

ФИЗИКА

ISSN 2077-0049

№ 1

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ГАЗЕТА ДЛЯ УЧИТЕЛЕЙ ФИЗИКИ, АСТРОНОМИИ И ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

1-15 января 2011

основана в 1992 г.

fiz.1september.ru



ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ
Первое сентября

1september.ru

Ф И З И К А

индексы подлски

Почта России - 79147 (инд.); - 79603 (орг.)

Роспечать - 32032 (инд.);

32596 (орг.)

ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ
«ПЕРВОЕ СЕНТЯБРЯ»

Главный редактор:

Артем Соловейчик
(Генеральный директор)

Коммерческая деятельность:

Константин Шмарковский
(Финансовый директор)

Развитие, IT и координация проектов:

Сергей Островский
(Исполнительный директор)

Реклама и продвижение:

Марк Сартан

**Мультимедиа, конференции
и техническое обеспечение:**

Павел Кузнецов

Производство:

Станислав Савельев

**Административно-хозяйственное
обеспечение:** Андрей Ушков

Дизайн:

Иван Лукьянов, Андрей Балдин

Педагогический университет:

Валерия Арсланян
(Ректор)

ГАЗЕТЫ ИЗДАТЕЛЬСКОГО ДОМА:

Первое сентября – Е.Бирюкова,

Английский язык – А.Громушкина,

Библиотека в школе – О.Громова,

Биология – Н.Иванова,

География – О.Коротова,

Дошкольное

образование – М.Аромштам,

Здоровье детей – Н.Сёмкина,

Информатика – С.Островский,

Искусство – М.Сартан,

История – А.Савельев,

Классное руководство

и воспитание школьников – О.Леонтьева,

Литература – С.Волков,

Математика – Л.Рослова,

Начальная школа – М.Соловейчик,

Немецкий язык – М.Бузова,

Русский язык – Л.Гончар,

Спорт в школе – О.Леонтьева,

Управление школой – Я.Сартан,

Физика – Н.Козлова,

Французский язык – Г.Чесновицкая,

Химия – О.Блохина,

Школьный психолог – И.Вачков

УЧРЕДИТЕЛЬ: ООО «ЧИСТЫЕ ПРУДЫ»

Зарегистрировано ПИ № 77-7241 от 12.04.01

в Министерстве РФ по делам печати

Подписано в печать: по графику 02.12.10,

фактически 02.12.10 Заказ №

Отпечатано в ОАО «Чеховский

полиграфический комбинат»

ул. Полиграфистов, д. 1,

Московская область,

г. Чехов, 142300

АДРЕС РЕДАКЦИИ И ИЗДАТЕЛЯ:

ул. Киевская, д. 24, Москва, 121165

Тел./факс: (499) 249-3138

Отдел рекламы: (499) 249-9870

Сайт: 1september.ru

ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ПОДПИСКА:

Телефон: (499) 249-4758

E-mail: podpiska@1september.ru

Документооборот
Издательского дома «Первое сентября»
защищен антивирусной программой Dr.Web
Antivirus



Содержание

ИМЕНА

3–6 Н.Н. Барабанов
М.В. Келдыш – главный
теоретик космонавтики

КОНКУРС «Я ИДУ НА УРОК»

7 Е.А. Андриксонина
Три урока по теме
«Дисперсия света», 11 класс

7–11 Урок 1 (группа со средними
когнитивными способностями)

11–16 Урок 2 (группа с повышенными
когнитивными способностями)

17–21 Урок 3 (группа с пониженной
мотивацией к изучению физики)

АСТРОНОМИЯ

22, 23, 26, 27 Проф. В.М. Чаругин
Звёздное небо в феврале

АБИТУРИЕНТУ

30–32 В.М. Буханов,
Е.А. Вишнякова,
А.В. Грачёв и др.
Хочу учиться в МГУ!

АБИТУРИЕНТУ

33–35 В.П. Демков, В.В. Озолин,
Г.Э. Солохина
МАИ-2010: российская
аэрокосмическая
олимпиада

НА ПЕРЕДНЕМ КРАЕ

24, 25 Л.В. Пигалицын
Новости науки и техники
36–40 Академик РАН Л.Б. Окунь
«Релятивистская» кружка

41–43 Проф. А.А. Богуславский
Яркий луч высоких
технологий

МАТЕРИАЛ К УРОКУ

28–29 М.А. Бражников
Хроматическое уравнение
Максвелла

46 В.Б. Булюбаш
Почему же, почему?..

44–45 Как это устроено? Тепловые
насосы

На обложке: планисфера южного полушария. Андреас Целлариус, трактат «*Harmonia Macrocosmica*» («Гармония Макрокосмоса»), 1661 г. URL: <http://www.astro myth.tau-site.ru/History/Cellarium.htm#showimage>;
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ed/Cellarium_Harmonia_Macrocosmica_-_Haemisphaerium_Stellatum_Australe_Antiquum.jpg

ФИЗИКА



Научно-методическая газета
для учителей физики,
астрономии и естествознания

Основана в 1992 г.

Выходит два раза в месяц

Газета распространяется по подписке

Цена свободная Тираж 4000 экз.

Тел. редакции: (499) 249-2883

E-mail: fiz@1september.ru

Internet: fiz.1september.ru

О возможности публикации автору
сообщается, если к статье приложена
открытка с обратным адресом. Подробнее
см. Правила в № 5/2010, с. 48 и на сайте
газеты <http://fiz.1september.ru>

ПОДПИСНЫЕ ИНДЕКСЫ:

Роспечать:

инд. -32032; орг. -32596

Почта России:

инд. -79147; орг. -79603

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Н.Д. Козлова (председатель), А.В. Берков (к.ф.-м.н., доц. МИФИ), К.Ю. Богданов (к.ф.-м.н., д.биол.н., лицей № 1586 ЗАО), М.А. Бражников (гимн. № 625 ЮЗАО), И.Д. Воронова (к.ф.-м.н.), В.А. Грибов (к.ф.-м.н., доц. МГУ им. М.В. Ломоносова), В.А. Козлов, С.Я. Ковалева (зам. гл. редактора, к.п.н., доц. ПАПО МО), Н.Ю. Милокова (строительный колледж № 12 СВАО), В.М. Чаругин (проф., д.ф.-м.н., действительный член РАКЦ, МПГУ).

РЕДАКЦИЯ:

Главный редактор:

Нана
Дмитриевна
Козлова

Дизайн макета,
обложка:

И.Е. Лукьянов

Корректурa:

И.С. Чургеева

Вёрстка:

Д.В. Кардановская

Набор:

И.С. Чургеева

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Н.Д. Козлова – председатель, Л.Э. Генденштейн (к.ф.-м.н., ИСМО РАО), М.Д. Даммер (проф., д.п.н., ЧГПУ, г. Челябинск), М.Ю. Демидова (к.п.н., МИОО, г. Москва), В.Г. Довгань (проф., к.в.н., д. член РАКЦ и АМТН, чл.-корр. МИА, г. Москва), А.Н. Крутский (проф., д.п.н., АГПА, г. Барнаул), Б.И. Лучков (проф., д.ф.-м.н., НИЯУ МИФИ, г. Москва), В.В. Майер (проф., д.п.н., ГППИ, г. Глазов), Н.С. Пурышева (проф., д.п.н., МПГУ, г. Москва), Ю.А. Сауров (проф., д.п.н., чл.-корр. РАО, ВятГПУ, г. Киров), А.А. Шаповалов (проф., д.п.н., АГПА, г. Барнаул), О.А. Яворук (проф., д.п.н., ЮГУ, г. Ханты-Мансийск, ХМАО).

М.В. Келдыш – главный теоретик Космонавтики

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: М.В. Келдыш, практическое освоение космоса, искусственный спутник Земли, программа освоения Луны

Н.Н. БАРАБАНОВ
ИМЦ ЦОУО, г. Москва

10 февраля 2011 г. исполняется 100 лет со дня рождения Мстислава Всеволодовича Келдыша, одного из самых ярких учёных и общественных деятелей нашего отечества. Сделанное им за не такую уж долгую жизнь поражает и своими масштабами и значением. Как математик мирового класса Келдыш внёс весомый вклад в теорию функций действительного и комплексного переменного, в функциональный анализ, в теорию уравнений в частных производных, в теорию потенциалов. Оценить эту область деятельности учёного могут лишь профессионалы-математики. Но математические работы Келдыша имеют огромное прикладное значение. Они способствовали не только становлению современной вычислительной математики, но и решению многочисленных физических проблем, в частности, в области гидро- и аэродинамики, а также развитию космонавтики на её фундаментальном уровне. Как общественный деятель Келдыш наиболее ярко проявил себя на посту президента Академии наук СССР, которую он возглавлял почти полтора десятилетия. И сделанное им во многом определило последующее развитие советской науки, в том числе и в непростые постсоветские годы. В огромной степени сыграли роль личные человеческие качества Келдыша – интеллигента в высшем и прекраснейшем смысле этого слова. То есть личности, моральными основами которой были совесть и чувство долга, гражданская ответственность, основанная на государственном мышлении, и редкостно высокие общая культура и эрудиция. Для нас, вступивших в новый век и в новое тысячелетие, жизнь Келдыша и оставленное им наследие (и не только научное) крайне важны сегодня в плане нравственных уроков.

Весьма актуально в наступившем году, объявленном Годом первого космонавта – Ю.А. Гагарина – рассказать о непосредственном вкладе М.В. Келдыша в дело практического освоения космоса. Прежде всего он проявил себя в этой области как блестя-



Мстислав Всеволодович Келдыш (1911–1978)

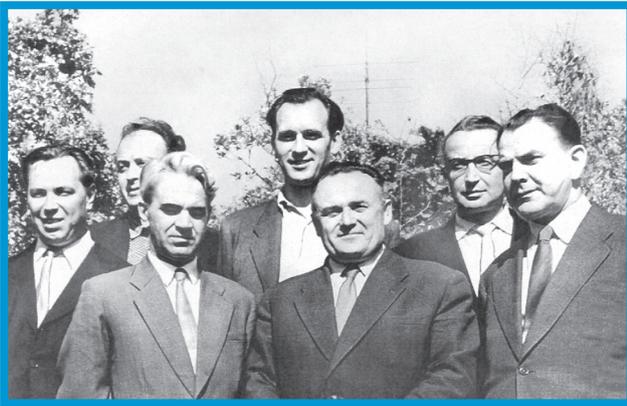
Золотая медаль имени М.В. Келдыша Академии наук СССР [1]

щим организатором. Достаточно сказать, что по его инициативе были созданы Институт космических исследований и Институт медико-биологических проблем, а в целях налаживания в этой области научных связей с зарубежными странами и участия советских учёных в престижных международных космических проектах – Совет «Интеркосмос». Именно Келдышу принадлежат идеи изучения атмосферы Венеры с помощью аэростатных зондов, создания марсохода и доставки на Землю марсианского грунта. Концепция создания пилотируемых орбитальных комплексов путём наращивания модульных конструкций, идея запуска астрофизических обсерваторий – это тоже Келдыш.

А ещё в 1953 г., за несколько лет до начала космической эры, Келдыш и его коллеги впервые предложили метод баллистического спуска космического корабля с орбиты на Землю, при котором скорость летательного аппарата убывает до требуемой величины только за счёт сопротивления воздуха. Тогда же была показана возможность использования этого метода для пилотируемых полётов. Годом позже был предложен первый конкретный вариант системы стабилизации и ориентации искусственного спутника и построена её теория. На основе предыдущих работ по выбору оптимального программного управления для составной ракеты была создана методика расчёта оптимальной программы вывода искусственного спутника Земли на орбиту.

В те же годы была исследована динамика движения искусственного спутника в гравитационном поле Земли и разработана методика определения времени его пребывания на орбите, изменяющейся под действием нецентральных составляющих гра-

Фрагмент статьи о жизни и деятельности М.В. Келдыша, размещённой в электронных приложениях к № 24/2010 и на диске к № 22/2010. – *Ред.*



Получены первые снимки обратной стороны Луны космическим аппаратом «Луна-3». Слева направо: Н.С. Лидоренко, И.И. Пиковский, М.В. Келдыш, А.В. Белоусов, С.П. Королёв, Е.Я. Богуславский, М.С. Рязанский. 8–9 октября 1959 г. Крым, Симеиз [2, с. 342]

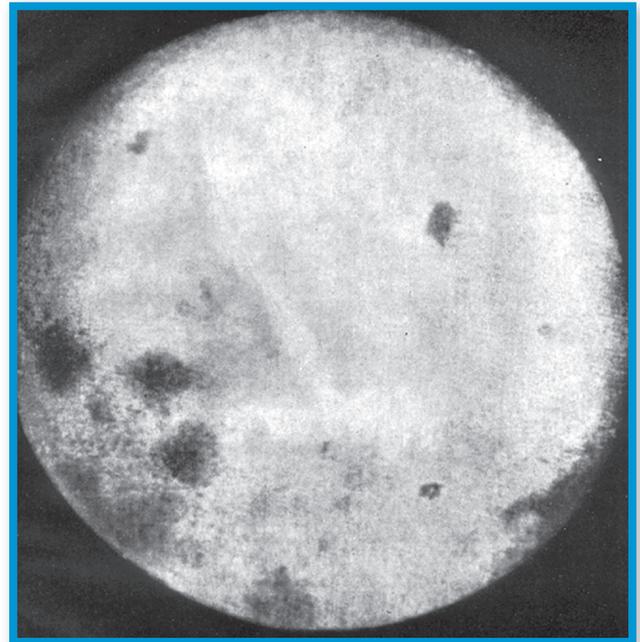
витационных сил и атмосферного (конкретно – ионосферного) сопротивления.

Тогда же начались исследования по проблеме достижения Луны и изучению окололунного пространства, определены закономерности и ограничения полёта к Луне для летательных аппаратов, стартующих с территории СССР. А в сентябре–ноябре 1957 г., когда готовились и осуществлялись запуски первых советских искусственных спутников, под руководством М.В. Келдыша была разработана методика обработки траекторных измерений, с помощью которой впервые удалось определить параметры орбиты искусственного спутника Земли на ЭВМ. Позже при отделении прикладной математики Математического института АН СССР (МИАН) был создан баллистический вычислительный центр, вошедший в общую систему слежения и управления полётами космических аппаратов. Комплексы из многих ЭВМ, соединённые в сеть, обеспечивали космические аппараты самого разного назначения всеми необходимыми полётными характеристиками.

В руководимый М.В. Келдышем коллектив входили многие известные учёные. Так, систему пассивной ориентации ИСЗ разработал Д.Е. Охочимский; аванпроект системы активной ориентации искусственного спутника создавали Б.В. Раушенбах (впоследствии академик) и Е.Н. Токарь, а баллистический спуск космического аппарата на Землю с орбиты рассмотрел работавший с МИАН Т.М. Энеев (впоследствии академик).

Позже М.В. Келдыш вспоминал: «Мы работали самозабвенно, но не задумывались о значении своей работы. И только когда, едва отдышавшись после запуска, мы услышали, как воспринимают этот запуск во всём мире, мы поняли, что начался космический век человечества» [1, с. 97].

А дальше темпы работ нарастали. Ещё до запуска третьего искусственного спутника Земли (он состоялся 15 мая 1958 г.) начались подготовительные работы по лунной программе – даже оценивалась степень



Лунный «затылок» [3]

возможной видимости взрыва на Луне доставленной туда атомной бомбы. К счастью от идеи такого взрыва достаточно быстро отказались. В октябре 1959 г. советские летательные аппараты сфотографировали обратную сторону Луны, а под руководством Келдыша к этому времени уже были проведены теоретические исследования динамики полёта к Венере и Марсу. При этом было показано, что космический аппарат гораздо выгоднее направлять на полётную траекторию не непосредственно с Земли, а предварительно вывести его на промежуточную незамкнутую орбиту искусственного спутника Земли. Это позволило существенно понизить жёсткость требований к датам запуска и значительно увеличить массу аппаратов. В дальнейшем такой метод запуска стал универсальным, а принципиальная схема управления полётом космического аппарата после разгона на межпланетную траекторию была положена в основу всех дальнейших баллистических расчётов. Она во многом совершенствовалась и уточнялась впоследствии, но в своей основе не изменилась и по сей день.

Попутно одно важное замечание, характеризующее трезвость и реалистичность подхода Келдыша к тому, чем он занимался. Ещё в 1959–1960-х гг., то есть до первого полёта человека в космос, в нашей стране отдельные, притом весьма квалифицированные специалисты рассматривали возможность в 1964 г. пилотируемого облёта Марса. Именно Келдыш тогда указал на нереальность подобного проекта, поскольку на тот момент были абсолютно не изучены особенности пребывания человека в космосе в течение длительного времени, и потому в тот период для исследования дальних планет следовало использовать беспилотные летательные аппараты. Однако такая трезвость оценок не мешала Келды-

шу принципиально обсуждать возможность пилотируемых полётов космических кораблей к планетам Солнечной системы в обозримом будущем.

Выше уже говорилось о том, что проблематикой, связанной с задачами ракетостроения, Келдыш стал заниматься практически сразу с момента его избрания в Академию наук, то есть с конца 1946 г. Что именно было сделано им в этой области?

Во-первых, в руководимом Келдышем институте проводились исследования по теории ракетных двигателей, теории горения, газодинамике, гиперзвуковой аэродинамике, теплообмену, теплозащите, астронавигации. Велись работы, нацеленные на создание различных типов ракетных двигателей: жидкостных, воздушно-реактивных, турбореактивных, прямоточных.

Во-вторых, с 1947 по 1960-й гг. Келдыш занимался разработкой воздушно-реактивных двигателей, на базе которых была создана межконтинентальная крылатая ракета «Буря» (её главным конструктором стал выдающийся советский авиаконструктор С.А. Лавочкин). Эту работу можно разбить на два этапа. Сначала, в 1947–1953 гг. был решён комплекс проблем, связанных с созданием сверхзвукового прямоточного воздушно-реактивного двигателя (СПВРД). А в мае 1954 г. Советом Министров СССР было принято постановление по непосредственному созданию ракеты «Буря» с СПВРД и Келдыш был назначен научным руководителем работы. Под его руководством, в частности, были созданы большие натурные стенды, специальные аэродинамические трубы, на которых впервые в отечественной практике была проведена наземная предполётная отработка большинства элементов комплекса «Буря», что позволило существенно сократить сроки и сэкономить затраты на создание самого комплекса.

Лётные испытания «Бури» начались 1 августа 1957 г., а в начале 1960 г. была достигнута макси-

мально допустимая в пределах территории СССР дальность её полёта 6500 км при отклонении от цели около 8 км, что по тем временам было высоким результатом. Результаты, полученные при создании этого комплекса, оказались ценными в ракетно-космической технике при создании ряда последующих изделий с СПВРД, а также при определении тепловых режимов испытаний теплозащиты спускаемых космических аппаратов, таких как «Союз», «Венера», возвращаемых на Землю капсулы с лунным грунтом, искусственных спутников Земли.

А иной раз бывало и так, что Келдышу приходилось выявлять проблемы, возникавшие при эксплуатации казалось бы уже проверенных ракетных систем. Так было, в частности, со знаменитой ракетой конструкции С.П. Королёва, с помощью которых запускались первые искусственные спутники Земли. Эта ракета имела четыре боковых блока, которые окружали основной, центральный блок. Двигатели всех пяти блоков запускались одновременно при старте. После выгорания топлива боковые блоки отделялись, и далее ракета продолжала полёт, освободившись от лишней массы. Но после запусков первых спутников в последующих экземплярах ракет стали возбуждаться продольные колебания боковых блоков относительно центрального. Поэтому, например, во время первых трёх запусков аппаратов к Луне на 80-й секунде полёта ракета разваливалась. И причину этих катастроф сумел объяснить именно Келдыш. Вот как характеризует ситуацию видный советский учёный-механик, академик А.Ю. Ишлинский.

«Причина, которая вызывала появление неустойчивых, возрастающих во времени упругих колебаниях боковых блоков в продольном направлении, оказалась в непостоянстве реактивной силы, развиваемой работающим двигателем. Последняя зависит от давления, под которым горючее и окислитель подаются в камеру сгорания. А это давление,



В Центре дальней космической связи. Панорамы Луны, полученные космическим аппаратом «Луна-9» рассматривают (слева направо): Ю.К. Ходырев, А.И. Лебединский, Е.Я. Богуславский, Б.Е. Черток, И.И. Пиковский, Г.Н. Бабакин, Сидит М.В. Келдыш [1, с. 259]



А.А. Леонов докладывает С.П. Королёву и М.В. Келдышу о результатах выхода в открытый космос. Март, 1965 [1, цв. вкл.]

в свою очередь, изменяется в такт продольным колебаниям бокового блока из-за наличия в его боках жидкого топлива и жидкого кислорода. Числовые параметры, характеризующие эту механическую систему, вместе с имеющимся в ней естественным сопротивлением колебаниям могут в ряде случаев оказаться такими, что возможна раскачка бокового блока относительно центрального. Любопытно, что иногда соседние блоки совершали колебания в противофазе, то есть если два какие-либо диаметрально противоположные по отношению к продольной оси ракеты блока двигались к головной части ракеты, то остальные два – к её хвосту» [1, с. 195].

Теоретическое объяснение эффекта дал Келдыш. А устройство, устранявшее этот нежелательный эффект, предложил академик В.П. Мишин, один из сподвижников С.П. Королёва, ставший после его безвременной смерти в январе 1966 г. Главным конструктором космических кораблей (им он оставался до середины 70-х гг.). К моменту полёта Юрия Гагарина о подобного рода эффектах уже забыли.

Здесь мы выходим ещё на одну тему, крайне важную для истории отечественной космонавтики – тему сотрудничества двух её выдающихся деятелей, Мстислава Всеволодовича Келдыша и Сергея Павловича Королёва. Их связывала многолетняя личная дружба, основой которой было, прежде всего, связывавшее их общее дело. Оно было превыше всего и потому в случаях, когда Королёв и Келдыш расходились во взглядах на решение той или иной проблемы, глубокое взаимное уважение сохранялось. А расхождения, разумеется, были. Например, Келдыш в течение длительного времени был противником выдвинутой Королёвым идеи создания межпланетных аппаратов, предназначенных для доставки на поверхность Венеры и Марса автоматических станций. Эту идею Келдыш называл «ракетным трюком». Со вре-

менем, однако, Келдыш изменил свою точку зрения и стал горячим сторонником идеи Королёва. Но в то же время при организации полётов на Луну по доставке «Лунохода», по доставке на Землю лунного грунта, при осуществлении мягкой посадки космических станций на поверхность Венеры по настоянию Келдыша использовался ракетоноситель «Протон», созданный под руководством академика В.Н. Челомея, оппонента и в определённом смысле соперника Королёва. У последнего это вызывало даже некоторую ревность, тем более что Королёв для таких полётов занимался модернизацией своего носителя Н-1. Жизнь, однако, показала, что в данном случае прав был именно Келдыш.

Но главное заключается в том, какие плоды принесло сотрудничество Королёва и Келдыша, – результаты были впечатляющими. Ещё в феврале 1954 г. по инициативе Келдыша было проведено совещание по проблеме создания искусственного спутника Земли, на котором основные подходы к созданию такого спутника и перспективы реализации проекта были сформулированы Королёвым. В мае 1959 г. Келдыш и Королёв направили в правительство совместно подготовленную докладную записку «О развитии научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по освоению космического пространства», в которой были сформулированы необходимые для этого организационные меры. Подчеркнём, документ был подготовлен в год практического начала освоения Луны. 2 января 1959 г. к Луне был направлен первый космический аппарат «Луна-1», а 4 октября того же года с помощью аппарата «Луна-3» на Землю были переданы первые фотоснимки невидимой с Земли обратной стороны Луны. Созданы эти аппараты были в ОКБ, которым руководил Королёв, но при участии Келдыша. Кстати, оно проявилось и в том, что во второй половине 1950-х гг. он перешёл от работ по межконтинентальным ракетам к созданию пилотируемых космических аппаратов и аппаратов для научных исследований планет и Солнечной системы.

Литература

1. Келдыш М.В. Творческий портрет по воспоминаниям современников. М.: Наука, 2002.
2. Академик С.П. Королёв. Учёный, инженер, человек. Творческий портрет по воспоминаниям современников. М.: Наука, 1987.
3. Довгань В.Г. Лунная одиссея отечественной космонавтики. / Физика-ПС. 2009. № 7, 12, 16, 20; 2010. № 2, 6, 12, 22. [Электронный ресурс] Диск к № 8/2010 г.

Три урока по теме «Дисперсия света»

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тема «Волновая оптика», дисперсия света, мультимедийная презентация, уровень учебной мотивации, 2 курс (11 класс)

Е.А. АНДРИКСОНОВА
andriksonova@rambler.ru
ПУ № 70, г. Можайск,
Московская обл.

Развитие новых информационных технологий существенно расширяет возможности учителя, позволяет проникать глубже в суть рассматриваемых явлений, обучать в соответствии с когнитивными способностями учащихся, а также с их профессиональной направленностью. Урок проводится на 2 курсе (что соответствует 11 классу) при изучении темы «Волновая оптика» и сопровождается презентацией* **PowerPoint**.

УРОК 1

(40 минут, группа со средними когнитивными способностями, учащиеся приобретают профессию «Печатник плоской печати»)

Цели урока: ● образовательная – сформировать знания о дисперсии, о спектральном составе белого света ● развивающая – продолжить формирование умений устанавливать причинно-следственные связи между фактами, выдвигать гипотезы, обосновывать их и проверять достоверность ● воспитательная – продолжить формирование познавательного интереса к предмету «Физика» и развитие коммуникативных умений.

Оборудование: компьютер, мультимедийный проектор, призмы из флинт- и кронгласа, щелевая дифракта, источник света, экран, спектроскоп, цветные светофильтры, компьютерная презентация**, учебная литература [1]–[4].

Ход урока

I. Организационный момент (1 минута)

(Проверяется готовность класса к уроку. Ученики открывают рабочие тетради, записывают число и тему урока, слайд 1).

II. Мотивация познавательной деятельности (1 минута)

Учитель. Сегодня на уроке мы рассмотрим интересное явление, благодаря которому мы видим

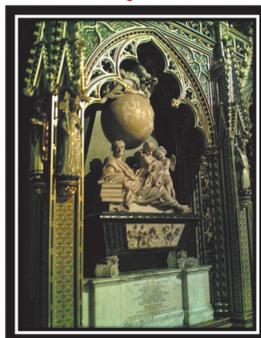
окружающий мир во всём многообразии красок, цветов и оттенков. Почему мы видим красивые цветы, удивительные картины? Почему мир дарит нам целую гамму различных по красоте и неповторимости пейзажей [5]? Ответ на эти вопросы вы сами дадите в конце урока.

(Слайд 2.) Дисперсия – звучит прекрасно слово, // Прекрасно и явление само. // Оно нам с детства близко и знакомо, // Мы наблюдали сотни раз его! // Гром отгремел, стих летний ливень быстрый, // И над умытой свежей землёй // Мостом бесполотным радуга повисла, // Пленяя нас своею красотой. // Дисперсия здесь «руку приложила» – // Обычный белый лучик световой // Она как будто в призме разложила // Во встреченной им капле дождевой [6].

III. Изучение нового материала (25 минут)

Учитель. На явление дисперсии света обращали внимание многие мыслители, среди них Аристотель и Р. Декарт, создавший классическую теорию радуги. Но для науки чрезвычайно важными оказались выводы, которые сделал Исаак Ньютон в XVII в. Их считают одной из важнейших научных заслуг и самого учёного. На его надгробном памятнике, поставленном в 1731 г., изображены два херувима (слайд 3 [7]), которые держат в руках свиток с математическими формулами. На стенке саркофага изображены рабочие инструменты – телескоп и призма. Из эпитафии: «...он исследовал различие световых лучей и появляющиеся при этом различные свойства, чего ранее никто не подозревал...» [8].

«Он исследовал различие световых лучей и появляющиеся при этом различные свойства, чего ранее никто не подозревал...» Из эпитафии.



Исаак Ньютон
(1643 – 1727)

«Формат - Пресса - Санкт-Петербург» № 1/2011

3

* Все презентации и раздаточный материал полностью представлены на диске к № 4/2011. – Ред.

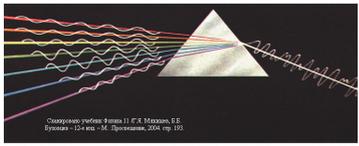
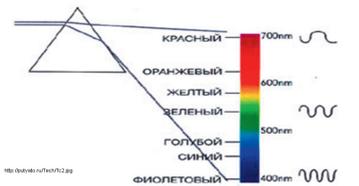
** За основу взята презентация И.Г. Кирилловой [5].

Опыты Ньютона

- И. Ньютон направил белый луч на стеклянную призму. При прохождении через призму луч преломляется дважды и разлагается в радужную полоску – спектр.
- Ньютон условно разделил спектр на семь простых цветов: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый.
- Лучи разного цвета преломляются по-разному: фиолетовые лучи преломляются сильнее (показатель преломления больше), а красные – слабее (показатель преломления меньше).
- Свет с точки зрения волновой теории – это волна. Одной из основных характеристик волны является частота. Частота волны определяет цвет, воспринимаемый нашим глазом.
- Зависимость показателя преломления от цвета луча (частоты соответствующей волны) называется **ДИСПЕРСИЕЙ**.



4

6

Монохроматический свет

Свет, разлагаемый призмой в спектр, Ньютон считал сложным. Свет, который более уже не разлагался призмой, Ньютон считал простым. Каждому простому цвету соответствует своя волна определенной длины волны и частоты, такой «одноцветный» свет называют **монохроматическим**.

10

ЦВЕТА ТЕЛ

Определяются теми лучами, которые лучше всего отражаются или пропускаются данным телом

Например, **красный непрозрачный предмет** лучше всего отражает **красные** лучи и в меньшей степени – **оранжевые** и **желтые**.

Белый предмет одинаково хорошо отражает все простые лучи.

Чёрный предмет одинаково хорошо поглощает все простые лучи.

Красный прозрачный предмет лучше всего пропускает сквозь себя **красные** лучи и в меньшей степени – **оранжевые** и **желтые**.

11

ЦВЕТА ПРОЗРАЧНЫХ ТЕЛ

Если прозрачное тело равномерно поглощает лучи всех цветов, то в проходящем белом свете оно бесцветно, а при светлом освещении имеет цвет тех лучей, которыми освещено.

Окрашенное стекло при освещении белым светом пропускает в основном тот цвет, в который окрашено.

Это свойство используется в светофильтрах.

12

Занимаясь усовершенствованием телескопов, Ньютон обратил внимание на то, что изображение, даваемое объективом, по краям окрашено [9]. Исследуя окрашенные при преломлении края, Ньютон сделал свои открытия в области оптики.

Просмотр слайд-шоу, обсуждение (3 минуты). Итак, что же сделал Ньютон? Ответим после просмотра слайд-шоу «Опыты Ньютона по разложению белого света» [10]. Прокомментируем просмотренный материал. (*Обсуждение опытов Ньютона с записями в тетрадь информации со слайда 4.*)

- Ньютон направил белый луч на стеклянную призму. Как только луч белого света попадает в призму, он сразу же превращается в радужную полоску, которая называется *спектр*. Спектр условно, как предложил сам Ньютон, делят на семь простых цветов: красный, оранжевый, жёлтый, зелёный, голубой, синий, фиолетовый.

- Световой луч, падая на трёхгранную призму, преломляется и отклоняется от своего первоначального направления к основанию призмы.

- Отклонение зависит от вещества призмы, её преломляющего угла, угла падения луча и свойств среды, в которой находится призма.

- Как показал опыт, лучи разного цвета преломляются по-разному: наибольший показатель преломления у фиолетового луча, наименьший – у красного.

- Свет с точки зрения волновой теории – это волна. Одной из основных характеристик волны является её частота. Частота волны определяет её «цвет», воспринимаемый нашим глазом.

- Итак, как показывают опыты, показатель преломления зависит от цвета луча (частоты соответствующей волны) – это и есть явление, которое мы рассматриваем на сегодняшнем уроке, – дисперсия.

Ньютон использовал призму из стекла. Вместо стекла можно взять и другие прозрачные материалы. Замечательно, что этот опыт пережил столетия и без существенных изменений ставится до сих пор. Сейчас мы с вами попробуем его воспроизвести.

Повторение (5 минут). Но прежде нам необходимо повторить материал (*слайд 5*):

- Какое физическое явление называется преломлением света?
- Какой угол называют углом падения?
- Какой угол называют углом преломления?
- Сформулируйте закон преломления света
- Чем вызвано преломление светового луча?
- Какую физическую величину называют абсолютным показателем преломления?
- Каков его физический смысл?
- Какая среда называется оптически более плотной? менее плотной?
- Чем отличается ход луча при его прохождении в оптически более плотную среду от преломления при прохождении в оптически менее плотную?
- Как преломляется световой луч при прохождении через призму?
- Что представляет собой свет с точки зрения волновой теории?

Практическая часть (работа в группах по заданиям на карточках, на обороте которых распечатаны выводы – для проверки правильности выполнения, 11 минут)

- Первая группа (экспериментаторы).** Выполните демонстрационный эксперимент: получите и исследуйте спектр, используя

призмы из разного стекла (флинт и крон): ● Что вы наблюдаете? ● Перечислите цвета видимого вами спектра. ● Какие лучи отклоняются сильнее от своего первоначального пути (сильнее преломляются)? ● Призма из какого стекла сильнее отклоняет лучи? ● Сделайте выводы.

В ы в о д ы . Наблюдаем цветные полосы, не имеющие чётких границ. Можно выделить семь цветов: красный, оранжевый, жёлтый, зелёный, голубой, синий, фиолетовый, – плавно переходящие один в другой. Сильнее всего преломляются фиолетовые лучи. Призма из флинт-гласа преломляет лучи сильнее.

● **Вторая группа (экспериментаторы).** Выполните эксперимент, пользуясь спектроскопом, цветными фильмами и пояснительной иллюстрацией (распечатка слайда 6).

План эксперимента: ● Пропустите белый свет через призму и наблюдайте спектр ● Поставьте на пути луча до призмы цветной фильтр (лучше всего красный или фиолетовый, так как они обладают узкой полосой пропускания) и опишите полученную картину ● Сделайте выводы из опытов и наблюдений.

Работа с распечаткой: ● От чего зависит цвет луча света? ● Какие лучи преломляются сильнее, какие слабее? У какого луча наибольший показатель преломления? ● Лучу какого цвета соответствует волна наибольшей частоты ν_{max} ? ● Дайте определение дисперсии ● Учтявая, что скорость распространения света связана с показателем преломления обратной зависимостью ($n = c/v$), определите, волна какого цвета распространяется в среде с наибольшей скоростью ● Что такое спектр? ● Сколько цветов в спектре? ● Сделайте выводы из опытов и наблюдений.

В ы в о д ы . Белый свет является сложным. При прохождении через призму он разлагается в спектр. Свет, прошедший через светофильтр, не разлагается в спектр. Цвета (световые лучи), не разлагаемые призмой в спектр, Ньютон назвал простыми. Цвет простого луча – это субъективная характеристика излучения, результат физиологического воздействия света на наш глаз, он зависит от частоты этого воздействия, то есть от частоты световой волны. Фиолетовые лучи преломляются сильнее красных: $n_{\phi} > n_{к}$, у них наибольший показатель преломления. Наибольшую частоту имеет волна, соответствующая фиолетовому лучу: $\nu_{max} = \nu_{фиол.}$
Дисперсия – зависимость показателя преломления от цвета луча (от частоты световой волны). Показатель преломления фиолетового луча больше, чем показатель преломления красного, значит скорость «фиолетовой» волны меньше скорости «красной» волны: $v_{\phi} < v_{к}$. Распределение оптического излучения по частотам колебаний называ-

ется *спектром*. Ещё Ньютон предложил простые цвета спектра, которые легко запомнить с помощью знаменитой фразы: Каждый Охотник Желает Знать, Где Сидит Фазан». Резкой границы между соседними простыми цветами нет.

● **Третья группа (теоретики).** Пользуясь § 66 учебника [1, с. 183], попробуйте объяснить физическую природу дисперсии: ● В чём состоит явление дисперсии? ● На каком опыте можно наблюдать явление дисперсии? ● Какие выводы сделал Ньютон в результате экспериментального изучения дисперсии? ● Каковы причины разложения белого света в спектр при прохождении через призму? ● Почему мы видим многообразие красок вокруг себя? ● Сделайте выводы.

В ы в о д ы . Явление дисперсии состоит в зависимости показателя преломления от цвета луча (от частоты световой волны). Дисперсию можно наблюдать, пропуская белый свет через призму. Белый свет является сложным. Световые волны, различающиеся по частоте, по-разному преломляются на границе двух сред. Лучи разного цвета (световые волны разной частоты) по-разному отражаются, поглощаются, рассеиваются и преломляются.

Итоги групповой работы (отчёты представителей, 2 минуты. слайды 7, 8) ● Явление дисперсии обнаруживается при преломлении света ● Лучу каждого простого цвета можно сопоставить световую волну определённой частоты ● Лучи разного цвета (то есть световые волны разной частоты) по-разному преломляются на границе двух сред ● Дисперсия – зависимость показателя преломления от цвета луча (от частоты соответствующей световой волны) ● Показатель преломления можно связать со скоростью распространения световой волны в среде.

$$n = \frac{c}{v}; n_{\phi} = \frac{c}{v_{\phi}}; n_{к} = \frac{c}{v_{к}};$$

$$\frac{n_{\phi}}{n_{к}} = \frac{v_{к}}{v_{\phi}}; n_{\phi} > n_{к} \Rightarrow v_{\phi} < v_{к}.$$

Цвета тел (5 минут)

1. Монохроматический свет – это свет одного цвета, то есть волна определённой частоты (слайд 9).

2. Многообразие цветов и оттенков в окружающем нас мире объясняется разным отражением, поглощением и рассеянием лучей разного цвета (волн разной частоты) (слайды 10, 11). Непрозрачные тела окрашены в тот цвет (цвета), который они отражают. Так, красный непрозрачный предмет лучше всего отражает красные лучи, в меньшей степени – оранжевые и жёлтые, все другие

поглощает. Прозрачные тела имеют тот цвет, который они пропускают.

Основные цвета световых лучей – красный, синий (фиолетовый) и зелёный (слайд 12). Основные (или чистые) цвета красок – красный, жёлтый и синий (слайд 13). Основные цвета нельзя получить смешением лучей других цветов. При смешении лучей (например, на экране монитора, на дискотеке) цвета складываются*. При смешении красок (например, при цветной печати иллюстраций) цвета вычитаются.

3. С помощью дисперсии света можно объяснить такое явление, как радуга (слайд 14). Радуга возникает из-за того, что солнечный свет преломляется в капельках воды, взвешенных в воздухе. Эти капельки по-разному отклоняют лучи разного цвета (красный луч отклоняется на $137^\circ 30'$, а фиолетовый – на $139^\circ 20'$). В результате белый свет разлагается в спектр. Наблюдатель видит концентрические разноцветные окружности (дуги), при этом источник всегда находится за спиной наблюдателя, а преломляющая среда – перед ним [11].

IV. Обобщение материала (2 минуты)

(Слайд 15.) ● Дисперсия света – явление разложения белого света в спектр, например при помощи призмы. Порядок следования цветов в спектре не меняется ● Дисперсия света происходит из-за того, что показатель преломления среды зависит от цвета луча (частоты соответствующей световой волны) ● Дисперсия света показывает, что белый свет – сложный. Он состоит из простых, монохроматических, цветов ● Цвета тел объясняются тем, что они по-разному отражают, поглощают, рассеивают и преломляют лучи разного цвета (световые волны разной частоты).

Вот мы и дали ответ на вопрос, поставленный в начале урока: почему мир дарит нам гамму различных по красоте и неповторимости пейзажей?

V. Закрепление (7 минут)

С помощью оптических явлений – дисперсии, поглощения и отражения света, мы объяснили радугу, цвет предметов, которые нас окружают. А теперь (слайд 16) ответьте мне: ● Что такое дисперсия? ● Почему белый свет, проходя сквозь призму, разлагается в спектр? ● Луч какого цвета преломляется в стекле больше? ● Что произойдёт при соединении всех лучей спектра?

Решение качественных задач (слайд 17): ● На пути белого пучка поставили красный и зелёный светофильтры один за другим. Что получится на выходе? ● Объясните белый цвет снега, чёрный

цвет сажи, красный цвет флага, зелёный цвет листьев. ● Если бы Солнце имело монохроматическое излучение, например, красное, то были бы разноцветными тела на Земле? ● На белом листе написано красными буквами «отлично» и зелёными «хорошо». Через какое стекло – красное или зелёное – надо смотреть, чтобы увидеть оценку «отлично»? ● Почему в комнате с тёмными обоями темно, а со светлыми – светло?

VI. Домашнее задание (1 минута, слайд 18)

§ 66 [1]; используя Интернет и другие источники информации, подготовьте краткие сообщения по одной из тем: «Свет и цвет тел»; «Цветные тела, освещённые белым светом»; «Цветные тела, освещённые светом одного цвета»; «Насыщенность цветов»; «Радуга».

VII. Рефлексия (3 минуты, слайд 19).

Продолжите фразы: ● Сегодня на уроке я узнал... ● Больше всего мне сегодня запомнилось... ● Самым интересным было... ● Очень трудно было.....

Литература

1. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б. Физика. 11 класс. М.: Просвещение, 2004.
2. Рымкевич А.П., Рымкевич П.А. Сборник задач по физике для 10–11 классов средней школы / 10-е изд. М.: Дрофа, 2006.
3. Сауров Ю.А. Физика в 11 классе. Модели уроков: кн. для учителя. М.: Просвещение, 2005.
4. Физика. Большой справочник для школьников и поступающих в вузы / Ю.И. Дик, В.А. Ильин, Д.А. Исаев и др. 3-е изд. М.: Дрофа, 2008.
5. Кириллова И.Г. Дисперсия света: сценарий урока презентацией. URL: <http://festival.1september.ru/articles/412470/>
6. Цветотерапия. URL: <http://www.strannik-moscow.ru/about/news/11-2010-03-30-10-51-58>.
7. Взламывая код да Винчи / Онлайн библиотека. URL: polbu.ru/koks_opencode/ch46_i.html
8. Ньютон, Исаак / Letopisi.Ru. URL: http://letopisi.ru/index.php/Ньютон,_Исаак
9. Учебник по физике. 9 класс. Гл. 1. Световые волны. Урок 5. Дисперсия света. URL: http://www.fizika9kl.pm298.ru/g1_u5.htm
10. Опыт Ньютона по разложению белого света в спектр: слайд-шоу / Единая коллекция ЦОР. Урок 9/34 «Дисперсия. Спектральное разложение» (N 186702): URL: http://files.school-collection.edu.ru/dlrstore/e4af6f28-cb66-4979-a345-07967ff98e84/9_118.swf
11. Как образуется радуга? / Спрашивайте: Просто Константин. URL: <http://otvet.mail.ru/question/7278560/>

* См. «Хроматическое уравнение Максвелла», на с. 28–29. – Ред.

УРОК 2*

(80 минут, группа с повышенными когнитивными способностями, учащиеся приобретают профессию «Оператор на наборно-компьютерной технике»)

При преподавании общеобразовательных предметов в учебных учреждениях начального профессионального типа сама структура образования предусматривает интеграцию общеобразовательной и специальной учебных дисциплин: физики и основ цветоделения. У нас широко практикуются бинарные уроки, что способствует формированию целостной системы представления об окружающем мире, способствует повышению интереса к учебным предметам.

Цели урока: образовательная – формирование знаний о дисперсии, о спектральном составе белого света; развивающая – продолжить формирование умений устанавливать причинно-следственные связи между фактами, выдвигать гипотезы, обосновывать их и проверять достоверность; воспитательная – продолжить формирование познавательного интереса к физике и формирование коммуникативных умений.

Задачи урока:

Учащиеся должны усвоить – ● белый свет при прохождении через призму разлагается в спектр вследствие явления дисперсии ● световые лучи разного цвета при падении на границу раздела двух сред преломляются по-разному: красные – меньше, а фиолетовые – больше ● объективная характеристика цвета – частота электромагнитной волны, соответствующей лучу данного цвета.

Учащиеся должны научиться – ● формулировать понятие «дисперсия света» ● распознавать явление дисперсии света среди других явлений ● узнавать дисперсию света в конкретной ситуации.

Учащиеся должны убедиться в том, что – ● представления о физических явлениях, которые возникают в нашем сознании в результате их изучения, соответствуют действительности, то есть являются отражением объективно существующего мира.

Оборудование: компьютер, мультимедийный проектор, на каждую группу – призма, экран со щелью, источник света, экран; компьютерная пре-

зентация, выставка работ учащихся по теме «Свет и цвет», рабочие листы с краткими указаниями по проведению исследования и образцом оформления результатов, задания для учащихся; учебная литература [2]–[7].

Ход урока

I. Организационный этап (1 минута)

II. Мотивация (5 минут)

Учитель (слайд 1.) «Цвет может успокоить и возбудить, создать гармонию и вызвать потрясение. От него можно ждать чудес, но он может и вызвать катастрофу». *Жак Вьено* (французский художник, дизайнер).

● Вам очень к лицу этот свитер; он отлично отражает световые волны длиной 650 нм (*красный цвет*)! ● А вы прекрасно выглядите в этом костюме – в нём очень искусно смешаны две основные краски: жёлтая и голубая (*зелёный цвет*) ● А вы восхитительно выглядите в блузке удивительно спокойного оттенка (*зелёный или синий цвет*) [1]. Как вы, наверное, уже догадались, речь пойдёт о...

Учащиеся. О цвете.

Учитель. Цвет – это психо-физическая характеристика света. Мы продолжаем изучать это чудесное явление природы. Как называется раздел физики, который изучает свойства света?

Учащиеся. Оптика.

Учитель. Какие свойства света вам известны из предыдущих уроков?

Учащиеся. Геометрические.

Учитель. Чтобы вспомнить геометрические свойства света, послушаем стихотворение Геннадия Шпаликова «Можайск» (*слайды 2–6 с видами Можайска, в музыкальном сопровождении*) [8].

В жёлтых липах спрятан вечер,
Сумерки спокойны сини,
Город тих и обесцвечен,
Город стынет.
Тротуары, тротуары
Шелестят сухой листвою,
Город старый, очень старый
Под Москвою.
Деревянный, краснокрышый,
С бесконечностью заборов,
Колокольным звоном слышен
Всех соборов.
Полутени потемнели,
Тени смазались краями,
Переулки загорели
Фонарями.
Здесь остриженный, безусый,
В тарантасе плакал глухо
Очень милый, очень грустный
Пьер Безухов.

* Урок составлен в соавторстве с Шелемовой О.Н., мастером производственного обучения по профессии «Оператор по наборно-компьютерной технике». Используются идеи С.А. Ловягина [1].



1. Внешние признаки явления

Исаак Ньютон изумительно просто опроверг теорию Аристотеля. Он направил на призму красный свет и продемонстрировал, что тот, пройдя через призму, не изменяет окраску, что новых цветов не появляется. Затем на призму были направлены пучки других простых цветов – эффект был тем же. Значит, призма не окрашивает свет.

3. Сущность явления

$\alpha_{1К} < \alpha_{1З} < \alpha_{1С}$
 $\alpha_{2К} < \alpha_{2З} < \alpha_{2С}$

Преломление лучей трёх простых цветов в призме

Белый свет сложный, состоит из множества цветов. Призма лишь разделяет его на содержащиеся в нём простые цвета.

5. Связь данного явления с другими

Каждому цвету соответствует световая волна определённой частоты.

Мы видим световые волны частотой от $7,9 \cdot 10^{14}$ до $3,9 \cdot 10^{14}$ Гц. Длина волны изменяется соответственно от $\sim 3,8 \cdot 10^{-7}$ м до $\sim 7,6 \cdot 10^{-7}$ м

Цвет	Длина Волны
Фиолетовый	380-430
Синий	470-500
Голубой	430-470
Зеленый	500-560
Желтый	560-590
Оранжевый	590-620
Красный	620-760

6. Количественные характеристики явления

• Явление дисперсии наблюдается при преломлении света.
 • Показатель преломления – это отношение скорости света в вакууме к скорости света в среде.

$$n_{\text{ф}} = \frac{c}{v_{\text{ф}}}; n_{\text{к}} = \frac{c}{v_{\text{к}}}$$

$$n_{\text{ф}} = \frac{v_{\text{к}}}{v_{\text{ф}}}; n_{\text{ф}} > n_{\text{к}} \Rightarrow v_{\text{ф}} < v_{\text{к}}$$

В веществе скорости световых волн разных частот различны.
 • максимален показатель преломления для «фиолетовой» волны, вызывающей в нашем глазу ощущение фиолетового цвета;
 • минимален – для «красной» волны;
 • следовательно, скорость «фиолетовой» волны минимальна, скорость «красной» волны максимальна.

При переходе световой волны из одной среды в другую изменяются её скорость v и длина волны λ ($v = \lambda \nu$), частота же ν , определяющая цвет, остаётся постоянной!!!

Это только малая часть той красоты, которой мы наслаждаемся ежедневно, глядя вокруг себя. И всё это – благодаря свету.

3. Актуализация знаний для изучения нового материала (7 минут)

Учитель (слайд 7). Найдите строки, описывающие явления, которые объясняются геометрическими свойствами света.

Учащиеся. «В жёлтых липах скрытан вечер» – прямолинейное распространение света. Листья не пропускают свет, поэтому под деревьями темнее, чем на открытом пространстве. А вот почему «липы жёлты» с точки зрения теории цвета, мы надеемся узнать сегодня.

«Полутени потемнели, // Тени смазались краями» – возникновение тени и полутени, что является одним из доказательств прямолинейного распространения света.

«Переулки загорели // Фонарями» – распространение света от источника и его отражение от тел. Закон отражения.

Учитель. Какое явление здесь не рассмотрено?

Учащиеся. Явление полного внутреннего отражения света.

Учитель. Какой закон геометрической оптики мы не упомянули?

Учащиеся. Закон преломления света.

Учитель. Дайте определение показателя преломления. (*Ответы.*) Мы знаем, что оптика изучается в двух разделах. Назовите их.

Учащиеся. Геометрическая и волновая.

Учитель (слайд 8). В геометрической оптике рассматривается распространение лучей, природа света не раскрывается. Мы уже говорили о том, как нелегко рождалась теория света. Исаак Ньютон рассматривал свет как поток корпускул*. Христиан Гюйгенс ввёл представление о свете как волне, но он считал, что это волна в веществе (эфире) между источником света и наблюдателем, и связывал волну с переносом энергии. Джеймс Максвелл пришёл к представлению света как электромагнитной волне. Давайте вспомним определение волны.

Учащиеся. Волна – это возмущение (изменение состояния) среды, распространяющееся в этой среде и сопровождающееся переносом энергии от источника колебаний.

Учитель. А теперь попробуем дать определение свету как волне.

Учащиеся. Свет – это электромагнитная волна, то есть, по Дж. Максвеллу, распространение в пространстве возмущений электромагнитного поля. Она распространяется в вакууме со скоростью 300 000 км/с. Это самая высокая скорость в природе.

Учитель. Вчитаемся ещё раз в стихотворение «Можайск» (слайд 7). Выделим явления, связанные с окраской: липы жёлтые, сумерки сини, город обесцвечен, город краснокрыший. Этот

* Не следует думать, что Ньютон под «корпускулами» понимал частицы вещества в нашем теперешнем понимании. Читаем у С.И. Вавилова (см. [5] в списке рекомендуемой редакцией литературы на с. 21): «Мы видели, что причина цветов не в телах, а в свете, поэтому у нас имеется прочное основание считать свет субстанцией... Не так легко, однако, с несомненностью и полностью, сказать, что такое свет, почему он преломляется и каким способом или действием он вызывает в нашей душе представление цветов; я не хочу здесь смешивать домыслы с достоверностью». И далее: «...свет нельзя определить как эфир или его движение; свет – нечто распространяющееся от светящихся тел... Можно предположить, что свет это материальная эманация или движение, или импульс, или что-нибудь другое, что может показаться более удобным...». – Ред.

световой эффект и называется *цветом*. Какое значение имеет для нас цвет? Давайте закроем глаза на несколько секунд. Что вы чувствуете? Отвечайте, не открывая глаз.

Учащиеся. Пустота... темнота... сон... неизвестность.

Учитель. Откройте глаза. Что вы чувствуете?

Учащиеся. Покой... равновесие... всё хорошо... хорошо, что есть свет... хорошо, что я вижу свет... [9].

Учитель. А что такое цвет? (*Выслушивает ответы учащихся*.) Цвет (*слайд 9*) – осознанное зрительное ощущение, возникающее под воздействием электромагнитных волн определённой частоты. Чтобы «увидеть» цвет, нужны три условия: ● наличие источника цвета – например, освещённого объекта (это физическая часть нашей схемы); наличие приёмника цвета – то есть глаза (это физиологическая часть нашей схемы) и, наконец, анализатора, роль которого выполняет мозг (это психофизиологическая часть схемы).

4. Объявление темы, постановка цели (6 минут)

Учитель. Мы много говорили о цвете. Одно из явлений, которое обуславливает появление в природе феномена цвета – *дисперсия*. Запишем цели сегодняшнего урока (*слайд 10*). Составим план изучения явления «дисперсия» (*слайд 11*): ● Внешние признаки явления (признаки, по которым обнаруживается явление) дисперсии ● Условия, при которых наблюдается явление ● Сущность явления (объяснение с научной точки зрения) ● Определение явления ● Связь данного явления с другими (выявление факторов, от которых оно зависит) ● Количественные характеристики явления (выявление величин, характеризующих явление, связи между величинами, формул, выражающих эту связь) ● Использование явления на практике [10].

5. Объяснение нового материала (32 минуты)

Учитель. Рассмотрим подробнее каждый пункт плана.

1. Внешние признаки явления. Об этом вы беседовали на уроке «Графика и основы дизайна». Сейчас преподаватель этого предмета поможет вспомнить ключевые моменты.

Преподаватель (слайд 12). Аристотель объяснял появление цветов тем, что, проходя через призму, свет смешивается с тьмой и окрашивается в разные цвета. Немного темноты, добавленной к свету, даёт красный свет. Большое её количество – фиолетовый. Эта теория господствовала в науке до тех пор, пока Исаак Ньютон изумительно просто не опроверг теорию Аристотеля. Он направил на призму красный свет. Пройдя через призму, тот не изменил окраску, да и новых

цветов не появилось [11]. Затем на призму были направлены лучи других простых цветов – эффект оказался тем же.

2. Условия, при которых происходит явление (слайд 13, кадры 1–3 слайд-шоу [12]). В 1666 г. Исаак Ньютон направил в затемнённую комнату через маленькое отверстие в ставне тонкий луч солнечного света на стеклянную призму. Падая на призму, луч преломлялся и давал на противоположной стене удлинённое изображение с радужным чередованием цветов (спектром, от лат. *spectra* – *видение*).

Экспериментальная работа в малых группах (*наблюдение за преломлением и разложением света в трёхгранной призме*): ● Когда происходит разложение света на цвета? ● Как отклоняются лучи? ● Какая картина спектра наблюдается? ● Какие цвета можно выделить?

Лист оформления результатов:

Белый свет разлагается на цвета, когда _____.

Свет разлагается на составляющие при _____.

Свет отклоняется к основанию _____ при переходе луча света _____.

Спектр – это _____.

Спектр условно разделён на 7 цветов: _____.

3. Сущность явления, его механизм. Явление дисперсии наблюдается, когда белый свет разлагается на составляющие его простые цвета, например, при прохождении через призму (*слайд 14*). В 1666 г. Ньютон провёл многочисленные опыты с призмой. Наблюдая за ходом лучей, он установил, что показатель преломления среды зависит от цвета светового луча. Наибольшее преломление испытывают лучи фиолетового света, а наименьшее – красного. После негативного отзыва на доклад Ньютона Р. Гука, подкреплённого мнением Х. Гюйгенса, европейские учёные весьма скептически отнеслись к его открытию. Да и почти сто лет спустя немецкий поэт и естествоиспытатель И.-В. Гёте писал (*слайд 15*): «Утверждение Ньютона – чудовищное предположение. Не может быть, что самый прозрачный, самый чистый цвет – белый – оказался смесью цветных лучей» [13]. Главный вопрос Гёте к Ньютону, вопрос-недоумение, вопрос-возмущение, сформулирован им со всей открытой наивностью ребёнка: как можно исследовать свет в тёмной комнате? Он считал, что исследованный Ньютоном свет – это уже не тот свет, с каким мы встречаемся в естественной обстановке, а свет, «замученный всякого рода орудиями пытки – щелями, призмами, линзами».

Гёте и Ньютон были разными людьми по мировосприятию: Ньютона интересовали количественные характеристики, Гёте же – чувственно-психическое воздействие цвета. Но сегодня мы объединяем фи-

зика и лирика: цвет — это целый мир. Он — и живопись, и математика, и эстетика [14].

Классическая электромагнитная теория, объясняющая механизм дисперсии, была создана в конце XIX в. Х.-А. Лоренцем. Согласно этой теории, дисперсия света является результатом взаимодействия световой волны с молекулами вещества.

4. Определение явления (слайд 16). Исследованное Ньютоном явление было названо *дисперсией*. Сам Ньютон своё открытие сформулировал в виде теорем, две из которых гласят: «1. Лучи, отличающиеся по цвету, отличаются по степеням преломляемости. 2. Солнечный свет состоит из лучей различной преломляемости».

Современная формулировка: «Дисперсия — явление разложения света на цвета вследствие зависимости показателя преломления от частоты световой волны».

5. Связь данного явления с другими (слайд 17). Ньютон дал совершенно точное описание дисперсии, даже не ведая об электромагнитной природе света. Это сегодня мы можем утверждать, что каждому простому цвету соответствует электромагнитная волна определённой частоты (и следовательно определённой длины волны при распространении в данном веществе), что видимый спектр ограничен областью частот от $7,9 \cdot 10^{14}$ Гц до $3,9 \cdot 10^{14}$ Гц (соответственно диапазон длин волн при распространении в вакууме — от $\sim 3,8 \cdot 10^{-7}$ до $\sim 7,6 \cdot 10^{-7}$ м).

6. Характеристики явления — количественные и качественные (слайд 18). Показатель преломления $n = c/v$. В одном и том же веществе скорость распространения света для волны каждой частоты своя,

$$\text{например, } n_{\phi} = \frac{c}{v_{\phi}}; n_{\kappa} = \frac{c}{v_{\kappa}} \Rightarrow \frac{n_{\phi}}{n_{\kappa}} = \frac{v_{\kappa}}{v_{\phi}}.$$

Мы знаем из опыта, что $n_{\phi} > n_{\kappa}$, значит $v_{\phi} < v_{\kappa}$.

При переходе из одной среды в другую изменяется скорость света v , частота же ν , определяющая цвет, остаётся постоянной. Поэтому можно сказать: **дисперсия — это зависимость показателя преломления среды от частоты световой волны.**

Остановимся на полиграфических характеристиках цвета (слайд 19) — они несколько отличаются от принятых в физике, которые базируются на понятиях светового потока и силы света (см. текст в рамке внизу).

Светлота — количественная характеристика цвета, но субъективная. Этот признак цвета характеризует вызываемое им ощущение. Его используют лишь при сравнении группы предметов, то есть определяют светлоту одного из предметов относительно светлоты других.

Яркость — ещё одна количественная характеристика цвета. Это интенсивность воздействующего на глаз излучения (светового раздражения), от которого зависит сила светового ощущения.

Цветовой тон — качественная характеристика цвета, его основной признак, характеризующий отличие одного цвета от другого и качественно определяемый понятиями (названиями, словами), например, синий, алый, оранжевый и так далее (*переход по щелчку к палитре красок на слайде 19*). Натренированный человек способен различать около 180 цветовых тонов. Белый, чёрный и серый цвета не имеют цветового тона, они называются *ахроматическими*. Все остальные цвета, имеющие цветовой тон, называются *хроматическими*. Цветовой тон — субъективная, обусловленная свойствами зрительного восприятия человека характеристика цвета соответствующего излучения, объективной характеристикой которой является частота.

Насыщенность цвета (возвращение по щелчку к первой картинке на слайде 19) — также ка-

- Световой поток — поток лучистой энергии, оцениваемый по действию на глаз человека. Чтобы перейти от энергетического потока в ваттах к световому в люменах используют функцию видности, характеризующую чувствительность глаза к световому излучению при разной длине волны падающего света.
- Сила света — световой поток в единице телесного угла. Единица силы света — к а н д е л а — одна из семи основных в системе СИ.
- Яркость — сила света, отнесённая к единице площади светящейся поверхности в направлении, нормальном к поверхности.
- Светность — величина светового потока, отнесённая к единице площади светящейся поверхности. Светность и яркость характеризуют видимую светлоту предмета.
- Насыщенность данного цвета — величина, которая определяется как отношение светового потока при данной длине волны к сумме этого потока и светового потока белого света.
- Коэффициентом яркости (светлотой) называется отношение яркости рассеивающей свет матовой поверхности к яркости абсолютно белой поверхности, находящейся точно в таких же условиях освещения.

Шаронов В.В. Свет и цвет.
М.: Гос. изд-во ФМЛ, 1961. С. 312

чественная характеристика цвета, степень субъективного восприятия цветового тона, величина, показывающая, насколько данный конкретный цвет отличается от белого или серого. Эта характеристика цвета соответствует характеристике излучения – *чистоте цвета*: если любой цвет оптически сложить с белым, цветовой тон останется неизменным, однако визуально они будут отличаться. Поэтому можно считать, что насыщенность есть ощущение чистоты цвета. У цветов одного тона человек способен различить до 25 градаций насыщенности [15].

Цветовой тон и насыщенность влияют на светлоту (слайд 20). Например, синие цвета имеют меньшую светлоту (кажутся более тёмными), чем жёлтые и зелёные, а красные занимают промежуточное положение. С увеличением насыщенности светлота уменьшается. Поэтому, к примеру, насыщенно-синий цвет воспринимается как тёмно-синий.

7. Использование явления на практике и проявление в природе. Все эти характеристики очень важны для нас при работе с компьютером.

Цветовое оформление первых печатных книг было довольно скромным (слайд 21). Основным цветом в книге был чёрный, его в меру дополнял красный. На протяжении веков цвет в книгопечатании постепенно отвоевывал место на страницах изданий и сейчас достаточно прочно обосновался в детских книгах (слайд 22), иллюстративных журналах, книгах, плакатах в связи с развитием техники полиграфического воспроизведения цветного изображения. Более подробно о цветном оформлении мы поговорим с вами на уроках «Цветоделения» на 3 курсе.

Радуга возникает из-за того, что солнечный свет испытывает преломление в капельках воды, взвешенных в воздухе (слайд 23). Эти капельки по-разному отклоняют световые лучи разных цветов (красный свет отклоняется на $137^\circ 30'$, а фиолетовый – на $139^\circ 20'$), в результате белый свет разлагается в спектр. Наблюдателю кажется, что в пространстве светятся разноцветные концентрические окружности (дуги) (при этом источник яркого света всегда находится за спиной наблюдателя) [16]. В водяной капле происходят явления: преломление, отражение и дисперсия, то есть разложение белого света в спектр (слайд 24).

Окраска различных предметов, освещённых одним и тем же источником, бывает разной (слайд 25). Основную роль в таких эффектах играют явления отражения и пропускания света. Как мы видим цвет (слайд 26)? Наш глаз «смешивает» цвета, а не разлагает, как призма. Теперь можно объяснить, почему мы видим огурец зелёным (*выслушивает ответы*). Мы, практики, работающие с цветом на компьютере, должны обязательно учитывать физиологию зрительного восприятия и знать основы теории цвета.

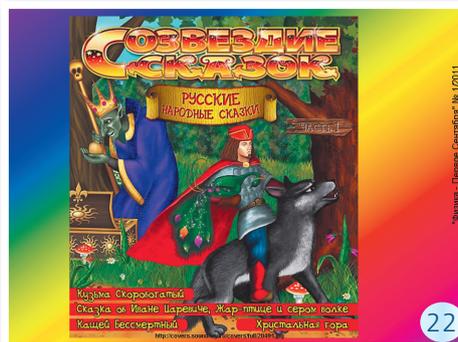
6. Обобщение материала (6 минут)

Обсуждение выводов (слайды 27, 28).

7. Контроль усвоения знаний (15 минут)

Учитель. Перед каждым из вас лежат карточки трёх категорий (уровней сложности) с заданиями, выполните их письменно. Критерии оценивания – на слайде 29 (63...76 баллов – «5»; 50...62 балла – «4»; 38...49 балл – «3»).

1 категория (каждый правильный ответ – 5 баллов): ● Почему дисперсионный спектр белого света, полученный при его пропу-



скании через стеклянную призму, сжат в красной части и растянут в фиолетовой? (*Ответ.* Зависимость показателя преломления стекла от частоты в области коротких волн сильная, а в области длинных волн – слабая) ● Зелёный пучок цвета переходит из воздуха в воду. Меняются ли при этом его частота, длина волны, цвет? (*Ответ.* Длина волны в воде в n раз меньше, чем в воздухе; частота волны и, следовательно, цвет пучка не изменяются.) ● На пути белого пучка поставили красный и зелёный светофильтры, один за другим. Что получится на выходе? (*Ответ.* Красный светофильтр пропускает только красный свет, а зелёный его поглощает, следовательно, на выходе света не будет вообще.) ● Почему цвет картин или других материалов при дневном и электрическом освещении разный? (*Ответ.* Цвет определяется отражённым излучением, а его состав зависит от состава падающего излучения.) ● Почему в комнате с тёмными обоями темно, а со светлыми светло? (*Ответ.* Тёмные обои поглощают свет сильнее, чем светлые.) ● Почему при точном определении показателя преломления вещества пользуются не белым светом, а монохроматическим? (*Ответ.* Показатели преломления лучей различного цвета неодинаковы из-за дисперсии.) ● Почему сигналы опасности подаются красным светом в то время, как глаз наиболее чувствителен к жёлто-зелёному свету? (*Ответ.* Красный свет виден с наибольшего расстояния, так как меньше всего рассеивается в атмосфере.)

2 категория (каждый правильный ответ – 4 балла): ● Почему белый свет, проходя сквозь призму, разлагается в цветной спектр? ● Какие цвета и в какой последовательности наблюдаются в спектре? ● Какие лучи больше всего преломляются при прохождении через призму? ● 4. Изменяется ли длина световой волны и частота колебаний при переходе волны в среду? ● Для фиолетового или для красного луча показатель преломления вещества больше? ● Какой свет будет распространяться в призме из стекла с большей скоростью? ● Что произойдёт при соединении всех световых лучей спектра? ● Как объяснить, что при освещении солнечным светом мы видим траву зелёной, цветы – красными?

3 категория (каждый правильный ответ – 3 балла) ● Дайте определение дисперсии ● Что показывает дисперсия? ● Где наблюдается дисперсия?

8. Рефлексия (5 минут)

9. Домашнее задание (3 минуты, слайд 33)

Проработайте конспект. Составьте структурную таблицу по § 66 [4]. Пронаблюдайте дисперсию на практике и опишите картину спектра.

Литература

1. Конкурс «Учитель года Москва 2005. Мастер-класс Сергея Ловягина»: URL: <http://teacher2005.nm.ru/text-master.htm>. <http://fiz.1september.ru/article.php?ID=200600606>
2. Авторский коллектив ведущих специалистов ИОСО РАО. Физика: Школьный курс. М.: АСТ ПРЕСС, 2000.
3. Громов С.В. Физика. 11 класс / Под ред. Н.В. Шароновой. 2-е изд., перераб. М.: Просвещение, 2001.
4. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б. Физика. 11 класс. М.: Просвещение, 2004.
4. Сауров Ю.А. Физика в 11 классе. Модели уроков: кн. для учителя. М.: Просвещение, 2005.
5. Касьянов В.А. Физика. 11 класс. М.: Дрофа, 2002.
6. Комолова Н. Компьютерная вёрстка и дизайн. БХВ. Петербург, 2003.
7. Конкурс «Учитель года Москва 2005. Мастер-класс Сергея Ловягина»: URL: <http://teacher2005.nm.ru/text-master.htm>. <http://fiz.1september.ru/article.php?ID=200600606>
8. Стихия: URL: <http://www.litera.ru/stixiya/authors/shpalikov/v-zheltyx-lipax.html>
9. Мануфричева Н.В. О, сколько нам открытий чудных!...: Разработка урока [сайт] http://mnatali2007.narod.ru/developments_lesson.html#svet
10. Усова А.В. Формирование учебно-познавательных умений в процессе изучения предметов естественного цикла // Физика-ПС. 2006. № 16. [Электронная версия] URL: <http://fiz.1september.ru/2006/16/02.htm>
11. Девнина Т.А. Дисперсия света: урок в 11 классе [сайт] URL: <http://festival.1september.ru/articles/507395/>
12. Опыт Ньютона по разложению белого света в спектр: слайд-шоу / Единая коллекция ЦОР. Урок 9/34 «Дисперсия. Спектральное разложение» (N 186702): URL: http://files.school-collection.edu.ru/dlrstore/e4af6f28-cb66-4979-a345-07967ff98e84/9_118.swf
13. Тарханов О.В. Неизвестная дисперсия / Проект бесплатных публикаций [сайт] URL: http://www.creationlab.ru/article/art_art/2009/TarchanovOV.html
14. Стефанов С. Цвет Гёте и Ньютона [сайт] URL: <http://www.lifedesign.ru/articles/all/polygraphy-materials/color-gete-newton.html>
15. Основные характеристики света и его синтез: [сайт] URL: <http://shpora.vtochke.com/index.php/allspr?id=1948>
16. Как образуется радуга? / Просто Константин. Спрашивайте!!! [сайт] URL: <http://otvet.mail.ru/question/7278560/>

УРОК 3

(40 минут, группа с пониженной мотивацией к изучению физики, учащиеся приобретают профессию «Машинист брошюровочно-переплётных агрегатов»)

■ Нетрадиционный урок – одна из форм организации обучения и воспитания учащихся. Данный урок ориентирован на образно-чувственное восприятие материала. Предлагаемое объяснение нового материала в форме урока-беседы сопровождается слайд-шоу произведений живописи, фрагментами из литературных произведений. Такой приём позволяет полнее раскрыть тему урока «Дисперсия. Свет в природе», способствует повышению заинтересованности учащихся в изучении предлагаемого материала (мотивированности), а значит способствует закреплению полученных знаний и, в конечном итоге – лучшей успеваемости.

Цели урока: осознание учащимися гармонии эстетического и естественно-научного начал в познании мира.

Задачи урока: сформировать представления учащихся о сложном составе белого цвета ● продемонстрировать возможность как разложения белого света в спектр, так и синтеза белого света из монохроматических цветов непрерывного спектра ● показать, что показатель преломления зависит от скорости света в веществе и что это явление является причиной дисперсии ● показать, как художники в своих произведениях используют смешение цветов ● повторить и систематизировать знания по теме «Отражение и преломление света. Законы отражения и преломления света».

Учащиеся должны: ● закрепить знания законов отражения и преломления света, понятия электромагнитной волны, длины волны, скорости, периода, частоты, показателя преломления ● уметь применять формулу для скорости света в зависимости от длины волны и частоты ● узнать о зависимости показателя преломления от скорости света в веществе, о дисперсии света, потренироваться в решении качественных задач ● закрепить полученные на уроке знания в ходе итоговой проверки.

Оборудование: компьютер, проектор, призмы, источники света, щелевые диафрагмы, экраны, тетради для лабораторных работ, презентация, учебная литература [1]–[6].

Ход урока

I. Активизация знаний полученных на уроках литературы, классных часах, из жизненного опыта. (5 минут)

Учитель (слайды 1, 2). Ребята, сегодня наш разговор посвящается свету и цвету в природе. Проблемой цвета занимались и титан эпохи Возрождения Леонардо да Винчи, и великий физик И. Ньютон, и поэт и писатель, автор «Фауста» И.-В. Гёте. Давайте поразмышляем над вопросом: какая роль отведена цвету в нашей жизни?

Ваша профессия связана с книгами, репродукциями, картинами. Вот и начнём урок с экскурсии в крупнейший музей нашей страны – Государственную Третьяковскую галерею. Это крупнейшее в мире собрание произведений русских художников. Основан музей в 1856 г. П.М. Третьяковым. Здесь хранятся работы таких известных художников, как В.Г. Перов, И.Н. Крамской, В.Е. Маковский, братья Васнецовы, А.К. Саврасов, В.Д. Поленов, И.Е. Репин, В.И. Суриков, В.В. Верещагин.

Остановимся на русской портретной живописи XVIII–XIX вв. Вот портрет Струйской кисти Фёдора Степановича Рокотовым (слайд 3) [7]. Женщина на портрете как будто выступает из сумеречной дымки. Чётко прописаны только выразительные глаза – яркие, приковывающие взгляд. Как прекрасно описывает эти глаза Николай Заболоцкий в своём стихотворении «Портрет» (1953 г.) [8]:

...Её глаза – как два тумана,
Полуулыбка, полуплач,
Её глаза – как два обмана,
Покрытых мглою неудач.
Соединенье двух загадок,
Полувосторг, полуйсуг,
Безумной нежности припадок,
Предвосхищенье смертных мук...

А теперь посетим другой всемирно известный музей нашей страны – Государственный Русский музей, который находится в Санкт-Петербурге. В одном из залов находится картина К.П. Брюллова «Последний день Помпеи» (слайд 4) [9]. О ней можно рассказывать бесконечно. Известный английский писатель Вальтер Скотт, рассматривая этот шедевр, сказал с восторгом: «Это не картина, это целая поэма» [10].

Но сейчас мне бы хотелось остановиться на том, что приковывает ваши взгляды – это цветность картины, которая передаёт переживание исторического события с помощью внешнего приёма: ослепительная молния, отбрасывая свет на всё, придаёт картине холодный синеватый колорит. Художник словно бы откликнулся на слова Пушкина: «Прекрасное должно быть величаво...». Цвет эмоционально выразителен, он несёт в себе ощущение гибели, смертельного ужаса. Достаточно посмотреть, как переливаются тона

дисперсии, которое помогло учёным подойти к пониманию природы и законов цветового ощущения. Запишем тему урока.

II. Актуализация знаний (5 минут)

Фронтальный опрос (слайд 7): ● Что такое свет? ● Назовите характеристики волны ● Запишите формулу, связывающую частоту волны с длиной волны и скоростью распространения волны ● Чему равна скорость света в вакууме? ● Как изменяется скорость света при переходе волны из вакуума в среду? ● Как изменяется скорость света при переходе волны из одной среды в другую? ● Как изменяется частота световой волны при переходе волны из одной среды в другую? ● Что такое показатель преломления? ● Как зависит показатель преломления от скорости распространения световой волны?

III. Объяснение нового материала (18 минут)

Учитель. Давайте внимательно проанализируем формулу $n = c/v$. Показатель преломления рассчитывается как отношение двух величин: скорости света в вакууме c (эта величина постоянная, равная 300 000 км/с) к скорости света в среде v . Следовательно, в средах, где показатель преломления больше, скорость света меньше, и наоборот, в средах, где показатель преломления меньше, скорость света больше. На прошлом уроке мы выполняли лабораторную работу. Напомните, пожалуйста, цель этой работы.

Учащиеся. Определить показатель преломления стекла, вычислить скорость света в стекле и сравнить её со скоростью света в воздухе, менее оптически плотной среде.

Учитель. В выводах вы должны были подчеркнуть, что скорость света в стекле, согласно формуле $n = c/v$, меньше, чем скорость в воздухе.

Скорость v можно выразить через длину волны λ и частоту ν с помощью формулы: $v = \lambda\nu$ (слайд 8). И вот сейчас прозвучит ключевой момент нашего урока. Оказывается, свет имеет такую замечательную особенность: при переходе из одной среды в другую изменяется скорость распространения волны v , изменяется длина волны λ , но **никогда не изменяется частота** ν . А каждой частоте (в видимом диапазоне спектра. – *Ред.*) можно сопоставить цвет, который мы видим. **Зависимость показателя преломления от частоты и называется дисперсией.**

Это явление первым изучил великий английский физик И. Ньютон в 1666 г. Рассмотрим его известный опыт (слайд 9). Солнечный луч проходил в затемнённую комнату через маленькое отверстие в ставне. Падая на стеклянную призму, он преломлялся и давал на противоположной стене своё удлинённое изображение с радужным чередованием цветов. Эту радужную полоску Ньютон назвал *спектром* (от лат. *spectrum* – *видение*) и условно вы-

делил в нём семь простых цветов (слайд 10): красный, оранжевый, жёлтый, зелёный, голубой, синий, фиолетовый. Так Ньютон открыл, что обычный белый свет состоит из множества цветных лучей, смешанных друг с другом. Лучи, которые после прохождения через призму, не разлагаются в спектр, Ньютон назвал *простыми*.

Фронтальный эксперимент. Попробуйте и вы с помощью стеклянной призмы увидеть спектр. Объясните, почему наблюдалась такая картина?

Свет каждого простого цвета распространяется со своей скоростью, а показатель преломления связан со скоростью уже известной нам зависимостью: $n = c/v$. Поэтому можно сформулировать так: **дисперсия – это зависимость показателя преломления от скорости света в среде.**

Учитывая обратную зависимость между показателем преломления и скоростью света в среде (слайд 11) и зная по результату проведённого вами фронтального эксперимента, как изменяется показатель преломления в стекле в зависимости от цвета, определите (*ответ запишите в тетрадь*), какому цвету соответствует наибольшая скорость света в стекле.

Выводы (слайд 12): ● Зависимость показателя преломления от скорости света называется дисперсией света ● Стеклянная призма (в воздухе) отклоняет падающий луч белого света к основанию и разлагает его в спектр ● Скорость «фиолетовой» волны цвета меньше скорости «красной» волны, поэтому она преломляется сильнее ● Различным простым цветам соответствуют волны своей длины волны и частоты ● При переходе из одной среды в другую меняется скорость и длина волны, частота остаётся постоянной.

Знание законов оптики позволяет художникам создавать шедевры живописи (слайд 13). Почему нас окружает такой красочный, радостный, многоликий мир? Вспомним, что мы с вами воспринимаем всё окружающее в отражённом свете, то есть видим предмет в том цвете, который отражается от поверхности (слайд 14). Если яблоко красное, значит, все лучи, кроме красного, поглощаются, а красный отражается. Цвета непрозрачных тел определяются сочетанием тех простых цветных лучей, которые лучше всего отражаются. Цвета прозрачных тел – сочетанием простых цветных лучей, которые лучше всего пропускаются данным телом (слайд 15). Например, зелёный непрозрачный предмет лучше всего отражает зелёные лучи. Зелёный прозрачный предмет лучше всего пропускает зелёные лучи. Белый предмет одинаково хорошо отражает все простые лучи. Чёрный предмет – одинаково хорошо поглощает все простые лучи.

Простые лучи одного цвета называются монохроматическими. Монохроматический свет – это волна

Окраска предметов

Исключение какого-либо цвета (или нескольких) из состава белого света при отражении веществом световых волн определённой длины волны

Возникновение зрительного цветового ощущения

*Физика - Первое сентября № 1/2010

14

Иван Константинович Айвазовский
«Буря»

П.А. Федотов «Святослав Рюрикович»

Михаил Александрович Врубель
Царевна-Лебедь

13

Краски Дионисия

Дионисий. Претче о смятении Христа в доме Симоны Фарисея. Фреска на западной стене собора в Археологическом музее. 1502г.

Дионисий. Архангел Гавриил. Фреска на западной стене Собора в Археологическом музее. 1502г.

*Физика - Первое сентября № 1/2010

17

Вопросы для контроля

Какой из рисунков правильно отображает разложение света в призме?

Расположите цвета в том порядке, в каком они следуют в спектре (в порядке уменьшения показателя преломления)

красный

жёлтый

оранжевый

голубой

фиолетовый

зелёный

синий

19

Домашнее задание

- Разложите солнечный луч в спектр. Поставьте зеркало в воду под небольшим углом. Поймайте зеркалом солнечный луч и направьте его на стену. Поворачивайте зеркало до тех пор, пока не увидите спектр. Между свободной поверхностью воды и поверхностью находящейся под водой части зеркала образуется призма, которая разлагает солнечный свет на составляющие его простые цвета.
- Подготовьте сообщение «Радуга – загадка природы, или Дисперсия».
- Проработайте конспект с помощью учебника Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев «Физика-1» § 66.
- Отметьте проблемные места.

*Физика - Первое сентября № 1/2010

26

одной определённой частоты (слайд 16). Ваша профессия связана с цветным оформлением, на спецдисциплинах вы узнаете о группах деления цветов.

Вернёмся к живописи (слайд 17). Свойства цвета использовали древние художники в своей живописи. И сейчас специалистов удивляют оттенки красок Дионисия — ведущего московского иконописца (изографа) конца XV — начала XVI вв. [14].

Стихия света входит в стихию красок, сливается с ней и преобразует. Утрачивая былую плотность и силу, краски Дионисия становятся прозрачными, как бы акварельными или витражными. Вместе с тем появляется множество полутонов, колорит становится изысканно-утончённым, но не теряет одухотворённости. Безукоризненно владея тонами и полутонами, Дионисий противопоставляет им тёмные, почти чёрные, и этот контраст ещё усиливает прозрачность и воздушность цветовой атмосферы его икон.

Работы Дионисия обладают большой светоносностью. В палитре Дионисия очень редко тот или иной цвет даётся во всю силу тона. Дионисий предпочитает гармонизировать лёгкие и радостные бирюзовые и светло-зелёные, сиреневые и светло-коричневые, нежнейшие розовые и палевые цвета, незаметно переходящие в сияющий белый и соседствующие иногда с густыми пурпурно-вишнёвыми и тёмно-коричневыми. Объединённые яркой синевой лазурного фона, они создают аккорд, обладающий исключительной декоративной выразительностью.

IV. Обобщение материала (2 минуты)

Учитель (зачитывает выводы, слайд 18). ● Дисперсия света – явление разложения белого света в спектр, например, при помощи призмы. Порядок следования цветов в спектре не меняется ● Дисперсия света происходит из-за того, что показатель преломления среды зависит от цвета светового луча, то есть от частоты световой волны. Свет каждого цвета распространяется в среде со своей скоростью, поэтому, принимая во внимание формулу $n = c/v$, можно сказать, что причиной дисперсии является зависимость показателя преломления от скорости света ● Дисперсия света показывает, что белый свет – сложный, состоит из простых, монохроматических, цветов ● Цвет непрозрачных тел объясняется тем, что эти тела по-разному отражают лучи разного цвета (световые волны различных частот) ● Цвет прозрачных тел объясняется тем, что эти тела по-разному пропускают лучи разного цвета (световые волны различных частот).

V. Контроль знаний с выявлением пробелов (3 минуты)

Фронтальная беседа (слайды 19–22): ● Какой рисунок правильно отображает разложение света в призме? ● Расположите цвета в порядке уменьшения показателя преломления, как они следуют в спектре ● Когда белый свет разлагается на составляющие, луч какого цвета сильнее всего отклоняется от исходного направления? ● Луч какого цвета имеет наибольший показатель преломления в призме?

VI. Задания для самоконтроля

(Слайд 23 – вопросы, 24 – ответы, 25 – критерии оценивания): ● Почему белый свет, проходя сквозь призму, разлагается в цветной спектр? ● Какие цвета и в какой последовательности наблюдаются в спектре? ● Какие лучи больше всего преломляются при

прохождении призмы? ● Изменяется ли длина волны и частота волны при переходе световой волны из одной среды в другую? ● Для фиолетового или для красного света показатель преломления вещества больше? ● Какой свет распространяется в призме из стекла с наибольшей скоростью? ● Что произойдёт при соединении всех световых лучей спектра?

VII. Рефлексия и домашнее задание (4 минуты)

Этапы урока	Твоя оценка	Оценка учителя
Начало урока		
Повторение пройденного		
Объяснение нового		
Обобщение материала		
Вопросы на закрепления материала		
Задание для самоконтроля		

Домашнее задание (слайд 26). Поставьте зеркало в воду под небольшим углом. Поймайте зеркалом солнечный луч и направьте его на стену. Поворачивайте зеркало до тех пор, пока не увидите спектр. Водяной клин между погружённой в воду частью зеркала и свободной поверхностью воды играет роль призмы, которая и разлагает свет на составляющие его простые цвета. Объясните явление.

Литература

1. Авторский коллектив ведущих специалистов ИОСО РАО. Физика: Школьный курс. М.: АСТ ПРЕСС, 2000.
2. Волков А.В. Поурочные разработки по физике. 11 класс. М.: ВАКО, 2006.
3. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б. Физика. 11 класс. М.: Просвещение, 2004.
4. Пёрышкин А.В., Гутник Е.М. Физика. 9 класс / 13-е изд., дораб. Дрофа, 2008.
5. Сауров Ю.А. Физика в 11 классе. Модели уроков: кн. для учителя. М.: Просвещение, 2005.

6. Физика. Большой справочник для школьников и поступающих в вузы / Ю.И. Дик, В.А. Ильин, Д.А. Исаев и др. 3-е изд. М.: Дрофа, 2008.
7. Никонов Г. Портрет Александры Струйской / Коллекция произведений искусства [Сайт] URL: http://art.1001chudo.ru/russia_1271.html
8. Н. Заболоцкий. ПОРТРЕТ // Любите живопись, поэты [Сайт] URL: <http://www.stihi-rus.ru/1/Zabolockiy/85.htm>
9. Карл Брюллов. Последний день Помпеи / Танаис Галерея [Сайт] URL: <http://www.tanais.info/art/brulloff2more2.html>
10. Александр Пушкин. <http://pushkin.niv.ru/pushkin/stihi/stih-762.htm>
11. Classic-Book БИБЛИОТЕКА КЛАССИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ: <http://www.classic-book.ru/lib/sb/book/135/page/105>
11. Журнал об искусстве для школьников, учителей, родителей «МУЗЕЙ: Карл Брюллов. «Последний день Помпеи» Марина Аграновская. <http://www.art-storona.ru/2009/4/article12.php>
12. Музей Константина Васильева в Казани: <http://www.tattravel.ru/muzei-kazan/muzei-vasileva-v-kazani.html>
13. Доронин К. Константин Васильев / Русский гений [Сайт] URL: <http://gardva.narod.ru/kvv/>
14. Дионисий иконописец (Mkuzovlev) / публицистика / Проза.ру: <http://www.proza.ru/2005/04/25-243>

Редакция рекомендует также:

1. Брегг У. Мир света. Мир Звука. М.: Наука, 1967.
2. Миннарт М. Свет и цвет в природе. М.: Гос. изд-во ФМЛ, 1958.
3. Шаронов В.В. Свет и цвет М.: Гос. изд-во ФМЛ, 1961.
4. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М., Фейнмановские лекции по физике. М.: Мир, 1977. Вып. 3. С. 35–36.
5. Вавилов В.И. Исаак Ньютон. М–Л.: Изд. АН СССР, 1945, 232 с.



Елена Александровна Андриксонова – учитель физики высшей квалификационной категории, окончила Ростовский-на-Дону ГПИ в 1984 г., педагогический стаж 25 лет, из них 11 лет – в сфере начального профессионального образования. В училище чаще всего приходят подростки с низкой учебной мотивацией, различным уровнем обученности и социально-психологическими проблемами. Приходится прикладывать титанические усилия для того, чтобы развить и поддержать в них познавательную активность и самостоятельность, сформировать современное миропонимание и организовать познавательную деятельность. Педагогическое кредо: познай страну свою, познай природу свою, народ свой с душой его и бытом, нуждами и потребностями. Хобби и профессия совпадают. Работа учителя не ограничивается урочными часами. Порой важнее внеурочные часы занятий с детьми: здесь открываются богатейшие возможности для формирования интереса к предмету, для углубления и расширения знаний по физике, для неформального общения с детьми (хотя часто возникает соблазн сохранить своё время, просто сделав часть работы за подростка). На уроках старается апробировать технологии, с которыми познакомилась на курсах «Педагогического университета “Первое сентября”». Причём не только предложенные методы и формы, но придумывает и удачные сочетания элементов этих технологий. Работа педагога отмечена Почётными грамотами Губернатора Московской области, МОиН РФ.

Звёздное небо в феврале

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: астрономия, звёздное небо, звёздные карты, созвездие Ориона, звезда Мира Кита

Проф. В.М. ЧАРУГИН,
академик РАКЦ
charugin2010@mail.ru
МПГУ, г. Москва

3 февраля во время первого новолуния после вступления Солнца в знак Водолея (20 ноября) наступает Новый год по китайскому календарю – Цзинь Синь Ху – год Зайца и металла (с мужским началом). В монгольском календаре металлу соответствует белый цвет, так что будет год Белого Зайца, 28-й год 74-го цикла (счёт годов ведётся с 2397 г. до н.э.). Солнце до 16 февраля движется по созвездию Козерога, а затем – по созвездию Водолея. Что же касается знаков зодиака, то 19 февраля Солнце переходит из зодиакального знака Водолея в знак Рыб. Февраль – середина зимы. Так как 2011 г. – обычный, то в этом многострадальном месяце 28 дней. Вообще-то, согласно реформе календаря, проведённой в конце I в. до н. э. римским императором Юлием Цезарем, в этом самом коротком месяце года должно было быть в обычные годы 29 дней, а в високосные 30. Но уже в I в. н. э. римский сенат «по просьбе трудящихся» за заслуги перед Римом назвал шестой месяц секстилис, который следовал за июлем, августом – в честь императора Августа. Конечно, императору было как-то несолидно иметь в «своём» месяце 30 дней, как должно было быть по юлианскому календарю, и Сенат передать августу один день, забрав его у февраля. С тех пор февраль стал ещё на день короче, а август, как и полагается императорскому месяцу, стал содержать 31 день, как и июль. 1 февраля (2 455 593-й юлианский день) Солнце восходит в Москве в 8^ч 26^м, а заходит в 17^ч 02^м по московскому (зимнему) времени. 28 февраля – 2 455 620-й юлианский день. С учётом продолжительности гражданских сумерек, которые в Москве длятся около 50 минут, первые звёзды появятся в 17^ч 52^м по декретному московскому времени. В конце месяца первые звёзды уже появляются в 18^ч 41^м, а исчезают в 6^ч 46^м [1].

Около 20^ч мы видим над южной частью горизонта три наиболее заметных созвездия: Возничий с яркой Капеллой, под ним Телец с ярким оранжевым Альдебараном, и несколько восточнее – Орион с яркой топазово-жёлтого оттенка Бетельгейзе. Группа из 9 ярких звёзд созвездия Ориона занимает почти всё поле зрения. Три звезды, расположенные по косой, – «пояс» Ориона. Через них проходит небесный экватор – важная линия на небесной

Звёздные карты и описания звёздного неба даются примерно на 20^ч 15 февраля в Москве. Подробнее о восточном календаре см. статью «О календарях» на диске-вложении к № 22/2010. – Ред.



Созвездие Ориона. Неизвестный художник IX в.

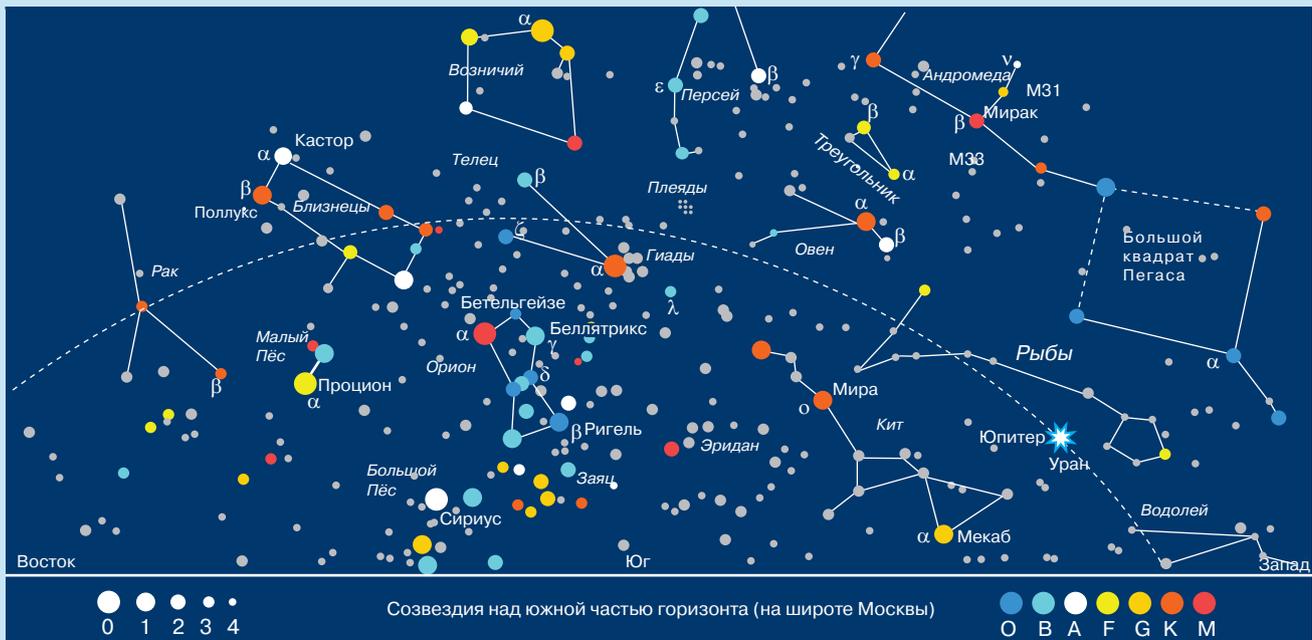
URL: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ca/Aratea_58v.jpg

сфере, делящая её на северное и южное полушария. Эта линия также проходит через точки востока и запада на горизонте; попытайтесь проследить экватор по указанным ориентирам. В древние времена три звезды в «поясе» Ориона называли *тремя царями*, все они около 2^м и носят имена: Дельта (δ), Эпсилон (ε) и Дзета (ζ).

Над «поясом» Ориона слева видна яркая звезда Бетельгейзе (α). Это переменная пульсирующая звезда, период около 2070 дней выражен не совсем чётко. Наблюдения показали, что при пульсациях радиус звезды меняется от 700 до 1000 радиусов Солнца. Будь эта звезда на месте Солнца, то все наши планеты вплоть до Юпитера оказались бы внутри неё. Правее Бетельгейзе находится Беллатрикс (γ, 2^м). Между этими звёздами, несколько выше, можно различить третью – λ (3^м), которая на первый взгляд кажется туманным пятнышком. Это впечатление усиливается тем, что под ней находятся ещё две слабые звезды (5^м).

Под тремя царями справа видна очень яркая звезда Ригель (1^м, β Ориона), левее Ригеля – звезда κ (2^м). Завершает рисунок созвездия вытянутое туманное пятно под поясом, указывающее место подвешенного меча. Косая линия трёх царей своим продолжением на юго-восток указывает на самую яркую звезду нашего неба Сириус (α Большого Пса). Арабы называли Орион *Аль-джабар* или *Аль-джауза* – *исполин, гигант*.

Названия основных звёзд взято из арабского: Бетельгейзе – от *ибт аль-джауза* – *плечо великана*, Ри-



Спектральный класс указан для звезд до 2^m

гель – ридж аль-джауза – нога великана. Беллатрикс – от латинского *bellatrix* – воительница. Это женское имя связано с астрологическими представлениями: считалось, что женщины, рождённые под этой звездой, обычно счастливы, но любят посплетничать.

Уже в небольшой телескоп в области «меча» Ориона можно разглядеть слабосветящуюся туманность. Это гигантский газопылевой комплекс, внутри которого много молодых, горячих, только что образовавшихся так называемых O-звёзд. Именно их мощное ультрафиолетовое излучение возбуждает свечение окружающего газа, который мы и воспринимаем как диффузную туманность.

На фото показано самое древнее из известных изображений звёздного неба и созвездия Ориона. Этот фрагмент пластины был найден недавно в Германии, по радиоуглеродному анализу его возраст оценен от 32,5 до 36 тыс. лет. Изображённая фигура человека напоминает созвездие Ориона. Так же, как и у созвездия, левая нога фигуры короче правой, а талия очень узкая. Кроме того на поясе висит оружие, напоминающее меч Ориона. Учёные отмечают, что расположение звёзд на пластине отличается от теперешнего, но совпадает с тем, которое и должно было быть в те времена (из-за собственного движения рисунок звёзд меняется со временем). Этот факт является одним

из важных аргументов в пользу изображения созвездия Ориона. На тыльной стороне пластины и по бокам вырезаны загадочные знаки. Исходя из их количества (86 – как раз число дней в году минус девять месяцев), исследователи полагают, что это мог быть примитивный «женский» календарь, предназначенный для определения времени родов у женщины. Предположительно, это один из немногих памятников быта древних людей периода Ориньяка, о которых практически ничего не известно кроме того, что они вторглись в Европу с востока и постепенно вытесняли местных неандертальцев.

Расположенное на северо-западе низко над горизонтом созвездие Кита плывёт по водам небесной реки Эридан, берущей начало около звезды Ригель. У Эратосфена (III в до н. э.) читаем: «Это тот Кит, которого Посейдон наслал на Кефея (Цефея) за спор Кассиопеи с nereидами о первенстве в красоте. А Персей его истребил, и потому он был помещён среди созвездий в память о Персеевых деяниях. Так рассказывает трагический поэт Софокл в «Андромеде».

Он содержит звёзды: на хвосте две тусклые; от изгиба хвоста до паха – пять; под животом – шесть; всего – тринадцать» [2].

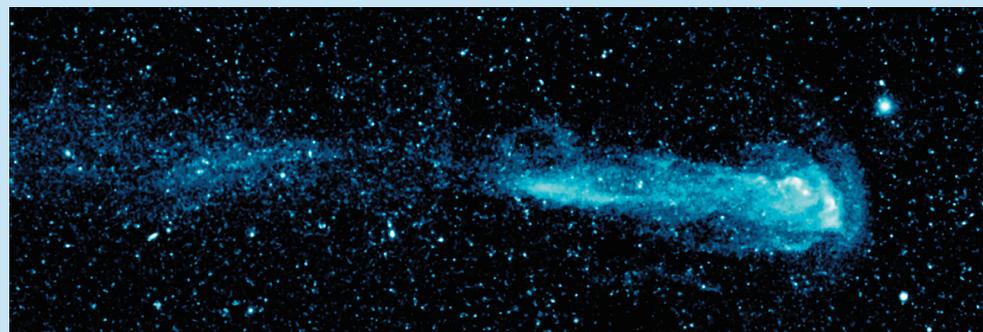
Продолжение см. на с. 26

Самое древнее из найденных изображений созвездия Ориона

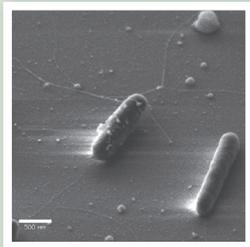


URL: http://ifni.ru/topics/news/2003_01.htm

Нежданный хвост Мира. Сама она движется вправо. Срывающийся материал показан голубым



Бактериальные нанопровода



■ Группа учёных из Южнокалифорнийского университета, Института Крейга Вентера (оба — США) и Университета западного Онтарио (Канада) измерила характеристики естественных нанопроводов у бактерий *Shewanella oneidensis*. Бактериальными нанопроводами называют длинные «волоски» на поверхности клеток, состоящие преимущественно из белков. Такого рода проводящие выросты играют важную роль в жизни бактерий, которым в процессе «дыхания» необходимо передавать электроны акцептору (в случае *Shewanella* — металлу). При отсутствии акцептора электронов они довольно быстро погибают. Используя нанопровода, бактерии могут поддерживать друг друга в тяжёлые времена, создавая систему передачи электронов на значительные расстояния. Это можно считать совместным дыханием. Некоторые биологи считают, что нанопровода также служат каналом быстрой связи микроорганизмов друг с другом, дополняющей традиционное общение с использованием сигнальных молекул. Биологи наблюдали перенос электронов по нанопроводам с помощью микроскопических платиновых электродов. Как выяснилось, на микронных расстояниях скорость транспорта электронов доходила до 10^9 с⁻¹ при подаче напряжения в 100 мВ; удельное сопротивление составляло около 1 Ом·см. Исследователи также определили, что мутанты с нефункционирующими генами, которые кодируют цитохромы MtrC и ОмсА, образуют непроводящие наноразмерные выросты. Теперь авторы планируют заняться изучением того, как формируются системы связанных нанопроводов в сообществах бактерий.

Компьюлента.12.10.2010

(URL: <http://science.compulenta.ru/569003/>)

Кольцеплан



■ Самолёт с замкнутым контуром крыла летать не может: доказано временем. Кольцепланы пытались строить во времена братьев Райт, на протяжении II мировой войны, в мирные 60-е гг. — ни один не смог удержаться в воздухе и нескольких минут. Но человеческий разум не сдаётся. 100 лет и более чем 20 попыток — и самолёт с замкнутым крылом всё-таки взлетел! И показал себя манёвренным, лёгким и прочным летательным аппаратом. Ещё в 2004 г. группа белорусских энтузиастов сконструировала машину с замкнутым контуром крыла. Важной особенностью самолёта Нарушевича было то, что овальное крыло не было прикреплено непосредственно к фюзеляжу. Он располагался внутри крыла на стойках и подвесах. Таким образом, подъёмная сила создавалась по всей поверхности крыла. К 2004 г. были проведены первые полевые испытания. Машина совершила несколько полётов при штиле и боковом ветре. Изобретатели обнаружили, что аппарат обладает весьма необычными аэродинамическими свойствами. Во-первых, самолёт с овальным крылом (СОК) совершенно не реагировал на порывы бокового ветра вплоть до 13 м/с. Во-вторых, для разгона ему хватало 130 м (у АН-2 — 180 м, у остальных самолётов того же класса порой ещё больше). Но главным оказалось практическое соотношение полезной нагрузки и общей снаряжённой массы самолёта — 0,45! К такому коэффициенту никто пока и близко не подходил.

«Популярная механика».

Март 2010

(URL: <http://www.newsland.ru/News/Detail/id/491827/>)

Когда был Всемирный потоп?



■ Это была самая страшная катастрофа на планете, уничтожившая три четверти всего живого. Однако ни один человек при этом не пострадал — людей тогда попросту ещё не было. Катаклизм случился 200 млн лет назад. Под немецким Тюбингеном учёные обнаружили следы гигантского цунами, настолько разрушительного, что причиной его можно считать, скорее всего, падение метеорита. Когда третичный период подходил к концу, на территории, где располагается сегодня немецкий город Тюбинген, плескались морские волны. Море было тропическим, в нём действовали умеренные течения. Но затем спокойствию наступил конец. Разрушительное цунами обрушилось на спокойную водную гладь, круша всё на своём пути. Сегодня об этой катастрофе напоминает 20-см слой известняковой горной породы. По мнению геолога М. Монтенари, он указывает на то, что 200 млн лет назад огромная волна уничтожила множество живых организмов. Слой, обнаруженный недалеко от местечка Пфрондорф, состоит из пород, цвет которых колеблется от тёмного до инсиня-чёрного. В них попадается очень много остатков панцирей моллюсков. Все панцири лежат выпуклостями вверх, а это, по мнению исследователя, признак того, что они в один момент были смыты гигантским потоком. Уже с первого взгляда видно, что слой образовался в результате мощного прилива. Такую волну не могло породить извержение вулкана или подводное землетрясение — цунами было высотой 1000–1200 м и распространилось на 1000 км. Для сравнения исследователь приводит взрыв острова Кракатау в конце XIX в.: «Извержение вулкана практически уничтожило остров. Волна, образовавшаяся в результате, четыре раза обогнула Землю. Её зафиксирова-

ли даже в десятке тысяч километров это эпицентра событий – в гавани Темзы».

Гигантские волны оставляют слой цунами, который состоит из песка, ила и остатков живых организмов. Цунами, которое образовалось после извержения вулкана Кракатау, оставило только семисантиметровый слой. Толщина слоя, найденного в Германии, составляет от 20 до 30 см. С учётом того, что за миллионы лет слой значительно спрессовался, можно предположить, что в период его образования толщина была в три раза больше – около одного метра. Такое цунами просто не могло образоваться вследствие извержения вулкана.

Сегодня самые большие волны в Тихом океане достигают в высоту 50–60 м, а сила землетрясения ограничивается девятью баллами по шкале Рихтера. Сила того землетрясения должна была достигать 20 баллов. Для провокации подобного землетрясения на Земле не было физических предпосылок. Известняковые отложения в других частях света позволяют сделать вывод о направлении гигантской волны. Вероятно, она образовалась из-за удара, который пришёл из космоса. Эпицентр был где-то между современной Исландией и Северной Америкой. То, что это было падение метеорита, учёные могут утверждать благодаря обнаружению редких химических элементов, таких как иридий. Но, вероятно, не только метеорит виновен в случившейся катастрофе. Скорее всего, удар из космоса совпал по времени с усилением вулканической активности.

Компьюлента. Август 2010
(URL: <http://www.meteoprogram.ua/en/news/16479/>)

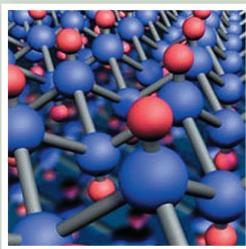
Поиски жизни в стратосфере

■ Британские учёные вместе со специалистами Европейского космического агентства хотят запустить новую миссию по поиску следов инопланетной жизни в земной стратосфере. В ходе работы научные приборы при помощи воздушного шара будут подняты на высоту 33,8 км, где они соберут пробы микроорганизмов, которые могли быть занесены в стратосферу метеоритами. Миссия называется *CASS-E (Cranfield University Astrobiological Stratospheric*

Sampling Experiment – астробиологический эксперимент по забору биопроб из стратосферы). Специалисты считают, что микроорганизмы, которые потенциально могут существовать в стратосфере, могут быть новыми для учёных, так как на такой высоте условия сильно отличаются от условий на поверхности планеты. В первую очередь, это более разрежённый воздух и заметно более высокий уровень высокоэнергетичного солнечного излучения. Если какие-либо живые существа способны выдержать такие условия, то они способны перенести и климат других планет, например, Марса.

Компьюлента. Май 2010
(URL: http://news.belinfo.by/index.php?option=com_content&view=article&id=1330:2010-10-13-07-45-00&catid=86:kosmos&Itemid=496)

Новое физическое явление



■ Графен – необычная аллотропная модификация углерода, состоящая всего из одного слоя атомов, уже не раз обнаруживала всё новые и новые неожиданные свойства. Американские учёные сообщают о создании псевдомагнитных полей, намного более сильных, чем когда-либо полученные в лаборатории, – лишь приложением механического напряжения к листу графена. Экспериментально показано, что когда графен растягивается с образованием нанопузырей на платиновой подложке, электроны в нём ведут себя так, как будто они подвергаются действию магнитного поля индукцией свыше 300 Тл. Это совершенно новое физическое явление, не имеющее аналогов. Самое сильное полученное в лаборатории постоянное магнитное поле – 85 Тл, выше магниты просто разрушаются. В данном случае никакого магнитного поля нет, но электроны всё равно ведут себя так, как будто к ним приложено магнитное поле невероят-

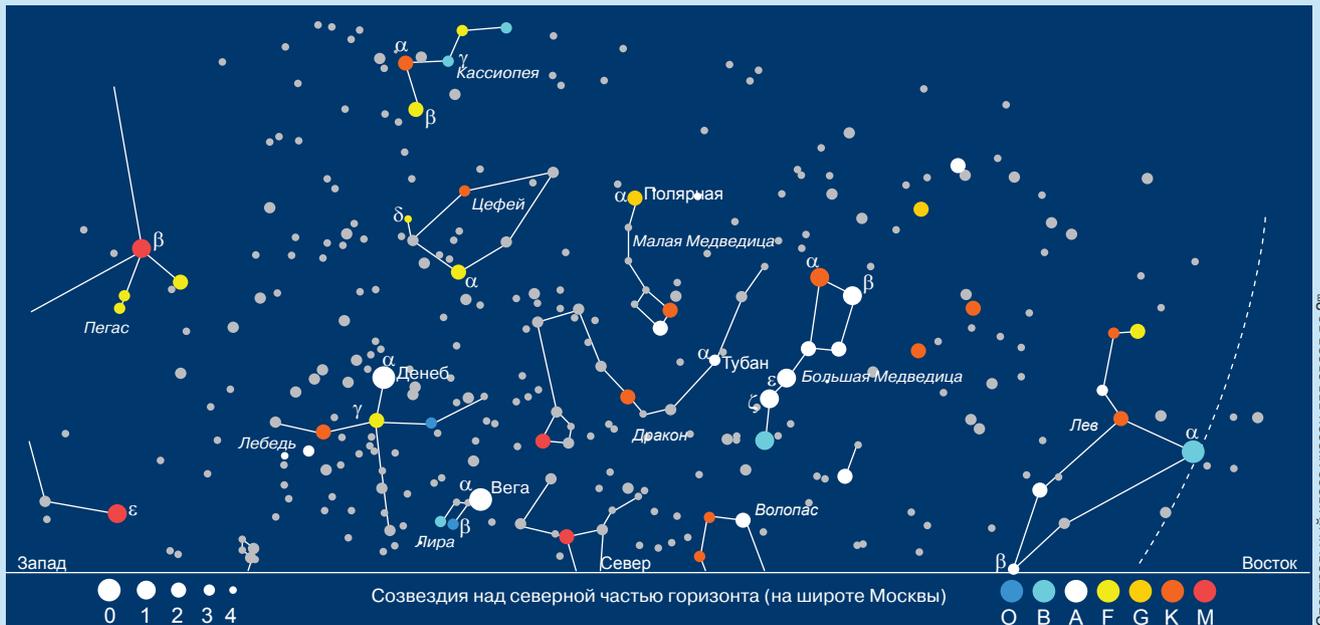
ной индукции – в десятки миллионов раз сильнее магнитного поля Земли. Сама идея появления псевдомагнитных полей при деформации графена была высказана теоретиками совсем недавно – в начале 2010 г. Испанский физик Ф. Гинеа предсказал, что при растягивании графена по трём кристаллографическим направлениям электроны в нём будут вести себя, как если бы они были в сильном магнитном поле. Причина состоит в изменении длины связей между атомами. В классической физике электроны в магнитном поле движутся по циклотронным орбитам, имеющим форму окружности. В квантовой механике, однако, циклотронные орбиты квантуются по дискретным энергетическим уровням (уровни Ландау). Количество электронов на каждом уровне зависит от величины магнитного поля – чем сильнее поле, тем на более высокие уровни «забираются» электроны и тем больше электронов на каждом уровне. Именно это и происходит в деформированном графене, но без магнитного поля! Это удивительное явление было открыто почти случайно, при исследовании слоев графена на платиновой подложке с помощью сканирующего туннельного микроскопа. Обнаружив аномальные изменения электрического тока в графене, Кромми показал их теоретику из Бостонского университета Антонио Кастро-Нето, находившемуся в лаборатории им. Лоуренса совершенно по другому поводу. Микроскопия выявила появление на поверхности графена нанопузырей – треугольных деформаций, похожих по форме на маленькие пирамидки высотой 4–10 нм. Нарушение плотности электронных состояний было связано именно с ними. Эффект проявляется даже при комнатной температуре. Работа открывает широчайшие перспективы в науке и технологии, обещая множество важнейших практических приложений и фундаментальных научных открытий – и всё это благодаря необычным свойствам графена.

Sciencemag.org. Октябрь 2010
(URL: <http://nauka.izvestia.ru/discovery/article102954.html>)

Л.В. ПИГАЛИЦЫН, МОУ СОШ № 2, г. Дзержинск, Нижегородская обл.
<levp@rambler.ru>, www.levpi.narod.ru



Расширенный блок новостей см. на диске к № 4/2011.

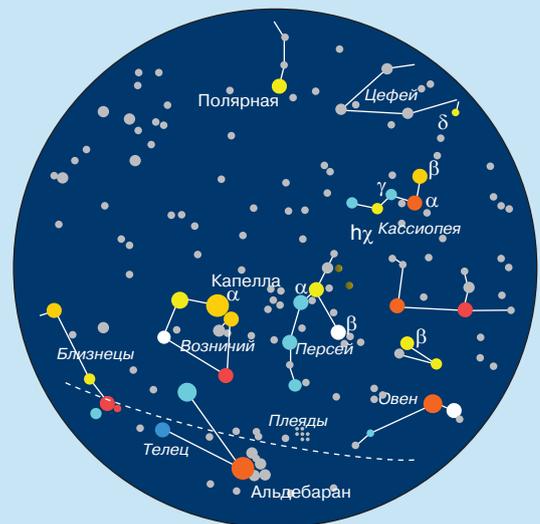


Спектральный класс указан для звезд до 2^m

Продолжение. Начало см. на с. 23

Самая яркая звезда в этом созвездии Дифта (α), но самая необычная и известная – Мира (\omicron). На фотографии, полученной с космического УФ-телескопа «Исследователь эволюции Галактики» (*Galaxy Evolution Explorer*) Мира видна небольшим белым пятнышком внутри структуры справа, похожей на лампочку. Она движется слева направо. Вещество, которое она теряет во время движения, можно наблюдать в синем цвете на этом снимке. Точки на снимке – окружающие звёзды и далёкие галактики. Астрономы были удивлены, увидев такой длинный кометообразный след от известной с античных времён переменной звезды. Её начали изучать около 400 лет назад, и только сейчас обнаружили этот удивительный хвост. При расстоянии до Мира 350 св. лет протяжённость хвоста составляет 13 св. лет. Изучая различные участки этого хвоста, можно проследить историю звезды за последние 30 000 лет. Тем более это интересно, поскольку Мира – сильно проэволюционировавшая умирающая звезда – красный гигант, давно исчерпавшая своё водородное горючее и приближающаяся к концу своего жизненного пути. Её размеры настолько велики, что будь она на месте Солнца, планеты Земной группы, включая Марс, были бы внутри неё. Интересно, что наше Солнце, исчерпав свой водород, тоже превратится в красного гиганта только через 5 млрд лет.

Как и другие красные гиганты, Мира теряет большое количество массы в форме газа и пыли, так как из-за её больших размеров вещество слабо удерживается тяготением, легко отрывается от поверхности при пульсациях и теряется в межзвёздном пространстве. Изучение протяжённого хвоста показало, что за последние 30 000 лет Мира потеряла массу примерно равную 3000 масс Земли. В отличие от большинства звёзд, совершающих совместное с межзвёздным газом обращение вокруг центра Млечного Пути, Мира движется с огромной скоростью 130 км/с через межзвёздный газ. Большая скорость Мира вместе



с огромной потерей массы с поверхности и ответственны за необычный светящийся хвост. Перед быстро несущейся звездой в межзвёздном газе образуется лобовая ударная волна, во многом напоминающая расходящуюся волну в воде вокруг летящей пули (см. с. 32). Горячий межзвёздный газ в этой лобовой ударной волне смешивается с более холодным газом, истекающим с поверхности Мира, нагревает его и заставляет светиться в УФ-диапазоне. Турбулентные завихрения, возникающие при таком движении, втягиваются внутрь хвоста, вызывая турбулентное движение газа в кильватере за звездой.

Мира оказалась двойной звездой. Яркая Мира А имеет компаньона, Миру В – звезду-белый карлик. Как известно, белый карлик – мёртвый остаток звезды типа Солнца. Мира А и Мира В обращаются друг вокруг друга с периодом около 500 лет.

Над Орионом находится созвездие Тельца. Оранжевый Альдебаран (α) – глаз разъярённого быка – устался на

замахнувшегося дубинкой охотника. Чуть выше Альдебарана находится звезда ϵ – Аин (Аин ал таур – *глаз быка*). Звезда β – Эль Натх (или просто Натх) в переводе с арабского означает *бодающий рог*. Рядом со звездой ζ Тельца расположена знаменитая Крабовидная Туманность (M1) – остаток взрыва сверхновой звезды, которая вспыхнула в 1054 г. Эта сверхновая звезда была настолько яркой, что в течение месяца её наблюдали даже днём, что отмечено в астрономических хрониках китайских астрономов. Сейчас на её месте наблюдается наряду с туманностью пульсар – быстро вращающаяся нейтронная звезда. Эта звезда размером около 30 км вращается с периодом около 0,033 с, совершая около 30 об/с. Северо-западнее Альдебарана вы, несомненно, увидите красивейшее скопление молодых и горячих звёзд Плеяды, а около Альдебарана – небольшое V-образное скопление Гиады.

Цепочка созвездий Рака, Близнецов, Тельца, Овна и Рыб очерчивают на небе эклиптику – путь Солнца среди звёзд. В эти вечерние часы мы сможем одновременно видеть две особые точки на эклипике: точку весеннего равноденствия Υ в созвездии Рыб, в которой Солнце бывает в день весеннего равноденствия 21 марта, и точку летнего солнцестояния ☉ в созвездии Тельца, в которой Солнце бывает в день летнего солнцестояния 22 июня. Помочь вам проследить за эклипикой помогут яркие Юпитер и Луна.

Повернувшись лицом на север, мы сразу обратим внимание на Большую Медведицу. По двум крайним звёздам К о в ш а – β и α , – найдём Полярную звезду, расположенную на продолжении соединяющей их линии. После этого легко найти и остальные шесть слабых звёзд созвездия Малой Медведицы. В данное время Малая Медведица вытянулась почти вдоль небесного меридиана, поэтому легко определить его положение – по точке зенита, Полярной звезде и точке севера на горизонте. Все светила, пересекающие меридиан в этой стороне неба, находятся в нижней кульминации. Интересно, что если звезда видна в нижней кульминации, то она вообще никогда не заходит под горизонт в данной местности. В Москве к таким, в частности, относятся все звёзды созвездий Дракона, Большой Медведицы, Денеб (α Лебеда), Вега (α Лиры). Сейчас они видны на северо-западе низко над горизонтом. Арктур, ярчайшая звезда в созвездии Волопаса, находится под горизонтом в нижней кульминации, хотя больше половины звёзд этого созвездия незаходящие и видны на северо-востоке. Созвездие начинает постепенно восходить.



ПЛАНЕТЫ [3]

Меркурий при своем движении среди звёзд 25 февраля вступает в верхнее соединение с Солнцем, поэтому февраль не благоприятный месяц для его наблюдений.

Венера (-4^m) совершает прямое движение по созвездию Стрельца, её можно будет наблюдать на востоке низко над горизонтом перед восходом Солнца в течение часа.

Марс не виден, 4 февраля произойдёт его соединение с Солнцем, и планета будет находиться за ним.

Юпитер (-2^m) движется по созвездиям Рыб и Кита и виден в вечерние часы в течение почти трёх часов сразу после захода Солнца. В бинокль и в школьный телескоп можно проследить за движением его четырёх галилеевых спутников.

Сатурн ($0,4^m$) движется попятно по созвездию Девы и хорошо виден почти всю ночь. У планеты хорошо видно кольцо, а в крупный телескоп можно увидеть и самый большой спутник – Титан.

Уран ($5,9^m$) движется по созвездию Рыб недалеко от Юпитера, его можно увидеть в бинокль в течение почти трёх часов после захода Солнца.

Нептун – самая далёкая планета Солнечной системы – движется по созвездию Водолея, как и Солнце, поэтому его нельзя наблюдать.

МЕТЕОРЫ

Авригиды (февральские), названные по созвездию Возничего (*Auriga*), в котором находится радиант. Период активности – с 8 по 12 февраля с максимумом 9 февраля (до 5 мет./ч). Этот поток удобно наблюдать в вечерние часы, когда созвездие Возничего с яркой Капеллой высоко над горизонтом.

Виргиниды – от названия созвездия Девы (*Virgo*). Поток активен с 13 по 21 февраля без выраженного периода максимума (в среднем до 5 мет./ч). Радиант потока сильно размыт, поэтому не видно отчётливого максимума. Метеоры хорошо видны во второй половине ночи.

Гидриды – от названия созвездия Гидры. Активен с 21 по 23 февраля, без резко выраженного максимума (до 4 мет./ч). Лучшее время наблюдений – вторая половина ночи, когда Гидра выше всего над горизонтом.

Литература

1. Чаругин В.М. Астрономические вечера. В сб. «Я иду на урок астрономии: Звёздное небо: 11 класс»: кн. для учителя. М.: Изд-во «Первое сентября», 2001.
2. Эратосфен из Кирены. Превращения в созвездия (катастеризмы). В сб. «Небо, наука, поэзия. Античные авторы о небесных светилах, об их именах, восходах, заходах и приметах погоды / Под ред. Н.А. Фёдорова и П.В. Щеглова. М.: Изд-во МГУ, 1992.
3. Шевченко М.Ю., Угольников О.С. Школьный астрономический календарь на 2010/2011 уч. год.: учеб. пособие для учащихся 7–11 кл. М.: Дрофа, 2010. (Вып. 61.)

Хроматическое уравнение Максвелла

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: смешение цветов, цветовая диаграмма, хроматическое уравнение Максвелла

К 180-летию со дня рождения Дж.-К. Максвелла (1831 – 1879)
(Из лекций проф. Н.А. Умова)

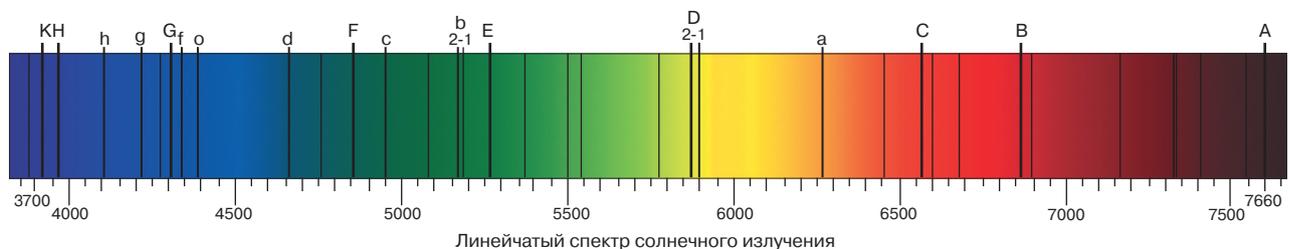
М.А. БРАЖНИКОВ
ГОУ гимн. № 625, г. Москва

...в нём соединялась редкая проницательность ума с богатой научной фантазией, глубокое знание математики с необыкновенной экспериментаторской ловкостью.

Брокгауз и Ефрон. Т. XVIII

■ «Идея о том, что все цвета могут быть получены смешением в надлежащих пропорциях трёх основных цветов – очень давняя: её высказывал уже Леонардо да Винчи. Она родилась впервые у живописцев, которые основывались на смешении материальных красок, и была затем подтверждена опытами над спектральными цветами. Юнг дал ей основание, сделав предположение, что в глазу существуют три группы нервов, возбуждение которых вызывает ощущение красного, зелёного и фиолетового цветов. Работы Гельмгольца и Максвелла¹ подтверждают выбор этих цветов, сделанный Юнгом с некоторым изменением. Максвелл принимал три основных спектральных цвета²: красный между линиями *C* и *D* и на $\frac{1}{3}$ расстояния *CD* ближе к *C*; зелёный вблизи линии *E* и голубой между *F* и *g*, на $\frac{1}{3}$ *Fg* ближе к *F*. Таким образом, можно было изучать результаты смешения определённой пропорции данных цветов. Максвелл нашёл, что:

22,6 красного + 26 зелёного + 37,4 голубого = белому.



¹Первая работа Максвелла, выполненная в этой области, относится к 1855 г., последняя – к 1872 г., в 1860 г. Королевское общество присудило Максвеллу премию Румфорда за работы по смешению цветов. Ставя опыты, Максвелл пропускал свет от узкой щели через призму и собирал его на экране при помощи линзы [2].

²Буквами далее обозначены фраунгоферовы линии в спектре Солнца: *C* – 656,3 нм; *D* – 589,3 нм, *F* – 486,1 нм; *g* – 435,8 нм. – М.Б.

³«Представим себе солнечный луч, проходящий через узкую щель, двояковыпуклую чечевицу и призму. На белом экране, поставленном позади призмы, мы получим спектр. Перевернём этот опыт: у щели поместим наш глаз, а всю часть экрана,

Здесь цифры представляют ширину бумажек в некоторых единицах, причём это соотношение справедливо для глаза Максвелла. Ученик Максвелла, страдавший дальтонизмом (отсутствие ощущения красного цвета, которым страдал физик Дальтон), получал впечатление белого цвета уравнением:

33,7 зелёного + 33,7 голубого = белому.

Вычитая из второго уравнения первое, находим, что ученику Максвелла не доставало ощущения 22,6 для красного, для зелёного был излишек 7,7 и недочёт 4,6 для голубого сравнительно с нормальным глазом. Максвелл нашёл, что красками, наиболее подходящими к указанным основным, будут: красная – вермильон, зелёная – изумрудная и голубая – ультрамарин⁴. Для воспроизведения и смешения цветов Максвелл употреблял также и цветные волчки, только иначе устроенные. Три круга *a* (рис. 164) с прорезом, идущим от окружности к центру, окрашиваются в основные цвета, продеваются один в другой и насаживаются на общую ось. Способ прорезов даёт возможность, протаскивая через них круги, изменять по произволу площади различных цветов. На эту же ось ещё насаживается и разделённый круг, который давал возможность определять и отношение между цветными площадями, и чёрный и белый кружки меньших размеров (рис. 165).

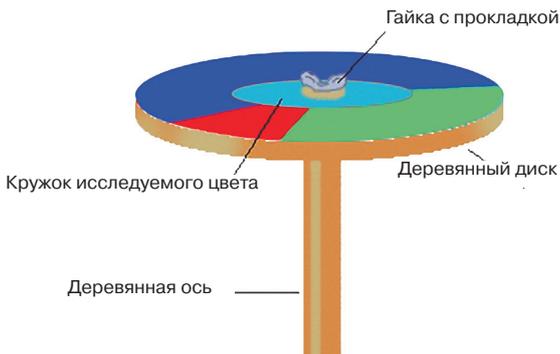
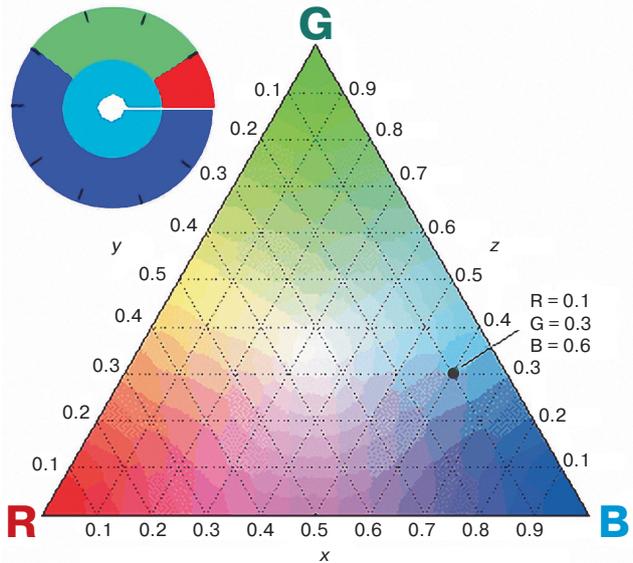
Площади этих кружков подбирались так, чтобы серый цвет, даваемый окрашенными секторами,

на которой находился спектр, закроем чёрной ширмой за исключением узкой белой полоски, соответствующей зелёной части спектра. Эта белая полоска, рассматриваемая через щель, покажется нам окрашенной в зелёный цвет, потому, что из всех лучей, различного цвета, испускаемых полоской, только зелёные лучи воспроизведут в точности обратный путь зелёных лучей солнечного света, разложенного призмой, и попадут в щель и наш глаз. Оставляя открытыми три полоски в прежнем спектре, Максвелл мог наблюдать смешение трёх цветов спектра» [2].

⁴Максвелл измерял длины волн в долях парижского дюйма, что даёт при переводе: 630,2 нм, 528,1 нм, 456,9 нм соответственно [2].



Цветные кружки



Рисунки, поясняющие эксперименты с цветовым кругом и показывающие расположение выбранного цвета (в данном случае $R = 0,1$, $G = 0,3$; $B = 0,6$) на цветовом треугольнике Максвелла (в современной версии) (URL: B. MacEvoy. Mixing with a color wheel <http://www.handprint.com/HP/WCL/colortop.html>)

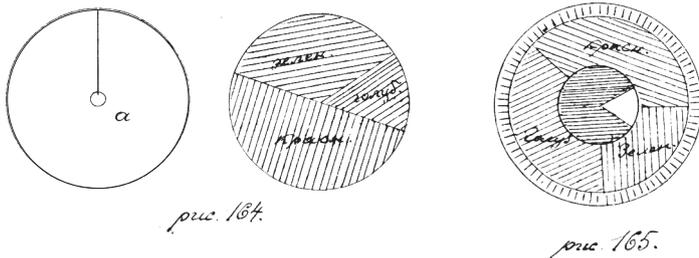
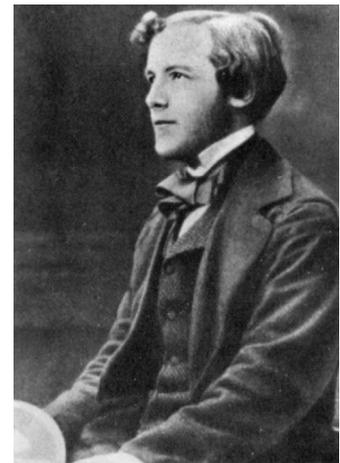


рис. 164.

рис. 165.

Рисунок Н.А. Умова [1], поясняющий эксперименты Дж. Максвелла

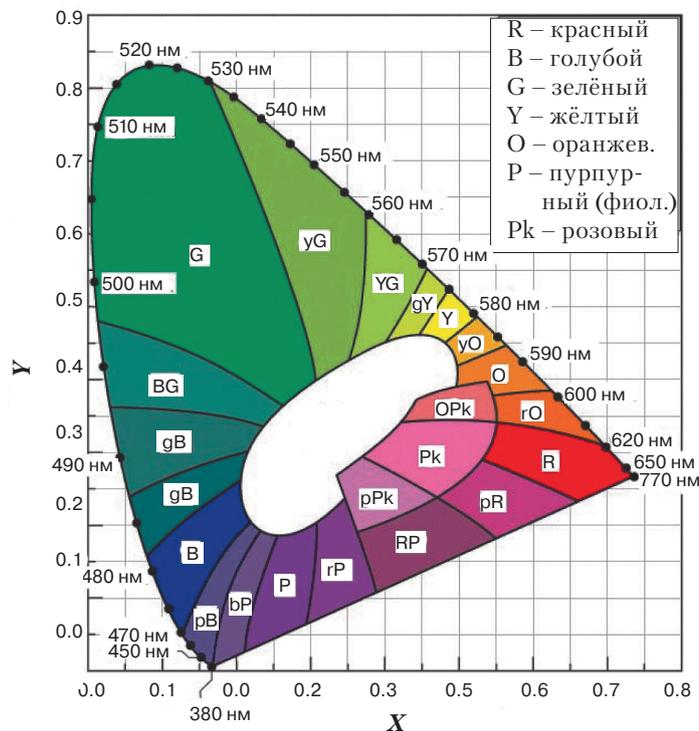


Джеймс Максвелл в возрасте 24 лет, когда он был увлечён теорией цвета (внизу слева видна часть цветового круга) [3]

при быстром их вращении, совпадал с серым цветом от чёрного и белого кружков. Таким образом, Максвелл нашёл для своего глаза:

$$37 \text{ вермильон} + 36 \text{ изумрудно-зелёного} + 27 \text{ голубого} = 28 \text{ белого} + 72 \text{ чёрного.}$$

Это есть хроматическое уравнение глаза Максвелла. Для другого глаза уравнение будет другое» [1].



Стандартная XYZ-диаграмма цветности, принятая в качестве основной в 1931 г. на VIII сессии Международной комиссии по освещению (МКО, Commission Internationale de L'Eclairage – CIE) [4]

Литература

1. Умов Н.А. Курс физики. Лекции. М.: Типография О.Л. Сомовой, 1902. (Т. II.)
2. Умов Н.А. Памяти Клерка Максвелла: собр. сочинений, Т. III. / Под ред. А.И. Бачинского. Изд. Императорское Московское общество испытателей природы и Общество содействия успехам опытных наук и их практических применений им. X.C. Леденцова, 666 с + 2, М. 1916 г.
3. Malcolm S. Longair. Maxwell and the science of colour. Phil. Trans. R. Soc. A2008, **366**, 1685–1696. [Электронная версия. URL:<http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/366/1871/1685.full.pdf>]
4. Цветовая диаграмма URL: <http://www.leds.ru/anl14.htm#u1>

Хочу учиться в МГУ!

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: абитуриенту, решение задач, МГУ им. М.В. Ломоносова, олимпиада «Ломоносов»

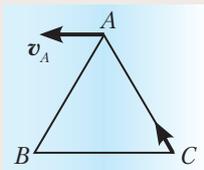


В.М. БУХАНОВ,
Е.А. ВИШНЯКОВА, А.В. ГРАЧЁВ,
О.С. ИВАНОВА,
проф. С.Н. КОЗЛОВ,
С.Ю. НИКИТИН,
И.П. НИКОЛАЕВ, С.В. ПАЦАЕВА,
В.А. ПОГОЖЕВ, Н.Б. ПОДЫМОВА,
М.С. ПОЛЯКОВА,
проф. П.А. ПОЛЯКОВ,
проф. В.С. РУСАКОВ,
С.С. ЧЕСНОКОВ,
Н.И. ЧИСТЯКОВА

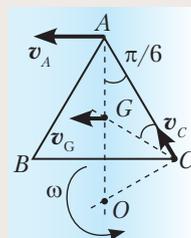
МЕХАНИКА

1. Дайте определение центра масс системы материальных точек. Запишите формулу для импульса системы материальных точек.

Задача. Вырезанную из однородного листа металла пластинку в форме равностороннего треугольника ABC положили на гладкую горизонтальную плоскость и толкнули его. В момент времени $t = 0$ оказалась, что скорость v_A вершины A этого треугольника перпендикулярна биссектрисе угла BAC , а скорость вершины C направлена вдоль стороны AC . Определите перемещение Δr центра треугольника за время τ после указанного момента.



Решение. Относительно неподвижной системы отсчёта, которую будем считать инерциальной, пластинка совершает сложное движение, являющееся суперпозицией поступательного движения и вращения. Поскольку поверхность, по которой скользит пластинка, является гладкой и горизонтальной, скорость v_O центра масс пластинки (точки G) постоянна. Рассмотрим мгновенное положение пластинки в момент времени $t = 0$ (см. рисунок). Проведём биссектрису AO угла BAC и восстановим перпендикуляр CO к стороне AC в вершине C . В момент времени $t = 0$, по условию, $v_A \perp AO$ и $v_C \perp CO$. Следовательно, движение пластинки в этот момент времени можно представить как вращение с некоторой угловой скоростью ω вокруг мгновенной оси, перпендикулярной плоскости рисунка и проходящей через точку O .



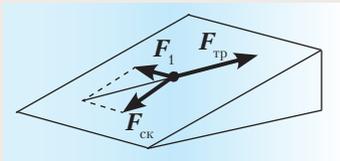
Поскольку $OG = OC = \frac{AO}{2}$ и $\omega = \frac{v_A}{AO} = \frac{v_G}{OG}$, то $v_G = \frac{v_A}{2}$. Учитывая, что точка G движется равномерно и прямолинейно, получаем ответ: $\Delta r = \frac{1}{2} v_A \tau$.

2. Что такое трение покоя и трение скольжения? Дайте определение коэффициента трения.

В 2010 г. МГУ получил право проводить на всех факультетах дополнительные вступительные испытания профильной направленности (профильные вступительные экзамены). В частности, для абитуриентов физического и физико-химического факультетов был организован профильный экзамен по физике. Кроме того, весной проводилась традиционная олимпиада «Ломоносов» по целому комплексу предметов из Перечня олимпиад школьников, утверждённого МОиН РФ. Победители и призёры олимпиады «Ломоносов-2010» по физике пользовались существенными льготами при поступлении на ряд факультетов МГУ. Так, победители и призёры этой олимпиады, поступающие на физический и физико-химический факультеты, освобождались от сдачи профильного экзамена по физике и автоматически получали по нему максимальный балл. Абитуриентам механико-математического факультета, факультета вычислительной математики и кибернетики, химического факультета и факультета наук о материалах предоставлялась льгота в виде максимального балла ЕГЭ по физике. Олимпиада «Ломоносов» и профильный экзамен по физике проводились в письменной форме. Типовое задание охватывало все основные разделы программы по физике для поступающих в МГУ: ● механику ● молекулярную физику и термодинамику ● электродинамику ● оптику. По каждому разделу абитуриенту предлагались краткий вопрос по теории и дополняющая его задача. На выполнение всего задания отводилось четыре астрономических часа. Приводим примеры заданий олимпиады и профильного экзамена, сгруппированные по разделам программы.

Задача. На наклонной плоскости, составляющей с горизонтальной поверхностью угол α , покоится брусок. Его можно сдвинуть с места силой F_0 , направленной вдоль наклонной плоскости вверх, либо силой F_1 , направленной горизонтально перпендикулярно направлению силы F_0 , причём $F_1 = kF_0$. Определите коэффициент трения бруска о наклонную плоскость μ , если $k = 0,2$, а $\alpha = \arctg 0,3$.

Решение. Для того чтобы сдвинуть брусок вдоль наклонной плоскости вверх, нужно приложить к нему силу, модуль которой $\alpha = \arctg 0,3$, где $\alpha = \arctg 0,3$ – модуль «скатывающей силы» (составляющей силы тяжести вдоль наклонной плоскости), $\alpha = \arctg 0,3$ – модуль максимальной силы трения покоя, равный модулю силы трения скольжения. При действии на брусок горизонтальной силы F_1 направление силы трения изменится, а модуль её останется таким же. Силы, действующие на брусок в этом случае, изображены на рисунке в проекции на наклонную плоскость.



Брусок сдвинется с места, когда $F_1^2 + F_{ск}^2 = F_{тр}^2$. Из записанных выражений находим:

$$F_1^2 + F_{ск}^2 = F_{тр}^2;$$

$$F_{ск} = \frac{F_0^2 - F_1^2}{2F_0};$$

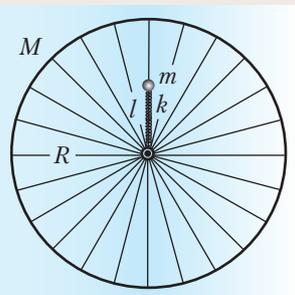
$$\frac{F_{тр}}{F_{ск}} = \frac{\mu}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Решая эту систему уравнений относительно искомого коэффициента трения, получаем ответ:

$$\mu = \frac{1+k^2}{1-k^2} \operatorname{tg} \alpha = 0,325.$$

3. Дайте определение упругих деформаций. Сформулируйте закон Гука.

Задача. Колесо состоит из тонкого обода массой M и радиусом R и радиально расположенных спиц, соединяющих обод со втулкой, в которую вставлена ось. На одну из спиц надета лёгкая пружина жёсткостью k , один конец которой закреплён на втулке. К другому концу пружины прикреплён маленький шарик массой m , также надетый на спицу. В



недеформированном состоянии длина пружины равна l ($l < R$). Колесо располагают горизонтально и закрепляют ось вращения. Какую работу A нужно совершить, чтобы медленно раскрутить колесо до такой угловой скорости, при которой шарик коснётся обода? Считайте, что спицы гладкие и невесомые. Трение в оси и диаметром втулки можно пренебречь.

Решение. В случае, когда шарик касается обода колеса, удлинение пружины составляет величину $\Delta l = R - l$. Центробежное ускорение шарика при этом равно $\Delta l = R - l$, где ω – угловая скорость вращения колеса. Согласно второму закону Ньютона и закону Гука, в случае касания шариком обода уравнение движения шарика имеет вид: $m\omega^2 R = k(R - l)$. При этом модуль линейной скорости шарика и всех точек обода колеса $v = \omega R$. Следовательно, кинетическая энергия вращающегося обода с грузом $E_k = \frac{1}{2}(m + M)\omega^2 R^2$, а потенциальная энергия растянутой пружины $E_n = \frac{1}{2}k(R - l)^2$.

Согласно закону изменения механической энергии, работа по раскручиванию колеса $A = E_k + E_n$. Подставляя в это выражение записанные выше соотношения, получаем ответ:

$$A = \frac{1}{2}k(R - l) \left[\left(2 + \frac{M}{m} \right) R - l \right].$$

4. Дайте определение равнопеременного прямолинейного движения. Приведите зависимости координаты и скорости тела от времени при равнопеременном движении.

Задача. К потолку покоящейся кабины лифта на пружине жёсткостью $k = 10$ Н/м подвешена гири массой $m = 1$ кг. В некоторый момент времени лифт начинает движение вверх с постоянным ускорением m/c^2 . Какой путь s пройдёт кабина относительно шахты лифта к тому моменту, когда длина пружины в первый раз станет максимальной?

Решение. Совместим начало системы отсчёта, связанной с кабиной лифта, с нижним концом недеформированной пружины; координатную ось X направим вертикально вниз. Когда кабина неподвижна, координата гири в положении равновесия равна

$$x_0 = \frac{mg}{k}.$$

В момент начала движения кабины скачком смещается вниз положение равновесия гири, координата которой в равновесии становится равной $x_1 = \frac{m(g+a)}{k}$. В результате начинаются гармо-

нические колебания гири с периодом $x_1 = \frac{m(g+a)}{k}$, который не зависит от ускорения кабины.

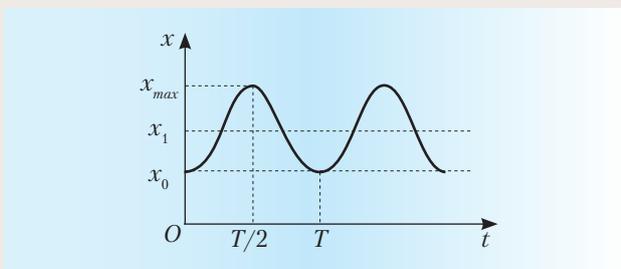


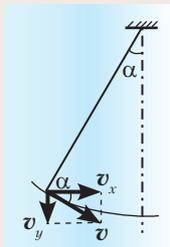
График зависимости координаты гири x от времени t изображён на рисунке, $t = 0$ соответствует моменту начала движения кабины. Как видно из рисунка, время τ , за которое длина пружины достигает максимального значения, равно половине периода колебаний гири: $\tau = T/2$. Путь, пройденный кабиной за это время $s = \frac{a\tau^2}{2}$. Объединяя записанные выражения, получаем ответ: $s = \frac{\pi^2 am}{2k} \approx 0,49$ м.

5. Дайте определение гармонических колебаний. Что такое амплитуда и фаза гармонических колебаний?

Задача. Математический маятник отклонили от положения равновесия на малый угол $\alpha_0 = 0,1$ рад и отпустили без начальной скорости, после чего маятник стал совершать гармонические колебания. Найдите максимальное значение v_{max} модуля вертикальной составляющей скорости маятника. Длина маятника m . Ускорение свободного падения примите равным m/c^2 .

Решение. Угол отклонения маятника от вертикали изменяется во времени по закону: $\alpha = \alpha_0 \cos \omega t$, где $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$ – круговая частота. Следовательно, модуль

линейной скорости маятника $|v| = l|\alpha'|$ зависит от времени как $|v| = \alpha_0 l \omega |\sin \omega t|$. Здесь через α' обозначена производная от угла α по времени. Модуль вертикальной составляющей v_y скорости маятника:



$$v_y = |v \sin \alpha| \approx |v \alpha| = \alpha_0^2 l \omega |\sin \omega t \cos \omega t| = \frac{\alpha_0^2 l \omega}{2} |\sin 2\omega t|.$$

Максимальное значение этой величины достигается при $|\sin 2\omega t| = 1$.

Ответ: $v_{max} = \frac{1}{2} \alpha_0^2 \sqrt{gl} = 1$ см/с.

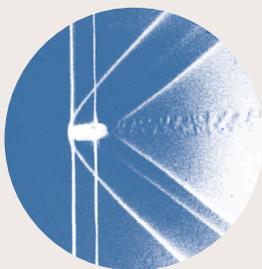
6. Дайте определение периода колебаний. Запишите формулу для периода колебаний груза на пружине.

Задача. В U-образную трубку постоянного сечения, колена которой расположены вертикально, налили жидкость массой $m = 50$ г. Определите период T колебаний жидкости в трубке, возбуждаемых небольшим смещением уровней от положения равновесия. Площадь поперечного сечения трубки $S = 1$ см², плотность жидкости $\rho = 1$ г/см³. Сжимаемостью жидкости и её трением о стенки трубки можно пренебречь. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10$ м/с².

Решение. В лабораторной системе отсчёта, которую считаем инерциальной, введём U-образную ось системы координат, проложенную по оси трубки, то есть по траектории движения частиц жидкости, в середине её сечения. Спроецируем внешние силы, действующие на отдельные малые фрагменты жидкости, на эту ось. При смещении уровней жидкости от равновесия на расстояние x сумма проекций всех внешних сил на эту ось равна $-2S\rho g x$. Проекция ускорения любого малого фрагмента жидкости на эту ось есть его тангенциальное ускорение a_τ , одинаковое для всех фрагментов. Поэтому получаем: $ma_\tau = -2S\rho g x$. Это уравнение описывает гармонические колебания жидкости с круговой частотой $\omega = \sqrt{\frac{2\rho g s}{m}}$. Учитывая, что период колебаний T связан с круговой частотой формулой $T = \frac{2\pi}{\omega}$, по-

лучаем ответ: $T = \pi \sqrt{\frac{2m}{\rho g s}} \approx 1$ с.

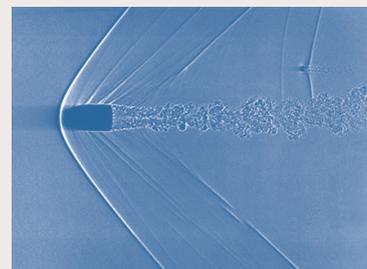
См. с. 26



Фотография летящей латунной пули, сделанная Э.Махом в 1888 г. Две вертикальные линии – датчики, включавшие освещение (<http://shkolazhizni.ru/archive/0/n-30002/>)

К вопросу о звездах, отбрасывающей хвост

Исследователи NASA обратили внимание на то, что движение летящей Миры со срывающимся газом очень похоже на полёт пули, перемещающейся в воздухе со сверхзвуковой скоростью (<http://www.bcetyt.ru/science/researches/44104452.html>)



МАИ-2010: российская аэрокосмическая олимпиада



КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: решение задач, российская аэрокосмическая олимпиада, абитуриенту, МАИ (ТУ)

Продолжение. См. № 21/2010

В.П. ДЕМКОВ, В.В. ОЗОЛИН,
Г.Э. СОЛОХИНА,
МАИ(ТУ), г. Москва

БИЛЕТ № 3

1 (10 баллов)*. Лягушка, подпрыгнув над землёй на высоту $h = 15$ см, пролетела по горизонтали $L = 40$ см. Чему равна полезная работа, совершённая мышцами лягушки при прыжке? Масса лягушки $m = 60$ г. Спротивлением воздуха пренебречь.

Дано:

$h = 15$ см,
 $L = 40$ см,
 $m = 60$ г.

$A = ?$

Решение

Полезная работа, совершённая мышцами лягушки, сообщает ей кинетическую энергию $A = \frac{mv_0^2}{2}$ (1).

Начальную скорость прыжка лягушки можно определить, записав формулы для дальности полёта и максимальной высоты подъёма тела, брошенного с поверхности Земли под углом к горизонту:

$$\begin{cases} L = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}, & (2) \\ h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}. & (3) \end{cases}$$

Из уравнения (3) получаем:

$$\begin{aligned} \sin^2 \alpha &= \frac{2gh}{v_0^2} \Rightarrow \sin \alpha = \frac{\sqrt{2gh}}{v_0} \Rightarrow \\ \cos \alpha &= \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \frac{\sqrt{v_0^2 - 2gh}}{v_0}. \end{aligned}$$

*Баллы в скобках – это «удельный вес» задачи, то есть максимальное количество баллов, которые школьник может получить при правильном решении. При проверке каждая задача, согласно инструкции, оценивается так: 1,0 – задача решена правильно; 0,8 – есть правильное решение задачи и ответ в общем виде, но имеется ошибка в размерности или арифметическая ошибка; 0,6 – есть полная система уравнений, но имеется ошибка в алгебраических преобразованиях; 0,4 – есть неполная система уравнений; 0,2 – есть отдельные формулы, не составляющие систему уравнений; 0,0 – решение задачи или относящиеся к ней записи в работе не обнаружены. Затем полученные баллы умножаются на «удельный вес» задачи, например: первоначальная оценка 0,6, «удельный вес» задачи 20, следовательно, школьник за эту задачу получает $0,6 \cdot 20 = 12$ баллов. Максимальное количество баллов по олимпиаде за весь билет – 100, как в ЕГЭ.

Подставляя в формулу (2) получаем дальность полёта:

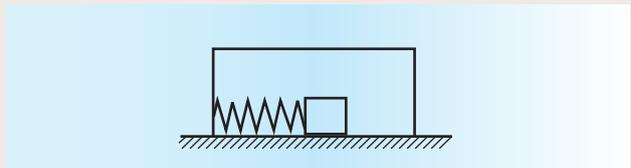
$$L = \frac{v_0^2 2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} = \frac{2 \cdot \sqrt{2gh} \cdot \sqrt{v_0^2 - 2gh}}{g}.$$

Отсюда получаем квадрат начальной скорости прыжка лягушки: $v_0^2 = \frac{gL^2}{8h} + 2gh$.

Подставляя это выражение в уравнение (1) находим полезную работу, совершённую мышцами лягушки:

$$A = mg \left(\frac{L^2}{16h} + h \right) = 0,06 \cdot 10 \cdot \left(\frac{0,4^2}{16 \cdot 0,15} + 0,15 \right) \approx 0,13 \text{ Дж.}$$

2 (10 баллов). Коробка массой $M = 1$ кг имеет форму прямого параллелепипеда. На дне коробки находится груз массой $m = 100$ г, прикрепленный к стенке коробки пружиной жёсткостью $k = 200$ Н/м (см. рисунок). Груз может скользить по дну коробки без трения. Коробку «разболтали» так, что груз стал совершать горизонтальные колебания, и поставили на стол. При какой амплитуде колебаний груза коробка начнёт двигаться по поверхности стола? Поверхность стола горизонтальна, коэффициент трения между коробкой и столом $\mu = 0,2$.



Дано:

$M = 1$ кг,
 $k = 200$ Н/м,
 $m = 100$ г,
 $\mu = 0,2$.

$A = ?$

Решение

Чтобы коробка двигалась по столу, максимальная сила упругости при колебании груза должна быть больше силы трения: $F_{\text{упр}} > F_{\text{тр}}$, где $F_{\text{упр}} = k\Delta x_{\text{max}}$;

$F_{\text{тр}} = \mu N = \mu(M + m)g$. Так как в положении равновесия груза пружина недеформирована, то амплитуда колебаний груза $A = \Delta x_{\text{max}}$, следовательно можно записать $kA > \mu(M + m)g$. Отсюда получаем, что коробка будет двигаться по поверхности стола, если амплитуду

да колебаний будет удовлетворять условию:

$$A > \frac{\mu(M+m)g}{k} = \frac{0,2 \cdot (1+0,1) \cdot 10}{200} = 1,1 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

3 (20 баллов). Дрова свалили под открытым небом. Дрова намокли. Для того чтобы протопить дом, нужно сжечь $m_1 = 20$ кг сухих дров. Определите, сколько надо сжечь мокрых дров. Плотность сухих дров $\rho_1 = 600$ кг/м³, плотность мокрых дров $\rho_2 = 700$ кг/м³. Удельная теплоёмкость воды $c = 4200$ Дж/(кг · К), удельная теплота парообразования воды $r = 2,26 \cdot 10^6$ Дж/кг, удельная теплота сгорания сухих дров $q = 10$ МДж/кг. Температуру мокрых дров считать равной $t = 10$ °С.

Дано:

$$\begin{aligned} m_1 &= 20 \text{ кг,} \\ \rho_1 &= 600 \text{ кг/м}^3, \\ \rho_2 &= 700 \text{ кг/м}^3, \\ c &= 4200 \text{ Дж / (кг} \cdot \text{К)}, \\ r &= 2,26 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг,} \\ q &= 10 \text{ МДж/кг,} \\ t &= 10 \text{ }^\circ\text{С.} \end{aligned}$$

$$m_2 - ?$$

Решение

Масса мокрых дров m_2 складывается из массы сухих дров $m_{\text{др}} = m_2 \frac{\rho_1}{\rho_2}$ и массы воды в этих дровах $m_{\text{в}} = m_2 - m_{\text{др}}$:

$$m_{\text{в}} = m_2 - m_{\text{др}} = m_2 - m_2 \frac{\rho_1}{\rho_2} = m_2 \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2}.$$

Тепла, выделяющегося при сгорании сухих дров массой $m_{\text{др}}$ должно хватить на нагрев и испарение воды $m_{\text{в}}$ и отопление дома.

Составим уравнение теплового баланса:

$$Q_{\text{др}} = Q_{\text{в}} + Q_{\text{отопл.}}$$

Распишем каждую из составляющих. При сгорании сухих дров выделяется количество тепла

$$Q_{\text{др}} = qm_{\text{др}} = qm_2 \rho_1 / \rho_2. \quad (4)$$

На нагрев и испарение воды требуется:

$$Q_{\text{в}} = m_{\text{в}}(100 - t) + rm_{\text{в}} = m_2 \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2} [c \cdot (100 - t) + r]. \quad (5)$$

А для отопления дома, по условию, необходимо

$$Q_{\text{отопл.}} = qm_1. \quad (6)$$

Подставляя (4)–(6) в уравнение баланса, получаем:

$$qm_2 \frac{\rho_1}{\rho_2} = m_2 \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2} [c \cdot (100 - t) + r] + qm_1.$$

Выражая из последнего соотношения искомую массу мокрых дров, получаем:

$$m_2 = \frac{qm_1 \rho_2}{q\rho_1 - [c \cdot (100 - t) + r](\rho_2 - \rho_1)} =$$

$$\begin{aligned} &= \frac{10^7 \cdot 20 \cdot 700}{10^7 \cdot 600 - [4200 \cdot (100 - 10) + 2,26 \cdot 10^6]} (700 - 600) \approx \\ &\approx 24,4 \text{ кг.} \end{aligned}$$

4 (30 баллов). В вершинах правильного 2010-угольника со стороной $a = 5$ см закреплены маленькие одинаковые шарики с равными зарядами. В некоторый момент времени один из шариков освободили, а через достаточно большой промежуток времени освободили второй шарик, соседний с первым освобождённым. Оказалось, что на большом расстоянии от многоугольника кинетические энергии освобождённых шариков отличаются на $\Delta E_{\text{к}} = 0,01$ Дж. Определите заряд каждого шарика. Среда – вакуум.

Дано:

$$\begin{aligned} N &= 2010, \\ a &= 5 \text{ см,} \\ \Delta E_{\text{к}} &= 0,01 \text{ Дж.} \\ q &- ? \end{aligned}$$

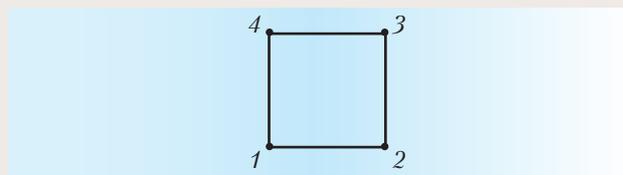
Решение

На большом расстоянии от многоугольника первый из освобождённых шариков будет иметь скорость v_1 , а второй шарик – скорость v_2 . Рассматриваем движение каждого из двух шариков под действием кулоновских сил со стороны зарядов, остающихся в вершинах многоугольника. Механическая энергия каждого из двух шариков сохраняется, поэтому

$$\frac{mv_1^2}{2} = \sum_{j=2}^{2010} \frac{kq^2}{r_{1j}}; \quad \frac{mv_2^2}{2} = \sum_{j=3}^{2010} \frac{kq^2}{r_{2j}}.$$

Отметим, что в правильном многоугольнике с чётным числом вершин при любом $j \geq 3$ расстояния от j -го шарика до 1-го и 2-го шариков, находящихся в соседних вершинах, разные: $r_{1j} \neq r_{2j}$. Тем не менее именно из-за симметрии правильного многоугольника первая сумма отличается от второй только на первое слагаемое, равное $\frac{kq^2}{r_{12}}$.

Покажем это на примере квадрата – правильного 4-угольника: в данном случае 4 от 2010 ничем принципиально не отличается.



Для шарика 1:

$$\sum_{j=2}^4 \frac{kq^2}{r_{1j}} = kq^2 \left(\frac{1}{r_{12}} + \frac{1}{r_{13}} + \frac{1}{r_{14}} \right) = kq^2 \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{a\sqrt{2}} + \frac{1}{a} \right).$$

Для шарика 2:

$$\sum_{j=3}^4 \frac{kq^2}{r_{2j}} = kq^2 \left(\frac{1}{r_{23}} + \frac{1}{r_{24}} \right) = kq^2 \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{a\sqrt{2}} \right).$$

Мы видим на рисунке, что $r_{13} = r_{24}$, $r_{14} = r_{23}$. Поэтому

$$\sum_{j=2}^4 \frac{kq^2}{r_{1j}} - \sum_{j=3}^4 \frac{kq^2}{r_{2j}} = \frac{kq^2}{r_{12}} = \frac{kq^2}{a}.$$

Аналогично $\sum_{j=2}^{2010} \frac{kq^2}{r_{1j}} - \sum_{j=3}^{2010} \frac{kq^2}{r_{2j}} = \frac{kq^2}{r_{12}} = \frac{kq^2}{a}$.

Тогда разность кинетических энергий освобождённых шариков:

$$\Delta E_k = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2} = \sum_{j=2}^{2010} \frac{kq^2}{r_{1-j}} - \sum_{j=3}^{2010} \frac{kq^2}{r_{i-j}} = \frac{kq^2}{a}.$$

Отсюда находим величину заряда шарика:

$$q = \sqrt{\frac{a\Delta E_k}{k}} = \sqrt{\frac{0,05 \cdot 0,01}{9 \cdot 10^9}} \approx 2,3 \cdot 10^{-7} \text{ Кл.}$$

5 (15 баллов). Металлический шарик радиусом $R = 2$ см движется со скоростью $v = 1$ м/с в однородном магнитном поле с индукцией $B = 10^{-2}$ Тл так, что направление вектора скорости шарика составляет угол $\alpha = 30^\circ$ с линиями магнитной индукции. Между какими точками поверхности шарика разность потенциалов максимальна? Чему она равна?

<p><i>Дано:</i> $R = 2$ см, $v = 1$ м/с, $B = 10^{-2}$ Тл, $\alpha = 30^\circ$.</p> <p>$\Delta\phi_{max} - ?$</p>	<p style="text-align: center;"><i>Решение</i></p> <p>Под действием силы Лоренца в шарике начнётся перераспределение зарядов и возникнет электрическое поле, величина которого будет постепенно увеличиваться. Этот процесс завершится, когда силы, действующие на свободные заряды (электроны) со стороны электрического и магнитного полей, уравновесят друг друга.</p>
--	--

Поскольку скорости всех точек шарика одинаковы, то электрическое поле, индуцированное в шарике, будет однородным. При этом наибольшая разность потенциалов возникнет на концах диаметра, перпендикулярного векторам \mathbf{B} и \mathbf{v} . Величина силы Лоренца, действующей на электрон со стороны магнитного поля равна $F_{л} = |e|vB\sin 90^\circ = |e|vB$.

Сила, действующая на электрон со стороны электрического поля, запишется $F_{эл} = |e|E$, где E – напряжённость индуцированного в шарике электрического поля. Величину E можно определить, используя условие равенства этих сил: $F_{л} = F_{эл}$, – получаем $E = vB$. Максимальная разность потенциалов между точками поверхности шарика:

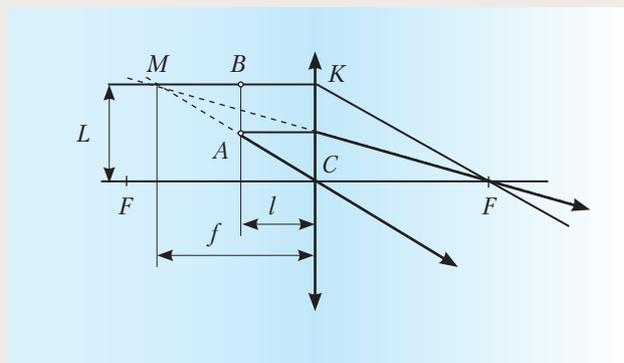
$$\Delta\phi = 2RE = 2RvB = 2 \cdot 0,02 \cdot 1 \cdot 10^{-2} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ В.}$$

6 (15 баллов). Муравей движется по земле со скоростью $v = 1$ см/с. Его разглядывают через собирающую линзу с фокусным расстоянием $F = 20$ см. Линза параллельна поверхности земле и удалена от неё на расстояние $l = 8$ см. С какой скоростью следует перемещать линзу в направлении, перпендикулярном главной оптической оси, чтобы изображение муравья было неподвижным?

<p><i>Дано:</i> $v = 1$ см/с, $l = 8$ см, $F = 20$ см.</p> <p>$v_1 - ?$</p>	<p style="text-align: center;"><i>Решение</i></p> <p>Так как расстояние l от муравья до линзы меньше фокусного расстояния F линзы, то изображение будет мнимым. В этом случае формула линзы примет вид $\frac{1}{f} = \frac{1}{l} - \frac{1}{f}$, где</p>
--	--

f – расстояние от линзы до изображения муравья.

Из формулы линзы следует, что $f = \frac{l \cdot F}{F - l}$.



Для дальнейшего решения задачи построим изображение муравья в линзе. Согласно рисунку, если за время Δt муравей сместится из точки A в точку B на расстояние $v\Delta t$, то, чтобы изображение муравья осталось на прежнем месте, линзу надо переместить на расстояние L .

Из подобия треугольников AMB и CMK можно записать $f = \frac{l \cdot F}{F - l}$, откуда, с учётом выражения для f , получаем:

$$L = v\Delta t \frac{f}{f - l} = v\Delta t \frac{l \cdot F}{l \cdot F - l \cdot (F - l)} = v\Delta t \frac{F}{l}.$$

Следовательно, линзу нужно перемещать вдоль направления движения муравья со скоростью:

$$v_1 = \frac{L}{\Delta t} = v \frac{F}{l} = 1 \cdot \frac{20}{8} = 2,5 \text{ см/с.}$$

«Релятивистская» кружка

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: специальная теория относительности Эйнштейна

Академик РАН Л.Б. ОКУНЬ,
ИТЭФ, г. Москва, Россия



Эта заметка представляет собой попытку просто объяснить, почему знаменитое соотношение $E = mc^2$ неправильно выражает суть теории относительности Эйнштейна. Заметка в основном адресована школьным преподавателям, а часть её – тем университетским профессорам, которые позволяют себе говорить, что масса тела растёт с ростом его скорости или импульса, и тем самым вводят в заблуждение школьных преподавателей и их учеников.

1 ВВЕДЕНИЕ

Нравственное здоровье современного общества и его материальное благополучие невозможны без высокого статуса науки в стране. А это, в известной мере определяется тем, насколько адекватно наука отражается в зеркале массовой культуры. Более двадцати лет я собираю артефакты массовой культуры (от открыток и футболок до научно-популярных статей и книг), посвящённые «знаменитой формуле Эйнштейна».

Недавно друзья подарили мне кружку, которая называется *Relativity Floxy Noxy mug*. Если набрать эти четыре слова в поисковике компьютера, то можно рассмотреть кружку. Она в некотором смысле представляет собой квинтэссенцию моей коллекции, так как содержит основные научно-популярные штампы по этой теме. Поскольку эти штампы продолжают попадать в газеты и в учебники, я решил воспроизвести надписи на кружке и кратко объяснить, что в них неверно. Думаю, что получившаяся заметка может быть полезна многим.

2. ТЕКСТ НА КРУЖКЕ

На кружке имеются три колонки текста – направо от ручки (1), налево от ручки (2), напротив ручки (3).

Колонка 1

In 1905 at the age of 26, Einstein proposed the Special Theory of Relativity, using the equation: $E = mc^2$ where $E =$ energy, $m =$ mass, $c =$ the speed of light.

Печатается по сайту URL: http://arxiv.org/PS_cache/arxiv/pdf/1010/1010.5400v1.pdf (см. также arXiv:1010.5400). Статья будет опубликована в книге «Gribov-80 Memorial Volume: Quantum Chromodynamics and Beyond», World Scientific, Singapore, 2011, посвящённой В.Н. Грибову (1930–1997).

Special relativity expresses the concept that matter and energy are really different forms of the same thing. Any mass has an associated energy and vice versa.

В 1905 году 26-летний Эйнштейн предложил специальную теорию относительности, используя уравнение $E = mc^2$, где E – энергия, m – масса, c – скорость света.

Специальная теория относительности выражает мысль, что материя и энергия являются, в сущности, различными формами одного и того же. Любая масса имеет связанную с ней энергию, и наоборот.

Колонка 2

Albert Einstein's SPECIAL Theory of RELATIVITY

In the 1850's it was calculated that light traveled at a fixed speed of 670 million mph. However, whatever speed we traveled at, we would never catch up with the speed of light. Einstein proposed that if the speed of light is always fixed, something else must give way, i. e. mass must change. An object must get heavier as it approaches the speed of light. He concluded that energy and mass must be interrelated.

СПЕЦИАЛЬНАЯ теория ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ Альберта Эйнштейна.

В 1850-х годах было вычислено, что свет движется с фиксированной скоростью 670 миллионов миль в час. Однако, как бы быстро мы ни двигались, догнать свет мы не можем. Эйнштейн предложил, что если скорость света всегда фиксирована, то что-то другое должно изменяться, а именно: должна изменяться масса. Предмет должен становиться тяжелее по мере того, как его скорость приближается к скорости света. Он заключил, что энергия и масса должны быть связаны друг с другом.

Колонка 3

His formula suggested that tiny amounts of mass can be converted into huge amounts of energy... which revealed the secret of how stars shine and unlocked the key to atomic energy.

Его формула означала, что маленькие количества массы можно превратить в огромные количества энергии, что раскрыло секрет сияния звёзд и послужило ключом к атомной энергии.

3. МОИ УТОЧНЕНИЯ И КОММЕНТАРИИ

Колонка 1

Как известно, в 1860–70 гг. Максвелл объединил оптику с физикой электрических и магнитных явлений, открыв уравнения, описывающие не только статическое, но и движущееся в вакууме со скоростью света электромагнитное поле.

В 1880–90 гг. ряд физиков, обнаружив, что уравнения Максвелла не согласуются с уравнениями механики Ньютона, попытались сохранить уравнения Ньютона и при скоростях, сравнимых со скоростью света, запрятав всё новое в гипотезу о том, что масса тела растёт с ростом его скорости. Эти попытки продолжались и в XX в.; они кратко описаны в статьях [1], [2]. Однако довольно скоро выяснилось, что так можно поступить не со всеми уравнениями Ньютона; например, так нельзя поступить со знаменитым уравнением $F = ma$, где F – сила, а a – ускорение. Оказалось, что надо изменить сами уравнения механики Ньютона, сохранив при этом независимость массы от скорости, но установив новую, очень важную связь массы и энергии. Заметим, что связь силы с импульсом при этом сохранилась: $F = dp/dt$, – но связь импульса со скоростью $p = mv$ стала, как мы увидим, иной. Всё это сопровождалось изменением языка и философии физики.

Летом 1905 г. Эйнштейн опубликовал детальную статью [3], в которой предложил теорию, вскоре названную теорией относительности Эйнштейна, поскольку в ней на электромагнитные явления был распространён принцип относительности Галилея–Ньютона. Согласно этому принципу, никакими опытами внутри замкнутого пространства (например, каюты корабля) невозможно выяснить, движется ли оно прямолинейно и равномерно, или покоится. Затем эту теорию распространили и на только что открытые ядерные явления, и за ней закрепилось название *специальная теория относительности* (СТО). По существу, СТО – это теория движения и взаимодействия быстрых частиц, скорость которых сравнима со скоростью света. Такие частицы стали называть релятивистскими. (В 1915 г. Эйнштейн предложил общую теорию относительности – ОТО, описывающую гравитационные явления. Но в этой заметке мы её касаться не будем.)

Осенью 1905 г. появилась короткая заметка Эйнштейна [4] о том, что масса тела есть мера содержащейся в нём энергии. В теории относительности полная энергия свободного тела E равна сумме его кинетической энергии, то есть энергии движения тела как целого E_k и энергии, содержащейся в покоящемся теле, то есть энергии покоя E_0 :

$$E = E_k + E_0. \quad (1)$$

Разумеется, представление о свободном теле, изолированном от всех внешних воздействий, является идеализацией, абстракцией. Но абстракция лежит в основе научного метода и является исключительно плодотворной.

Осознание того, что любое покоящееся тело обладает энергией, было величайшим открытием XX в. Величина этой энергии выражается через массу тела m соотношением Эйнштейна:

$$E_0 = mc^2. \quad (2)$$

(Именно в таком виде написал Эйнштейн уравнение (44) в лекциях «Сущность теории относительности» [5], прочитанных им в 1921 г., хотя понятие энергии покоя E_0 появилось уже в заметке [4] 1905 г.)

Поскольку кинетическая энергия обычных окружающих нас тел даётся известной формулой механики Ньютона $E_k = mv^2/2$ и поскольку скорость обычных тел v много меньше скорости света c , то их кинетическая энергия неизмеримо меньше их энергии покоя. Но в каждодневной жизни энергия покоя не проявляется. Эйнштейн сразу же заметил, что часть этой энергии выделяется при распаде радиоактивных ядер.

К сожалению, как в начале, так и на протяжении всего XX в., многие известные физики формулировали соотношение Эйнштейна в «упрощённом виде», опуская индекс «ноль» у энергии:

$$E = mc^2 \quad (3)$$

и трактуя это соотношение как возрастание массы с ростом не только энергии, но и импульса, и скорости тела.

Известно письмо 1948 г. Барнетту – автору книги «Вселенная доктора Эйнштейна», в котором Эйнштейн предупреждает о том, что не следует пользоваться понятием массы, зависящей от скорости (смотрите копию рукописи этого письма в [1]). Но временами, особенно в научно-популярных текстах, и он опускал индекс «ноль». По существу, семантическое завихрение в его творчестве возникло при столкновении двух языков – старого нерелятивистского и нового релятивистского.

Колонка 2

Утверждение о том, что свет всегда имеет фиксированную скорость 670 миллионов миль в час, – правильное, но утверждение, что это было вычислено в 1850-х гг., не вполне верное. Что скорость света конечна, а не бесконечна, выяснил в 1676 г. Рёмер, определивший её по наблюдениям спутника Юпитера. Из них следовало, что она составляет пример-

но 200 000 км/с. Первые и более точные измерения в земных условиях произвёл Физо в 1849 г. А то, что скорость 300 000 км/с с высокой точностью фиксирована, то есть не зависит от скорости источника света и наблюдателя, обнаружили в 1887 г. Майкельсон и Морли.

Заключение о том, что энергия и масса связаны друг с другом, несомненно правильное, поскольку $E_0 = mc^2$. А вот утверждение о том, что масса тела должна меняться вместе с его скоростью, заведомо неверное. В теории относительности, в отличие от механики Ньютона, мерой инерции является не масса тела m , а его полная энергия E , а импульс тела \mathbf{p} связан с его скоростью \mathbf{v} не соотношением Ньютона $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$, а соотношением

$$\mathbf{p} = \frac{E}{c^2} \mathbf{v}. \quad (4)$$

В результате изменить импульс тела тем трудней, чем больше его энергия E . И только при нулевом импульсе, когда $E = E_0$, то есть когда полная энергия равна энергии покоя, только тогда $E/c^2 = m$.

Прочувствовать, что именно энергия частицы является мерой её инерции можно на примере Большого электрон-позитронного коллайдера *LEP*, работавшего в ЦЕРН в последнее десятилетие XX в. В его кольцевом туннеле длиной 27 км электроны и позитроны с энергией около 50 ГэВ летели навстречу друг другу. Удерживались они в этом кольце довольно слабым полем железных магнитов, расположенных в туннеле. (Если бы не было поля, частицы летели бы по инерции по прямой линии.) Точно так же удерживало бы это поле и протоны с тем же импульсом и почти той же энергией, несмотря на то, что масса протона почти в 2000 раз больше массы электрона. В 2010 г. в том же туннеле заработал Большой адронный коллайдер (БАК, *LHC*). Чтобы удерживать в нём протоны с энергией 3500 ГэВ, понадобилось в 70 раз более сильное поле сверхпроводящих магнитов.

Итак, мерой инерции частицы является её полная энергия.

Колонка 3

Здесь всё правильно, если говорить о формуле $E_0 = mc^2$ и учесть, что в ядерных реакциях в звёздах, на Солнце и на Земле часть энергии покоя сгорающих частиц превращается в энергию движения продуктов горения. Это же, разумеется, относится и ко всем процессам горения.

4. ЧЕТЫРЕ ИЗМЕРЕНИЯ МИРА

Теперь я хотел бы сказать несколько слов тем, кто более или менее знаком с четырёхмерным математическим аппаратом теории относительности,

введённым Минковским в 1908 г. [6]. В четырёхмерном мире (4-мире) Минковского временная координата события ct и 3-вектор его пространственного положения \mathbf{r} образуют четырёхмерный вектор. Аналогичным образом энергия свободного (изолированного) тела E (более точно, E/c^2) и три компоненты его импульса \mathbf{p} (более точно, \mathbf{p}/c) образуют четыре компоненты псевдоевклидова 4-вектора. Масса тела m представляет собой скаляр, равный длине этого 4-вектора:

$$m^2 = \frac{E^2}{c^4} - \frac{\mathbf{p}^2}{c^2}. \quad (5)$$

(Слово «псевдоевклидовый» указывает на то, что квадрат длины 4-вектора равен не сумме, а разности квадратов его E - и \mathbf{p} -компонент.)

Тейлор и Уилер в книге [8] откладывают величины энергии и импульса по ортогональным осям, а на гипотенузе прямоугольного треугольника откладывают величину массы с помощью утолщённого отрезка. Но можно просто изобразить соотношение (5) в виде прямоугольного треугольника, если переписать его в виде $E^2 = m^2c^4 + \mathbf{p}^2c^2$ (см. статью [7]). Тогда энергия – гипотенуза, а масса и импульс – катеты. Отсюда, в частности, следует, что

$$E_k = \sqrt{m^2c^4 + \mathbf{p}^2c^2} - mc^2. \quad (6)$$

Основное соотношение специальной теории относительности (5) проверено в тысячах опытов с точностью до десятка значащих цифр. Из него, для тела, обладающего массой, при импульсе, равном нулю, следует формула $E_0 = mc^2$, где индекс «ноль» у энергии указывает на то, что E_0 – это энергия не движущегося, а именно покоящегося тела. Если же переписать это же соотношение в виде $(Ec^{-2} - m)(Ec^{-2} + m) = \mathbf{p}^2c^{-2}$, то при $E_k \ll E_0$ без разложения квадратного корня получается ньютоновское $E_k = \mathbf{p}^2/(2m)$. Аналогичным образом для релятивистских частиц получаем $E - |\mathbf{p}|c = mc^2/(2E)$. (Это уравнение очень существенно при описании нейтринных осцилляций.) Из того же соотношения (5) и формулы (4) для скорости $\mathbf{v} = \mathbf{p}c^2/E$ следует, что скорость безмассового фотона при любой энергии равна c .

Так что специальная теория относительности безупречна, чего нельзя сказать о её популяризациях.

К сожалению, внезапная болезнь и смерть Минковского не позволили ему убедить его современников в преимуществах четырёхмерного мира, и они продолжали «засовывать» содержание теории относительности в трёхмерные уравнения механики Ньютона. Хотя Эйнштейн использовал четырёхмерие при формулировке общей тео-

рии относительности как теории гравитационного взаимодействия, уравнения $\frac{E^2}{c^4} - \frac{\mathbf{p}^2}{c^2} = m^2$ в его

собрании сочинений мне найти не удалось. Впервые оно появилось в статьях Клейна [9], Фока [10], Гордона [11] (1926) и особенно трудах Дирака [12] (1930), в которых была создана релятивистская квантовая механика. (Эйнштейн, несмотря на то, что он стоял у истоков понятия кванта, так и не принял квантовой механики.) И только позднее эта формула появилась не только в квантовой, но и в классической электродинамике, в учебнике «Теория поля» Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица в 1941 г. (на русском языке) [13].

Четырёхмерие позволило единым образом описывать как массивные, так и безмассовые частицы материи. Оно позволило понять, что масса и материя – это не одно и то же, что энергия и импульс – это меры всех процессов и всех движений в природе.

Что же касается массы частиц, то она становится несущественной в процессах при очень высоких энергиях $E \gg mc^2$.

5. СКОРОСТЬ СВЕТА КАК ЕДИНИЦА СКОРОСТИ

Существование универсальной максимальной скорости c даёт возможность выражать любую скорость v в единицах c как безразмерное число $\beta = v/c$. При этом очевидно, что для самой c получается $\beta = 1$. Это позволяет вообще избавиться от буквы c в уравнениях теории относительности, записав уравнения (2), (4), (6) в виде

$$E_0 = m, m^2 = E^2 - \mathbf{p}^2, \quad \mathbf{v} = \mathbf{p}/E. \quad (7)$$

Уравнение же (3) $E = mc^2$ сводится к $E = m$. Оно явно противоречит уравнению (1) $E = E_k + E_0 = E_k + m$ и, следовательно, неправильно.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 1980-х гг. Володя Грибов, взгляды которого на $E = mc^2$ полностью совпадали с моими, по-дружески советовал мне не бороться с этим неверным уравнением, так как победить его нельзя. С ощущением постоянного поражения писал я предыдущие строки для тома «Грибов-80» летом 2010 г. во время небывалой жары и смога в Москве, что не могло не ухудшить качество текста. Осенью, несколько недель тому назад, Юлия Нири напомнила мне, что этот текст является по существу продолжением того, что я опубликовал в томе «Грибов-75» [14]. Там я сравнил формулу $E = mc^2$ с вирусом.

Действительно, понятие релятивистской массы, запрятанное в этой формуле, – это семантиче-

ский вирус, очень похожий на компьютерные вирусы. Заражённые им люди (они часто называют себя релятивистами) убеждены, что Релятивистская Масса – это основной портал, ведущий в здание Теории Относительности. Они убеждены в этом, потому что считают массу мерой инерции. Они игнорируют тот факт, что масса является мерой инерции только для очень медленных тел и частиц, у которых энергия покоя E_0 настолько больше, чем кинетическая энергия E_k , что кинетической энергией можно пренебречь. При не очень малых скоростях масса – это только приближённая мера инерции. Для быстрых же частиц (фотонов, нейтрино, протонов в Большом адронном коллайдере), для которых $E_k \gg mc^2$, мерой инерции является их энергия E .

Общеизвестно, что формулы в физике – это продолжение обычного языка: уравнения – это закодированные фразы, а символы, из которых состоят уравнения, заменяют обычные слова или термины. Чтобы не возникла путаница, каждый символ должен быть однозначно связан с соответствующим ему термином.

Можно ли ввести в теорию относительности понятие релятивистской массы? Безусловно – можно: $m_r = E/c^2$, хотя это будет просто другим обозначением энергии, поскольку c – универсальная константа.

Можно ли вслед за этим ввести понятие релятивистской массы покоя: $m_{r_0} = m$? Безусловно – можно. Конечно, можно ввести и то, и другое; но незачем, потому что СТО и без m_r , и без m_{r_0} является законченной, самосогласованной теорией. А вот эту релятивистскую массу покоя m_{r_0} обозначать символом m_0 и называть её просто *массой покоя* уже нехорошо, так как это уже как бы подразумевает, что в СТО масса m зависит от скорости. А все мы прекрасно знаем, что в СТО m – лоренцовский инвариант: масса m одна и та же в покое и в движении, и навешивать на неё индексы бессмысленно.

Но настоящая беда возникает, когда m_r называют *массой* и обозначают символом m , а обычную ньютоновскую массу m в СТО называют *массой покоя* и начинают обозначать m_0 . Это смешение двух языков («французского с нижегородским») уродует прекрасную теорию, приводит к невообразимой путанице, длящейся уже сто лет, препятствует пониманию сути СТО. А «релятивисты-философы» утверждают при этом, что ньютоновская механика якобы не является предельным случаем эйнштейновской и что эти две теории якобы несоизмеримы.

В результате обратного воздействия массовой культуры на научную литературу, в лучшем учебнике по физике XX в., вышедшем в 1960-х гг., –

«Фейнмановских лекциях по физике» [15] во многих главах повторяется утверждение, что согласно теории относительности, масса растёт с ростом скорости. То же утверждает и маленькая популярная книжечка Ландау и Румера «Что такое теория относительности?» [16]. (Эта книга была написана в 1930-х гг., до ареста обоих авторов, а вышла из печати в 1950-х гг., после освобождения Румера из ссылки. Ландау пробыл в тюрьме год.) «Теория поля» Ландау и Лифшица [13], вышедшая из печати в 1940-х гг., была первым учебником в мире, в котором масса последовательно не зависела от скорости. Тем не менее, понятие энергии покоя и символ E_0 в ней отсутствовали, а формула Эйнштейна была дана в форме $E = mc^2$. Это несоответствие сохранилось даже в последнем издании книги, вышедшем в XXI в. Поистине, никто не совершенен. Не совершенен наш язык: «мысль изреченная есть ложь».

Невозможно в этой краткой заметке перечислить книги и статьи авторов, создавших теорию относительности, но их легко найти, если кликнуть гиперссылки [1], [2], [7], [14], [17], [18], приведённые ниже. Седьмая гипер-ссылка [19] содержит слайды доклада о том, что всё преподавание физики должно быть основано на двух фундаментальных константах природы: c и \hbar . Опираясь этими двумя константами, я предполагаю изложить основы физики в маленькой книжечке «Азы физики» на ста страницах.

БЛАГОДАРНОСТИ

Я благодарен Эрике Гуляевой, Мареку Карлинеру, Эле и Виталию Кисиним, Дмитрию Надёжину, Борису Окуню и Зурабу Силагадзе, общение с ними помогло мне написать эту заметку.

Работа поддержана грантом Президента РФ НШ-4172.2010.2.

Литература

1. The concept of mass // Physics Today. June 1989, 31–36. URL: http://www.itep.ru/theor/persons/lab180/okun/em_3.pdf
2. Формула Эйнштейна: $E_0 = mc^2$. «Не смеётся ли Господь Бог?» // УФН. 2008. Т. 178. № 5. С. 541–555. URL: http://ufn.ru/ufn08/ufn08_5/Russian/r085g.pdf
3. Einstein A. Zur Elektrodynamik bewegter Körper. Ann Phys 17, 891–921 (1905). Русский пер.: К электродинамике движущихся тел. Собрание научных трудов. Т. 1. С. 7. М.: Наука, 1965.
4. Einstein A. Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig? // Ann. Phys. 1905. № 18. S. 639–641. Русский пер.: Зависит ли инерция тела от содержащейся в нём энергии? Собр. научных трудов. 1965. Т. 1. С. 36, М.: Наука.
5. Einstein A. Four lectures on the theory of relativity, held at Princeton University in May 1921./ Collected papers of Albert Einstein. V. 7, doc. 71. Princeton (1997). Русский пер.: Сущность теории относительности./ Собр. научных трудов. 1965. Т. 2. С. 5. М.: Наука.
6. Minkowski H. Raum und Zeit. Phys. Zeit. 10, 104–111 (1909). Русский пер.: Пространство и время // УФН. 1959. Т. 69. С. 303–320.
7. Теория относительности и теорема Пифагора. // УФН. 2008. Т. 178. № 6. С. 647–653. URL: http://ufn.ru/ufn08/ufn08_6/Russian/r086j.pdf
8. Taylor E F, Wheeler J A. Spacetime physics. New York (1992) (pp. 246–252 Dialog: Use and Abuse of the concept of mass).
9. Klein O. Quantum Theorie und fünfdimensionale Relativitätstheorie // Zeit. für Physik. 1926, 37, 895–906.
10. Fock V. Über die Invarianten Form der Wellen- und der Bewegungsgleichungen für einen geladenen Massenpunkt // Zeit für Physik, 1926, 39, 226–232. Русский пер.: Об инвариантной форме волновых уравнений и уравнений движения заряженной точечной массы // УФН. 2010. Т. 180. С. 874–877.
11. Gordon W. Der Compton Effect nach der Schrödingerschen Theorie. Zeit. für Physik. 1926, 40, 117–133.
12. Dirac P. A. M. The principles of quantum mechanics (1930). Русский пер.: Принципы квантовой механики. М.: Наука, 1979.
13. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. М., 1941.
14. The virus of relativistic mass in the year of physics in Gribov memorial volume (quarks, hadrons and strong interactions). Yu. L. Dokshitzer, P. Levai, J. Nyiri Editors, WS, 470–473 (2006). URL: http://www.itep.ru/theor/persons/lab180/okun/em_22.pdf
15. Feynman R.P., Leighton R.B., Sands M. The Feynman lectures on physics. Addison-Wesley (1963). Русский пер.: Фейнмановские лекции по физике. М.: УРСС, 2004.
16. Ландау Л.Д., Румер Ю.Б. Что такое теория относительности? М.: Советская Россия, 1959.
17. Energy and Mass in Relativity Theory. World Scientific (2009). URL: <http://www.worldscibooks.com/physics/6833.html>
18. Mass versus relativistic and rest masses // Am. J. Phys. 2009, 77 (5), 430–431. URL: <http://www.itep.ru/theor/persons/lab180/okun/doc/AJP000430.pdf>
19. Основные понятия и законы физики и свойства элементарных частиц материи: доклад на Президиуме РАН 27.10.2009 [сайт ОФН РАН] URL: http://www.gpad.ac.ru/info/contributions/Okun_Prez.pdf

Яркий луч высоких технологий

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: лазер, твердотельный лазер, полупроводниковый лазер, зелёная лазерная указка

Проф. А.А. БОГУСЛАВСКИЙ
kgri_all@mail.ru,
Московский государственный
областной социально-
гуманитарный институт (КГПИ),
г. Коломна, Московская обл.

В этом году 16 мая замечательное творение высоких технологий – лазер – отметил «золотой юбилей». Через 50 лет после создания Т. Мейманом первого рубинового лазера мы получили возможность использовать как указки красные полупроводниковые лазеры (длина волны излучения $\lambda = 650$ нм), зелёные твердотельные лазеры с диодной накачкой и удвоением частоты на нелинейном кристалле (532 нм) и, наконец, синие (фиолетовые) полупроводниковые лазеры (405 нм). Следующий шаг – жёлтые и синие твердотельные лазеры с диодной накачкой и преобразованием частот.

Область физики, получившая название *квантовой электроники*, начала интенсивно развиваться в 50-х гг. В основе работы этих квантовых устройств лежит гипотеза А. Эйнштейна (1917 г.) о вынужденном излучении. В 1939 г. В.А. Фабрикант сформулировал принцип усиления электромагнитного излучения в среде с инверсной заселённостью энергетических уровней, первым указав на принципиальную возможность существования среды, которая не ослабляет, а усиливает проходящее излучение. На практике этот принцип был реализован в 1954–55 гг. А.М. Прохоровым и Н.Г. Басовым и независимо – Ч. Таунсом, Д. Гордоном и Х. Цайгером при создании лазера (молекулярного усилителя электромагнитного излучения). А.М. Прохоров, Н.Г. Басов и Ч. Таунс были удостоены в 1960 г. нобелевской премии по физике. С тех пор нобелевские премии за работы, связанные с лазерной тематикой, получили 18 учёных.

В рамках развиваемого нами направления «Одомашненная современная физика» [1, 2] представлялось интересным рассмотреть физические принципы работы зелёной лазерной указки и показать, что «высокие технологии – искусство материального воплощения фундаментальных знаний», что «в физике нет окостеневших разделов. Вся физика представляет собой целостный, живой и развивающийся организм» [3]. При предъявлении этого материала учащимся, целесообразно использовать

научно-популярные статьи В.А. Фабриканта [3, 4], размещённые в Интернете.

Не останавливаясь на принципах работы твердотельного лазера (см., например, популярные статьи [5–7]), рассмотрим, как работает зелёная лазерная указка на твердотельном лазере с диодной накачкой. Его основными элементами являются: твердотельный неодимовый лазер на монокристалле алюмо-иттриевого граната, легированного неодимом, Nd:YAG (длина волны ИК-излучения $\lambda = 1064$ нм) и полупроводниковый лазерный диод оптической накачки ($\lambda = 808$ нм). Лазерный монокристалл представляет собой параллелепипед размерами примерно $1,5 \times 1,5 \times 1,5 \times 3$ мм, на торцы которого нанесены полупрозрачные покрытия, в результате чего образуется интерферометр Фабри–Перо. (Идея использовать такой интерферометр в качестве открытого резонатора для волн оптического диапазона была предложена в 1958 г. будущим академиком А.М. Прохоровым).

В последнее время для маломощных переносных лазеров всё чаще используют ванадат иттрия Nd:YVO₄ ($\lambda = 1064$ нм), так как этот монокристалл имеет большой коэффициент усиления, низкий порог генерации и большой коэффициент поглощения в области стандартной длины волны оптической накачки $\lambda = 808$ нм.

Чтобы получить указку с видимым – зелёным – лучом, необходимо частоту неодимового лазера удвоить. Преобразование частоты осуществляют с помощью нелинейного кристалла. Например, если ИК-излучение лазера Nd:YVO₄ пропустить через кристалл калий-титанил-фосфата (КТР), то на выходе получится излучение с вдвое меньшей длиной волны, то есть 532 нм – как раз зелёный луч. Для поглощения «ненужного» ИК-излучения используют ИК-фильтр. Отметим, что в нашей стране лазеры с диодной накачкой разрабатывались под руководством М.Ф. Стельмаха (см., например, сайт ФГУП «НИИ «Полос» им. М.Ф. Стельмаха URL: <http://polyus.info/>). В первых коммерческих моделях зелёных указок, которые появились за рубежом в 2000 г., неодимовый и нелинейный кристаллы размещались отдельно. В более поздних модификациях эти два элемента для уменьшения потерь на отражение на границах раздела объединили в составной кристалл, рис. 1 [8]. Основные узлы излучающего модуля зелёной лазерной указки, полученные нами с помощью сканера, показаны на рис. 2.

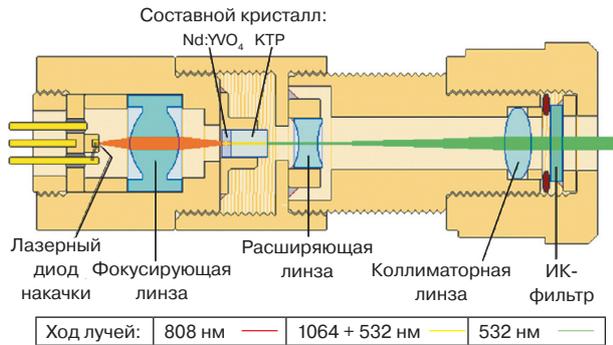


Рис. 1. Схема излучающего модуля зелёной лазерной указки. Излучение лазерного ИК-диода накачки ($\lambda = 808$ нм) фокусируется линзой на монокристалле Nd:YVO_4 и возбуждает в нём лазерное излучение ($\lambda = 1064$ нм). При его прохождении через нелинейный КТР-кристалл происходит удвоение частоты ($\lambda = 532$ нм). С помощью расширяющей и коллиматорной линз формируется узкий лазерный зелёный луч. Лазерный излучатель представляет собой составной кристалл размером $0,8 \times 0,8 \times 2,5$ мм: монокристалл Nd:YVO_4 , сопряжённый с нелинейным КТР-кристаллом [8]



Рис. 2. Основные узлы излучающего модуля зелёной указки: а – ИК-диод накачки ($\lambda = 808$ нм); б – тот же диод при большем увеличении на сканере (реальный размер $0,75 \times 0,25$ мм); в – фокусирующая линза; г – составной излучатель: лазерный кристалл Nd:YVO_4 + КТР-кристалл (реальный общий размер $0,8 \times 0,8 \times 2,5$ мм); д – ИК-светофильтр

Устройство зелёной лазерной указки намного сложнее, чем красной и синей, поскольку последние содержат только лазерный полупроводниковый диод, генерирующий соответственно красный или синий ($\text{GaN}/\text{AlGaIn}/\text{GaN}$ $\lambda = 450$ нм) луч. На рис. 3 показаны схема излучающего модуля красной лазерной указки [9] и вид полупроводникового кристалла размером $0,25 \times 0,25$ мм при большом увеличении.

Концепция полупроводникового лазера была предложена в 1961 г. Н.Г. Басовым. Первый лазерный диод на основе GaAs ($\lambda = 850$ нм) был создан в 1962 г. Р. Холлом и Н. Холоньяком, работал он при температуре 77 К. В 1970 г. наш соотечественник академик Ж.И. Алфёров создал полупроводниковый лазер на гетероструктуре $\text{AlGaAs}/\text{GaAs}$, излучающий в ИК-области спектра ($\lambda = 770$ нм) при комнатной температуре. (В 2000 г. Ж.И. Алфёров был удостоен Нобелевской премии по физике за разработку полупроводни-

ковых гетероструктур.) В 1996 г. Н. Накамура разработал лазерный диод синего излучения на гетероструктуре $\text{GaN}/\text{AlGaIn}/\text{GaN}$, работающий при комнатной температуре. Отметим, что такие диоды ($\lambda = 405$ нм) используются в дисковых *Blue Ray DVD*.

Для учащихся может представить интерес создание иллюстрированной хронологии развития мазеров и лазеров, а также их применений. В такой работе можно с успехом использовать материалы разделов «Лазерная хронология» и «Лазерные инновации» юбилейного сайта *LaserFest* (URL: <http://www.laserfest.org/>), сайтов Американского института физики (URL: <http://www.aip.org/history/exhibits/laser/>), видеоархива Э. Сегре, который содержит около 30 000 визуальных материалов (Emilio Segre Visual

Archives. URL: <http://photos.aip.org/index.jsp>), ФИАН им. П.Н. Лебедева «50 лет создания лазера» (URL: http://lebedev.ru/ru/history/laser_50) и с материалами по истории создания газовых лазеров «Лазеру 50 лет! Как это было» (URL: http://www.laser.ryazan.ru/laser/laser_hist.html).

Литература

1. Богуславский А.А. Одомашненная современная физика. Коломна: КГПИ, 2009.
2. Богуславский А.А. Электронные приложения к № 13, 14/2009. // Физика-ПС. 2009. URL: <http://fiz.1september.ru/sprojects/200913.htm>; URL: <http://fiz.1september.ru/sprojects/200914.htm>
3. Фабрикант В.А. Классика, кванты и квантовая электроника // Наука и жизнь. 1965. № 10. С. 26–32. Электронная версия: URL: http://files.school-collection.edu.ru/dlrstore/33b783af-2375-46ed-801c-1ec018b4e946/1965_10_026_phys.djvu
4. Фабрикант В. А. Что такое нелинейная оптика.

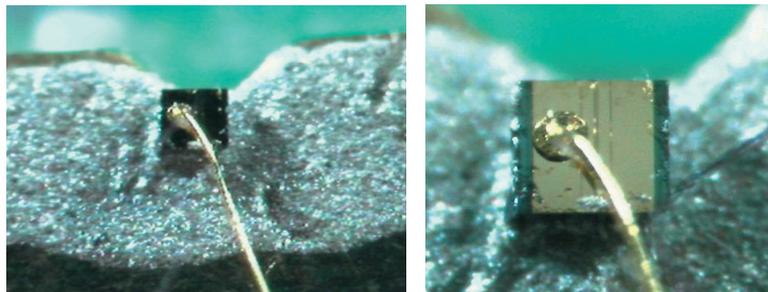
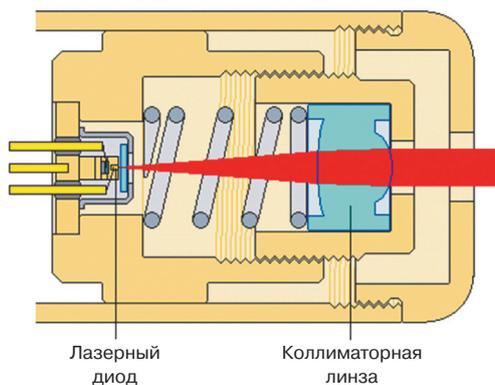


Рис. 3. Схема излучающего модуля красной лазерной указки (слева) и вид лазерного диода размером $0,25 \times 0,25$ мм на сканере (в середине) и под цифровым микроскопом (справа)

- // Квант. 1985. № 8. С. 2–8. Электронная версия: URL: http://kvant.mirror1.mccme.ru/1985/08/что_такое_nelinejnaya_optika.htm
5. Дубова И.Н. Лазеры. Урок объяснения нового материала, 2 ч. 11 кл. // Физика-ПС. 2010. № 6. Электронная версия: URL: <http://fiz.1september.ru/2007/06/11.htm>
6. Крюков П. Лазер – замечательное достижение XX века // Квант. 2007. № 3 С. 8–18. Электронная версия: URL: http://files.school-collection.edu.ru/dlrstore/c5f57bc5-fd7a-a885-de01-a7359ebc3bbe/2007_03_Lazer_zamechatelnoe_dostizhenije_XX_veka.pdf
7. Лазер. Материал из Википедии – свободной энциклопедии: URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%9A%D0%93>
8. Silicon Sam's Technology Resource (SSTR) [Элек-

- тронный ресурс] URL: <http://kellerstudio.de/repairfaq/sam/glpma1.gif>
9. Silicon Sam's Technology Resource (SSTR) [Электронный ресурс] URL: <http://an.hitchcock.org/repairfaq/sam/lrprtr1.gif>
- ОТ РЕДАКЦИИ. Рекомендуем также прочитать публикации, которые могут быть интересны как примеры занятий по теме:
- Фокин А.В. Изучение лазерного излучения. Физпрактикум, 11 кл.// Физика-ПС. 2009. № 8. Электронная версия: URL: <http://fiz.1september.ru/2009/08/11.htm>
 - Цветкова О.М. Лазеры: от истоков до наших дней. Физика-ПС. 2007. № 4. Электронная версия: URL: <http://fiz.1september.ru/2007/04/11.htm>
 - Фабрикант В.А. Физика. Оптика. Квантовая электроника. М.: Изд-во МЭИ, 2000.



Александр Абрамович Богуславский окончил в 1966 г. с отличием Рязанский радиотехнический институт по специальности «Электронные приборы». С 1967 г. работает в Коломенском ГПИ, к. ф.-м. н., профессор по кафедре теоретической физики, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, почётный работник высшего профессионального образования России, лауреат премии Губернатора Московской области. Награждён медалью «В память 850-летия Москвы» и бронзовая медалью ВДНХ. Автор и соавтор 314 научных и научно-методических работ и 6 авторских свидетельств. Родился в октябре 41-го года в эвакуации в Чебоксарах, до 1950 г. года жил в Уфе. Отец прошёл фронт, начиная с финской войны. Потом его направили работать в Москву, а после в Коломну во ВНИИТИ. Окончив в 1957 г. с золотой медалью школу в Коломне, Александр Абрамович поработал слесарем во ВНИИТИ. Увлечение физикой началось благодаря наставнику – Александру Петровичу Васильеву, радиолюбителю «от Бога» с образованием семь классов. Затем судьба привела его на физмат в Коломенский ГПИ, откуда он перевёлся в Рязанский радиотехнический институт на факультет электроники. Начиная с третьего курса, стал заниматься лазерной тематикой, абсолютно новой в то время. С теплотой вспоминает своего учителя, доцента Владимира Анатольевича Степанова. В 1967 г. проф. Б.М. Яворский пригласил Александра Абрамовича на работу в Коломенский ГПИ. В 1989 г. институт один из первых получил компьютер. Невероятная увлечённость новым делом позволила на несколько лет опередить многие вузы страны в освоении информационных технологий. Сейчас область научных интересов Александра Абрамовича: квантовая радиофизика, методика обучения физике, применение информационно-коммуникационных технологий в подготовке учителя физики и учителя технологии. Дочь Валентина — учитель физики СОШ № 12 г. Коломны, сын Андрей — старший научный сотрудник Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, д. ф.-м. н., специалист в области систем компьютерного видения.

Как это устроено?

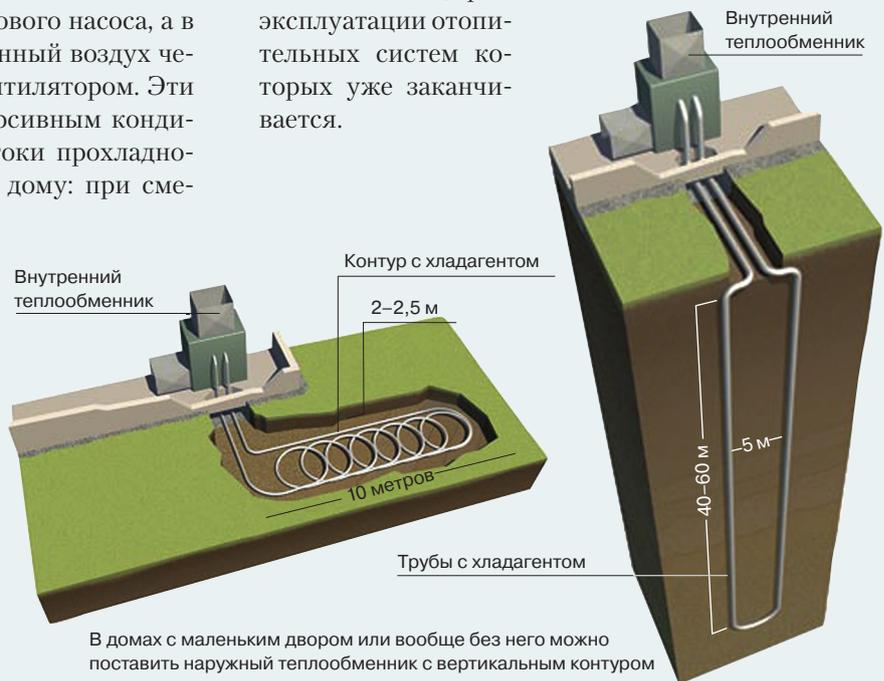
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тепловые насосы, кондиционеры

См. также № 23/2010

■ ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ.

Так как стоимость нефти, природного газа и электроэнергии, используемых в обычных системах обогрева и охлаждения, растёт, домовладельцы всё чаще устанавливают тепловые насосы. Отбирая тепло или холод от наружного воздуха или от грунта, тепловые насосы при длительной эксплуатации могут оказаться более эффективными и более дешёвыми, чем обычные нагреватели или кондиционеры. Преобладают два основных варианта. Насосы первого типа (воздух–воздух) устанавливаются снаружи дома и обеспечивают теплообмен внутренних помещений с атмосферой. Насосы второго типа обеспечивают теплообмен с грунтом с помощью жидкости, циркулирующей по трубам, проложенным в земле. В любом случае тепло приносит внутрь дома или уносит из него хладагент, который пропускают по трубам, соединяющим наружный и внутренний блоки теплового насоса, а в комнаты подогретый или охлаждённый воздух через воздуховод разносится уже вентилятором. Эти системы часто сравнивают с реверсивным кондиционером, который разгоняет потоки прохладного или тёплого воздуха по всему дому: при смене сезона вам достаточно просто щёлкнуть выключателем – и поток меняется на обратный. Хотя системы обоих типов питаются от сети, они не просто преобразуют электрическую энергию в тепло или прохладу, а используют тепло или холод наружного воздуха или грунта. Системы типа воздух–воздух наиболее эффективны, когда температура наружного воздуха выше нуля по Цельсию, то есть рекомендуются для областей с мягким климатом. Там, где холоднее, можно

использовать дополнительно обычные небольшие нагреватели, но это требует и дополнительных затрат. Более широко могут использоваться системы с трубами, проложенными под землёй на глубине 2–2,5 м, поскольку температура грунта не опускается ниже температуры замерзания хладагента на этой глубине, хотя их установка стоит дороже. Тепловые насосы появились в 1950-х гг. прошлого века, но стали конкурентоспособными лишь в последние годы, когда стали более эффективными и дешёвыми двигатели и компрессоры. И конденсаторы, и испарители могут обеспечивать теперь больший теплообмен, даже при меньших габаритах. Хотя тепловые насосы занимают всё ещё скромную часть рынка домашних кондиционеров и обогревателей, наблюдается значительный рост этого сектора, особенно с модернизацией старых зданий постройки 1970–1990-х гг., срок эксплуатации отопительных систем которых уже заканчивается.

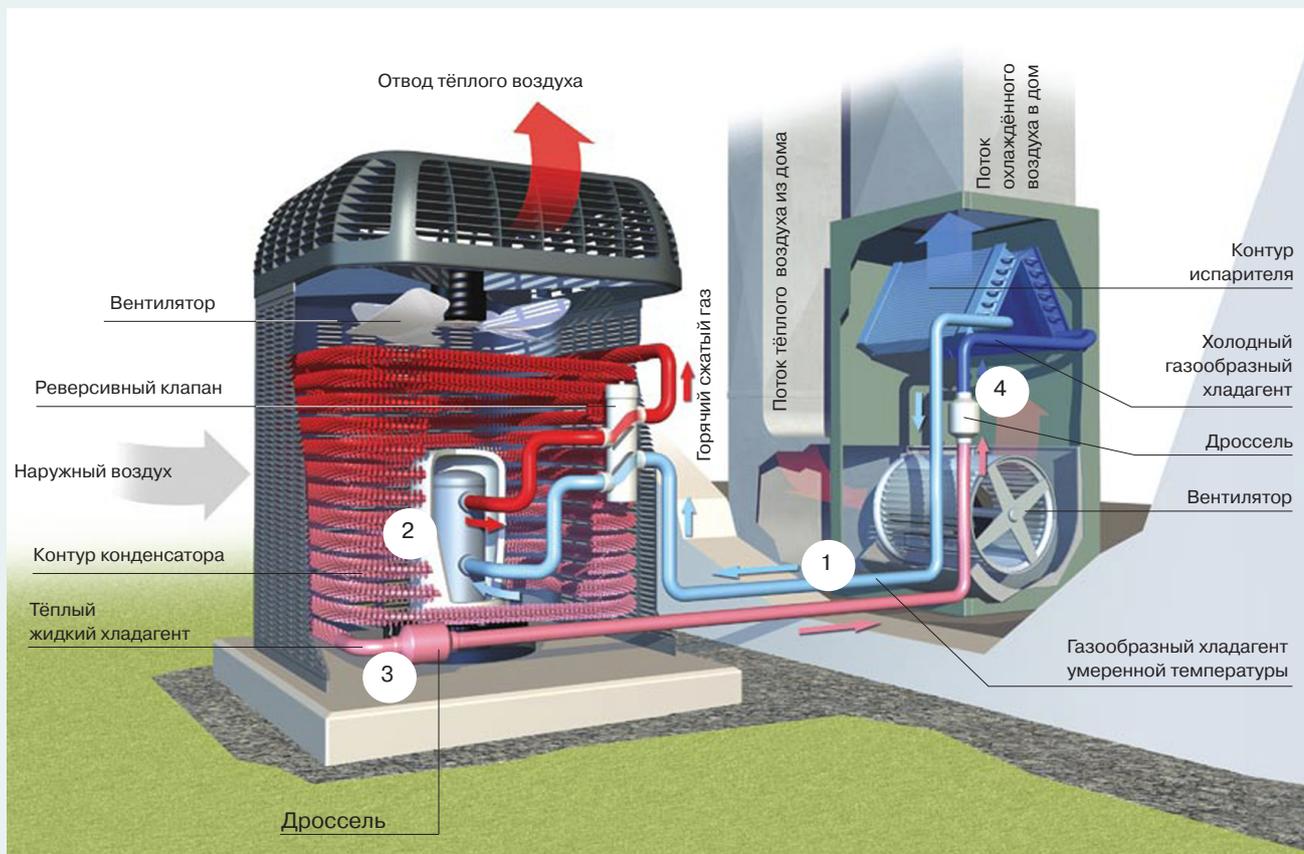


Знаете ли вы, что?..

- После года эксплуатации эффективность энергопотребления трёх четвертей тепловых насосов и кондиционеров снижается на 15% из-за утечки хладагента. Сервисные службы производят подзарядку бесплатно
- С 1960-х гг. в воздушных кондиционерах и тепловых насосах, как правило, использовался в качестве хладагента гидрохлорфторуглерод (R-22). В

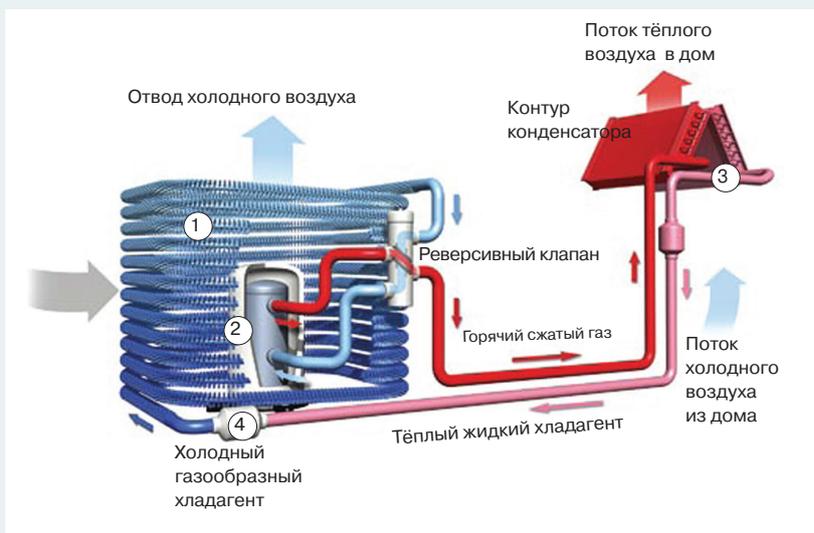
США с 2010 г. он запрещён, поскольку является источником хлора, который истощает озоновый слой в стратосфере. Его заменили на гидрофторуглерод (HFC-410A)

- Летом избыток тепла можно не выводить наружу, а использовать в бытовых целях, например, нагревать воду. Зимой тепла недостаточно, так что нужен обычный нагреватель для воды.



■ **ОХЛАЖДЕНИЕ ЛЕТОМ.** В тепловых насосах типа воздух–воздух газообразный хладагент, имеющий умеренную температуру, подаётся по трубе 1 в компрессор 2, где превращается в сжатый горячий газ, который поступает в контур конденсатора. Через этот контур прокачивается наружный воздух, который отбирает тепло у горячего газа, в результате чего газ в контуре конденсируется в жидкость 3. Жидкость прокачивают через второй дроссель 4 – клапан, где происходит её резкое расширение. В результате она превращается в холодный газ, который поступает в контур испарителя. Через этот контур вентиляторы прокачивают тёплый воздух из дома, и он возвращается в дом уже охлаждённым. Нагретый в результате отбора тепла газообразный хладагент направляется к компрессору, и цикл повторяется.

■ **ОБОГРЕВ ЗИМОЙ.** Газообразный хладагент умеренной температуры проходит по наружному контуру испарителя (1) (летом он выполнял функцию конденсатора!), попадает в компрессор (2), где сжимается в горячий газ, и затем пропускается через находящийся внутри дома контур конденсатора (3). Через этот контур вентилятор прокачивает прохладный воздух из внутренних помещений, который отбирает тепло у хладагента и возвращается в дом нагретым. Газообразный хладагент конденсируется в жидкость и поступает обратно во внешний контур – контур испарителя, где проходит через дроссель (4) и охлаждается, отбирая тепло от наружного воздуха. Затем цикл повторяется.



Scientific American, 2008, August, p. 104–105.
Сокр. пер. с англ. И.Д. ВОРОНОВОЙ

Почему же, почему?..

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: условия плавания тел, сжигание углеводородов, уровень мирового океана

См. также № 23/2010

? Я поспорил с друзьями о том, что произойдёт, если в бассейн налить желе и попробовать в нём поплавать. Кто-то сказал, что в результате экспериментатор останется на поверхности бассейна. Я считаю, что экспериментатор утонет, а желе сомкнётся вокруг него. Существует ли на этот вопрос теоретический ответ, дабы обойтись без экспериментов?

Ответ 1. Свойства желе в значительной степени определяются входящим в его состав желатином. Уровень тягучести желатина определяется так называемой шкалой Блума и выражается в блумах. Численно он равен массе (в граммах) пробного цилиндра диаметром в 0,5 дюйма, при воздействии которого на поверхность исследуемой субстанции её удаётся сместить на 4 мм, не нарушая целостности. У подавляющего большинства веществ этот уровень находится в интервале от 30 до 300 блумов.

Плотность желе обычно на 10% выше плотности воды, поэтому пловец будет плавать в заполненном желе бассейне на большей высоте (относительно дна). Вязкость у желе существенно выше, чем у воды, – это означает, что плыть будет труднее. Заметим, впрочем, что два исследователя из университета Миннесоты были удостоены в 2005 г. Игнобелевской премии по химии как раз за исследование в интересующей нас области. Они наполнили небольшой бассейн водным раствором пищевой добавки гуаровая камедь (используемой в пищевой промышленности при изготовлении желе в качестве стабилизатора консистенции) и показали, что человек может плавать в нём так же легко, как и в обычной воде.

Ответ 2. Желе – вещество весьма необычное, так как похоже и на жидкость, и на твёрдое тело. Мы

экспериментально установили, что на поверхность желе удаётся положить пять 20-центовых монет – далее поверхность разрывается. Это означает, что желе в состоянии выдерживать давление до 700 Па. А это всего лишь одна десятая того давления, которое оказывает человек, поэтому попытка поплавать в бассейне из желе наверняка провалится. Когда же поверхность желеобразной субстанции разрывается, она ведёт себя как очень вязкая жидкость. Проведя серию экспериментов, мы оценили вязкость желе как приблизительно 50 Па · с, что в 50 раз превышает вязкость касторового масла. Отсюда следует, что, если кто-то и решится прыгнуть в бассейн с желе, он испытает резкое торможение в первые же доли секунды соприкосновения с поверхностью.

NewScientist.com.29Nov2008

? В течение последних ста лет человечество в больших количествах сжигало нефть, природный газ, уголь и в ближайшие 50 лет сожжёт ещё больше. Известно, что в процессе сжигания углеводородов образуется диоксид углерода и вода. Можно хотя бы примерно оценить, насколько поднялся уровень моря вследствие этих процессов?

Ответ. Общее количество использованного людьми нефти и



газа можно оценить лишь очень приблизительно. Такие оценки приводит, например, журнал «*International Journal of Environmental Technology and Management*» в одном из выпусков 2007 г.: к 2000 г. мы сожгли 110 Гт собственно нефти, а также 60 Гт и 150 Гт нефтяного эквивалента газа и угля соответственно. Нефтяным эквивалентом называют такую массу нефти, при сжигании которой выделяется та же энергия, которая выделилась при сжигании данной массы природного газа или угля. Коэффициенты пересчёта не постоянны, а зависят от характеристик конкретного вида топлива, особенно это относится к углю. Переходя к реальному количеству топлива, мы получим 110 Гт нефти, 47 Гт природного газа и 250 Гт угля. Предполагая, что в каждом из этих видов топлива весь водород окисляется до состояния воды, легко показать, что сжигание нефти привело к появлению 140 Гт воды, 105 Гт природного газа и 90 Гт угля. Всего получается 335 Гт воды объёмом 335 км³. Общая поверхность всех озёр и океанов Земли составляет 360 км². В итоге мы получаем повышения уровня воды примерно на 0,95 мм. В журнале также приведены оценки общего количества углеводородов, которое будет израсходовано до конца нынешнего столетия. Общее количество использованной нефти может достичь 370 Гт, а природного газа и угля (в нефтяном эквиваленте) 370 Гт и 490 Гт соответственно. Повышение уровня океанов вследствие этого составит примерно 4 мм.

http://www.last-word.com/content_handling/show_tree/tree_id/1929.html

Б.В. БУЛЮБАШ (пер. с англ.)

<borisbu@sandy.ru>

НГТУим. П.Е. Алексеева,

г. Н. Новгород

Педагогический университет «ПЕРВОЕ СЕНТЯБРЯ» предлагает **для жителей Москвы и Московской области**

Лицензия Департамента образования
г. Москвы 77 № 000349,
рег. № 027477 от 15.09.2010

ОЧНО-ЗАОЧНЫЕ КУРСЫ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

Курсы организованы совместно с Московским институтом открытого образования. По окончании обучения слушатели получают удостоверение государственного образца о повышении квалификации (с нормативным сроком освоения 72 часа).

Занятия начинаются: на втором потоке – с **7 февраля 2011 г.**, в летних интенсивных группах – с **1 июня 2011 г.** Стоимость обучения – 5400 рублей за один курс. Членам педагогического клуба «Первое сентября» и выпускникам наших курсов предоставляется скидка 10%.

Количество мест в группах ограничено! Прием заявок заканчивается по мере формирования групп.

Обращаем ваше внимание на то, что мы предлагаем пройти обучение на курсах повышения квалификации еще в этом учебном году!

Перечень курсов второго потока 2010/2011 учебного года (февраль – апрель)

АВТОР	НАЗВАНИЕ КУРСА	ДЛЯ КОГО ПРЕДНАЗНАЧЕН КУРС
Калуцкая Е.К.	Современные образовательные технологии преподавания обществознания в школе	Для учителей истории и обществознания
Копина С.А.	Недирективные методы в работе школьного психолога	Для школьных психологов
Круглова Т.А., Щеглова И.В., Ильященко Л.А.	Актуальные вопросы методики преподавания в начальной школе (в условиях введения Федеральных государственных образовательных стандартов)	Для учителей начальной школы
Леонтьева Т.Н.	Построение курса русского языка в старших классах и приемы работы с текстом	Для учителей русского языка и литературы
Мейстер Н.Г.	Творческое развитие детей средствами художественного моделирования из бумаги	Для педагогов дошкольных образовательных учреждений, педагогов дополнительного образования
Николаева В.В.	Подготовка учащихся к государственной аттестации по французскому языку: французские сертификационные экзамены, олимпиады и конкурсы	Для учителей французского языка
Панфилова М.А.	Современные психолого-педагогические технологии использования сказок и игр в работе с детьми и подростками	Для педагогов, классных руководителей, представителей администрации школ, школьных психологов
Парамонова Н.В.	Социально-психологический тренинг в школе (подготовка ведущих тренинговых групп)	Для школьных психологов
Пинская М.А.	Оценивание в условиях нового Федерального государственного образовательного стандарта	Для директоров, заместителей директоров школ, педагогов, классных руководителей
Резапкина Г.В.	Организация профориентационной работы в школе	Для педагогов, классных руководителей, школьных психологов
Рокитянская Т.А.	Музыкальная грамота в образах и движениях	Для учителей музыки, учителей начальных классов, педагогов дошкольных образовательных учреждений, педагогов дополнительного образования
Садовничий Ю.В.	Подготовка старшеклассников к ЕГЭ и вступительным экзаменам по математике	Для учителей математики
Сальтина М.Г.	Мастерство режиссера школьного театрального коллектива	Для классных руководителей, руководителей школьных театров и театральных студий
Сапожникова Т.Б., Полякова И.Б.	Современные методы и приемы преподавания изобразительного искусства детям	Для педагогов изобразительного искусства, педагогов дополнительного образования, учителей начальных классов
Смирнова О.В.	Методика обучения школьников 8–11-х классов работе с теоретико-литературными понятиями в процессе анализа художественных текстов	Для учителей русского языка и литературы
Соболева А.Е., Савицкая Н.С.	Игровые методы эффективного обучения младших школьников правописанию и чтению	Для учителей начальных классов, логопедов, детских психологов
Струкова Л.Н.	Информационно-компьютерные технологии на уроках английского языка (на основе курса Британского Совета Learning Technologies)	Для учителей английского языка
Струкова Л.Н.	Методика обучения английскому языку детей младшего школьного возраста (на основе курса Британского Совета Primary Essentials)	Для учителей английского языка
Цикина Т.И.	Технологии использования компьютерных средств при подготовке и проведении уроков и внеклассных мероприятий	Для всех педагогов

ЗАЯВКИ МОЖНО ПОДАТЬ по телефону (499) 240-02-24 (с 15-00 до 19-00 по рабочим дням)
или на сайте Педагогического университета «Первое сентября» <http://edu.1september.ru>
(последнее предпочтительнее, после подачи заявки с вами свяжется сотрудник Педуниверситета)

С новым
2011
годом!



С Новым Годом
по григорианскому (1 января)
и юлианскому (13 января)
календарям!

ФИЗИКА