе был поднят вопрос «черного ящика» в цифровых технологиях [2]. Первые цифровые лаборатории, появившиеся в нашей стране в средних школах, вызвали дискуссию о необходимости для учащихся основной и старшей школы разобраться в сущности аналогово-цифрового преобразования (АЦП) информации внутри любого датчика перед применением датчиковых систем при проведении эксперимента. Педагоги и методисты выдвигали теорию о том, что получение информации, обработанной цифровым датчиком, не всегда корректно, если учащийся не разбирается в сущности электронных

компонентов датчика и не понимает, каким образом можно оценить погрешности таких измерений.

Вопросы погрешности измерений с использованием датчиковых систем еще ждут своих исследователей и до сих пор не решены, а тем временем датчиковые системы в образовании применяют уже дошкольники и младшие школьники, совершенно не задумываясь о сущности АЦП и электронных преобразованиях, происходящих внутри любого датчика. Педагогический опыт применения цифровых лабораторий настолько большой и многообразный, что можно констатировать снятие проблемы «черного ящика» самой практикой преподавания учителей естественнонаучного цикла.

Возможность получения качественной зависимости любой физической, химической или биологической величины как функция времени — это прекрасная возможность учащемуся уловить динамические процессы живой природы, которые, как правило, быстропротекающие и многофакторные. Самым важным в процессе применения датчиковых средств является именно анализ процессов, происходящих в физических и биологических системах, а не абсолютные цифры той или иной величины, и не получение констант, что является задачей инженеров-метрологов, решаемой на оборудовании соответствующего класса точности.

Таким образом, наша позиция выстраивалась на необходимости применения современных цифровых средств на уроках как робототехники, так и естествознания в 5–6 классах, что и было реализовано в рамках создания курсов «Мир естествознания» и «Мир робототехники» [5]. Для развития этих компетенций в 5–6 классах мы предлагаем применять следующие цифровые средства:

- учебный ПК учащегося;
- цифровой микроскоп;
- интерактивную доску;
- цифровые лаборатории по физике, химии и физиологии человека;

- блочные системы в робототехнике;
- графические языки программирования;
- CAD-программа Fusion 360.

«Миры» технологической школы: естественнонаучный и робототехнический. Взаимосвязь и взаимопроникновение

Основной принцип решения поставленных проблем на уроке в курсе естествознания — экспериментальный. Он заключается в представлении учащимся проблемы (задачи), которую необходимо решить экспериментально, проводя опыты и отвечая на возникающие вопросы. Одной из особенностей является внедрение цифровых датчиковых систем в естественнонаучный эксперимент наряду с традиционным измерительным оборудованием, используемым в школьном курсе [5]. Это позволяет дополнительно развить у учащихся идею о возможности анализа процессов в окружающем мире при помощи цифрового оборудования с последующим переводом в цифровой сигнал для подачи управляющего воздействия, что несомненно будет полезно при прохождении курса «Мир робототехники». Выводы о характере протекания естественных процессов этого курса и свойствах веществ, сделанные на занятиях, также помогают учащимся в изучении смежных дисциплин внутри курсов.

В рамках робототехнической компоненты учащиеся начинают изучать простейшие механизмы, принципы их работы и возможности применения в строительстве конструкций и создании мехатронных систем [6]. На базе параллельно изучаемого курса «Мир естествознания» объясняется принцип работы простейших механизмов, датчиков, исполнительных устройств роботов. Например, шарнирное соединение, зубчатое соединение, система ферм и блоков, электродвигатель, датчик линии, датчик расстояния и другие. Так как законы механики и электродинамики в большинстве своем еще не известны учащимся 5–6

классов, применение цифровых технологий дает возможность без углубления в теорию приобретать навыки конструирования и управления робототехническими системами. После освоения механики и принципов работы датчиков и приводов роботов учащиеся переходят к освоению блочного программирования движения механизмов.

Деятельность учащегося в курсе «Мир робототехники» строится на основе конструирования с помощью наборов Lego «Технология и физика» и Lego Mindstorms. С помощью набора «Технология и физика» дети на практике собирают и изучают различные механизмы и способы их соединения [7]. С помощью Lego Mindstorms ученики создают роботов, применяя знания, полученные при изучении механизмов из соответствующих наборов и физических явлений в курсе «Мир естествознания» [8].

В набор Lego Mindstorms входят программируемый блок управления и различные датчики. Обучающийся может изобрести настоящего робота, способного выполнять любые действия. Подключенный по USB к компьютеру робот программируется по легкой и интуитивно понятной блочной схеме. Кроме того, программный блок робота поддерживает управление через Bluetooth — это значит, что команды Lego-роботу можно отдавать даже с помощью смартфона.

Практика применения цифровых технологий в «мирах» естественнонаучном и робототехническом: опыт апробации

Новые курсы входят в учебную программу 5–6 классов в рамках дополнительного образования, интегрированного с основным. Среди количественных характеристик курсов можно выделить следующие на сегодняшний момент:

- 12 задействованных классов + одно объединение дополнительного образования;
- более 250 учащихся занимаются по разработанной программе;

- участие 11 педагогов различных профилей;
- занятия проводятся еженедельно по 1 академическому часу.

Поскольку курсы новые, постоянно приходится менять методики и содержательные компоненты как естествознания, так и робототехники.

В процессе проведения курсов между авторами методик и педагогами, ведущими одинаковые дисциплины, поддерживается непрерывная связь, помогающая переносу идей и наполнению занятий метапредметным содержанием.

Среди преподавателей, которые задействованы в работе, о курсах сложилось положительное мнение. Учащиеся на уроках заинтересованы, активны, увлечены работой с оборудованием и рабочими листами.

В качестве основных сложностей, выявленных при подготовке и проведении курсов, можно выделить:

- трудоемкость организации работы на занятии в связи с большим количеством разноплановой деятельности учащихся,
- подготовка, хранение и использование большого количества оборудования и дидактического материала,
- высокие требования к оснащенности класса (высокотехнологичное учебное оборудование, пространство для хранения, мультимедийное оборудование, наличие инженерных коммуникаций).

Как уже было сказано ранее, одной из основных особенностей «Мира естествознания» и «Мира робототехники» стало использование цифровых датчиковых систем для анализа окружающего мира. В качестве основного оборудования данного типа в курсе «Мир робототехники» применялись датчиковые системы, идущие в комплекте с Lego Mindstorms [7]. В курсе «Мир естествознания» применялись цифровые школьные лаборатории Releon, произведенные компанией Relab. Одновременно на уроках большую часть времени использовались наборы «CORNELSION» и

оборудование «ФГОС-лаборатория» компании НАУ-РА. Это оборудование уже знакомо учителям многих московских школ не только в рамках проекта «Инженерный класс в московской школе».

Разработанные курсы жестко не привязаны к определенному типу оснащения и могут быть реализованы с сохранением методических наработок на различном оборудовании.

В качестве примера применения цифровых датчиковых систем в курсе «Мир естествознания» в 6 классе приведем эксперимент для урока «Давление в природе».

Пример. Изучение зависимости гидростатического давления от высоты столба жидкости.

Учащимся предлагается оценить изменение давления внутри жидкости при опускании в нее трубки (с шагом 5 см), подключенной к датчику дифференциального давления. В ходе опыта, учащиеся должны сделать следующие выводы:

- давление увеличивается по мере увеличения глубины погружения;
- давление нарастает пропорционально увеличению глубины погружения.

Приведем график зависимости давления

от времени исследования (рис. 1), который был получен в процессе этого опыта. Из него видно, что интересующие нас зависимости наглядны и могут быть установлены учащимися 5–6 классов.

Данный эксперимент не несет в себе научной новизны, но является важной частью для цепочки выводов, которые учащиеся должны сделать в рамках урока «Давление», где рассматриваются такие взаимосвязанные понятия как давление твердого тела, давление в жидкости, атмосферное давление.

Данный эксперимент вполне может быть проведен с классическим оборудованием (жидкостным манометром), а часть экспериментов в курсе вообще не требует использования цифровых измерительных средств. Но если при проведении занятий совсем отказаться от датчиковых систем, то будет утеряна важная компонента связи с робототехникой, знакомящая ребят с цифровыми датчиками и представлениями данных эксперимента в режиме реального времени [4].

Анализ данного примера показывает, что основные задачи, стоящие перед курсом, соблюдены:

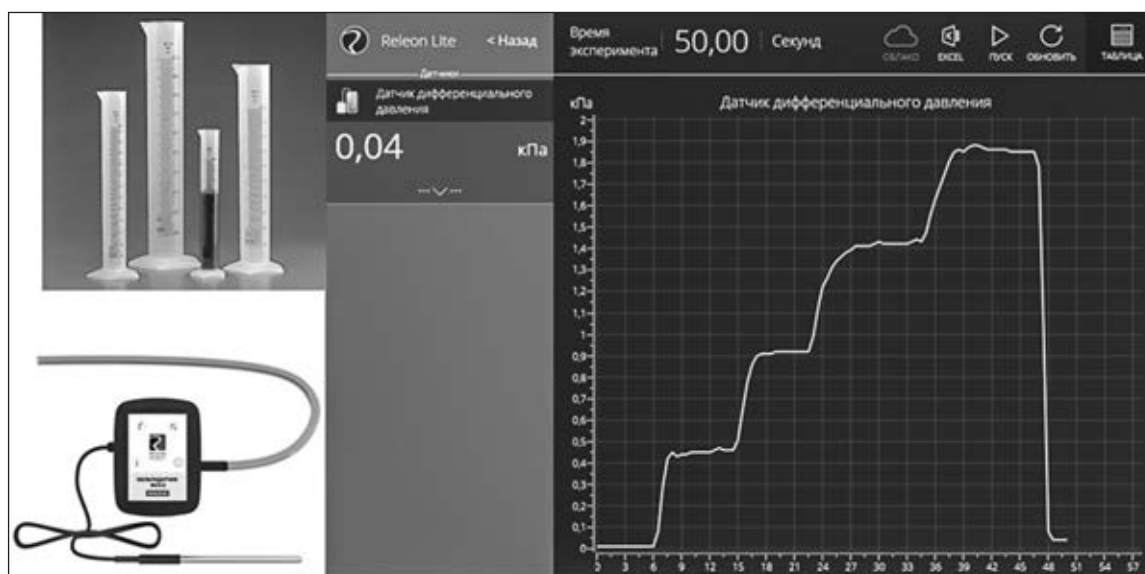


Рис. 1

- учащиеся делают выводы о характере зависимостей в окружающем мире самостоятельно, проведя эксперимент и проанализировав его результаты;
- учащийся развивает метапредметные компетенции, объединяя взгляды различных наук на некоторое явление или процесс;
- учащийся знакомится с измерением параметров цифровых датчиковых систем, анализирует полученные данные и понимает, каким образом робот будет «принимать решения», взаимодействуя с окружающим миром.

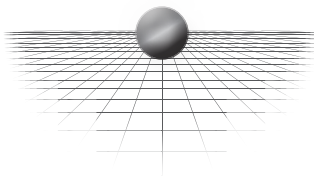
В заключении хотелось бы отметить, что коллектив авторов и преподавателей, ведущих курс, продолжает апробацию и уточнение вопросов курсов «Мир естествознания» и «Мир робототехники». Это результат большой работы коллектива наших педагогов, и мы будем рады, если коллегам пригодятся эти рабочие программы и курс будет жить в школах России.

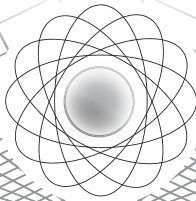
Мы надеемся на дальнейшее развитие этих курсов и сотрудничество с коллегами, его ведущими. Полгода их апробации показали, что есть вопросы, которые требуют доработки и изменения. В будущем к плановой доработке уроков будет добавлен сбор статистических данных об успехах и развитии учащихся для последующего анализа результативности курса.

Литература

1. Федеральный государственный образовательный стандарт основного общего образования: утвержден приказом Министерства просвещения Российской Федерации от 31 мая 2021 г. № 287, 2021. — 126 с.
2. Петрова М.А. Что такое «черный ящик» и как с этим работают учащиеся 8 классов // Физика в школе. 2006. № 7. С. 48–51.
3. Гуревич А.Е., Исаев Д.А., Понтак Л.С. Физика и химия 5-6 класс. — М.: Дрофа, 2011.
4. Петрова М.А. История применения цифровых лабораторий в школьном физическом эксперименте // Материалы VI Международной научной конференции «Физическое образование: проблемы и перспективы развития». Часть 1. — М., 2007. — С. 128–132.
5. Разумовский В.Г., Пентин А.Ю., Поваляев О.А. и др. Планирование учебного процесса и конструирование уроков с учетом формирования естественнонаучной грамотности // Физика в школе. 2016. № 6. С. 14–24.
6. Перельман Я.И. Занимательная механика. — М.: Издательский Дом Мещерякова, 2016. — 176 с.
7. Валк Л. Большая книга LEGO Mindstorms EV3. — М.: Эксмо, 2017. — 408 с.
8. Йошихито И. Книга идей LEGO MINDSTORMS EV3. 181 удивительный механизм и устройство. — М.: Эксмо, 2017. — 232 с.

Дата поступления рукописи (Received): 06.05.2022.
Опубликовано (Published): 18.01.2023.





КУБИТЫ И СЫПУЧАЯ СРЕДА

QUBITS AND BULK MEDIA

Научная статья
УДК 372.853

Scientific article
DOI 10.47639/0130-5522_2023_1_49

В.Л. Рыппо , Москва	V.L. Ryppo , Moscow
А.А. Орлов , инженер, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва; orlovv.aleksei@gmail.com	A.A. Orlov , Engineer, Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow; orlovv.aleksei@gmail.com
Ключевые слова: квантовые компьютеры, кубиты, сыпучая среда, сфера Блоха, непланарные искусственные сети	Keywords: quantum computers, qubits, bulk medium, Bloch sphere, nonplanar artificial networks
Аннотация. Статья посвящена расширению знаний учащихся в принципах построения квантовых компьютеров и квантовых вычислений. В статье показаны особые свойства сыпучих сред, позволяющие использовать их в качестве рабочего тела в моделях устройств и систем	Abstract. The article is devoted to the expansion of students' knowledge in the principles of building quantum computers and quantum computing. The article shows the special properties of bulk media that allow them to be used as a working fluid in models of devices and systems

© Рыппо В.Л., Орлов А.А., 2023

Роль физиков в создании современных компьютерных технологий огромна. Многие элементы и системы компьютеров, начиная от простейших логических элементов на реле до современных микросхем, созданы на основе работ физиков и хорошо освещены в учебной и научной литературе [2]. В работе [2] в доступной форме изложены элементы булевой алгебры, но хочется остановиться на одном важном для этой статьи моменте.

В шестидесятые годы прошлого столетия широко использовались дискретные автоматы для управления технологическими процессами, станками и пр. В качестве элементов в автоматах использовались реле, в которых содержалось большое количество ценных металлов. Булева алгебра оказалась полезной для исследования релейных

сетей и позволила оптимизировать эти сети и сократить количество реле в схемах автоматов.

Выполняя работы по исследованию дискретных автоматов, математик из МГУ Александр Владимирович Кузнецов получил очень интересный результат, заключающийся в том, что невозможно модернизировать булеву алгебру таким образом, чтобы с ее помощью можно было описывать логические схемы, имеющие мостиковые структуры. Этот научный результат, а также известную теорему Кузнецова о полноте, известный русский математик О.Б. Лупанов назвал очень значительными. К вопросу о мостиковых структурах в логических схемах мы еще вернемся в данной статье.

Результаты научных исследований уче-

ных прошлого века не теряют актуальность и в наши дни, и иногда полезно к ним возвращаться.

В настоящий момент во многих лабораториях мира физиками ведутся работы по созданию квантовых компьютеров, основными элементами которых являются кубиты.

Кубит — квантовый разряд или наименьший элемент для хранения и обработки информации в квантовом компьютере. Это аналог бита в классическом компьютере.

Следует отметить, что в восьмидесятые годы прошлого столетия даже предположение о возможности создания иного вида компьютеров, отличных от традиционного (неймановского), могло испортить репутацию любого ученого. По этой причине советский математик Ю. Манин [3] и лауреат нобелевской премии американский физик Р. Фейнман аккуратно высказывались о возможности использования законов квантовой физики для создания вычислительного устройства на новых физических принципах. Уже в девяностые годы английский математик и физик Р. Пенроуз активно рассматривал перспективы применения квантовых вычислений в своих книгах «Тени разума» и «Новый ум короля» [4].

В современной научной литературе появились перечни задач для квантовых компьютеров: разложение большого целого числа на множители (алгоритм Шора — эта задача характерна для теории чисел); алгоритм Гровера для решения задач прямого перебора (задача комбинаторного типа). Именно такие задачи имел в виду Джон фон Нейман много лет тому назад.

Пример задачи для алгоритма Шора. Дано число 1457, найти два числа, от перемножения которых получим данное число. Это будут числа 31 и 47. Попросите знакомого друга решить данную задачу, не называя числа 31 и 47, и убедитесь, что она не такая простая, как кажется первоначально.

Пример задачи для алгоритма Гровера. Автомобиль выезжает из Москвы, объезжа-

ет все города Подмосковья и возвращается в Москву. Найти путь, на котором спидометр покажет минимальную величину по пройденному расстоянию.

Алгоритм Шора предполагается применять в криптографии, и конечно при этом планируется проводить вычислительные операции с числами в несколько десятков цифр, а не с числами, аналогичными 1457 по размерности. Более подробный перечень задач для квантового компьютера можно найти в научной литературе. Алгоритм Гровера также важен при решении задач оптимизации и прогнозирования в сложных системах.

Существуют и другие алгоритмы для квантовых компьютеров, например, алгоритм Тоффли [4].

Ученые предположили, что понятия квантовой механики для микромира суперпозиция, запутанность и другие понятия в совокупности с математическим аппаратом квантовой механики позволят создать высокопроизводительные вычислительные машины, если реализовать макроэлементы, подчиняющиеся тем же законам квантовой механики и приспособленные для объединения в управляемые сети (регистры). Такие элементы стали называть квантовыми битами или кубитами. Известны кубиты на фотонах, на ионах и на электрических элементах с эффектом Джозефсона. Наиболее наглядно его виртуальная модель рассмотрена для кубита на фотонах [5].

Фарадей в 1845 г. изучал прохождение линейно поляризованного света через стекло, помещенное в магнитное поле. Было обнаружено, что в том случае, когда вектор напряженности магнитного поля имеет компоненту, совпадающую с направлением распространения света, наблюдается вращение плоскости поляризации. Поворот плоскости поляризации возможен на углы более 90 градусов [6]. Позже было установлено, что отдельные фотоны также изменяют плоскость поляризации.

Математический аппарат для описания

кубитов и регистров, составленных из кубитов, достаточно сложен и включает такие разделы математики как комплексные числа, матрицы, тензоры. Но существует наглядная графическая модель кубита, которая называется сферой Пуанкаре–Блоха. Сфера Пуанкаре применяется как очень наглядный метод расчета оптических систем [7]. Блох адаптировал этот метод Пуанкаре для квантовой физики.

Перед знакомством с основными понятиями, характерными для сферы Блоха, предварительно освежим элементарные знания из теории комплексных чисел. На рисунке 1 представлены векторы A, B, C, D на комплексной плоскости в виде окружности с центром O. Перечисленные векторы можно записать в виде комплексных чисел. Тогда вектор A соответствует записи $a_1 + v_1i$, вектор B — записи $a_2 + v_2i$, вектор C — записи $a_3 + v_3i$, вектор D — записи $a_4 + v_4i$, где символы a и v с числовыми индексами — проекции векторов A, B, C, D на оси XY. Запись точек в пространстве, например, в сфере, также возможна с помощью расширения понятий комплексных чисел.

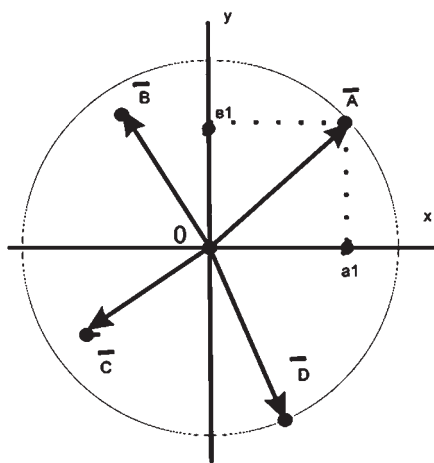


Рис. 1. Векторы на комплексной плоскости

Этих знаний в области комплексных чисел вполне достаточно, чтобы сконструировать примитивный квантовый вычислитель, используя особые свойства сыпучих сред.

То, что сыпучие (гранулированные) сре-

ды обладают особыми свойствами, можно судить по нобелевской премии в области физики 2021 г. Премия присуждена за работы по исследованию сложных систем. Половина премии присуждена профессору итальянского университета Паризи. Суть работы заключается в том, что Паризи, изучая перемещения больших массивов однотипных объектов, гранулированные среды, ферромагнитные включения в спиновых стеклах, полет крупных стай птиц и т.д., обнаружил некоторые закономерности. Например, большие массивы сыпучих сред, перемещаемые в пространстве под действием внутренних и внешних сил, образуют меняющиеся конфигурации, которые можно формализовать. Паризи показал, что метод реплик из статистической физики хорошо работает при решении подобных задач и его можно распространить на другие сложные системы.

Известны также случаи использования учебных наглядных пособий с рабочим телом в виде сыпучей среды для демонстрации различных физических эффектов: электрических разрядов в газах [8], электризации разнородных материалов потоками сыпучей среды [9], трибоэлектричества и униполярной индукции [10] и других эффектов.

Оказалось, что возможно и создание устройств с рабочим телом в виде сыпучей среды, хорошо приспособленных для демонстрации работы кубитов и квантовых вычислителей.

Обратимся к рисунку 2, на котором представлен подобный квантовый вычислитель. На комплексной плоскости в виде координатной сетки установлена чашка Петри. В чашку засыпана порция титанового порошка в виде шариков диаметром 500 мкм. Шарiki расположены в один слой. Встряхнем чашку и установим ее в первоначальное положение. Шарiki произвольно перемещаются по дну чашки Петри. Шарик A переместился в положение A1. На комплексной плоскости это будет равносильно сложению векторов OA и AA1. При этом остальные ша-

рики также переместятся на комплексной плоскости, совершая операцию по сложению векторов. Важно, что конечное положение шариков зависит от их взаимных столкновений. Если вместо чашки Петри использовать стеклянную сферу, то получим более сложный квантовый вычислитель, который по форме подобен графическому описанию кубита — сфере Блоха.

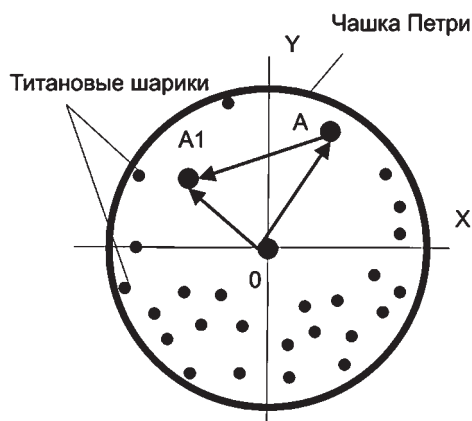


Рис. 2. Квантовый вычислитель

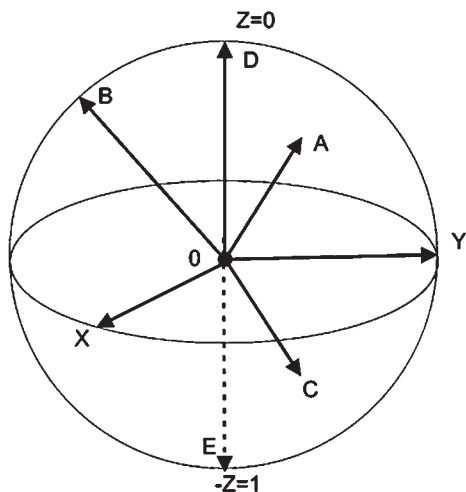


Рис. 3. Сфера Блоха

На рисунке 3 представлен один из вариантов сферы Блоха, где оси координат OX и векторы A, B, C . Любой вектор внутри сферы указывает на значение кубита в данный момент и принимает числовые значения от 0 до 1. Векторы OD и OE , расположенные на крайних точках оси Z , указывают на то,

что значения в данных точках равны 0 и 1 соответственно.

На рисунке 4 представлен физический аналог сферы Блоха в виде динамической модели с рабочим телом в виде сыпучего материала (титанового порошка в виде шариков). Каждому шарiku внутри сферы соответствует только один вектор, например, A, B или C , и кубит может принимать миллионы значений. Шарик, который соприкасается со стенкой сферы, соответствует чистым состояниям кубита, а остальные шарики, внутри сферы, соответствуют смешанным состояниям. Это бывает важно, когда кубит описывают в виде формальных процедур.

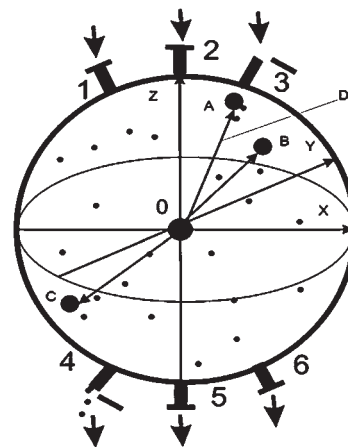


Рис. 4. Модель кубита на сыпучей среде

Модель кубита на сыпучей среде выполнена из твердого прозрачного материала с радиусом, условно принятым за единицу, например, 1 дм. Это важно и упрощает формальные выкладки там, где используется единичный вектор.

Сфера соединена с тремя входными каналами 1, 2, 3 для поступления сыпучего материала и тремя выходными каналами 4, 5, 6 для вывода сыпучего материала. Все каналы оснащены автоматическими задвижками. Сфера совмещена с трехосной системой координат, при этом центр сферы и точка начала координат совпадают. Ось Z параллельна вектору силы притяжения Земли, тогда считаем, что каналы 1, 2, 3

расположены в верхней полусфере, а 4, 5, 6 — в нижней полусфере. По мере поступления порошка по каналам 1, 2, 3 и истечения порошка по каналам 4, 5, 6 в стеклянной сфере формируется поверхность, состоящая из шариков. Любая поверхность имеет наивысшую точку, тогда при считывании кубит равен 0, если эта точка в верхней полусфере, и равен 1, если точка в нижней полусфере.

В науке о квантовых компьютерах логические элементы, которые управляют его входами и выходами, называют гейтами. Допустим, что с помощью гейтов, управляя задвижками, удалось заполнить сферу сыпучей средой полностью. Это будет означать, что на кубите записан 0. Когда сфера освобождена от сыпучей среды — это соответствует записи 1. Возможен и третий случай, когда сыпучая среда занимает часть объема сферы.

Предположим, что мы способны отследить высшую точку поверхности шариков, поступивших в сферу после закрытия задвижек. Тогда будут известны ее координаты на рельефной поверхности сыпучего материала внутри сферы. Зная эти координаты, мы можем сказать, находится она в верхней полусфере или нижней. На кубите записан 0, если контролируемая точка окажется в верхней полусфере, и 1, если она окажется в нижней полусфере.

На рисунке 4 наивысшая точка поверхности находится в точке А. Затем движется и занимает положение на поверхности сыпучего материала сферы-кубита в точке В с координатами, определенными радиус-вектором ОВ. Радиус-вектор ОВ указывает на то, что наивысшая точка расположена в верхней полусфере, а значит на кубите-сфере записан 0. Если наивысшая точка А переместится в результате движения в точку С из точки А, то на кубит-сфере записана 1, так как точка С находится в нижней полусфере, что определяется по координатам вектора ОС на рисунке 4. Таким образом выглядит процесс обработки и отображения

дискретной информации на модели кубита-сферы, использующего в качестве рабочего тела сыпучую среду. Следует помнить, что любое перемещение шарика внутри сферы соответствует одной вычислительной операции, т.е. при поступлении шариков по каналам 1, 2, 3 и истечении шариков по каналам 4, 5, 6 в кубите совершается огромное количество вычислительных операций.

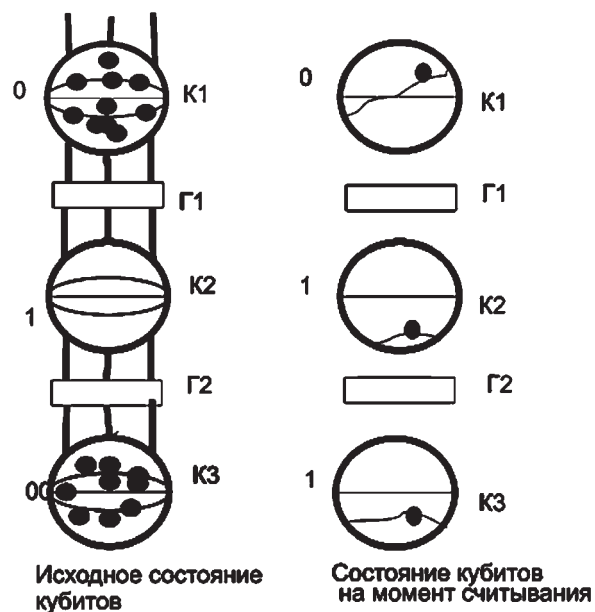


Рис. 5. Модель регистра (сети) кубитов на сыпучих средах

Для осуществления вычислительных операций кубиты должны быть объединены в регистры или сети с помощью гейтов (логических элементов). Таблицы истинности гейтов отличаются от таблиц истинности логических элементов И, ИЛИ, НЕ, используемых в классических компьютерах. На рисунке 5 кубиты К1, К2, К3 соединены трубопроводами через гейты Г1, Г2. На рисунке 5 видно, что кубиты К1 и К3 заполнены сыпучей средой и отображают двоичные числа 0 и 0, а К2 — пустой, что равнозначно числу 1. Далее с помощью гейтов Г1 и Г2 организуют взаимодействие кубитов, управляя истечением потоков сыпучей среды. В модели регистра на какое-

то время создают управляемый хаос (запутанность). Затем проводят считывание кубитов по положению наивысших точек, как мы это делали ранее (рис. 4). В правой части рисунка 5 видно, что кубит К1 сохранил 0, кубит К2 сохранил 1, а кубит К3 поменял ноль на единицу.

Логические элементы (гейты) для объединения кубитов в регистры могут конструироваться с помощью элементов на управляемых потоках сыпучей среды. В данной статье эти элементы не рассматриваются, но их функционирование изложено в следующих работах [11–14].

Для решения реальных задач предполагается объединять в единую сеть несколько сотен кубитов и согласовать их работу, а это очень сложная задача.

Предложенная реальная модель кубита полезна при пояснении работы квантовых компьютеров, и с ее помощью можно демонстрировать основные принципы квантовых вычислений.

Установлено, что титановый порошок в виде шариков диаметром от 100 до 500 мкм наиболее подходит для использования в качестве рабочего тела при выполнении логических операций на моделях кубитов.

Рассмотрим схематично операции, которые выполняются на квантовом компьютере, при разложении числа 1457 на простые множители. Воспользуемся для этого блок-схемой упрощенного виртуального компьютера, представленной на рисунке 6. Блок-схема содержит: управляющее устройство УУ, логические ячейки Л1–Л11, кубиты, обозначенные числами от 1 до 11, гейты, объединяющие отдельные кубиты в регистр, шины 0 и 1 для передачи данных с квантового компьютера в традиционный.

Переведем число 1457 из десятичной системы в двоичную и получим число 10110110001. Управляющее устройство (УУ) через логические элементы Л1–Л11 заполняет сыпучей средой кубиты с 1 по 11 согласно искомому числу 10110110001; кубит отображает 0, если сыпучая среда в нижней

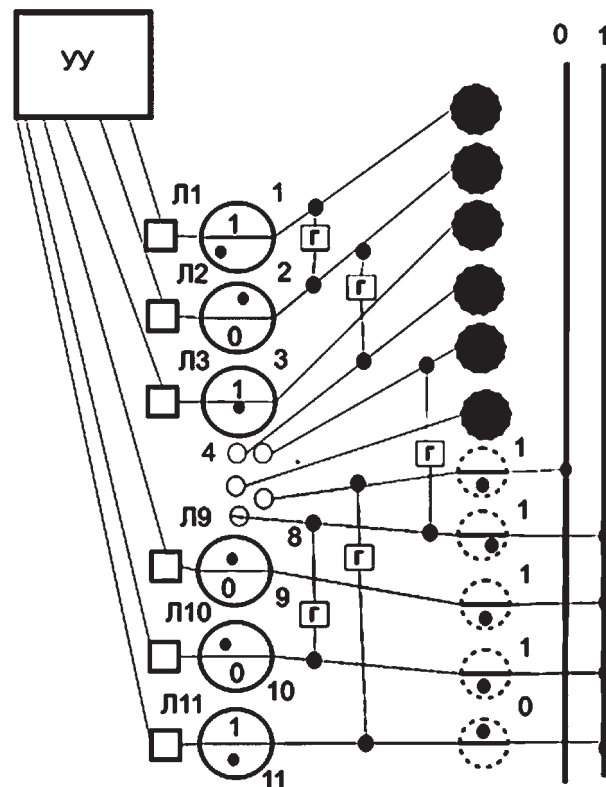


Рис. 6. Разложение числа 1457 на простые множители

и верхней полусферах, и 1, если сыпучая среда только в нижней полусфере. Кубиты с 4 по 8 представлены в виде мелких кружков между кубитами 3 и 9.

Верхний разряд числа представлен кубитом 1, а нижний — кубитом 11. Точками в кубитах 1–11 показана степень заполнения его полусфер сыпучей средой. Совокупность кубитов 1–11 называется регистром. Процесс отображения числа 10110110001 в регистре называется инициацией.

Для осуществления процесса вычисления одномоментно задействуют все гейты, тогда кубиты 1–11 обмениваются порциями сыпучей среды в соответствии с алгоритмом, который им задают гейты Г. Кубиты вводятся в состояние запутанности, управляемого хаоса.

Кубиты могут принимать два нежелательных состояния: кубит полностью заполнен сыпучей средой; сыпучая среда в куби-

те отсутствует. Физически это означает, что кубит в этих состояниях не может выдавать или принимать порции сыпучей среды согласно алгоритму, задаваемому гейтами Г, т.е. кубиты теряют способность работать согласованно (когерентно). Вычисления в регистре продолжаются до перехода кубитов в некогерентное состояние.

Далее производится считывание состояния регистров. На рисунке 6 столбик кружочков справа от кубитов 1–11 отражает их состояние после вычислительного цикла. Кубиты 1–6 заблокированы, например, переведены в некогерентное состояние. Кубиты 7–11 отображают число 11110, которое по шинам 0 и 1 передается в традиционный компьютер. В компьютере число 11110 можно перевести в десятичную систему исчисления, и получим число 30. Исходное число 1457 на число 30 без остатка не делится. Тогда берем ближайшие к числу 30 простые числа 29 и 31 и выясняем, что при выборе числа 31 число 1457 можно разделить без остатка и получить искомое число 47.

Данный факт указывает на то, что квантовые вычисления производятся с некоторыми ошибками, только это бывает неважно при решении некоторых задач.

Нетрудно заметить, что задачу разложения числа на простые множители можно решать как на квантовом, так и на традиционном компьютере. Есть одно лишь «но».

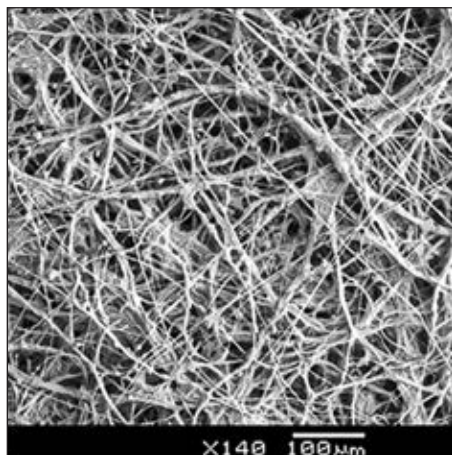


Рис. 7

Когда разлагаемое на множители число содержит несколько десятков цифр, квантовый компьютер решает задачу значительно быстрее обычного компьютера, демонстрируя свое квантовое превосходство.

Возникает законный вопрос: «Есть ли такие сложные системы, прогнозирование которых одинаково сложно для анализа как с помощью традиционных, так и квантовых компьютеров?» Почему это так? Какие мощные материальные модели могут оказаться полезными в этом случае? То есть, какие новые задачи могут быть у физиков при реализации подобных моделей?

Обратимся к примерам, которые представлены на рисунках 7 и 8.

На рисунке 7 представлена фотография грибного мицелия при многократном увеличении. Видно, что гифы, сплетаясь между собой, образуют мицелий. При обильном ветвлении они могут расти по направлению к друг другу, и в местах соприкосновения нередко происходит слияние их с образованием мостиков, которые называются анастомозами. Анастомозы играют важную роль в обмене веществ, в размножении грибов и служат для скрепления гиф мицелия [9].

На рисунке 8 представлен фрагмент нейронной сети. Нейронная сеть мозга человека содержит несколько десятков миллиардов нервных клеток, объединенных с помощью еще большего количества аксонов

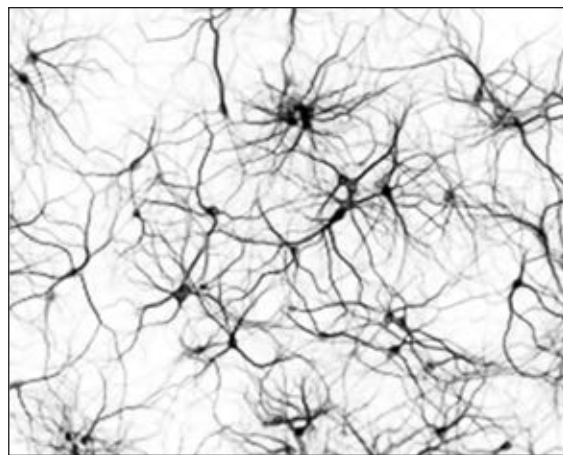


Рис. 8

и дендритов между собой в огромную непланарную сеть.

К числу непланарных можно отнести и генные сети. Генная сеть — центральный объект системной биологии. Обязательные компоненты генной сети: гены, кодируемые ими РНК и белки, метаболиты, пути передачи сигналов, метаболические пути, регуляторные контуры с положительными и отрицательными обратными связями.

Перечисленные сети объединяет одно важное качество — элементы в этих системах связаны в виде непланарного графа. Школьные курсы математики не освещают даже элементарные представления о теории графов. Воспользуемся рисунком 9 для введения элементарных понятий этой теории. На нем представлен фрагмент города с тремя объектами: трамвай, повозка и птица на крыше трамвая. Отметим на рисунке точками места всех остановок трамвая и соединим их линиями согласно траекториям движения трамвая. Такую же операцию сделаем для повозки и для птицы. Полученные таким образом три чертежа, состоящие из точек и соединяющих их линий, называют графами. Точки называют узлами графа, а линии — ветвями графа. Граф из большого количества узлов и ветвей называют сетью. Часть большого графа называют подграфом.

Очевидно, что наиболее стеснен в выборе направлений движения трамвай, больше вариантов движения у повозки, максимальную свободу движения имеет птица.

Обратимся к рисункам 10–12, на которых представлены три типа графов.

На рисунке 10 представлен элементарный планарный граф (подграф). Пунктирными линиями показано, что подграф может образовывать сложную планарную сеть, соединяясь с аналогичными подграфами. Такая сеть — тоже планарная, структурно подобна сети трамвайных путей на рисунке 9 и является графической моделью этих путей.

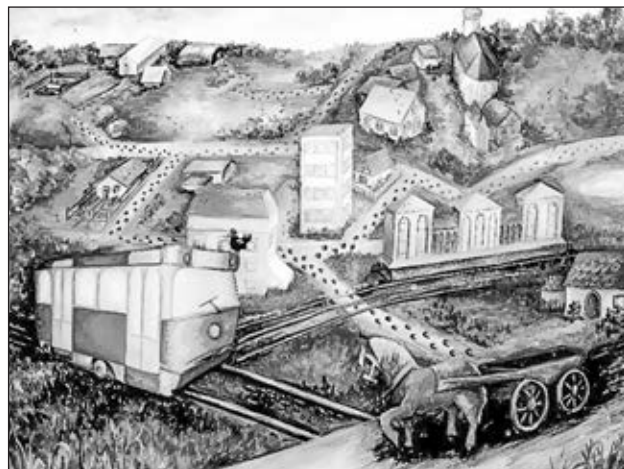


Рис. 9

Степень соответствия моделей и реальных объектов, процессов и систем оценивается по критериям подобия. Например, критериями подобия (по форме) между самолетом и птицей, подлодкой и китом являются их линейные размеры и их пропорции.

Для сети путей на рисунке 9 и графом на рисунке 10 общей характеристикой и критерием подобия можно считать планарность. Используя множество подграфов, изображенных на рисунке 10, можно покрыть сеть трамвайных путей (рис. 9), но нельзя покрыть траектории движения повозки и птицы.

На рисунке 11 дан тоже планарный подграф, дополненный мостиковой структурой. Такой подграф назовем планарным графом с мостиковой структурой. Сеть из таких подграфов структурно подобна траекториям движения повозки между пунктами назначения.

На рисунке 12 изображен самый сложный подграф. Сеть из таких подграфов называют непланарной, и она структурно подобна траекториям перелета птицы с одного места на другое.

Сеть вычислительной машины, состоящая из множества регистров и множества функционально полных наборов булевых функций логических элементов И, ИЛИ, НЕ, является планарной и не может быть

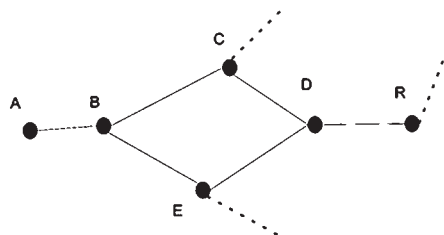


Рис. 10. Планарный граф

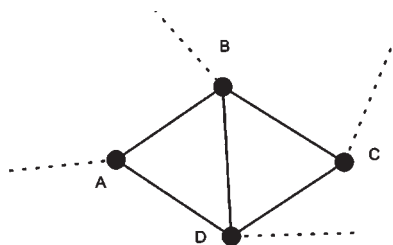


Рис. 11. Планарный граф с мостиковой структурой

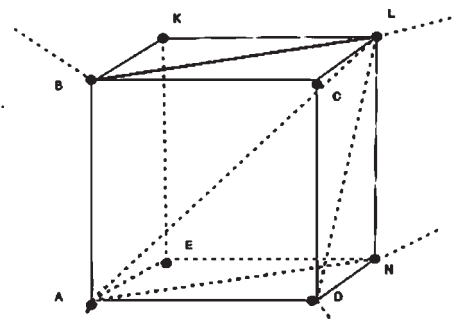


Рис. 12. Непланарный граф

структурно подобной реальным нейросетям, мицелиям грибов, геномным сетям и другим сложным системам, содержащим сетевую структуру взаимодействия между показателями подобной системы. Отсутствие структурного подобия между элементами вычислительных машин и структурами реальных физических объектов, процессов и систем и попытка заменить реальные связи формальными процедурами снижает степень адекватности моделей, получаемых при исследовании сложных систем.

Возникает вопрос: «А можно ли найти такие материальные объекты, которые, будучи объединены в непланарную сеть, способны отображать и перерабатывать количественную информацию и быть полезными

при моделировании сложных систем?» Обратимся к рисунку 13.

На рисунке 13 схематично представлен компьютер на пузырьках, который создан американскими учеными из Массачусетского технологического института Гершенфельдом и Пракашом в 2007 г. [16]. Не углубляясь в принцип работы компьютера, отметим, что кольца заполнены жидкостью и пузырьками воздуха. Количество пузырь-

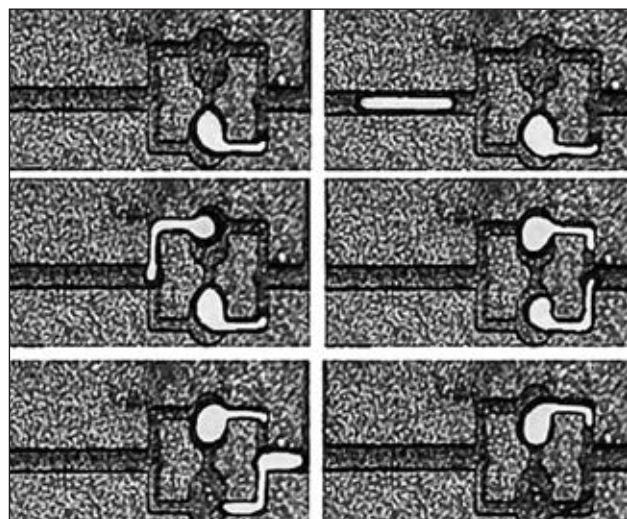


Рис. 13

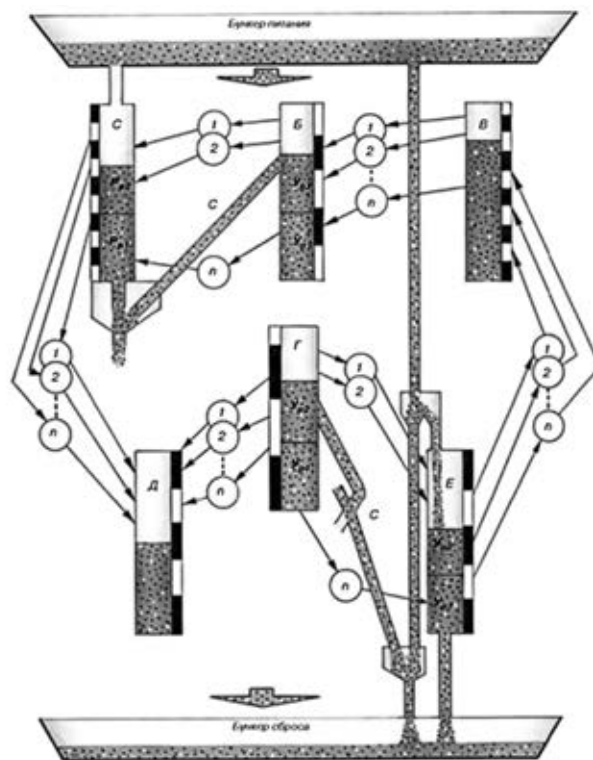


Рис. 14

ков в кольце отображает количественную информацию. Кольца способны обмениваться воздушными пузырьками с соседними при управлении логическими элементами И, ИЛИ, НЕ. Сами кольца можно объединять в непланарную динамическую сеть. Другой пример материальной искусственной непланарной сети представлен на рисунке 14.

Рисунок содержит непланарную сеть, составленную из элементов с рабочим телом в виде сыпучей среды. Уровень сыпучей среды отображает количественную информацию на шкалах, установленных вдоль прозрачных столбиков. Столбики с помощью каналов и логических элементов объединены в непланарную сеть и в динамическом состоянии могут обмениваться порциями сыпучего материала. Таким образом, они способны взаимно изменять уровни сыпучей среды в столбиках. Мы получили динамическую непланарную дискретно-аналоговую сеть, способную отображать и перерабатывать количественную информацию, что важно при построении моделей сложных систем.

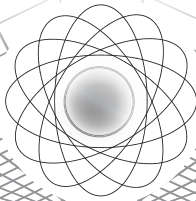
Детальное описание непланарных сетей с рабочим телом в виде сыпучей среды дано в статьях [14, 17, 18].

Трудно сказать, будут ли востребованы для моделирования сложных систем сети с рабочим телом в виде сыпучей среды или воздушных пузырьков, но не стоит удивляться, если кто-то предложит элементы автоматики на иных физических принципах, способных объединяться в непланарные дискретно-аналоговые сети для моделирования сложных систем.

Литература

1. *Фон Нейман Дж.* Теория самовоспроизводящихся автоматов. — М.: Мир, 1971. — 381 с.
2. *Королева Л.В., Петрова Е.Б.* Основы микроэлектроники. — М.: Карпов Е.В., 2016. — 152 с.
3. *Манин Ю.* Вычислимое и невычислимое. — М.: Советское радио, 1980. — 128 с.
4. *Пенроуз Р.* Новый ум короля. — М., 2003. — 384 с.
5. *Чулкова Г.М.* О шифровании и квантовой криптографии // Физика в школе. 2021. № 8. С. 11.
6. *Дитчберн Р.В.* Физическая оптика. — М.: Наука, 1965. — 631 с.
7. *Шерклифф У.* Поляризованный свет. — М.: Мир, 1965. — 264 с.
8. *Рыппо В.Л., Орлов А.А.* Сыпучая среда и электрический разряд в газах // Физика в школе. 2014. № 5. С. 54–55.
9. *Рыппо В.Л., Орлов А.А.* Электризация физических систем потоками сыпучей среды // Физика в школе. 2013. № 4. С. 39–43.
10. *Рыппо В.Л., Орлов А.А.* Трибоэлектричество и униполярная индукция // Физика для школьников. 2011. № 2. С. 59.
11. А.С. 1126729(СССР). Кл. F15C1/00. Авт. изобрет.: Рыппо В.Л. Способ управления элементами автоматических устройств. Заявлено 1 марта 1983 г.
12. А.С. 1126730(СССР). Кл. F15C1/00. Авт. изобрет. Рыппо В.Л. Логический элемент И. Заявлено 1 марта 1983 г.
13. А.С. 1578384 (СССР). Кл. F15C1/00. Авт. изобрет. Рыппо В.Л. Модель нейрона. Заявлено 25 августа 1988 г.
14. *Рыппо В.Л.* Компьютер на песке // Техника молодежи. 2005. № 7. С. 30.
15. *Дудка И.А.* Грибы. — Киев: Наукова думка, 1987. — 535 с.
16. Буль, буль компьютер // Юный техник. 2007. № 8. С. 25.
17. *Рыппо В.Л.* Третья ветвь кибернетики // Техника молодежи. 2006. № 5. С. 36.
18. *Рыппо В.Л.* Модель гомеостата на потоках частиц сыпучей среды // Вестник МГУЛ — Лесной вестник. 2012. №7 (90). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/model-gomeostata-na-potokah-chastits-sypuchey-sredy> (дата обращения: 03.08.2022).

Дата поступления рукописи (Received): 23.02.2022.
Опубликовано (Published): 18.01.2023.



АСТРОНОМИЧЕСКИЕ КЕЙСЫ КАК КОМПЛЕКС РАЗВИТИЯ КОГНИТИВНЫХ НАВЫКОВ

ASTRONOMICAL CASES AS A COMPLEX OF COGNITIVE SKILLS DEVELOPMENT

Научная статья

Scientific article

УДК 37.025.7

DOI 10.47639/0130-5522_2023_1_59

М.В. Солодихина , к.п.н., доцент, Московский педагогический государственный университет, Москва; mv.solodikhina@mpgu.su	M.V. Solodikhina , PhD (Pedagogy), Associate Professor, Moscow Pedagogical State University, Moscow; mv.solodikhina@mpgu.su
А.А. Солодихина , преподаватель, Высшая школа экономики, Москва; asolodikhina@hse.ru	A.A. Solodikhina , teacher, National Research University Higher School of Economics; asolodikhina@hse.ru
Ключевые слова: астрономия, навыки критического мышления, кейс-практикум	Keywords: astronomy, critical thinking skills, case study
Аннотация. Современное образование должно быть нацелено на формирование у учащихся навыков критического мышления. В процессе обучения астрономии важно обратить внимание на развитие групп навыков осмысления, аргументации и принятия решений. Для этого освоение материала следует организовать в соответствии с научным методом, который можно рассматривать как формализацию критического мышления, а учебные задания должны стать тренажерами выделенных навыков. Подобными заданиями являются описанные в статье астрономические кейсы	Abstract. Modern education should be aimed at developing students' critical thinking skills. In the process of learning astronomy, it is important to pay attention to the development of comprehension, argumentation and decision-making skills. To do this, the mastering of the material should be organized in accordance with the scientific method, which can be considered as a formalization of critical thinking, and training tasks should become simulators of the selected skills. Similar tasks are the astronomical cases described in the article

© Солодихина М.В., Солодихина А.А., 2023

В сентябре 2022 г. вступил в силу приказ Министерства просвещения РФ, в соответствии с которым астрономия в очередной раз перестала входить в перечень обязательных школьных предметов. Все образовательные результаты по астрономии опять включены в состав предметных результатов по физике. Предыдущий опыт показал, что в большинстве случаев астрономия изучалась поверхностно и формально: рассматри-

вались только входящие в ЕГЭ задания и демонстрировались учебные фильмы.

Однако сейчас ситуация изменилась. Во-первых, с 2017 г. школы получили новые учебники и методические материалы, а некоторые — и оборудование для демонстрации, наблюдения и экспериментального изучения небесных тел (демонстрационные модели, глобусы тел Солнечной системы, оснащение для виртуального моделирова-

ния космических явлений, планетарии, переносные купольные мультимедиацентры), учителя прошли курсы повышения квалификации и приобрели опыт преподавания астрономии. Во-вторых, за последнее десятилетие изменилось отношение общества к изучению астрономии — это и запрос на воспитании у учащихся гордости за первенство страны в освоении космического пространства, и широкое освещение в художественных произведениях и СМИ астрокосмической тематики, отражающей мировой интерес к космическим исследованиям, и существенные финансовые вложения в космические технологии.

Поэтому высока вероятность, что в ряде школ в том или ином формате учащиеся продолжают изучать астрономию. Возможно, не в выпускных классах, когда все обучение подчинено подготовке к ЕГЭ, почти утрачен познавательный романтизм и предметы выбираются на основе прагматизма. Астрономия является одним из самых «непрактичных» предметов, но она расширяет представления учащихся о масштабах, скоростях и времени, ее изучение важно для формирования научной картины мира и показывает науку не как склад готовых устоявшихся знаний, а как инструмент познания Природы.

В сложившейся ситуации астрономия становится предметом, изучение которого не находится под «дамокловым мечем» различных внешних проверочных работ и экзаменов и держится на познавательном интересе учащихся. Реальной целью обучения может стать формирование мировоззрения и мышления учащихся. Такое обучение будет соответствовать высказыванию А. Эйнштейна, что «образование — это не изучение фактов, а тренировка мышления» [1, с. 200], и общемировому тренду на развитие критического мышления. Авторы документов европейской комиссии навыки критического мышления определяют как важнейшие в образовании, профессиональной деятельности и гражданском обществе [2].

Для построения процесса обучения, на-

целенного на развитие мышления, важно опираться на перечень конкретных навыков, которые следует развивать у учащихся. Однако единого универсального перечня навыков критического мышления пока нет — каждый исследователь формирует собственный перечень, исходя из своего представления о понятии «критическое мышление». Дело в том, что оно в разных областях знания отличается [3].

Для естественных наук формализацией критического мышления является научный метод [4]. Поэтому логично, что его навыки следует развивать в процессе обучения естественным наукам, которые также связаны с научным методом. Анализ перечней навыков наиболее известных исследователей критического мышления с позиций их важности при решении естественнонаучных проблем в соответствии с научным методом позволил выделить 23 когнитивных навыка. На рисунке 1 они объединены в три группы — навыки осмысления, навыки аргументации и навыки решения проблем [5]. Если рассматривать рисунок 1 снизу вверх, то выделенные навыки вполне соответствуют этапам обобщенного научного метода.

Следует отметить, что когнитивные навыки нельзя определить как доведенные до автоматизма умения, поскольку в разных ситуациях они применяются по-разному и очень контекстно чувствительны. Тем не менее, эти навыки также нуждаются в многократной тренировке. Поэтому при обучении следует использовать определенные средства.

Одним из хорошо зарекомендовавших себя путей развития мышления является естественнонаучный кейс-практикум, состоящий из комплекта кейсов по каждой изучаемой теме, и связанных с ними экспериментов (демонстраций и лабораторных работ). Каждый из них строится вокруг проблемной ситуации (цепочки взаимосвязанных проблемных ситуаций), которая исследуется с помощью набора взаимосвязанных заданий. Задания направляют учащихся к поиску, осмыслению, усвоению и применению информации, необ-

3. Решение проблем	Принятие решений	принятие решения по ЕН ситуации с учетом последствий
		ревизия своих решений, знаний, умозаключений
		применение законов вероятности и статистики к исследованию ЕН ситуаций
	Формулирование суждений / умозаключений	формулирование логичных выводов и суждений о ЕН ситуациях
		признание ошибок, пересмотр суждений и стереотипов
		выявление альтернативных объяснений, многополярный взгляд
	Выдвижение и проверка гипотез	планирование и проведение ЕН экспериментов
		генерирование и проверка идей решений ЕН ситуаций
		моделирование ЕН ситуаций
2. Аргументация	Оценка	оценка силы аргумента и его приемлемости
		оценка достоверности ЕН информации и ее источника
	Анализ и синтез	идентификация и анализ аргументов
		различение мнений, обоснованных суждений, фактов о ЕН ситуации
	Объяснение	установление причинно-следственных связей
		изложение результатов и защита процедур
		конструирование аргументов объяснения ЕН ситуации
1. Осмысление	Интерпретация	использование / применение ЕН информации
		сортировка, систематизация и классификация ЕН объектов
		понимание и интерпретация научной информации
		выявление смысла формул, графиков, схем и т. п.
	Поиск информации	постановка уточняющих и возражающих вопросов о ЕН ситуации
		наблюдение и сбор научных данных
		поиск источников и поиск информации о ЕН ситуации

Рис. 1. Таксономия навыков критического мышления, формируемых при изучении естественнонаучных (ЕН) дисциплин

ходимой для решения проблемной ситуации, акцентируют внимание на важных научных, мировоззренческих, экологических и других ее аспектах, актуализируют изученный материал [6]. Каждое из заданий является тренажером одного из навыков критического мышления.

Рассмотрим для примера кейс «На кончике пера», который можно использовать при изучении законов движения небесных тел.

Проблемная ситуация формулируется

следующим образом. «К концу XVIII века расчеты движения небесных тел настолько точно подтверждались наблюдениями, что «Астрономическая точность» вошла в поговорку. Однако в XIX веке было обнаружено, что наблюдаемые положения Урана и Меркурия расходились с расчетными».

Цепочка вопросов помогает учащимся разобраться в том, как рассчитывается движение планет Солнечной системы (и, как

следствие, на каких основах разрабатываются такие модели Солнечной системы как Solar System SCOPE, когда можно смоделировать расположение объектов Солнечной системы в любой момент времени, включая далекое прошлое и будущее). Кейс содержит информацию об особенностях «аномального» движения Урана и Меркурия.

Учащимся предлагается высказать свои аргументированные гипотезы и обсудить (оценить) гипотезы, выдвинутые астрономами XIX века для объяснения «аномалий». Это группа заданий тренирует навыки аргументации. Их перечень на рисунке 1 указывает, что следует заострять внимание на качестве аргументации — не только на четком и ясном формулировании логических цепочек, но и на их убедительности.

Поскольку обе планеты были «крайними» в модели Солнечной системы XIX века, то обычно из спектра гипотез учащиеся выделяют две: влияние не открытой еще планеты (для Урана — своей, для Меркурия — своей) и наличие особенностей в законе Всемирного тяготения.

Для проверки первой гипотезы необходим эксперимент — прямое наблюдение искомым планетой. Во втором случае кроме наблюдения проявления «особенностей закона Всемирного тяготения» у других небесных тел необходима и теория, объясняющая эти «особенности».

В первом случае учащиеся выявляют, какие параметры неизвестной планеты можно вычислить, зная траекторию движения Урана/Меркурия, и какие параметры этой планеты необходимо определить, чтобы ее найти, отличить от звезды, идентифицировать. Для случая Меркурия определяются и условия наблюдения — наличие полного Солнечного затмения из-за малости гипотетической планеты, названной Вулканом, и близости к Солнцу (умозаключение о малости Вулкана учащиеся делают на основании вычисления его вклада в смещение перигелия Меркурия, используя данные таблицы 1 и рисунка 2).

Понять, как Иоганн Галле из Берлинской обсерватории искал описанную Леверье планету, можно изучив панораму звездного неба на 24 сентября 1846 г. над Берлином (программы Stellarium).

После выявления способа поиска планеты с заданными характеристиками среди множества звезд с помощью телескопа и звездной карты имеет смысл обсудить с обучающимися вопрос, почему открытие Нептуна «на кончике пера» стало триумфом небесной механики и сыграло важную роль в науке. Позднее аналогичным образом обсуждается вопрос важности для науки совпадения в пределах погрешности наблюдаемых величин добавочного смещения Меркурия и других планет Земной группы со значения-

Таблица 1

Параметры планет и рассчитанные Леверье значения вклада этих планет в смещение перигелия Меркурия

Планета	Масса планеты, кг	Средний радиус орбиты планеты, м	Вклад в смещение перигелия Меркурия, угловые секунды за столетие
Меркурий	$3,26 \cdot 10^{23}$	$5,79 \cdot 10^{10}$	
Венера	$4,87 \cdot 10^{24}$	$1,08 \cdot 10^{11}$	280,6
Земля	$5,98 \cdot 10^{24}$	$1,5 \cdot 10^{11}$	83,6
Марс	$6,43 \cdot 10^{23}$	$2,28 \cdot 10^{11}$	2,6
Юпитер	$1,9 \cdot 10^{27}$	$7,78 \cdot 10^{11}$	152,6
Сатурн	$5,69 \cdot 10^{26}$	$1,43 \cdot 10^{12}$	7,2
Уран	$8,69 \cdot 10^{25}$	$2,87 \cdot 10^{12}$	0,1

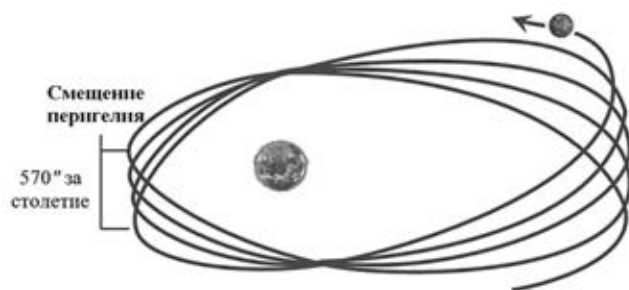


Рис. 2. Прецессия орбиты Меркурия

ми, вычисленными в рамках общей теории относительности.

Можно также обсудить значение предсказательности (эвристичности) науки в прежние времена и сейчас. Современными ее примерами являются обнаружение бозона Хиггса с помощью Большого адронного коллайдера и гравитационных волн от слияния двух черных дыр с помощью гравитационных интерферометров LIGO Scientific Collaboration.

Дополнительно учащимся предлагается осмыслить следующую информацию: «Считается, что Нептун наблюдали Г. Галилей (28 декабря 1612 г. и 29 января 1613 г.), Лаланд (8 и 10 мая 1795 г.), Гершель (14 июля 1830 г.)». Вопрос «Почему наблюдение планеты Нептун было невозможно до Галилея» затрагивает изученный материал о звездных величинах и историю методов исследования в астрономии. Вопрос «Почему несмотря на то, что телескопы указанных астрономов были достаточно мощными, чтобы рассмотреть диск планеты Нептун, они не «увидели» его, а Галле опознал его сразу» заставляет задуматься о том, что зачастую человек получает информацию, но не воспринимает ее. Этот вопрос вызывает неизменный интерес учащихся, так как касается иллюзий мышления (конкретно — иллюзии внимания). Включение подобных вопросов в кейсы обусловлено важностью развития метакогнитивного мышления, когда учащиеся задумываются о собственном мышлении и приходят к мыс-



Рис. 3. Схема орбит Земли и Луны

ли о возможности его усовершенствовать. Р. Пол определяет критическое мышление как «размышление о мышлении» с целью его улучшения и придания большей ясности [7].

При переходе к рассмотрению движения Меркурия учащимся предлагается еще раз проанализировать выделенные гипотезы с учетом информации о том, что: 1) астрономы при полных солнечных затмениях с 1860 г. несколько десятилетий целенаправленно искали Вулкан (или несколько маленьких планет) рядом с Меркурием; 2) актуальная модель Солнечной системы планету Вулкан не включает; 3) американский астроном С. Ньюком обнаружил смещение перигелия у Марса; 4) в 2021 г. было всего два солнечных затмения (10 июня кольцевое и 4 декабря полное); 5) А. Эйнштейн указал на три явления, вытекающих из общей теории относительности (более сильное отклонение световых лучей вблизи массивных тел, чем предсказано Ньютоном, наличие гравитационного красного смещения и прецессии перигелия всех планетных орбит).

Четвертый пункт позволяет прийти к выводу о существовании прецессии орбиты Луны на основе умозаключений от противного: если бы прецессии не было, то затмений в году было бы не менее 13. Наглядно такое представление продемонстрировано на рисунке 3.

Из последнего пункта следует формула для расчета величины добавочного смеще-

ния перигелия планеты, расчет по которой дает значение прецессии Меркурия.

На основе полученных в ходе выполнения кейса данных учащиеся проводят сопоставление открытий, сделанных на основе вроде бы одного и того же явления — отклонения наблюдаемой траектории движения планеты от расчетной.

Структура кейса не является жесткой. Это каркас, на который по желанию педагога можно добавить другие проблемные ситуации.

Например, от обсуждения возможности расчета траекторий планет можно перейти к обсуждению возможности определения местоположения звезд и вида звездного неба в любой момент времени. Примером практического применения таких расчетов для прошлых эпох является астрономический метод датировки памятников архитектуры. Интересно рассмотрение «казусов» в описании звезд и созвездий в литературных произведениях («Юлий Цезарь» Шекспира, «Феномень» Арата, «Одиссея» Гомера и т.п.) [8].

Другой дополнительной проблемной ситуацией, связанной с основным каркасом, является выявление связи некоторых эффектов с теорией относительности. К таким эффектам можно отнести гравитационное линзирование, проявляющееся в виде колец и крестов Эйнштейна (фотографии космических смайликов, сделанных космической обсерваторией Хаббл), смещение звезд на фотографиях во время солнечного затмения относительно их обычных положений, фотографии сдвига линий химических элементов в область более длинных волн при наблюдении спектра массивных звезд относительно линий этих же элементов в земных условиях. Такие задания полезны для тренировки навыков интерпретации информации, представленной в неязыковой форме. Далее можно перейти к связанному с гравитационным красным смещением гравитационному замедлению времени, от него — к релятивистскому замедлению времени и т.д.

Таким образом, кейс можно собирать как конструктор, меняя местами проблемные ситуации разных кейсов. Но важно следить, чтобы решение каждой проблемной ситуации не преподносилось ученику в готовом виде, а он сам с максимальной долей самостоятельности ее исследовал, направляемый заданиями и «Сократовскими» вопросами учителя по пути научного метода. Тогда эти задания действительно будут тренажерами когнитивных навыков, указанных на рисунке 1.

Литература

1. *Эйнштейн А.* Мотивы научного исследования: Собрание научных трудов. Т. IV. — М., 1967. — 700 с.
2. European Commission. A new skills agenda for Europe: Working together to strengthen human capital, employability and competitiveness. 2016. [Electronic resource]. — URL: <http://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=1223>.
3. *McPeck J.* Teaching critical thinking: Dialogue and dialectic. — New York: Routledge, 1990.
4. *Adams D.* Critical Thinking, the Scientific Method, and Page 25 of Gilbert [Электронный ресурс]. 1998. URL: sdb.bio.purdue.edu/SDBEducation/dany_adams/critical_thinking.html.
5. *Солодихина М.В.* Критическое мышление в высшем естественнонаучном образовании: определение и содержание понятия: Монография. — М.: МПГУ, 2022. — 164 с.
6. *Солодихина М.В., Одинова Н.И.* Кейс-задачи на уроках физики // Физика в школе. 2019. № 1. С. 18–26.
7. *Paul R.W.* A model for the national assessment of higher order thinking/ R.W. Paul, G.M. Nosich. Santa Rosa, CA: Foundation for Critical Thinking. (ERIC Document Reproduction Service No. ED 353296). 1992.
8. *Солодихина М.В.* Сборник кейс-задач по интегрированным естественнонаучным курсам (Серия Современное естествознание). — М.: Прометей, 2020. — 156 с.

Дата поступления рукописи (Received): 16.11.2022.
Опубликовано (Published): 18.01.2023.

Новости астрономии

В марсианском кратере Езеро обнаружены органические соединения



Марсоход Perseverance, находящийся в составе миссии «Марс-2020», исследует кратер Езеро с февраля 2021 года. Данные, переданные марсоходом во время первых анализов *in situ*, показывают, что несколько пород в кратере содержат свидетельства наличия жидкой воды и вероятных органических соединений. Кратер Езеро был выбран в качестве места посадки, поскольку ряд исследований и орбитальных наблюдений показали, что около 3,5 миллиарда лет назад здесь было озеро, поэтому его грунт, вероятно, содержит свидетельства о наличии древней жизни. В ходе своей миссии марсоход уже выявил признаки органических соединений в отложениях дельты на краю кратера — геологического образования, возникшего в результате пересечения древней реки и озера. Природа дна кратера сильно удивила ученых, так как оказалось, что оно в основном состоит из вулканических пород, содержащих минералы, свидетельствующие не только о древних магматических процессах, но и о значительном взаимодействии с жидкой водой. На марсоходе находится спектрометр, который позволяет детально проанализировать фрагменты горных пород. Их анализ показал, что некоторые из этих пород имеют признаки органического вещества. Данные свидетельствуют о том, что после образования магматических пород через них протекала вода, изменяя породы и откладывая минералы в щелях и трещинах, образовавшихся в результате эрозии.

Полученные результаты являются предварительными. Более тщательные исследования, которые планируется провести на Земле с использованием самых современных приборов, позволят окончательно определить природу водной среды в прошлом и подтвердить наличие и тип органического материала, обнаруженного в породах. Но это произойдет только в 2031 году

ПОДПИСКА 2023. I ПОЛУГОДИЕ

Подписывайтесь на журнал «ФИЗИКА В ШКОЛЕ»!

Издается с 1934 года. Входит в перечень ВАК

Статьям журнала присваивается DOI



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

P1611

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

Подписной индекс

P4996

ВНИМАНИЕ!

Комплекты журналов
со скидкой

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



Оформляйте подписку на ПЕЧАТНЫЕ ЖУРНАЛЫ издательства «Школьная Пресса»:

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

○ На сайте «Почта России»:

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

Открыть ссылку приложением «Камера»



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

○ На сайте издательства **SCHOOLPRESS.RU**

Оформляйте подписку на ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЕРСИИ ПЕЧАТНЫХ ЖУРНАЛОВ:

○ Вы можете подписаться на наши журналы через электронно-библиотечные системы:
• Ивис - ivis.ru • Руконт - rucont.ru • eLIBRARY.RU – Научная электронная библиотека

○ Подписка на электронные версии печатных журналов оформляется на сайте schoolpress.ru **СКИДКА 500 РУБ. С КАЖДОГО НОМЕРА!**

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

Открыть ссылку
приложением
«Камера»



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

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

ISSN 0130-5522



Физика в школе, 2023, № 1, 1–64

ISSN 0130-5522

