

**ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ НГУ  
НАУЧНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ШКОЛЬНИКОВ  
ДИСТАНЦИОННЫЙ КОНСУЛЬТАЦИОННЫЙ ПУНКТ**

*Физика в вопросах и ответах*

**Ученые новосибирского Академгородка отвечают  
на вопросы старшеклассников**

Под редакцией В.И.Шелеста

Новосибирск  
1999

Составители:

Е.М.Балдин, П.В.Воробьев, И.Ф.Гинзбург, И.П.Иванов, Н.А.Кириченко, М.Г.Степанов, В.С.Потеряев, И.Б.Хриплович, В.И.Шелест, Н.И.Яворский

Под общей редакцией В.И.Шелеста  
Технический редактор: Л.Б.Куртова

Рецензент: В.Г.Харитонов

Книга содержит ответы на более чем 90 вопросов, наиболее часто задаваемых старшеклассниками средних школ. Вопросы поступали в «Дистанционный консультационный пункт» по электронной почте.

Предназначена для старшеклассников и преподавателей общеобразовательных школ, учащихся физико-математических школ, а также лиц, занимающихся самообразованием.

### **Предисловие**

В процессе обучения у школьников, а также у их учителей, всегда возникают вопросы. Ответы на многие из них удается придумать или найти в литературе. Но иногда ответ на вопрос получить не удается. Вот тут-то и требуется консультация професионала.

Хорошо, если нужный специалист рядом – нужно только договориться по телефону о встрече и задать вопрос. Вопрос можно задать по телефону и из другого города, но это дорого. Вопрос можно отослать письмом, правда, письма идут небыстро. С появлением Интернета и электронной почты можно оперативно и очень дешево связаться с любым нужным специалистом.

С сентября 1998 г. в Интернете открыт «Дистанционный консультационный пункт», в котором консультации дают ученые — сотрудники научно-исследовательских институтов новосибирского Академгородка.

Основной задачей «Дистанционного консультационного пункта» является оказание **бесплатной информационной поддержки**:

- *указание точных ссылок на книги и журналы*, в которых находится ответ на заданный вопрос,
- *пересылка рекомендованной литературы (в электронном виде)* в случае необходимости,
- *предоставление необходимых разъяснений и комментариев* если при чтении рекомендованной литературы возникают трудности.

Сейчас работают два отделения «Дистанционного консультационного пункта» —по физике и по биологии, которые за полгода работы получили свыше 500 вопросов от старшеклассников и преподавателей средних школ, имеющих доступ к электронной почте.

Для этой публикации мы отобрали наиболее часто встречавшиеся вопросы по физике. Стиль и орфография вопросов сохранены в оригинальном виде. Авторы оригинального ответа указаны после ответа. Если ответ на вопрос дан по литературным источникам, фамилии составителей ответа не указаны. Если при составлении ответа использованы фрагменты из книг или статей, это указано в конце ответа.

Мы будем очень признательны за указания на ошибки и неточности в ответах.

## **Как воспользоваться услугами «Дистанционного консультационного пункта»**

Любой старшеклассник или преподаватель средней школы, интересующийся наукой, может послать нам свои вопросы:

- по физике по адресу **phys@ssl.nsu.ru** ,
- по биологии по адресу **biol@ssl.nsu.ru** .

Наши эксперты постараются ответить на любые вопросы, кроме вопросов:

- по "альтернативной" науке – для тех, кого интересуют "альтернативные" идеи, не принимаемые широкой научной общественностью, существует много специальных newsgroups,
- объявленных в заочных конкурсах, олимпиадах и т.п., до истечения срока отправления решений.

Смело пишите нам, но помните, что, возможно, Вам еще предстоит затратить усилия для того, чтобы разобраться в полученных ответах и убедиться в их правоте. Уважайте факты! Мнения могут отличаться, но факты – нет. Поэтому, если Вам кажется, что ответ экспертов неверен и можно дать другой ответ – еще раз взвесьте доводы экспертов.

Старайтесь также не посыпать задачи и вопросы, полученные от своих преподавателей, в надежде на то, что кто-то сделает за Вас домашнюю работу. Сделайте свою собственную домашнюю работу сами – это будет очень полезно. С другой стороны, мы готовы ответить на любые вопросы, которые возникли у Вас при выполнении домашней работы.

Если ответ нашего эксперта на Ваш вопрос почему-либо не удовлетворит Вас – напишите нам об этом. В переписке, общаясь с учеными, Вы сможете лучше понять стиль и методы рассуждения профессионалов и приблизиться к научной истине.

**ВОПРОС №1:** Есть утверждение: «Субъективная характеристика звука громкость соответствует объективной характеристике звука интенсивности». Я думаю, что это утверждение не верно, так как субъективная громкость зависит так же от частоты. Но мой преподаватель считает, что она верна. Кто из нас прав?

**ОТВЕТ:** В «Физической энциклопедии» т.1 (Москва, «Советская энциклопедия, 1988) на стр. 539 - 540 написано: «Громкость звука зависит главным образом от интенсивности звука, но также и от распределения энергии по шкале частот... В определенных пределах при одинаковой частоте и интенсивности двух звуков более короткий кажется менее громким...» Там же приведены кривые равной громкости в зависимости от частоты, используемые при работе шумометров.

В этом вопросе тесно перепутаны физика и физиология. В физике все аккуратно: звуковое давление, интенсивность звука и т.д. Все меряется. В физиологии возникают субъективные ощущения.

Очень подробно про это написано в «Справочнике по акустике» (Иоффе, Корольков, Сапожков, Москва, Связь, 1979). Например, на стр.31: «Условились за уровень громкости любого звука (или шума) принимать уровень в децибеллах равногромкого с ним чистого тона 1000 Гц.» При этом громкость неточно характеризует субъективное ощущение, т.к. есть масса особенностей восприятия составных звуков, шумов, импульсных звуков и т.д. и т.п.

Приведем несколько примеров, взятых из этих книг:

- При плавном увеличении интенсивности звука слуховое ощущение нарастает скачками по мере увеличения числа возбужденных нервных окончаний.
- В условиях тишины слышно тиканье часов, а в условиях шума можно не услышать даже громкий разговор.
- При прослушивании сложного звука его громкость меньше суммы громкостей всех составляющих (это при не очень широком спектре звука).
- При прослушивании импульсного звука его громкость определяется произведением интенсивности импульса на его длительность (это до 100 Гц).
- В громкой передаче даже после отфильтровывания всех частотных составляющих ниже 1000 Гц человек воспринимает («слышит») низкочастотные составляющие с достаточно высоким уровнем ощущения.

Тем не менее, понятие громкости часто оказывается удобным.

---

**ВОПРОС №2:** У меня вопрос относительно того, почему гудят высоковольтные провода. Чего только не читал: у Асламазова, что это связано с ветром, у Тарасова, что с коронными разрядами, так же о взаимодействии с магнитным полем Земли. В чем же причина?

**ОТВЕТ:** Смотря о звуке какой частоты идет речь. Если есть ветер, то  $f = kv/d$ , где  $f$  – частота звука,  $v$  – скорость ветра,  $d$  – диаметр провода,  $k$  – коэффициент, определяемый экспериментально. Это закон Струхала,  $k$  около 0,2 (Л.Г.Лойцянский, «Механика жидкости и газа», 1987).

Коронный разряд есть почти всегда. Он горит вокруг острых частей тел (например, огни «святого Эльма»): вблизи поверхности провода достигается пробойная напряженность электрического поля (пробой происходит в воздухе). Из-за коронного разряда на обычных высоковольтных проводах частота звука 100 Гц, хотя может быть и высокочастотная составляющая от 10000 Гц до радиочастот (Ю.П.Райзер, «Физика газового разряда», 1987). Магнитное поле Земли тут ни при чем: по проводам течет переменный ток, который взаимодействует с магнитным полем Земли, но эффект очень мал, т.к. магнитная индукция Земли меньше 0,0001 Тл.

---

**ВОПРОС №3:** Решал я задачки по физике, а в вопросе такие данные – 1mA достаточно для человека, чтобы почувствовать ток, 5 mA – будет больно, выше 15 mA – человек теряет контроль над мышцами, 70 mA ... С сухой кожей сопротивление тела от одной руки до другой равно  $1 \cdot 10^5$  Ом, с мокрой –  $5 \cdot 10^3$  Ом. Правильны ли эти числа? Если нет, то интересно бы узнать правильные.

**ОТВЕТ:** В монографии В.Е.Манойлова «Основы электробезопасности» (Энергоатомиздат, 1991) приводятся следующие значения электрического сопротивления тела человека от ладони к ладони (площадь поверхности контакта около 10 см<sup>2</sup>):

При напряжении сети до 65 В	4400 Ом
При напряжении сети до 220 В	1600 Ом
При напряжении сети выше 220 В	1200 Ом

Международная электротехническая комиссия (МЭК) рекомендует следующие значения сопротивлений (рука — ноги) при частоте 50 Гц:

U В	25	50	250	$>250$
R Ом	2500	2000	1000	650

Согласно учебнику «Основы техники безопасности в электроустановках» П.А.Долина (Энергоатомиздат, 1984) увлажнение сухих рук сильно подсоленной водой снижает сопротивление тела на 30 — 50 %. Там же приводятся следующие данные о действии тока на человека:

	переменны й ток 50 Гц	постоянно й ток
Порог чувствительности	1,1 mA	6 mA
Неотпускающий ток (возникают непреодолимые судорожные сокращения мышц)	15 mA	50 – 80 mA
Фибриляционный ток (может вызвать остановку сердца)	50 mA – 5 A	300 mA – 5 A

---

**ВОПРОС №4:** Я слышал про ионные двигатели. Используются ли они на ракетах?

**ОТВЕТ:** В энциклопедии "Космонавтика" (Москва, 1985) написано, что летные испытания ионных ракетных двигателей проводились в СССР по программе Янтарь в 1966–70 гг, в США по программе СЕРТ в 1964 и 1970 гг, по программе Снапшот – в 1965 г.

На стендах испытаны двигатели с мощностью 50 Вт, тягой 4,45 мН, удельным импульсом тяги 12,2 км/с, кПД 50%.

В книге "Космические двигатели: состояние и перспективы" (Мир, 1988) на стр. 185 указано, что вследствие принципиальных ограничений по плотности ионного тока максимальная тяга одного модуля ионного двигателя сравнительно невелика (от 5 мН до 1 Н).

---

**ВОПРОС №5:** Что такое теорема вириала?

**ОТВЕТ:** Теоремой вириала называется соотношение, связывающее среднюю кинетическую энергию системы частиц с действующими в ней силами.

Для классической системы материальных точек теорема вириала доказана в 1870 г. Клаузусом. Если  $K$  – средняя кинетическая энергия системы частиц,  $U$  – средняя потенциальная энергия системы частиц, то теорема вириала выглядит как:

$K = U$  – для гармонических колебаний,

$K = -U/2$  – для гравитационного или электростатического взаимодействия.

Теорема вириала записывается как для квантово-механических систем, так и в статистической механике.

Источник: "Физическая энциклопедия", 1 том (М., 1988.).

Доказательство теоремы дано, например, в 1-ом томе "Общего курса физики" Д.В.Сивухина (М., Наука, 1989), стр.152.

---

**ВОПРОС №6:** Иногда на небе видно два солнца. Я не знаю, какова закономерность этого явления. Считаю, что это оптический обман. Если — да, то в чем он заключается?

**ОТВЕТ:** Эффект двойного Солнца описан в книге М.Миннарта «Свет и цвет в природе», (Москва, 1958), стр. 255, 257. По мнению Миннарта это явление, по-видимому, вызывается местными изменениями яркости светового столба из-за неравномерности распределения облаков. Световой столб возникает обычно при восходе или заходе Солнца, если на луче зрения находится облако ледяных пластинок, которые очень медленно падают, сохраняя свою плоскость параллельной поверхности земли.

---

**ВОПРОС №7:** Почему создается эффект обратного вращения колеса при быстром движении (например, кареты)?

**ОТВЕТ:** Если речь идет о карете, которую Вы наблюдаете на телевидении или в кино, то обратное вращение колес возникает, если за время между кадрами колесо повернулось на угол, который, например, меньше чем половина угла между спицами.

Источник: П.В.Маковецкий «Смотри в корень», Наука, 1976, стр.182.

---

**ВОПРОС №8:** В Библии было написано о Всемирном потопе. Учительница физики вычитывала, что таких потопов было около пяти, из-за смещения оси Земли. Так ли это?

**ОТВЕТ:** Согласно теории М.Миланковича наступление ледниковых периодов можно объяснить совместным учетом изменения эксцентриситета орбиты Земли вокруг Солнца и прецессией оси

вращения Земли. При уменьшении оледенения (таянии ледников) уровень океана повышается на 85 – 120 м, что могло быть интерпретировано как «Всемирный потоп». Только за последний миллион лет таких потопов было более 10.

**Источники:**

А.В.Бялко «Наша планета – Земля», Библиотечка «Кванта» №29, 1989, стр.222,  
А.С.Монин «Популярная история Земли», Наука, 1980, гл.10.

---

**ВОПРОС №9:** Почему, когда ракета стартует, сгорает столько кислорода, сколько его вырабатывает за 20 лет большой лес?

**ОТВЕТ:** По имеющимся у нас данным:

- при старте ракеты расходуется от 100 до 1000 т жидкого кислорода (Энциклопедия «Космонавтика», М., 1985),
- растения ежегодно производят  $3 \cdot 10^{11}$  т кислорода (А.И.Перельман «Геохимия», изд. «Высшая школа», 1989, стр. 245).

Если для оценки предположить, что растения равномерно распределены по поверхности Земли (около  $10^8$  км<sup>2</sup>), то получается, что 1 квадратный километр леса производит в год более 1000 т кислорода, чего хватает на один старт ракеты.

Видимо, у Вас неточные данные.

*Шелест В.И.*

**ВОПРОС №10:** Почему вода в Австралии стекает в водопровод по часовой стрелке, а в России – против часовой?

**ОТВЕТ:** Подробный рассказ об этой задаче Вы можете прочитать в книге Я.Б.Перельмана «Знаете ли Вы физику?» (Библиотечка «Кванта» выпуск 82, Наука, 1992 г., стр. 91–94). Коротко можно ответить так: предсказать направление вращения заранее невозможно. Направление вращения вихря при стоке жидкости зависит от многих обстоятельств: формой дна резервуара, неровностями и т.д. Вихри, которые могли бы быть обусловлены вращением Земли (действием так называемой силы Кориолиса) должны иметь гораздо больший диаметр, чем маленькие водовороты в ванне.

*Яворский Н.И.*

**ВОПРОС №11:** Как Авогадро открыл число  $6 \cdot 10^{23}$ ?

**ОТВЕТ:** В 1814 г. Авогадро сделал утверждение: равные объемы газообразных веществ при одинаковых давлениях и температуре содержат одно и то же число молекул.

- В 1865 г. Лошмидт рассчитал число молекул, содержащихся при н.у. в 1 см<sup>3</sup>, – около  $10^{21}$ .
- В начале 20 века, объясняя голубой цвет неба, Бриллюэн получил количество молекул в моле равным  $6 \cdot 10^{23}$ .
- В 1901 г. Планк, объясняя излучение черного тела, получил  $N_A = 6,16 \cdot 10^{23}$ .
- В 1908 г. Резерфорд и Гейгер, опираясь на число Фарадея, получили  $N_A = 6,2 \cdot 10^{23}$ .
- В 1908 г. Перрен, объясняя броуновское движение, получил  $N_A = 6,85 \cdot 10^{23}$ .
- Самый точный метод на сегодня – дифракция рентгеновских лучей – дает  $N_A = 6,0221367 \cdot 10^{23}$ .

Источник: М.Льоцци «История физики», М., «Мир», 1970, стр. 343–351.

---

**ВОПРОС №12:** Сколько звезд на небе?

**ОТВЕТ:** Точного числа, естественно, никто не знает. В каталоги внесены миллионы звезд. Невооруженным глазом в безлунную ясную ночь в северном полушарии видны над горизонтом около 3000 звезд.

Источники:

С Данлоп «Азбука звездного неба», М., «Мир», 1990,  
Г.Рей «Звезды», М., «Мир», 1969.

---

**ВОПРОС №13:** Можно ли изобрести вечный двигатель?

**ОТВЕТ:** Исходя из нашего нынешнего понимания природы, вечного двигателя не бывает. Это утверждение постулируется.

Подробнее в книгах:

У.И.Франкфурт «Закон сохранения и превращения энергии», М., Наука, 1978,  
Артур Орд-Хьюм «Вечное движение», М., Знание, 1980.

---

**ВОПРОС №14:** В каком году и кем был выпущен первый учебник по физике?

**ОТВЕТ:** Термин – *физика* – возник в древней Греции, видимо, в 6 веке до н.э. Физиками назывались философы, занимавшиеся изучением природы. Насколько нам известно, первый учебник «Физика» в 8 томах был написан Аристотелем, ориентировочно с 335 по 323 г.г. до н.э.

Источники:

Диоген Лаэртский «О жизни, учениях и изречениях знаменитых философов», М., «Мысль», 1979,  
М.Льоцци «История физики», М., «Мир», 1970, стр. 8–12.

---

**ВОПРОС №15:** Почему радиация веществ вызывает малокровие?

**ОТВЕТ:** Радиация не порождает каких-либо новых биологических феноменов, она лишь увеличивает вероятность возникновения различных мутаций и клеточных событий, которые время от времени происходят спонтанно. Мутации, индуцированные радиацией, по существу не отличаются от спонтанных мутаций. Однако не все типы спонтанных мутаций увеличиваются в числе под воздействием радиации.

Одним из заболеваний, которое может индуцировать радиация, является лейкопения – из-за поражения стволовых клеток костного мозга снижается число лейкоцитов в крови.

Малокровие (анемия), при котором уменьшается число эритроцитов в крови или содержание гемоглобина в эритроцитах, также может быть связано с поражением костного мозга радиацией.

Источники:

Ф.Фогель «Генетика человека», т.2, М., «Мир», 1990, стр. 223–260,  
В.П.Машкович «Основы радиационной безопасности», М., «Энергоатомиздат», 1990, стр. 67–72,  
«Физиология человека» под ред. Р.Шмидта и Г.Тевса, т.2, М., «Мир», 1996, стр. 424, 430.

---

## **ВОПРОС №16:** Возможна ли телепортация?

**ОТВЕТ:** Насколько нам известно – нет. Существует термин – *квантовая телепортация*. Он не имеет никакого отношения к «традиционной» телепортации экстрасенсов.

Согласно квантовой механике, невозможно точно предсказать положение частицы в пространстве, можно лишь говорить о вероятности нахождения частицы в определенной точке. Аналогично, если у нас есть два фотона, пролетевшие через кристалл и получившие противоположные поляризации, мы не знаем какая поляризация у какого фотона. Но после измерения поляризации одного из фотонов мы сразу же (мгновенно) узнаем поляризацию второго. Причем над вторым фотоном никаких измерений не производится, и он может находиться на сколь угодно большом расстоянии от первого. Этот эффект обсуждался Эйнштейном, Подольским и Розеном в 1935 г. Экспериментально квантовую телепортацию удалось осуществить в конце прошлого года.

Источники:

- «В мире науки» 1992, №11–12, стр.130–139,
  - «Успехи физических наук» 1998, №1, стр.84,
  - «Успехи физических наук» 1998, №2, стр.204.
- 

## **ВОПРОС №17:** Как телевизор влияет на нервную систему человека?

**ОТВЕТ:** В телевизорах изображение формируется из кадров, меняющихся с некоторой частотой, причем каждый кадр состоит из некоторого количества строк.

Известно, что глаз начинает различать мелькания (смену кадров), начиная с частоты 41 Гц (при яркости источника белого цвета  $30 \text{ кд}/\text{м}^2$ ). Поэтому частота смены кадров должна быть выше. В телевизионном вещании каждый кадр передается за два поля, одно из которых содержит все нечетные строки, а второе – все четные строки. В мире действуют в основном два стандарта телевизионной развертки: европейский на 625 строк при 25 кадрах в секунду и американский на 525 строк при 30 кадрах в секунду. При этом используется чересстрочное разложение с двумя полями в кадре. Эти стандарты технически и экономически оправданы, однако они достаточны лишь для передачи изображений с крупным планом. При передаче изображений, содержащих мелкие детали, четкость изображений резко падает. К тому же в чересстрочном растре с двумя полями в кадре появляются межстрочные мелькания, обусловленные различной яркостью свечений строк последовательно воспроизводимых полей.

Смотрение телевизора сильно утомляет нервную систему, т.к. низкое качество изображения и разнообразные мелькания воспринимаются подсознанием. Т.н. «зеленый» стандарт безопасного телевизионного вещания требует развертку при частоте кадров не менее 90 кадров в секунду.

Другой причиной воздействия на нервную систему является шум генератора строчной развертки телевизора. Эта частота около 16 кГц (на пределе слышимости человека), однако, при долгом воздействии вызывает утомляемость.

Подробнее в книге:

Р.Е.Быков, В.М.Сигалов, Г.А.Эйссенгардт «Телевидение», М., Высшая школа, 1988.

*Потеряев В.С.*

---

**ВОПРОС №18:** Маятник (стальной шарик на нити) довольно быстро останавливается. Под стальной шарик положили магнит. Период уменьшился. Почему увеличивается время затухания, и плоскость колебаний меняется?

**ОТВЕТ:** Вот первое приближение к полному ответу (который очень сложен и зависит от таких вещей, как форма и размеры магнита, размер шарика и его расстояние от магнита и от неоднородности намагниченности магнита).

Как Вы наверно знаете, возвращающая сила, действующая на шарик идеального маятника, пропорциональна его отклонению от положения равновесия. Именно по этой причине период колебаний не зависит от их размаха. Сила взаимодействия реального магнита с шариком очень сложным нелинейным образом зависит от отклонения шарика от положения равновесия. Но можно показать, что при малых отклонениях маятника от равновесия и не очень малом (по сравнению с размером магнита) расстоянии от магнита до шарика взаимодействие с магнитом можно рассматривать просто как увеличение силы тяжести. Поэтому рассмотрим, как зависит добротность колебаний маятника от силы тяжести (добротность – это отношение полной энергии маятника к потерям энергии за период колебания).

Я буду опускать все постоянные коэффициенты в формулах такие как  $2\pi$ , коэффициент вязкости воздуха, масса шарика и так далее..., поэтому в наших формулах всюду стоит знак равенства =, а знак пропорциональности ~.

Итак, как известно период колебаний маятника определяется выражением:

$$T \sim (l/g)^{1/2}, \quad (1)$$

где  $l$  – длина маятника,  $g$  – ускорение свободного падения.

Тогда скорость маятника при амплитуде колебания  $A$

$$V \sim A/T \sim A(g/l)^{1/2}. \quad (2)$$

Если колебания малы, а период велик, то скорость мала и сила трения шарика об воздух пропорциональна скорости шарика:

$$f_{tr} \sim V. \quad (3)$$

Тогда потери на трение за период колебания (работа = сила на путь)

$$P \sim f_{tr} A. \quad (4)$$

Но мы помним, что скорость пропорциональна  $A$ . Тогда с учетом (2) и (3) получим:

$$P \sim (g/l)^{1/2} A^2. \quad (5)$$

Энергия маятника (потенциальная энергия при полном отклонении на расстояние  $A$  от положения равновесия)

$$E \sim gh. \quad (6)$$

Это просто привычное  $mgh$  ( $m$ , как и обещал, я опустил, т.к. это константа), а  $h$  – разность в высотах шарика в положении равновесия и при максимальном отклонении  $A$ . Простое геометрическое упражнение позволяет убедиться, что:

$$h \sim A^2/l. \quad (7)$$

Подставляя (7) в (6), получим

$$E \sim (g/l)A^2. \quad (8)$$

Тогда добротность (характерное число периодов за которое затухают колебания)

$$Q \sim E/P \sim (g/l)^{1/2}. \quad (9)$$

Итак, мы видим, что эффективное увеличение силы тяжести, которое возникает при взаимодействии шарика с магнитом, приводит к увеличению добротности колебаний. В результате число колебаний маятника до затухания увеличивается пропорционально корню квадратному из эффективного ускорения свободного падения.

Но забавно, что время затухания при этом осталось прежним (!):

$$T_{\text{затух}} \sim TQ = \text{const}.$$

Однако в реальной геометрии опыта нельзя пренебрегать нелинейными членами в представлении возвращающей силы. Они велики! И с учетом нелинейности возвращающей силы ( $f = ax + bx^3 + \dots$ ) оказывается, что время затухания меняется при взаимодействии с магнитом.

Что касается изменения плоскости колебаний, то это тоже объясняется нелинейностью колебаний. Обычный маятник при колебаниях описывает эллипс (реальное колебание можно рассматривать как сумму двух независимых колебаний в ортогональных направлениях). Но для нелинейного маятника это уже не так. Даже если ось магнита совпадает с направлением нити маятника в положении равновесия (т.е. имеется полная осевая симметрия), то траектория маятника – по-прежнему эллипс, но ось эллипса вращается и, в результате, траектория маятника – розетка. Отсутствие осевой симметрии магнита и неоднородность его намагниченности еще более усложняют движение маятника.

*Воробьев П.В.*

---

**ВОПРОС №19:** Что такое "шаровая молния"?

**ОТВЕТ:** Строго говоря, этого никто не знает. Природные шаровые молнии возникают редко в непредсказуемых местах, исследовать их с помощью приборов не удавалось. Наблюдения очевидцев ненадежны: "от страха глаза велики", т.к. где-то в половине случаев шаровая молния исчезает со взрывом. В лабораторных условиях удавалось получать разряды в газе, похожие на шаровую молнию, но утверждать, что это именно она, нет оснований.

На русском языке есть несколько книг, в которых описаны наблюдения очевидцев и перечисляются возможные объяснения:

И.Имянитов, Д.Тихий "За гранью законов науки" М., Атомиздат, 1980,

И.П.Стаханов "О физической природе шаровой молнии" М., Энергоатомиздат, 1985,

Б.М.Смирнов "Загадка шаровой молнии" М., Знание, 1987.

Все авторы сходятся в том, что при встрече с шаровой молнией надо вести себя, как при встрече с большой злой собакой: все время смотреть на нее и избегать резких движений.

С точки зрения теории – основная проблема объяснить большое время жизни шаровой молнии. Одна из наиболее продвинутых теорий предложена в книге Б.М.Смирнова "Проблема шаровой молнии" М., Наука, 1988.

Основным предположением является то, что шаровая молния – фрактальный объект, образованный случайно соединившимися частицами углерода. За счет фрактальности у этого объекта низкая плотность и очень большая площадь поверхности, что обеспечивает возможность легко передвигаться в воздухе и долго поддерживать энерговыделение при неинтенсивном окислении.

*Шелест В.И.*

---

**ВОПРОС №20:** Почему земля вращается вокруг своей оси, а не беспорядочно?

**ОТВЕТ:** Земля вращается по инерции. Если бы Земля имела форму шара, однородного или состоящего из сферических слоев равной плотности, и являлась бы абсолютно твердым телом, то направление оси и период ее вращения не менялись бы. Поскольку Земля сплюснута с полюсов, и ее ось вращения не перпендикулярна к плоскости движения Земли вокруг Солнца, то со стороны Солнца и Луны на Землю действует пара сил, приводящая к прецессии и нутации Земной оси. В результате

прецессии земная ось, оставаясь все время наклоненной к плоскости движения Земли под углом около 66 градусов 34 минуты, медленно описывает вокруг оси эклиптики конус с периодом около 26000 лет. В результате нутации ось вращения Земли совершает различные мелкие колебания около своего среднего положения. Самое главное нутационное колебание имеет период в 18,6 года. Строго говоря, на Землю действуют и остальные планеты, изменяя положение в пространстве плоскости земной орбиты, что смешает точку весеннего равноденствия к востоку на 0,114 секунды в год.

Прецессию и нутацию можно пронаблюдать на примере вращения обыкновенного волчка или шестеренки от часов.

Источники:

Д.В.Сивухин "Общий курс физики", т.1, М., Наука, 1989, параграф 50,

П.И.Бакулин, Э.В.Кононович, В.И.Мороз "Курс общей астрономии", М., Наука, 1983, параграф 72.

---

**ВОПРОС №21:** Противоречат ли законам физики путешествия во времени в обоих направлениях?

**ОТВЕТ:** Возможность путешествия в будущее открыл и обосновал Эйнштейн в рамках специальной теории относительности. Путешествие в будущее, как известно, можно совершить на релятивистской ракете. Релятивистские мю-мезоны в наших ускорителях совершают путешествие в будущее, в тысячи раз переживая своих покоящихся братьев. Но полноценные путешествия во времени требуют возможности возвращения назад, что равносильно путешествиям в прошлое.

До недавнего времени путешествия в прошлое считались категорически невозможными, с физической точки зрения. Однако, несколько лет назад И.Новиков (СССР) и Кип Торн (США) показали, что в рамках общей теории относительности при нетривиальной топологии пространства (т.е. если возможны "ручки" в гиперпространстве, соединяющие две удаленные области обычного пространства), в принципе, возможно построение машины времени. Такая машина позволяет путешествовать как в будущее, так и в прошлое. Правда, характерный масштаб такого устройства – галактика (по массе).

С тех пор опубликовано множество статей по теории машины времени (анализировалась возможность ее осуществления как с позиций общей теории относительности, так и позиций квантовой физики).

Полного понимания проблемы нет и сегодня... Однако ответ на вопрос мне кажется положительным в том смысле, что "сегодня не противоречат".

Подробнее в статье В.П.Фролова «Черные дыры, «кротовые норы» и машина времени» (журнал «Природа», №8, 1991, стр.10–16).

Воробьев П.В.

---

**ВОПРОС №22:** Меня интересуют принципы работы частотного смесителя, который используют в датчиках движения. Не могли бы Вы выслать мне схему (принципиальную) частотного смесителя. Буду очень благодарен, если схема будет на микросхемах.

**ОТВЕТ:** По-видимому, вопрос относится к, так называемым, доплеровским датчикам. Принцип действия такого датчика заключается в том, что при отражении электромагнитной волны от движущейся цели ее частота сдвигается на величину  $f = 2F_0v/c$ , где  $F_0$  – частота электромагнитной волны,  $v$  – проекция скорости цели на направление цель-локатор,  $c$  – скорость света. Отсюда видно, что нужна очень высокая частота излучаемого сигнала, так как сдвиг частоты (то, что несет информацию о цели) пропорционален  $v/c$  и очень мал. Если  $v = 3$  м/сек, то относительный сдвиг частоты всего  $10^{-8}$  и

при частоте излучения  $10 \text{ ГГц}$  ( $10^{10} \text{ Гц}$ )  $f = 200 \text{ Гц}$ . Кроме того, только в СВЧ (сверхвысокочастотном) диапазоне можно создать компактные направленные антенны.

Локатор облучает цель непрерывным СВЧ сигналом. Отраженный целью сигнал возвращается обратно, принимается локатором и смешивается на смесителе с малой долей излучаемого сигнала. Смеситель – нелинейный электрический элемент (в простейшем случае обычный СВЧ диод). При одновременном взаимодействии двух электромагнитных колебаний с различными частотами  $f_1$  и  $f_2$  на нелинейном элементе выделяются колебания с комбинационными частотами

$$f_L = f_1 - f_2 \text{ и } f_H = f_1 + f_2.$$

Обычно нижняя частота  $f_L$  выделяется фильтром и используется для регистрации наличия движущегося объекта и (если нужно) для измерения его скорости.

Фактически все такие датчики, это радиолокаторы СВЧ диапазона, которые работают на частотах от 10 до 40 ГГц (длина волны от 3 до 0.8 см). Датчики такого типа используются:

- для определения скорости самолетов;
- для измерения скорости автомобилей. Ряд марок автомобилей имеет в качестве спидометра доплеровский радиолокационный датчик скорости. Датчик работает на длине волны 8 мм, расположен под сидением водителя и облучает дорогу через радиопрозрачное окно;
- для контроля скорости автомобиля (датчики, которые использует ГАИ);
- как охранные датчики (регистрация движущихся объектов в помещении).

Простейший датчик (скажем  $23 \times 10$ ), волноводы закорочены настроенные на резонаторы через движения представляет собой два куска волновода сложенные вдоль узкой стенки. С одной стороны, и с помощью диафрагм в них организованы резонаторы, частоту  $F_0$ . СВЧ мощность излучается (попадает) в отверстие связи в диафрагме. В одном резонаторе помещен диод Ганна (G) (или лавинно пролетный диод – ЛПД). При подаче определенного напряжения на диод такая система начинает генерировать СВЧ колебания на частоте  $F_0$ . Во втором резонаторе размещен смесительный диод (M) – это приемник. Часть мощности излучаемого сигнала через отверстие связи в общей узкой стенке волновода проникает в волновод приемника и далее в резонатор смесителя. Эта мощность смешивается с сигналом, отраженным целью на диоде-смесителе. В результате, на диоде возникает низкочастотный сигнал с разностной частотой. Этот сигнал используется для измерения скорости цели (измеряется частота  $f_L$ ). Если требуется только регистрация наличия движущегося объекта, то просто анализируется, есть ли в напряжении на диоде переменная часть с амплитудой выше некоторого порога. Система на двух волноводах (без рупорной антенны) имеет чувствительность в конусе с раскрытием порядка 70 градусов (вдоль оси волноводов).

Как я говорил, простейший смеситель – СВЧ диод (например, 2A102A, 2A107A ...). В балансных схемах используются 2 диода. Смесительных микросхем для работы в диапазоне 3 см нет.

*Воробьев П.В*

**ВОПРОС №23:** Каким способом можно рассчитать средний промежуток времени между 2-мя столкновениями молекул в газообразном атомарном водороде, если скорость движения атомов неизвестна? Известны: радиус атома водорода, температура, длина свободного пробега между 2-мя столкновениями.

**ОТВЕТ:** Оценим время между столкновениями по порядку величины. Характерная скорость у частицы газа (в данном случае атома водорода) такова, что ее кинетическая энергия порядка  $kT$ , где  $k$

$= 1.38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – постоянная Больцмана, а Т – температура газа. Таким образом,  $(mv^2)/2 \sim kT$  или  $v \sim (kT/m)^{(1/2)}$ . Здесь  $m$  – масса частицы. Для характерного времени  $t$  между столкновениями одной частицы с остальными по порядку величины имеем:  $t \sim \lambda/v$ , где  $\lambda$  – длина свободного пробега молекулы. Если нас интересует время между любыми столкновениями молекул в газе  $t_N$  ( $N$  – полное число частиц в газе), то за время  $t$  происходит  $N/2$  столкновений (коэффициент  $1/2$  возникает из-за того, что соударение частицы под номером  $i$  с частицей  $j$  и соударение  $j$  с  $i$  – одно и то же соударение). Поскольку столкновения происходят случайно, то  $t_N \sim 2\lambda/(vN)$ .

В более аккуратной модели, учитывающей распределение молекул газа по скоростям, можно получить:

$$t_N = \lambda(\pi m/kT)^{(1/2)} / (2N).$$

Видно, что этот конечный ответ отличается от предварительной оценки на коэффициент порядка единицы, который достаточно условен (он зависит от точного определения понятия длины свободного пробега).

Подробнее: Д.В.Сивухин «Общий курс физики», том 2, М., Наука, 1990, параграф 86.

*Степанов М.Г.*

---

**ВОПРОС №24:** Когда свет падает на какой-либо предмет, часть света отражается. В этом случае фотон на очень-очень короткое время контактирует с предметом. Становится ли на это очень короткое время скорость фотона равной нулю? Ускоряется ли фотон после этого?

**ОТВЕТ:** Отражение света можно объяснить на двух языках: волновом и корпускулярном.

- При контакте света с поверхностью предмета падающая электромагнитная волна индуцирует в предмете переменные токи, раскачивая переменным электрическим полем электроны в атомах. Индуцированные токи возникают не только на поверхности предмета, но и в глубине его. Они сами излучают вторичные электромагнитные волны во всех направлениях. Эти волны, интерферируя между собой, создают проходящую и отраженную волны. Видно, что размазанная в пространстве (по крайней мере, на длину волны) электромагнитная волна контактирует с предметом, нигде не локализуясь и не останавливаясь.
- Фотон, достигший поверхности предмета, проникает внутрь его. Пройдя длину поглощения, фотон поглощается атомом, переводя его в возбужденное состояние. Через некоторое время атом возвращается в основное состояние, испуская фотон. Видно, что когда фотон существует, его скорость равна скорости света, а когда фотон не существует, не имеет смысла понятие «скорость фотона».

*Шелест В.И.*

---

**ВОПРОС №25:** Почему вода камень точит?

**ОТВЕТ:** Попробуем разобраться, что происходит с каплей, падающей на твердую поверхность. Вначале – о силе удара или, лучше, о давлении на поверхность, возникающем вследствие удара капли о нее. Чтобы это давление оценить, удобно представить себе не летящую каплю, а цилиндрическую струю, которая на своем пути встречает поверхность твердого тела. В оценке, которую мы получим, характеристики формы струи нет, поэтому она будет годна и для капли.

При внезапном столкновении струи с препятствием последняя испытывает на себе действие, так называемого, гидродинамического удара. За этим термином стоит, в сущности, простое физическое

явление: в момент столкновения струи с преградой в струе, в направлении, противоположном ее движению, начинает распространяться волна торможения. Наглядную иллюстрацию этому дал профессор Г.И.Покровский в книге «Гидродинамические механизмы». Он обратил внимание на внешнюю аналогию между заторможенной струей и потоком автомашин, внезапно остановленным вспышкой красного света: у светофора возникает скопление машин, которое будет распространяться прочь от светофора навстречу заторможенному потоку. Следует подчеркнуть, что сигнал о том, что поток автомобилей заторможен, движется со скоростью, меньшей скорости их движения, а волна торможения в струе движется со скоростью звука в воде, которая равна  $c = 1,5 \cdot 10^5$  см/сек и, конечно же, больше скорости капли, падающей с крыши.

Вспомним о том, что согласно закону Ньютона сила ( $F$ ) – есть произведение массы ( $m$ ) на ускорение ( $a$ ), которое, как известно, является отношением изменения скорости ( $\Delta v$ ) к времени ( $\tau$ ), в течение которого оно произошло. Этот закон можно записать в виде формулы:  $F\tau = m\Delta v$ .

Масса струи, заторможенная за время  $\tau$ , очевидно, равна  $m = c\tau s\rho$ , где  $s$  – сечение струи, а  $\rho$  – плотность жидкости. Так как изменение скорости остановленной струи равно скорости ее движения, то закон Ньютона можно переписать в форме, определяющей давление  $P = F/s$ , которое мы ищем:  $P = \rho v c$ .

Как и было обещано, полученная формула не содержит ни длины, ни сечения струи и ею можно пользоваться применительно к капле. В полученной формуле  $\rho$  и  $c$  известны, а величину  $v$  следует обсудить. Интуиция подсказывает, что, когда скорость капли мала, близка к нулю, гидродинамического удара в полной мере не произойдет. Капля расплывается, растечется по поверхности, не ударив ее.

Можно оценить наименьшую скорость, при которой произойдет удар. Для этого, видимо, необходимо, чтобы за время удара капля не успела существенно расплываться. Чтобы капля в момент падения на камень вела себя подобно твердому шарику, необходимо, чтобы время ее расплющивания ( $\tau_p$ ) было больше времени, в течение которого происходит удар ( $\tau_y$ ):  $\tau_p > \tau_y$ . Время  $\tau_p$  близко к времени, в течение которого совершается одно колебание свободно летящей капли или воздушного пузырька, всплывающего в воде:  $\tau_p \sim R\eta/\sigma$ , где  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения воды,  $\eta$  – вязкость воды. А время  $\tau_y$  можно оценить как отношение радиуса капли к скорости ее полета в момент падения на поверхность камня:  $\tau_y \sim R/v$ . Приблизительно за это время верхняя точка капли может долететь до камня, после того как нижняя точка его уже коснулась.

Теперь из условия  $\tau_p \approx \tau_y$  легко оценить величину скорости падения капли, при которой она сможет «долбить камень». Эта скорость должна удовлетворять условию  $v \approx \sigma/\eta$ . При такой скорости давление, возникающее в момент удара, будет  $P = \rho c \sigma / \eta$ . Подставляя цифры, получим  $P \approx 10^7$  Па. Многократно прикладываемое такое давление способно разрушить хрупкий камень.

Источник: Я.Е.Гегузин «Капля», М., Наука, 1977, стр. 70–79.

Подробнее в сборнике статей «Эрозия», М., Мир, 1982.

---

**ВОПРОС №26:** Что произойдет если Землю просверлить насеквоздь и бросить туда камень, что будет с камнем?

**ОТВЕТ:** Очевидно, что камень будет падать. Если считать, что из шахты откачали воздух, то камень, набрав посередине пути максимальную скорость, полетит дальше по инерции и достигнет противоположной стороны Земли, причем его конечная скорость будет равна начальной. Поскольку ускорение свободного падения внутри Земли пропорционально расстоянию до центра Земли, то характер движения камня совпадает с движением груза на пружинке, подчиняющейся закону Гука. Что интересно, если начальная скорость камня равна нулю, то период колебания камня в шахте равен

периоду обращения спутника вблизи поверхности Земли, причем независимо от того, как прорыта прямая шахта: через центр Земли или по любой хорде.

Аккуратные доказательства в книгах:

Н.И.Гольдфарб «Сборник вопросов и задач по физике», М., Высшая школа, 1973, задачи 7.6, 7.7,  
Б.Б.Буховцев, В.Д.Кривченков и др. «Сборник задач по элементарной физике», М., Наука, 1974, задача  
663,

Е.И.Бутиков, А.А.Быков, А.С.Кондратьев «Физика в примерах и задачах», М., Наука, 1989, стр.75–80.

---

**ВОПРОС №27:** В чем заключается теория возмущения?

**ОТВЕТ:** Теория возмущений позволяет исследовать сложную систему, если известна близкая к ней система, которая хорошо изучена (видимо потому, что она намного проще).

В широком смысле этого слова, теория возмущений есть совокупность методов разложения в ряд Тейлора по какому-нибудь малому параметру. Ряд Тейлора функции  $f(x)$  в окрестности точки  $x_0$  есть

$$f(x) = f(x_0) + f'(x_0)(x-x_0) + f''(x_0)(x-x_0)^2/2 + \dots + f^{(n)}(x_0)(x-x_0)^n/n! + \dots$$

где  $f(x_0)$  – первая производная  $f(x)$  в точке  $x_0$ ,  $f'$  – вторая производная,  $f^{(n)}$  –  $n$ -ая производная функции  $f(x)$  в точке  $x_0$ . Разложение в ряд Тейлора позволяет находить значения функции в точке  $x$ , если известно ее локальное поведение вблизи точки  $x_0$  (т.е. известны значение функции  $f(x)$  в  $x_0$  и ее производные). Этот ряд – есть разложение по параметру  $x-x_0$ . Если этот параметр мал (т.е. отклонение  $x$  от  $x_0$  невелико), то каждый член ряда мал по сравнению с предыдущим и для вычисления  $f(x)$  можно ограничиться небольшим количеством членов ряда.

Пример: ряд Тейлора для функции  $\sin(x)$  вблизи точки  $x=0$  имеет вид  $\sin(x) = x - x^3/6 + x^5/120 - \dots$  Вычислим с помощью этого ряда  $\sin(30^\circ) = \sin(\pi/6) = 1/2$ . Нулевое приближение дает  $\sin(\pi/6)_{\text{пр}} = 0$  (функция взята в точке  $x=x_0$ ). Это нас, естественно, не удовлетворяет, нам нужна первая неисчезающая поправка к значению равному нулю. В первом приближении, учитывая первое слагаемое ряда, имеем  $\sin(\pi/6)_{\text{пр}} = \pi/6 = 0.5236\dots$ , что уже гораздо лучше. Если же мы учтем второе кубическое слагаемое, то получим  $\sin(\pi/6)_{\text{пр}} = \pi/6 - (\pi/6)^3/6 = 0.4997\dots$

Если  $x-x_0$  велико, то ряд может сходиться медленно (и тогда от него мало пользы), а может и вообще расходиться. Т.е., теория возмущений работает, когда отклонение от известного значения (отклонение – это и есть возмущение) невелико.

Конкретная схема теории возмущений сильно зависит от задачи, которую надо решать, и методы теории возмущений очень разнообразны.

Подробнее в книгах:

Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц «Механика», том 1 курса теоретической физики, М.: Наука, 1988,  
А.Найфэ, «Методы возмущений», М: Мир.

Степанов М.Г.

---

**ВОПРОС №28:** Правда ли, что у планеты Земля есть двойник и его не видно, потому что он находится в противофазе?

**ОТВЕТ:** Задача определения движения 4-х и более тел под действием сил тяготения (а именно таковой является Солнечная система) в общем случае до сих пор не решена. Если в системе 3 тела, то есть несколько частных случаев, для которых есть точное решение. Впервые они были найдены Лагранжем в 1772 г. Суть его работы сводится к тому, что если заданы массы тел и положение 2-х тел

на плоскости, то существует 5 точек, в которых может быть расположено третье тело, и система при этом будет устойчива. Таким образом:

- а) если три тела расположены на одной прямой, то они обращаются, оставаясь на ней вокруг общего центра масс;
- б) если три тела расположены в вершинах равностороннего треугольника, то они обращаются вокруг общего центра масс так, что треугольник остается все время равносторонним.

Если бы в нашей Солнечной системе было всего три тела: Солнце, Земля и двойник Земли в противофазе, то в соответствии с решением Лагранжа (а) система была бы устойчивой. Но поскольку в Солнечной системе небесных тел значительно больше трех, то несимметричные возмущения планетных орбит неизбежно приведут к нарушениям конфигурации системы и нарушению устойчивости планетных орбит.

Как мы сейчас понимаем, двойника Земли, находящегося в противофазе, не может быть (хотя сообщения о существовании двойника Земли периодически появляются в «бульварной» прессе).

Но, тем не менее, во всех 5 точках Лагранжа, посчитанных для системы «Земля-Солнце и третье тело», обнаружены скопления пыли и газа.

Подробнее можно прочитать:

П.И.Бакулин, Э.В.Кононович, В.И.Мороз "Курс общей астрономии", М., 1977,  
Ч.Альвен, Г.Аррениус "Эволюция Солнечной системы", М., 1979,  
А.Д.Брюно"Ограниченнная задача трех тел", М., 1990.

*Кириченко Н.А.*

---

**ВОПРОС №29:** Меня интересует, как можно представить электроны? Как волну или как кванты и элементарные частицы?

**ОТВЕТ:** Обычно отвечают, что электрон – это волна и частица одновременно, но такой ответ мало помогает пониманию. Пожалуй, проще всего представлять себе свободные электроны как волновой пакет – набор волн, которые складываясь, компенсируют друг друга во всем пространстве, за исключением небольшого объема. Именно внутри этого объема и «существует» электрон. Для нас этот объем микроскопически мал, поэтому мы воспринимаем электрон как отдельную частицу. Эти слова, конечно, не объясняют на самом деле, что же такое электрон, из чего он сделан, но они дают возможность наглядно представить себе электрон, позволяют увидеть связь между волнами и частицами.

Более детальное разъяснение того, как выглядят микроскопические объекты и как они ведут себя, можно найти в книге «Под знаком кванта».

*Иванов И.П.*

---

**ВОПРОС №30:** Какова будет примерная форма Большой Медведицы через 50000 лет и почему?

**ОТВЕТ:** Из-за прецессии земной оси полюсы мира описывают вокруг полюсов эклиптики малые круги радиусом около 23,5 градусов за период около 26000 лет. Это означает, что через 50000 лет полюс мира будет направлен в ту же точку, что и 2000 лет назад. Это недалеко от звезды альфа в созвездии Дракона. Смена "полярной звезды" не приведет к изменению формы Большой Медведицы: 50000 лет слишком малый срок для того, чтобы стали заметны относительные смещения сильно удаленных звезд.

Источник:

П.И.Бакулин, Э.В.Кононович, В.И.Мороз "Курс общей астрономии", М., Наука, 1983, параграф 73.

---

**ВОПРОС №31:** Почему именно красный цвет означает остановку, а не какой-нибудь другой (у светофора)?

**ОТВЕТ:** В световой сигнализации, применяемой на всех видах транспорта, широко используются в качестве условных знаков цветовые сигналы. Наиболее широко используемыми являются цвета: красный, зеленый, желтый, синий и белый. Для воспроизведения этих цветов применяются цветные светофильтры. Основным требованием, предъявляемым к таким светофильтрам, является безошибочная опознаваемость сигналов. Наиболее различными по ощущению цветности должны быть красный и зеленый сигналы, запрещающий и разрешающий движение в дорожной сигнализации.

Подробнее в книге:

В.В.Мешков, А.Б.Матвеев «Основы светотехники», М., Энергоатомиздат, 1989, стр.361–363.

Человеческий глаз свет разных длин волн (цветов) воспринимает по-разному. Наилучшую чувствительность средний нормальный глаз при дневном зрении имеет в желто-зеленой части спектра 555 нм. При сумеречном зрении максимум чувствительности смещается в коротковолновую область – 510 нм. При восприятии красного цвета 650–700 нм чувствительность глаза составляет 0,04–0,1 от максимальной при дневном зрении и 0,00002–0,0007 – при сумеречном зрении. При восприятии зеленого цвета 500–550 нм чувствительность глаза составляет 0,3– 0,99 от максимальной при дневном зрении и 0,5–0,98 – при сумеречном зрении. Видно, что предельное расстояние, с которого еще можно разглядеть красный цвет, гораздо меньше, чем предельное расстояние для зеленого цвета.

Подробнее в книге:

В.В.Мешков, А.Б.Матвеев «Основы светотехники», М., Энергоатомиздат, 1989, стр.55–60.

Распространение света в атмосфере определяется показателями поглощения и рассеяния. В видимой области спектра поглощение очень мало и им обычно пренебрегают. Рассеяние разделяют на молекулярное и аэрозольное. Рассеяние света характеризуется коэффициентом ослабления света  $\alpha$ , который задает экспоненциальное ослабление освещенности  $E$  источника света I на расстоянии  $r$ :  $E = I e^{-\alpha r/r^2}$ .

Для молекулярного рассеяния  $\alpha(\lambda) = 0,0119 (550/\lambda)^4 \text{ км}^{-1}$ , где  $\lambda$  – длина волны в нм.

Для аэрозольного рассеяния, сильно зависящего от мутности атмосферы,  $\alpha(\lambda) = (3,9/s - 0,012) (550/\lambda)^m \text{ км}^{-1}$ , где  $\lambda$  – длина волны в нм;  $m=0,92\pm0,25$ ; значение  $s$  берется в зависимости от состояния атмосферы: при легком тумане  $s=1$  км, при дымке  $s=4$  км, при ясном небе  $s=20$  км.

Подробнее в книге: Л.С.Долин, И.М.Левин «Справочник по теории подводного видения», Л., Гидрометеоиздат, 1991, стр.197–198.

Видно, что  $\alpha(700) / \alpha(550) \approx 0,4$  для молекулярного рассеяния, и  $\alpha(700) / \alpha(550) \approx 0,8$  для аэрозольного рассеяния. Поскольку характерные расстояния, на которых убывает освещенность,  $1/\alpha \sim 100$  км, то незначительный выигрыш в коэффициенте ослабления для красного света принципиально не меняет ситуацию для автотранспорта.

Каждый цвет определенным образом воздействует на человека. Действие цветов обусловлено, с одной стороны, непосредственным физиологическим влиянием их на организм, а с другой – ассоциациями, которые цвета вызывают на основе предшествовавшего опыта. Некоторые цвета возбуждают, другие, напротив, успокаивают нервную систему.

---

Еще И.-В.Гете отмечал действие цветов на настроение и делил с этой точки зрения цвета на: а) возбуждающие, оживляющие, бодрящие и б) порождающие печально-беспокойное настроение. К первым, он относил красно-желтые, ко вторым – фиолетовые. Промежуточное место он отводил зеленому цвету, который способствует, по мнению Гете, состоянию спокойной умиротворенности. Известную роль в этом эмоциональном воздействии цветов играют, по-видимому, и ассоциации: голубой цвет ассоциируется с цветом голубого неба, зеленый – с зеленью, голубо-зеленый – с водою, оранжевый – с пламенем и т.д. Цвета производят определенное физиологическое воздействие на человеческий организм. Французский невропатолог Ч.Фере отметил, что показания динамометра, определяющего сжатием руки мускульную силу, изменяются при различных условиях освещения. При кратковременной работе производительность труда увеличивается при красном свете и уменьшается при синем; при длительной работе производительность труда увеличивается при зеленом цвете и снижается при синем и фиолетовом. Экспериментальные исследования В.М.Бехтерева, И.Н.Спиртова и других установили возбуждающее и угнетающее действие различных цветов, в связи с чем Бехтеревым была поставлена задача использования терапевтического эмоционального воздействия цветов на психическое состояние душевнобольных.

Ф.Стефанеску-Гоанга установил, что при действии пурпурного, красного, оранжевого, желтого цветов учащается и углубляется дыхание и пульс, а при действии зеленого, голубого, синего и фиолетового цветов возникает обратное действие. Следовательно, первая группа цветов является возбуждающей, а вторая – успокаивающей. По замечаниям художников и искусствоведов, красный цвет – возбуждающий, согревающий, оживляющий, активный, энергичный, очень богат ассоциациями; оранжевый – веселый, жизнерадостный, пламенный, соединяющий радостность желтого с возбуждением красного; желтый – теплый, бодрящий, веселый, привлекательный, несколько кокетливый; зеленый – спокойный, создает приятное (уютное) настроение, очень богат ассоциациями; синий – спокойный, серьезный, нежный, печальный, тосклиwyй, мирный, сентиментальный; фиолетовый цвет соединяет эмоциональный эффект красного и синего цветов – одновременно притягивающий и отталкивающий, полный жизни и возбуждающий тоску и грусть.

Цветам свойственна определенная выразительность. Выразительность цвета не есть результат ассоциации и не перенос символики цвета, а качество, принадлежащее самому цвету. Выразительность в значительной степени зависит от установки испытуемых.

Подробнее в книге:

С.Л.Рубинштейн «Основы общей психологии», М., Педагогика, 1989, стр.253–265.

Таким образом, складывается впечатление, что красный цвет в светофоре выбран для сигнализации запрета, исходя не из физических аргументов, а из психофизиологических.

*Шелест В.И.*

---

### ВОПРОС №32: Как выглядит F-облако?

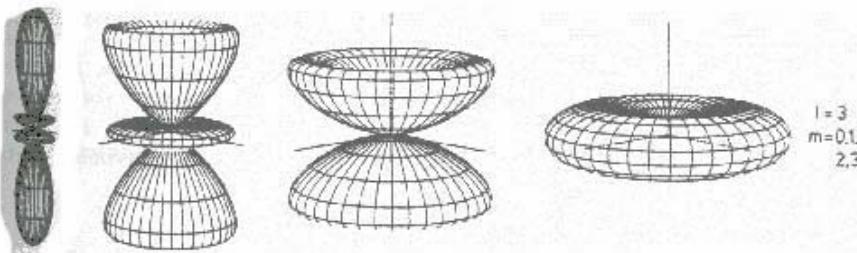
**ОТВЕТ:** Вероятность нахождения электрона в атоме определяется несколькими целыми числами  $n, l, m$ .

- $n$  – главное квантовое число, характеризующее значение энергии стационарных состояний атома, причем  $n = 1, 2, \dots$ .
- $l$  – орбитальное квантовое число, характеризующее орбитальный момент количества движения электрона, причем  $l = 0, 1, \dots, n-1$ .
- Для состояний с различными  $l$  принята система буквенных обозначений:  $l = 0 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ \dots$

s p d f g ...

- $m$  – магнитное квантовое число, характеризующее проекцию орбитального момента количества движения электрона на выбранную ось, причем  $m = -l, -l+1, -l+2, \dots, l-1, l$ .

При заданных числах  $n$ ,  $l$ , и  $m$  среднее распределение электронного заряда задается формой электронного облака. На рисунке показана зависимость распределения от углов электронной плотности в электронном облаке атома водорода для состояний с  $l = 3$  ( $f$  – облако).



Источники:

Энциклопедия «Физика микромира», М., 1980, статья "Атом",  
S.Brandt, H.D.Dahmen «Mechanika kwantowa w obrazach», Warszawa, 1989, стр.151, 209–211.

---

**ВОПРОС №33:** Меня интересует вопрос: распределение электронов вокруг ядра и как определяются траектории электронов?

**ОТВЕТ:** Вся трудность в описании электронов в атоме состоит в том, что для них не существует понятия траектории. Было бы совершенно неправильно представлять себе, что электроны крутятся вокруг ядра по каким-то определенным траекториям. Гораздо точнее представлять себе, что электрон в атоме – это специфическое возбуждение «электронной материи», которое может устойчиво существовать в поле ядра. Аналог из повседневной жизни – колеблющаяся струна, в ней тоже живет вполне определенное колебание. Поскольку трехмерное пространство гораздо «богаче» одномерной струны, неудивительно, что типов электронных конфигураций в атоме намного больше. Что касается распределений электронов в поле ядра, то они получается из решения уравнений для электронов и их явный вид можно найти в любой серьезной книге по квантовой механике.

Иванов И.П.

---

**ВОПРОС №34:** Почему человек не падает с велосипеда?

**ОТВЕТ:** Начнем с того, что обыкновенное колесо катится само по себе достаточно устойчиво: при наклоне в какую-либо сторону оно не падает под действием силы тяжести, а поворачивает в сторону наклона и едет по дуге. Этот эффект называется гироскопическим.

Подробнее в книге:

Кл.Э.Суорц «Необыкновенная физика обыкновенных явлений», том 1, М., Наука, 1986, глава 8.

Существует много гипотез, объясняющих устойчивость движения системы гонщик-велосипед. Остановимся на некоторых из них.

- Гипотеза 1. Гипотеза предполагает обеспечение устойчивости движения только за счет принудительного перемещения центра масс системы путем изменения положения тела гонщика относительно точек опоры колес. Типичными примерами, подтверждающими эту гипотезу, служат езда на велосипеде, с заклиненной рулевой колонкой или цирковой трюк езды на велосипеде по жесткому

прямолинейному профилю под куполом цирка с применением поперечно-расположенного шеста, гантелей и других массивных вспомогательных средств.

Наиболее достоверно подтверждают данную гипотезу приемы обеспечения устойчивости при движении велосипеда в узкой колее разбитой дороги или при попадании колес велосипеда во время гонки в желоб трамвайного рельса. При этом система выходит из равновесия и отклоняется от вертикальной плоскости. Для возвращения системы в равновесие и обеспечения устойчивости движения гонщик выполняет маневр, состоящий в том, что он преднамеренно отталкивается от велосипеда в сторону, противоположную первоначальному отклонению, перенося центр масс в плоскость, в которой расположена точка опоры.

- Гипотеза 2. Эта гипотеза предлагает обратное действие, т. е. изменение положения точек опоры системы гонщик-велосипед на поверхности дороги.

Аналогов подобного действия в практике повседневной жизни встречается немало. Например, для обеспечения устойчивости карандаша, вертикально стоящего на кончике пальца, достаточно сместить точку его опоры. Обеспечение устойчивости такого вертикально стоящего стержня является полной аналогией сюрприза, когда за счет разворота переднего колеса гонщику удается находить для него такое положение на полотне трека, что центр масс системы остается в вертикальной плоскости, проходящей через точки контакта переднего и заднего колес с поверхностью трека.

- Гипотеза 3. Эта гипотеза связана с особенностью конструктивного решения узла передней вилки велосипеда и диаметром переднего колеса. Практические испытания различных конструкций показали, что из всего их многообразия можно выделить такие решения, которые определяют устойчивость направленного движения системы гонщик-велосипед. Принципиально важным для конструкции рамы велосипеда является угол наклона оси рулевой колонки и изгиб передней вилки.

Устойчивость системы достигается почти во всех случаях, за исключением тех, когда совпадают точка пересечения оси рулевой колонки с поверхностью дороги (точка А) и точка пересечения плоскости дороги и вертикали, проходящей через ось переднего колеса (точка В), или точка В находится спереди точки А по направлению езды велосипеда.

Езда без рук на таком велосипеде невозможна, а нормальная управляемая рулем езда крайне затруднительна. Минимальное внешнее воздействие выводит систему из равновесия, и быстро нарастающий дестабилизирующий момент приводит к падению.

- Гипотеза 4. Устойчивость системы обеспечивается гироскопическим эффектом. Первое правило при обучении езде на велосипеде гласит: поддерживай скорость движения и поворачивай руль в сторону падения. Этот эффект наблюдается при езде на велосипеде, когда руки убраны с руля, особенно это становится очевидным при спуске по извилистой дороге, когда для входа в очередной вираж достаточно наклонить корпус в сторону центра кривизны виража – и велосипед будет двигаться по криволинейной траектории, соответствующей скорости движения и наклону велосипеда.

Обобщая, можно сказать, что если под понятием «устойчивость движения» иметь в виду способность системы гонщик-велосипед сохранять заданную форму движения, то рассматриваемая система неустойчива в статике, а ее абсолютно прямолинейное движение невозможно. Траектории движения точек опоры (точек контакта колес с поверхностью дороги) колеблются относительно некоторой прямой линии, выбранной в качестве основного направления движения системы. Хорошо подтверждают это положение безуспешные попытки езды с заклиненной рулевой колонкой, хотя, казалось бы, именно при заклиненной колонке велосипед должен двигаться прямолинейно.

Источник: В.П.Любовицкий «Гоночные велосипеды», Л., Машиностроение, 1989, глава 8.

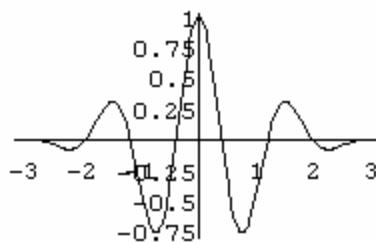
### ВОПРОС №35: Что такое принцип неопределенности?

**ОТВЕТ:** В отличие от классической механики, где состояние частицы (или материальной точки) задается его положением  $x$  и импульсом  $p$ , квантовая механика описывает частицу с помощью, так называемой волновой функции  $\psi(x)$ . Нельзя сказать, что частица находится в такой-то точке  $x$ , она находится как бы везде, где не равна нулю волновая функция  $\psi(x)$ . Там, где  $\psi(x)$  больше, там больше и вероятность обнаружить частицу. Скорость же частицы связана со скоростью изменения  $\psi(x)$  в пространстве. Типичная волновая функция частицы  $\psi(x)$  показана на рисунке справа: частица находится в центре, ее импульс обратно пропорционален длине волны  $\lambda$ ,

$$p = h/\lambda,$$

где  $h$  – постоянная Планка,  $h = 6.63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с. Чем меньше длина волны, тем больше импульс частицы.

Неопределенность положения частицы  $\Delta x$  – это ширина горбика в волновой функции. Неопределенность импульса  $\Delta p$  связана с неопределенностью длины волны (мы не можем из волновой функции  $\psi(x)$  определить длину волны точно). Чем меньше длины волн укладывается на горбике  $\psi(x)$ , тем хуже мы можем определить длину волны  $\lambda$  (см. рисунки).



Выберем какую-нибудь длину  $L$  порядка ширины горбика  $\Delta x$  и посчитаем, сколько длин волн  $\lambda$  на ней уложилось:

$N = L/\lambda$ . Естественно, мы не можем однозначно утверждать, что там уложилось именно  $N$  волн, а не  $N+1$  (или не  $N-1$ ). Во-первых, может уложиться нецелое количество волн, а, во-вторых, изменение числа волн на единицу может быть связано просто с изменением формы огибающей. Таким образом, неопределенность длины волны имеет порядок величины

$$\Delta\lambda \text{ порядка } \lambda/N = \lambda^2/L \text{ порядка } \lambda^2/\Delta x .$$

Неопределенность импульса при этом

$$\Delta p = h\Delta\lambda/\lambda^2 \text{ порядка } h/\Delta x .$$

Таким образом, мы получаем известное соотношение неопределенностей

$$\Delta x \Delta p \sim h ,$$

открытое великим немецким физиком Гайзенбергом (W Heisenberg).

Подробнее в статье В.П.Крайнова «Соотношения неопределенности для энергии и времени» в «Соросовском образовательном журнале» №5, 1998, стр.77– 82.

Степанов М.Г.

**ВОПРОС №36:** Что такое квазар?

**ОТВЕТ:** Квазары – квазизвездные радиоисточники, внегалактические объекты уникально высокой светимости.

Первый квазар (3C48) был открыт в 1961 году. В результате точного измерения координат компактного радиоисточника, выполненных в 1961 году, источник был отождествлен с уникальным звездоподобным объектом 16 звездной величины, имеющим слабый красный выброс, направленный от источника. Несколько позже были получены спектры этого квазара и выяснилось, что он имеет значительное красное смещение спектральных линий. Это указывало на высокую скорость удаления квазара от нас. Когда было открыто большое число квазаров, выяснилось, что все они имеют значительные красные смещения. Это говорило о том, что природа красного смещения имеет космологический характер и связана с расширением Вселенной, а квазары находятся на космологических расстояниях от нас.

Впоследствии наблюдения на новых больших телескопах и, особенно, на космическом телескопе Хаббла подтвердило, что квазары – внегалактические объекты. Квазары выделяют чудовищную энергию во всех спектральных диапазонах от радиоволн до сверхжесткого гамма излучения. Достаточно сказать, что детекторы на Земле регистрируют гамма кванты с энергией порядка  $10^{17}$  электронвольт от квазара, удаленного от нас на расстояние 500 мегапарсек (расстояние до ближайшей звезды порядка одного парсека).

По современным представлениям квазар – это черная дыра в активном ядре галактики. Во всяком случае, никакая другая модель не может объяснить, как объект размером порядка одного светового часа может излучать мощность  $10^{47}$  эрг/сек, соответствующую аннигиляции порядка одной массы Земли в секунду.

Благодаря огромной яркости, квазары видны на огромных расстояниях. Максимальное красное смещение, которое наблюдалось у квазара, около 5. Это значит, что мы видим объект в момент, когда Вселенная была вдвое моложе, чем сегодня.

Исследования, проведенные телескопом Хаббла, показали, что фактически все звездоподобные объекты на небе со звездной величиной ниже 23 – квазары.

Подробнее в книге: «Физика космоса», М., Советская энциклопедия, 1986, стр.295–296.

*Воробьев П.В.*

---

**ВОПРОС №37:** Как сделать самому из подручных материалов (если очень захотеть и иметь возможность достать все необходимые компоненты) лазер любого типа (не указка, а способный выжечь след, хотя бы на бумаге или оплавить)?

**ОТВЕТ:** При определенной сноровке и опыте, имея готовые интерференционные зеркала, можно сделать газовый гелий-неоновый лазер. Однако мощность его слишком низка для того, чтобы им можно было что-то жечь. Мощный лазер построить без специального оборудования невозможно.

Можно воспользоваться схемой самодельного лазера на хлориде меди, предложенной в статье Д.Уолкера в журнале «В мире науки» №6, 1990, стр.84–87.

*Воробьев П.В.*

---

**ВОПРОС №38:** Зачем поезд, перед тем как тронуться, сдает назад?

**ОТВЕТ:** Разберем случай разгона поезда на горизонтальных путях. Поезд движется за счет силы трения покоя, возникающей между ведущими колесами локомотива и рельсами. На колеса вагонов и ведомые колеса локомотива действуют силы трения со стороны осей, которые «хотят» заставить колеса скользить по рельсам вперед. Значит, со стороны рельсов на колеса начинают действовать силы трения покоя в противоположную сторону, препятствуя возникновению скольжения. Причем силы трения покоя всегда принимают такие значения, чтобы скольжения не возникло, т.е. чем больше трение в осях колес – тем больше трение покоя. Видно, что силы трения покоя, раскручивая колеса, уменьшают ускорение разгона поезда. Больше того, если все сцепки между вагонами перед началом движения натянуты, то может оказаться, что суммарная сила трения покоя, действующая на колеса вагонов и ведомые колеса локомотива, больше силы трения покоя, действующей на ведущие колеса локомотива, и поезд вообще не сдвинется с места. Поскольку сила трения скольжения убывает с ростом скорости движения, то по мере разгона вагона сила трения в осях колес уменьшается. Если локомотив начнет сдавать назад, то он легко сможет сдвинуть вначале один вагон, затем второй и т.д., ослабив натяжение сцепок между вагонами. Теперь локомотив может начать движение вперед, последовательно разгоняя один вагон за другим. Разгону поезда также мешают силы трения качения, но они гораздо меньше сил трения покоя.

Источник:

С.Э.Хайкин «Физические основы механики», М., Наука, 1971, параграф 98.

---

### **ВОПРОС №39:** Почему в году 365 дней?

**ОТВЕТ:** Чтобы найти число дней в году надо период обращения Земли вокруг Солнца поделить на период обращения Земли вокруг собственной оси. Поскольку мы ведем наблюдения с Земли, участвующей в нескольких неравномерных вращениях, то экспериментально определить периоды обращений непросто, больше того, они будут непостоянными.

Подробнее в книге:

П.И.Бакулин, Э.В.Кононович, В.И.Мороз «Курс общей астрономии», М., Наука, 1983.

На сегодняшний день продолжительность звездного года равна 365,256 средних солнечных суток.

Длительность года меняется из-за влияния на Землю других планет солнечной системы. Точные расчеты показывают, что эксцентриситет орбиты Земли меняется не периодически, но с характерным временем, равным ста тысячам лет.

Подробнее в книге:

А.В.Бялко «Наша планета – Земля», Библиотечка «Квант» выпуск 29, М., Наука, 1989, стр.37– 40.

Длительность суток непостоянна. Она систематически растет (т.н. вековые изменения) из-за торможения приливами на 0,0023 с в 100 лет. В то же время существуют скачкообразные изменения на тысячные доли секунды за время в несколько месяцев. Достоверно их причина не установлена. Также присутствуют сезонные изменения из-за перераспределения воздушных и водных масс Земли на ±0,001 с за год.

Подробнее в книге:

П.И.Бакулин, Э.В.Кононович, В.И.Мороз «Курс общей астрономии», М., Наука, 1983, параграф 75.

Таким образом, число дней в году непостоянно. Например, 380 млн. лет назад в году было около 400 дней. Этот результат получен после исследования годичных и суточных колец роста ископаемых кораллов.

Подробнее в книге:

---

**ВОПРОС №40:** Почему приемник инфракрасных излучений на телевизоре плохо принимает эти сигналы с ПДУ при ярком свете?

**ОТВЕТ:** Любой источник освещения излучает в инфракрасной области спектра. К тому же приемник излучения, поглощая падающее на него излучение, нагревается. Все это приводит к тому, что ухудшается отношение сигнал-шум на приемнике. Т.е., строго говоря, дополнительный источник освещения должен ухудшать прием сигналов с ПДУ. Другое дело – насколько. Сделаем оценки.

Излучаемая мощность ПДУ в диапазоне длин волн 0,8–1,2 мкм составляет несколько милливатт. Излучение идет в конусе с углом раствора около  $10^0$  и падает с расстояния несколько метров на приемник излучения диаметром около 3 мм. Это означает, что приемник реагирует на приходящую мощность излучения около  $10^{-7}$  Вт.

Все окружающие нас тела имеют температуру около 300 К. При этом они светят инфракрасным излучением, с максимумом на длине волны 9–10 мкм и мощностью около 0,1 Вт/см<sup>2</sup>. В диапазоне длин волн чувствительности приемника излучения падающая мощность составит менее  $10^{-12}$  Вт, что не мешает работе ПДУ. Поэтому незначительный нагрев приемника излучения не ухудшит его работы.

Обычная лампа накаливания, имеющая к.п.д. около 5% и температуру спирали более 2000 К, излучает с максимумом на длине волны около 1 мкм и мощностью около 5 Вт. Считая, что излучение равномерно идет во все стороны и падает с расстояния несколько метров, падающая на приемник излучения мощность составит около  $5 \cdot 10^{-7}$  Вт. Плотность потока солнечного излучения составляет в наших широтах около 500 Вт/м<sup>2</sup>. На нужный нам инфракрасный диапазон приходится около 15% энергии. Значит, на приемник излучения падает  $10^{-3}$  Вт.

На первый взгляд кажется, что лампа и Солнце должны существенно ухудшить прием телевизором сигналов ПДУ. Однако это не так. Дистанционный пульт работает на модуляции сигнала инфракрасной частоты (прямоугольные импульсы различной длины для различных каналов), и датчик реагирует не столько на величину сигнала, сколько на длину модуляции. Приемник излучения – фотодиод – имеет характеристику, связывающую вырабатывающееся на нем напряжение с освещенностью. Характеристика имеет линейный участок роста, а затем выходит на насыщение. Цепь фотодиода имеет конденсатор, отсекающий постоянную составляющую тока. Пока освещенность соответствует линейной части характеристики, проблем нет, даже когда фон сопоставим или сильно превышает сигнал ПДУ.

Проблемы начинаются при выходе на насыщение в характеристике. Возможно, при работе телевизора на улице в яркий солнечный день, при попытке воспользоваться дистанционным пультом ничего не получится.

В квартире излучение с улицы резко падает с удалением от окна. Если на подоконнике освещенность 100%, то на расстоянии от него 5 м – освещенность 10%.

По нашему опыту нет существенной разницы в работе ПДУ днем при солнечном свете, вечером при включенной люстре или ночью.

Подробнее в книгах:

А.Г.Блох, Ю.А.Журавлев, Л.Н.Рыжков «Теплообмен излучением. Справочник», М., Энергоатомиздат, 1991, стр.44,

Д.С.Гурлев «Справочник по фотографии (светотехника и материалы)», Киев, Техника, 1986, гл. 1,

---

**ВОПРОС №41:** Какие химические элементы, кроме Ca-Sr, Fe-Mn мигрируют в природных средах в парной зависимости?

**ОТВЕТ:** Количественную распространенность в земной коре впервые установил Ф.У. Кларк. В его честь А.Е. Ферсман в 1923 г. предложил термином «кларк» обозначать среднее содержание химического элемента в земной коре, какой-либо ее части, в Земле в целом, на планетах и других космических объектах.

Кларки самых распространенных изверженных кислых пород установлены достаточно точно, много данных и о кларках базальтов и других основных пород, осадочных пород. Ниже приведены кларки в % самых распространенных элементов:

O – 46,0; Si – 26,1; Al – 8,1; Fe – 6,7; Mg – 3,0; Mn – 0,1; Ca – 5,1; Na – 2,4; K – 1,4; Ti – 0,7; H – 0,1; P – 0,1; прочие – 0,2.

Основной вопрос геохимии – объяснение причин столь неравномерного распространения элементов.

Оказалось, что в земной коре преобладают легкие атомы, занимающие начальные клетки периодической системы, ядра которых содержат небольшое количество протонов и нейтронов. Также преобладают элементы с четными порядковыми номерами и атомными массами.

Родственные по периодической системе элементы ведут себя в земной коре далеко не одинаково. Так, K и Na, Fe и Ni, Cl и I, Cr и Mo – аналоги в химии, но в земной коре мигрируют по-разному. Это связано с тем, что для геохимии часто основное значение имеют такие свойства элементов, которые с общехимических позиций второстепенны: обратимость или необратимость миграции, радиоактивность, способность давать минералы и т.п.

Многие элементы с одинаковыми кларками ведут себя в земной коре резко различно (Ga, N и Co, Sn и U и т.д.), а элементы с различными кларками – сходно (S и Se, Ca и Sr и т.д.). Таким образом, миграция элементов в земной коре зависит не только от их химических свойств, но и от кларков.

Химические элементы, ионы и соединения, определяющие условия миграции в данной системе, именуются ведущими. Число их невелико. Например, геохимия гидротермальных систем во многом определяется S, SiO<sub>2</sub>, F, Cl, CO<sub>2</sub>, H<sup>+</sup> и OH<sup>-</sup> – ионами. Геохимическое своеобразие океанов определяется O, растворенным в воде, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup> и небольшим числом других элементов. В таежных болотах ведущими являются Fe<sup>2+</sup>, H<sup>+</sup>, Mn<sup>2+</sup> и т.д. Химические элементы с низкими кларками не могут быть ведущими из-за малых концентраций в системах – они вынуждены мигрировать в той обстановке, которую создают ведущие элементы. Различия в кларках определяют ведущую роль S и второстепенную Te, ведущее значение Na и не ведущее Rb, Li, Cs. Редкие элементы в местах их концентрации (например, в месторождениях) становятся ведущими (Hg, U, Mo и т.д.).

Ведущее значение элемента зависит не только от его кларка и концентрации в данной системе. Важно, чтобы элемент мигрировал и накапливался в системе. Распространенные, но слабо мигрирующие элементы не являются ведущими. Один и тот же элемент в разных системах может быть и ведущим, и второстепенным. Например, Fe имеет ведущее значение во многих гидротермальных системах, но его роль невелика в почвах пустынь, водах океана. Наконец, если элемент энергично мигрирует, но не накапливается, он также не является ведущим. Так, Na и Cl энергично выщелачиваются из кислой коры выветривания и не являются там ведущими. Только в соляных озерах, где Na и Cl мигрируют и накапливаются, они становятся ведущими.

---

Понятие о парагенезисе элементов ввел в 1909 г. В.И.Вернадский, имея в виду их совместную концентрацию. Парагенная ассоциация элементов обусловлена единым процессом, она может быть как одновременной, так и неодновременной, связанной, например, с последовательным осаждением элементов при постепенном охлаждении расплава или раствора. В дальнейшем парагенезису элементов уделялось много внимания в Трудах В.М.Гольдшмидта, А.Е. Ферсмана, А.А.Саукова, В.В.Щербины, А.С.Уклонского, К.А.Власова и других геохимиков, так как одна из главных задач геохимии и состоит в изучении парагенных ассоциаций элементов. Чисто пространственную ассоциацию элементов и минералов, не связанную генетически, В.И. Лебедев именует парастерезисом. Наиболее изучены парагенные ассоциации элементов в минералах. Парагенезис главных элементов, как правило, объясняется законами кристаллохимии (например, Fe и S в пирите, Fe, Mg, Si, O в оливине и т.д.).

Более сложны и разнообразны парагенезисы элементов – примесей. Так, для оливина характерна примесь Ni, Co, для халькопирита – часто Re, In, Se, Te, Ge, An, Ni, Co, Ag, Cd, Tl, As, Sb, Pt, Pd, для полевых шпатов – Rb, Cs, Li, Tl, Be, Ca, Ba, Sr и др., для уранинита – Pb, Ra, He. Причины образования подобных ассоциаций различны: близость ионных радиусов, радиоактивный распад, сорбция и т.д. Хорошо изучены также парагенные ассоциации элементов в горных породах и рудах. Например, для ультраосновных пород характерна ассоциация Mg, Cr, Ni, Co, Fe, Mn, Pd, Pt, для пегматитов – K, Rb, Li, Cs, Be, TR, Zr, Nb, Ta, F, В и др., для многих экзогенных урановых руд – Mo, Se, V, Re.

Кроме парагенных, различают запрещенные ассоциации элементов (отрицательный парагенезис), т.е. ассоциации, невозможные в данной системе. Примером отрицательного парагенезиса служат Ni и Ba в минералах, Сг и U в рудах, Cu и Mn в осадочных формациях.

Источник:

А.И.Перельман «Геохимия», М., Высшая школа, 1989.

---

**ВОПРОС №42:** Сколько планет в солнечной системе имеют кольца? Как и почему они образовались? Какое значение они имеют для планет?

**ОТВЕТ:** Открытые в XVII в. кольца Сатурна постоянно будоражили воображение исследователей своей уникальной формой. Кольца Сатурна исследовали такие блестящие астрономы, механики и математики, как Г.Галилей, Х. Гюйгенс, Ж.Д.Кассини, П.С. де Лаплас, Дж.К.Максвелл, А.Пуанкаре. Кант был первым, кто предсказал существование тонкой структуры колец Сатурна. Пользуясь своей моделью протопланетного облака, он представлял себе кольцо в виде плоского диска из сталкивающихся частиц, вращающихся дифференциально вокруг планеты по закону Кеплера. Именно дифференциальное вращение, согласно Канту, является причиной расслоения диска на серию тонких колечек. Позднее П.С. де Лаплас доказал неустойчивость твердого широкого кольца. В середине прошлого века многие астрономы (Вика в Риме, Бонд в США, Струве в России, Доуес и Лассель в Англии) обнаружили всего десять колечек вокруг Сатурна. Выдающийся вклад в исследование устойчивости колец Сатурна внес в это же время Дж.К. Максвелл, получивший премию Адамса за труд, в котором он показал, что такие узкие кольца также неустойчивы и будут падать на планету. И хотя вывод Максвелла о падении гипотетического сплошного ледового кольца на планету был неправильным (такое кольцо гораздо раньше должно развалиться на куски), следствие из него – о метеорном строении колец Сатурна – оказалось верным. Так, к концу XIX в. гипотеза метеорного строения колец Сатурна, высказанная впервые Ж.Д.Кассини, получила теоретическое, а в 1893 г. – наблюдательное подтверждение в работах Дж.Килера и А.А.Белопольского, измеривших скорости дифференциального вращения колец.

В течение XX в., шло постепенное накопление новых данных о планетных кольцах: получены оценки размеров и концентрации частиц в кольцах Сатурна, спектральным анализом установлено, что кольца – ледяные, открыто загадочное явление азимутальной переменности яркости колец Сатурна. Размеренный темп научной деятельности сменился бурным подъемом всеобщего интереса к планетным кольцам в конце семидесятых годов, когда 10 марта 1977 г. несколькими исследовательскими группами независимо были открыты узкие и далеко отстоящие друг от друга угольно-черные кольца Урана. Открытие было сделано совершенно случайно, когда, готовя аппаратуру для исследования параметров атмосферы Урана методом покрытия звезды и заранее настроив приборы, исследователи обнаружили короткие затмения при подходе звезды к планете и при ее удалении. Наилучшие снимки получились с помощью телескопа летающей Койперовской обсерватории.

Через два года – 4 марта 1979 г. американский межпланетный аппарат «Вояджер-1» обнаружил прозрачные каменные кольца и вокруг Юпитера. В начале 80-х годов кольца Сатурна исследовались наиболее интенсивно. В их окрестности работала серия американских космических аппаратов: «Пионер-11» (октябрь 1979 г.), «Вояджер-1» (ноябрь 1980 г.), «Вояджер-2» (август 1981 г.). В январе 1986 г. «Вояджер-2» исследовал кольца Урана. В августе 1989 г. этот аппарат встретился с Нептуном, вокруг которого несколько лет назад методом покрытия звезды были обнаружены незамкнутые кольца (или «дуги»). «Вояджер-2» уточнил земные наблюдения: «дуги» оказались более плотными частями замкнутых колец.

На сегодняшний день из удаленных планет только у Плутона не обнаружены кольца. Как ни странно, эпоха «великих географических открытий» в Солнечной системе еще далека от завершения: совсем недавно были открыты новые спутники Урана, а с помощью «Телескопа Хаббла» удалось получить четкую фотографию Плутона.

Фактически, за последние годы был открыт и изучен новый класс объектов Солнечной системы. Планетные кольца оказались обязательным элементом и закономерным явлением в спутниковых системах планет-гигантов, естественно, что обилие экспериментального материала не могло не вызвать интенсивного развития теоретических моделей. Это не просто интерес к новым астрономическим объектам. Все большее распространение получает мнение, что планетные кольца – ключ к пониманию космогонии всей Солнечной системы. Ведь кольца на сегодняшний день являются единственными, доступными для детального изучения, представителями дифференциально-вращающихся дисков неупругих частиц. Исследование таких дисковых систем имеет принципиальную важность для космогонии, так как на протостадии это самый распространенный тип динамической системы (протопланетное облако, протоспутниковые диски, протокольца планет). К этому же классу объектов нужно отнести и протопланетные облака вокруг других звезд, аккреционные диски в системах двойных звезд, галактические и протогалактические диски. Таким образом, планетные кольца предоставляют уникальную возможность получить важнейшую информацию о коллективных и других процессах, протекавших на стадии образования планет и Солнечной системы.

Перечислим основные проблемы физики планетных колец:

1. Почему существуют планетные кольца? Классические модели формирования колец предполагали, что кольца – это область приливного разрушения крупных тел. Но после полетов «Вояджеров» стало ясно, что для разрушения частиц наблюдаемых размеров ( $\leq 10$  м) приливные силы слишком слабы. Вопрос о причинах существования колец оказался прямо связан с механическими характеристиками типичной частицы.

2. Что вызвало расслоение колец Сатурна? Наблюданная иерархическая структура колец Сатурна составлена по принципу «матрешки»: широкие ~1000 км кольца состоят из системы более узких ~100 км колец и т.д. Распространенное мнение, что расслоение колец Сатурна связано только с

неустойчивостью отрицательной диффузии, противоречит наблюдениям – данная неустойчивость может вызывать образование только самых узких (в сотни метров) колечек в достаточно плотных частях диска.

3. Как образовались и почему не разрушаются кольца Урана? Наиболее популярна гипотеза о том, что узкие, эллиптические кольца Урана сформировались и сохраняют стабильность, благодаря двум спутникам-«пастухам» по краям каждого кольца. Однако «Вояджер-2» в 1986 г. не обнаружил между кольцами Урана столь необходимых для этой гипотезы спутников-«пастухов». При этом данные «Вояджера-2» подтвердили альтернативную гипотезу о резонансной природе колец Урана. В настоящее время в физике планетных колец существует большое число моделей и гипотез, часто взаимоисключающих друг друга. Поэтому представить единую картину происхождения и динамики планетных колец довольно трудно. Например, ряд исследователей устойчивости планетных колец исходит из модели гладкой и весьма упругой ледяной частицы, не затрагивая при этом проблемы существования колец. Космогонисты, в свою очередь, рассматривают в качестве типичной частицы колец чрезвычайно эфемерное образование (в 10 тысяч раз менее прочное, чем скопление самого пушистого земного снега), не задумываясь о том, как будет «работать» такая непрочная частица в других теоретических моделях.

Для того, чтобы дать физически цельную картину планетных колец, критически исследуя и альтернативные решения ряда проблем, приходится обращаться к самым различным методам и областям науки: к небесной механике, к физике льда и снега, к теории удара, к кинетической теории газов, к теории неустойчивостей и физике плазмы.

Источник:

Н.Н.Горьковатый, А.М.Фридман «Самоорганизация в кольцах планет», журнал «Природа», 1991, №1, стр.56–68.

Подробнее в обзорах:

Д.Н.Кузи, Л.У.Эспозито «Кольца Урана», журнал «В мире науки», 1987, №9, стр.26–33,  
Н.Н.Горьковатый, А.М.Фридман «Физика планетных колец», журнал «Успехи физических наук», 1990, №2, стр.169–238,

---

#### **ВОПРОС №43:** Как образуются сосульки на крышах, и с чем это связано?

**ОТВЕТ** Сосульки, свисающие с карнизов и проводов, могут показаться достаточно простыми «конструкциями», однако на самом деле их форма и процесс образования в течение долгого времени озадачивали исследователей. Почему сосулька имеет вид усеченного конуса с диаметром у вершины не более нескольких миллиметров? Почему по оси сосульки проходит узкая заполненная жидкой водой полость длиной несколько сантиметров, берущая начало у кончика сосульки (в этом вы можете убедиться с помощью зубочистки)? Что эта за белая линия, отмечающая центральную ось сосульки? Почему на поверхности сосульки образуются поперечные ребра с интервалом несколько сантиметров? Почему местами в сосульке лед сплошной, а местами – пористый? Какая причина заставляет некоторые сосульки изгибаться и скручиваться?

Физические процессы, идущие при замерзании воды, весьма сложны. В рамках простой модели граница замерзания, разделяющая жидкость и лед, состоит из разветвленных «пальцев», которые проникают в жидкость. На поверхности этих пальцев молекулы жидкости постепенно присоединяются к кристаллической решетке льда, отдавая часть своей энергии и теряя подвижность. Потерянная ими

энергия, называемая теплотой, переносится в другую область, более холодную, чем поверхность замерзания, – часто в прилегающий слой воздуха.

Этот процесс и ведет к росту сосульки. Один из путей их образования был изучен Н.Маено и Т.Такохаси из Университета Хоккайдо. Вообразите медленно тающий слой снега на крыше. Каждая свисающая с края капля талой воды окружена холодным воздухом. Когда по краям капля начинает замерзать и образуется тонкая оболочка льда, теплота, выделяющаяся в результате замерзания воды, уходит в окружающий воздух.

По мере того как вода продолжает стекать вниз по ледяной оболочке, часть ее замерзает, и народившаяся сосулька начинает расширяться. Остальная вода присоединяется к свисающей капле. Постепенное замерзание воды по краям капли приводит к расширению сосульки. Если капля становится слишком большой – более 5 мм в диаметре – она падает, однако вскоре талая вода образует новую каплю. Пока существует приток талой воды, сосулька расширяется и удлиняется. Кончик же сосульки, диаметр которого определяется размером свисающей капли, остается узким.

Г.Хатекеяма из Токийской метеорологической обсерватории и С.Немота из Метеорологического института в Токио описали другой путь образования сосульки. Верхняя часть начальной капли может замерзнуть целиком, при этом возникает горизонтальная поверхность замерзания, которая движется вниз. Если воды поступает мало, а крыша холодная, вода может замерзать во всем объеме капли, а не только в тонкой ледяной оболочке. В результате вся конструкция в процессе того, как на кончике образуется и замерзает новая капля воды, поэтапно удлиняется. Если же воды поступает достаточно и капля подпитывается непрерывно, то на некоторых стадиях роста сосульки вода по краям капли будет замерзать и образовывать ледяную оболочку в соответствии со схемой Маено и Такохаси.

Если ледяная оболочка уже образовалась, жидкость внутри ее начинает замерзать медленнее. Согласно результатам Л.Макконена из Технического исследовательского центра в Зело (Финляндия), теплота, выделяющаяся в процессе замерзания внутренней области, передается через лед к верхней части сосульки (называемой «корнем»), а затем – к краю крыши. Теплопередача – процесс настолько постепенный, что внутренняя поверхность замерзания может двигаться вниз по центральной оси сосульки очень медленно; если поверхность замерзания достаточно удалена от корня, как это имеет место в сформировавшейся сосульке, она может даже остановиться.

В области, между поверхностью замерзания и кончиком сосульки жидкость, заключена в узкую ледяную полость. Несмотря на действие силы тяжести, жидкость находится в устойчивом состоянии, что частично объясняется поверхностным натяжением между жидкостью и стенками полости. Кроме того, полость эта настолько узка, что случайные возмущения на нижней границе столбика воды или в висящей капле бывают обычно недостаточными для того, чтобы позволить воздуху просочиться в полость и вытеснить жидкость. При нормальных зимних температурах внутренняя поверхность замерзания достигает кончика сосульки (и та полностью замерзает) только в том случае, если вода перестает поступать и рост сосульки прекращается.

Снаружи сосулька покрыта тонким слоем воды и как бы заключена в жидкие ножны. Замерзание на внешней поверхности раздела лед-жидкость происходит очень быстро, поскольку теплота, выделяющаяся при замерзании воды, быстро проходит через жидкую воду и передается воздуху. (Маено и Такохаси обнаружили, что жидкие ножны на активно растущих сосульках бывают не толще 0,1 мм). Температура на поверхности замерзания равна точке замерзания воды; последняя составляет  $0^{\circ}\text{C}$  для чистой воды, но может быть ниже, если вода содержит примеси. Температура в остальном объеме жидкости несколько ниже точки замерзания (явление, известное как переохлаждение). Наиболее охлаждена вода, соприкасающаяся с воздухом, который, разумеется, может быть гораздо холоднее, чем вода.

Ч.Найт из Национального центра атмосферных исследований в Боулдер, шт. Колорадо, указывает, что сосульки могут расти и тогда, когда температура воздуха выше точки замерзания, при условии, что воздух содержит мало водяного пара. Если концентрация водяного пара невелика, с внешней поверхности жидких ножек сосульки вода испаряется. Когда молекулы воды покидают жидкость, они уносят с собой энергию, что приводит к переохлаждению поверхностного слоя жидкости. Охлажденная вода играет роль тепловой «свалки», принимающей теплоту, которая выделяется при замерзании воды у поверхности льда.

Источник:

статья Дж.Уолкера в журнале «В мире науки» №7, 1988, стр.74–78.

---

#### **ВОПРОС №44:** Почему при закате солнце разделяется полосой?

**ОТВЕТ:** Иногда, когда Солнце находится низко над горизонтом, можно наблюдать странное искажение его очертаний. Часто углы видимого сегмента закруглены, иногда кажется, что диск состоит из двух частей, соединенных вместе; порой под Солнцем оказывается полоска света, которая поднимается по мере того, как солнечный диск опускается. Бывает, что Солнце садится не за горизонт, а на расстоянии нескольких минут дуги над ним.

Кажется, что такие искажения появляются чаще вечером, чем утром, и объяснение этому следует искать в метеорологических факторах. В тихие безоблачные дни слои воздуха с различной плотностью меньше перемешиваются, так что искажения в очертаниях солнечного диска можно принять за предзнаменование устойчивого состояния атмосферы и, следовательно, хорошей погоды.

Оптические искажения, описанные выше, объясняются не чем иным, как обычным миражем.

Случай 1. Тонкий слой теплого воздуха покрывает Землю. Тогда мы видим непосредственно Солнце, и в это же самое время под ним – его отражение, причем горизонт лежит между ними. В то время как Солнце садится за видимый горизонт, из-за него встает сплющенное «противосолнце», и оба диска соединяются в том месте, где вот-вот должно исчезнуть действительное Солнце. Оба диска все больше и больше сливаются, приобретая очертания, напоминающие воздушный шар и т. п.

Случай 2. Теперь предположим, что воздух около самой Земли холодный, а выше него лежит теплый слой воздуха (инверсия). Вообразим теперь, что наблюдатель направляет свой взор все более и более горизонтально. В некотором направлении его взгляд касается верхнего края Солнца; еще ниже его взгляд по отношению к поверхности разрыва становится более наклонен. В горизонтальном направлении он падает на этот слой под таким большим углом, что луч зрения изгибаются и не покидает Землю. Если наблюдатель находится над поверхностью Земли, он сможет даже заглянуть вниз под небольшим углом. Если наблюдатель смотрит еще ниже, то угол взгляда на поверхность разрыва уменьшается и опять оказывается настолько малым, что луч зрения уходит за пределы Земли. Поэтому внутри некоторого угла по обе стороны от горизонтального направления ни один луч, выходящий за пределы Земли, не достигает наблюдателя; он видит «слепую полосу».

Рассматривая таким образом строение атмосферы, видно, что Солнце заходит прежде, чем оно достигает фактического горизонта – как только оно попадает в «слепую полосу». Если наблюдатель находится на вершине холма или на палубе корабля, он, вероятно, сможет увидеть нижний край Солнца, появляющийся под «слепой полосой». Изображения, конечно, будут искажены в вертикальном направлении; над «слепой полосой» сжаты по вертикали, под ней – вытянуты.

Иногда край Солнца имеет несколько небольших зазубрин, которые, по-видимому, указывают на наличие более чем одной поверхности разрыва в атмосфере.

Источник:

М.Минарт «Свет и цвет в природе», М., 1958, стр.91–95.

---

**ВОПРОС №45:** Почему пуля может отрикошетить от поверхности водоема?

**ОТВЕТ:** Многие наблюдали, как камни плоской формы, которым сообщена скорость с большой горизонтальной составляющей и вращение, обеспечивающее сохранение малого наклона плоскости камня к горизонту, при соприкосновении с водой легко отскакивают вверх от воды, иногда несколько раз. Очевидно, что в явлении такого водяного рикошета горизонтальная скорость играет основную роль. При отсутствии горизонтальной скорости плоский тяжелый камень не может отскочить от воды. Многократное рикошетирование свидетельствует о небольшой потере горизонтальной скорости во время соприкосновения с водой. Хорошо известно также рикошетирование снарядов. Так, например, круглое ядро диаметром 0,16 м с начальной скоростью 455 м/с может совершить на воде более 22 рикошетов. В настоящее время в артиллерии иногда намеренно производят стрельбу на рикошетах.

Рикошет возникает из-за действия силы реакции воды при входе тела в воду. Оценим эту силу. Для этого перейдем в систему отсчета, связанную с телом. Тогда на него налетает струя воды плотности  $\rho$  со скоростью  $v$  в направлении под углом  $\alpha$  к поверхности тела. Так как сила, действующая на струю со стороны плоскости, равна скорости изменения проекции импульса  $P$  струи на ось  $y$ , перпендикулярную к плоскости тела, то  $F = \Delta P_y / \Delta t = \rho S v^2 \sin \alpha / \Delta t$ . За время  $\Delta t$  на плоскость попадает объем жидкости  $V = S v \Delta t$  с массой  $M = \rho V$  и импульсом  $P = Mv = \rho S v^2 \Delta t$ , где  $S$  – площадь сечения струи. Поэтому  $F = \rho S v^2 \sin \alpha$ . Для описанного выше ядра, эта сила составляет около  $10^6$  Н, что в несколько тысяч раз больше веса ядра.

Подробнее в книге:

И.Ш.Слободецкий, Л.Г.Асламазов «Задачи по физике», Библиотечка «Квант» выпуск 5, М., Наука, 1980, стр.56.

*Шелест В.И.*

---

**ВОПРОС №46:** Что произойдет с человеком, если его выбросить в открытый космос???  
Пожалуйста, опишите.

**ОТВЕТ:** В одном из отчетов НАСА было описано изучение этого вопроса на обезьянах. Оказывается, что при резком занулении давления в барокамере, у человека (то есть обезьяны) есть примерно 15–20 секунд на совершение осмысленных действий. После этого он теряет сознание, а через 40–50 секунд происходят необратимые изменения в мозгу (связанные с острой кессонной болезнью). Утверждается, что взрыва тела не происходит. Дело в том, что если воздух из легких (и остальных полостей тела) беспрепятственно вышел, то в организме только жидкость, которая выделяет пузырьки газа, но сама сразу не вскипает. Между прочим, когда происходит разгерметизация (скажем, на большой высоте), то человек умирает, но на куски его не разрывается. Вспомним наших погибших космонавтов: 20 км – это примерно 1/10 атмосферы – практически вакуум, с интересующей нас точки зрения.

*Воробьев П.В.*

---

**ВОПРОС №47:** Почему, несмотря на очень большую температуру, ядро Земли находится в твердом состоянии?

**ОТВЕТ:** Согласно геофизическим данным, ядро Земли состоит из трех слоев.

Внешний слой (на глубинах 2920–4980 км объемом 15,16% и массой 29,8% всей Земли) пропускает продольные, но не поперечные сейсмические волны. По этой причине считается, что этот слой находится в расплавленно-жидком состоянии. Об этом же свидетельствуют данные: о приливных колебаниях внутри Земли (если бы вся Земля была твердой, то приливные колебания на ее поверхности были бы слабее фактически наблюдаемых); о нутационных колебаниях земной оси с периодом около суток (которые без жидкого ядра были бы невозможными); о так называемых чандлеровских колебаниях полюсов (т.е. колебаниях Земли в целом относительно ее оси вращения) с периодом около 1,2 года.

Переходный слой между внешним и внутренним ядром имеет толщину около 140 км. Внутреннее ядро имеет радиус 1250 км, объем около 0,7% и массу около 1,2% всей Земли. Продольные сейсмические волны проходят через него с большими скоростями, по сведениям последних лет  $c_p = 11,1\text{--}11,4$  км/с. В то же время данные об отражениях продольных волн от поверхности внутренней части ядра, а также регистрация сейсмических волн Аляскинского землетрясения 1964 г. показывают, что через нее проходят и поперечные волны (имея здесь довольно малые скорости  $c_s \approx 3,6$  км/с); по этим данным внутренняя часть ядра является твердым телом, по-видимому, близким к плавлению.

Подробнее в книге: А.С.Монин «Популярная история Земли», М., Наука, 1980.

То, что внутренняя часть ядра, несмотря на высокую температуру, является твердой, объясняется высоким давлением в недрах Земли: с ростом давления растет температура плавления. Например, для железа температура плавления увеличивается на  $0,03^{\circ}\text{C}$  при увеличении давления на 10 атм. Оценим, при какой температуре будет плавиться железо в центре Земли. Если бы она была жидкой, то давление в недрах составляло бы более  $10^5$  атм. Это увеличит температуру плавления более, чем на  $3000^{\circ}\text{C}$ . Температура же в ядре Земли оценивается в  $3000\text{--}4000$  К.

Источник:

А.В.Бялко «Наша планета – Земля», Библиотечка «Квант» выпуск 29, М., Наука, 1989, стр.88–95.

**ВОПРОС №48:** Почему звезды падают?

**ОТВЕТ:** Частицы межпланетной пыли, входя в земную атмосферу с большими скоростями, сгорают в ней, превращаясь в метеоры – кратковременные вспышки, которые проносятся по небу и исчезают, оставляя на несколько секунд узкий светящийся след. Этот след в просторечии называют «падающей звездой».

За сутки в атмосфере Земли вспыхивает примерно  $10^8$  метеоров ярче  $5^{\text{m}}$ . Метеоров, имеющих звездную величину  $m$ , примерно в 2,5 раза больше, чем  $(m-1)$ -й звездной величины.

Очень яркие метеоры – болиды, могут наблюдаваться и днем. Болиды сопровождаются иногда выпадением метеоритов. По происхождению и физическому строению большие тела, наблюдаемые как болиды, по-видимому, сильно отличаются от частиц, вызывающих метеорные явления.

Когда метеорная частица вторгается в земную атмосферу со скоростью 11–73 км/с, происходит энергичное взаимодействие между частицей и атмосферой. Это взаимодействие проходит для нас незамеченным, если частица настолько мала, что ее размеры много меньше длины свободного пробега молекул. В верхней атмосфере Земли частица размером 100 мкм и меньше имеет редкие столкновения с молекулами воздуха, которые приводят к замедлению ее движения и потере космической скорости еще на значительной высоте над поверхностью Земли, так как ее кинетическая энергия невелика.

Другое дело – вторжение более крупного метеорного тела, размером от 0,1 мм до 10 см. Такое тело способно увлечь воздушные массы, находящиеся на его пути, передавая им часть своего импульса и

теряя кинетическую энергию, как и в предыдущем случае. Но теперь это происходит в несравненно более крупных масштабах. Так как скорость движения метеорного тела в атмосфере значительно превышает скорость звука, образуется ударная волна, за фронтом которой сильно повышается температура – до многих десятков тысяч градусов, так что воздух за летящим метеорным телом сильно ионизуется. С другой стороны, теряемая кинетическая энергия вызывает также и разогревание самого метеорного тела и испарение молекул и атомов с поверхности его. Происходит унос массы метеорного тела, так называемая абляция. При «сдириации» молекул происходит сильное разогревание метеорного тела с поверхности, и мы наблюдаем явление метеора. Вокруг него непрерывно образуется разогретое газовое облачко, частично ионизованное. Разумеется, газы отделяются от метеорного тела и располагаются вдоль его траектории в виде следа, наблюдавшегося визуальным, фотографическим или радиолокационным методом, если у него достаточная яркость.

На каком-то участке пути яркость метеора достигает максимума – плавного или сопровождаемого вспышкой, а затем происходит дробление метеорного тела на высотах 40 — 50 км и резкое замедление его движения в интервале высот от 25 до 15 км. Здесь и крупные метеориты дробятся, после чего выпадают на поверхность Земли в виде метеорного дождя. До дробления лишь самые яркие и медленные метеоры успевают замедлиться до 50% своей первоначальной скорости. Очень яркие и быстрые болиды, имеющие значительную массу, могут проникнуть до умеренных высот (иногда всего лишь несколько километров над уровнем моря), после чего их движение есть простое падение в атмосфере без заметной начальной скорости.

Но самые крупные метеорные тела весом в сотни тонн достигают поверхности Земли с космической скоростью – их падение носит катастрофический характер. Есть и противоположная возможность: 10 августа 1972 г. в США наблюдался в дневное время метеор, который, как показала последующая обработка наблюдений, пролетел через земную атмосферу, но не упал, а достигнув минимальной высоты 58 км, ушел в космическое пространство, оставив в атмосфере лишь малую часть кинетической энергии. Его масса оценивается в 1000 тонн.

Метеоры загораются тем выше, чем быстрее они движутся, но и гаснут они на большей высоте, чем медленные метеоры, так как они быстро подвергаются дроблению.

Источники:

П.И.Бакулин, Э.В.Кононович, В.И.Мороз «Курс общей астрономии», М., Наука, 1983,  
Д.Я.Мартынов «Курс общей астрофизики», М., Наука, 1988.

---

**ВОПРОС №49:** Что такое метеорный дождь Леонид?

**ОТВЕТ:** Метеорное вещество в межпланетном пространстве – это наиболее динамичный тип вещества Солнечной системы. Самые малые частицы (радиус меньше, примерно, 0,5 мкм) уходят из Солнечной системы под действием светового давления. Более крупные тормозятся в результате эффекта Робертсона-Пойнтига, по спиральным орбитам приближаются к Солнцу и падают на него. Эффект Робертсона-Пойнтига – это торможение тела, движущегося в поле излучения, возникающее из-за того, что в системе координат, связанной с этим телом, вектор силы светового давления имеет компонент, направленный против вектора скорости. Частица, имеющая диаметр 10 мкм и находящаяся на круговой орбите радиусом 3 а.е., в результате этого эффекта падает на Солнце в течение времени порядка 10 лет. Поскольку межпланетное метеорное вещество в результате процессов, связанных с лучевым давлением, непрерывно удаляется из Солнечной системы, то оно должно непрерывно возобновляться, что и происходит в результате разрушения комет и астероидов.

При каждом сближении с Солнцем комета теряет некоторую часть своей массы в виде газа и пыли, выбрасываемых в голову и в хвост. При этом головы комет иногда достигают размеров, превышающих

размеры Солнца, а хвосты имеют порой длину больше 1 а.е. Как показывает спектр кометы, в ней содержатся и газовая и пылевая составляющие, последняя светит только отраженным солнечным светом. То же можно утверждать относительно самой яркой центральной части головы кометы, которую наблюдатели обычно называют ядром.

Особенно крупные потери несет комета при образовании аномальных хвостов, состоящих из частиц крупного размера. Количество газов, остающихся в глыбах кометной головы, прогрессивно уменьшается; быстро рассеивается в пространстве свободная пыль. Периодическая комета с каждым приближением к Солнцу становится все слабее, многие из них «не выдерживают» более двух-трех сближений с Солнцем и перестают существовать как кометы. Другие известны при большем числе появленияй, например, комета Энке с периодом 3,3 года, открытая в 1786 г. и регулярно наблюдавшаяся до настоящего времени при 47 появлениях (восемь было пропущено наблюдателями).

Комета Галлея с более длинным периодом, 76 лет, наблюдается с 466 г. до н. э. За минувшие тысячулетия она 32 раза проходила перигелий на расстоянии от Солнца всего лишь 0,59 а.е. Трудно сказать. ослабела ли она за это время, но комета Энке за два столетия ослабела достоверно. Ее абсолютная звездная величина изменилась в сторону ослабления не менее чем на 2<sup>m</sup>. У многих других комет этот процесс идет несравненно быстрее.

Нередки случаи, когда кометы дробятся на несколько частей, демонстрируя тем самым малую связность ее вещества. Классическим примером является комета Биэлы. Она была открыта в 1772 г. и наблюдалась в 1815, 1826 и 1832 гг. В 1845 г. размеры кометы оказались увеличенными, а в январе 1846 г. наблюдатели с удивлением обнаружили две очень близкие кометы вместо одной. Были вычислены относительные движения обеих комет и оказалось, что комета Биэлы разделилась на две еще около года назад, но вначале компоненты проектировались один на другой, и разделение было замечено не сразу. Комета Биэлы наблюдалась еще один раз, причем один компонент был много слабее другого, и больше ее найти не удалось. С течением времени гравитационная связь между компонентами ослабевает, и они движутся вокруг Солнца как независимые тела. Зато неоднократно наблюдался метеорный поток, орбита которого совпадала с орбитой кометы Биэлы.

При разрушении комет иногда возникают реактивные струи и выбросы, которые могут исказить орбиты кометы. Например, ядро кометы Энке вращается с периодом, который оценивают приблизительно в одни сутки. При облучении Солнцем ядро нагревается, но наибольшая температура наступает не в подсолнечной точке кометы, а несколько позже, скажем, на 10–15° по долготе в сторону «вечера». Между тем выброс газа и пыли обильнее всего здесь, и при выбросе возникает реактивное ускорение в направлении, которое составляет с радиус-вектором кометы заметный угол, так что у реактивного ускорения есть составляющая, перпендикулярная к радиус-вектору. Эта составляющая увеличивает или уменьшает скорость орбитального движения кометы в зависимости от того, вращается ли комета в прямом или обратном направлении. Наряду с ускорением у комет встречаются, правда реже, замедления движения.

Примером разрушения комет являются две «царапающих» кометы, наблюдавшиеся со спутника «SOLWIND» в непосредственной близости от Солнца с помощью своеобразного коронографа – в тени от искусственного диска, выдвинутого на много метров вперед от прибора и создававшего имитацию солнечного затмения при отсутствии атмосферных помех. В январе и июле 1981 г. кометы наблюдались на расстояниях от Солнца, немного превышающих его радиус, и даже в солнечной короне не прекращали свое существование. Можно с уверенностью утверждать, что вся пылевая составляющая этих комет испарилась в солнечной короне, но более крупные тела, входившие в ядро кометы (каменные глыбы), «пережили» чрезвычайно высокую температуру в течение нескольких часов

пребывания в короне и вырвались по первоначальной орбите, удаляясь от Солнца как скопление малых твердых тел и уже невидимые.

Если эта орбита пересекает земную орбиту, то ежегодно, когда Земля попадает в точку их пересечения, наблюдаются метеорные дожди, усиливающиеся при одновременном подходе к этой точке Земли и остатков кометы. Если же усилений не наблюдается, значит, вещество кометы более или менее равномерно рассеялось по орбите – комета полностью прекратила свое существование как небесное тело.

Таким образом, распадаясь со временем, комета порождает метеорный поток, движущийся по ее орбите, откуда можно сделать вывод, что ядро кометы не есть единое твердое тело, пусть даже астероидных размеров, но совокупность отдельных тел, размер которых не поддается точному определению. Эта совокупность в большом удалении от Солнца состоит из нестойкого смещения глыб, камней, песчинок, пылинок, слабо связанных между собой, но все-таки образующих до поры до времени единое целое, в котором связующим веществом являются льды из всякого рода простых соединений водорода, кислорода, углерода и азота, легко испаряющиеся при сближении кометы с Солнцем. Тогда все включенные в льды глыбы и камни с поперечником от нескольких метров до сантиметров и миллиметров обнажаются и в свою очередь выделяют адсорбированные газы и поставляют пыль. Они могут образовать рой самостоятельных глыб и камней.

Частота появления метеоров и их распределение по небу не всегда являются равномерными. Систематически наблюдаются метеорные потоки, метеоры которых на протяжении определенного промежутка времени (несколько ночей) появляются примерно в одной и той же области неба. Если их следы продолжить назад, то они пересекутся вблизи одной точки, называемой радиантом метеорного потока. Многие метеорные потоки являются периодическими, повторяются из года в год и названы по созвездиям, в которых лежат их радианты. Так, метеорный поток, наблюдаемый ежегодно примерно с 20 июля по 20 августа, назван Персеидами, поскольку его радиант лежит в созвездии Персея. От созвездий Лиры и Льва получили соответственно свое название метеорные потоки Лирид (середина апреля) и Леонид (середина ноября).

Активность метеорных потоков в разные годы различна. Бывают годы, в которые число метеоров, принадлежащих потоку, очень мало, а в иные годы (повторяющиеся, как правило, с определенным периодом) настолько обильно, что само явление получило название звездного дождя. Меняющаяся активность метеорных потоков объясняется тем, что метеорные частицы в потоках неравномерно распределены вдоль эллиптической орбиты, пересекающей земную.

Три метеорных потока – Леониды, Андromедиды и Дракониды показывали в исторические времена очень резкие вспышки активности, причем в случае Андromедид это было прямо связано с разрушением кометы Кислы, которая в 1845 г. раздвоилась и в следующее появление, в 1852 г., видны были две слабые кометы, разделенные расстоянием свыше 1,5 млн. км. Больше комета Биэлы не наблюдалась. Но в 1872 и 1885 гг., когда Земля пересекла орбиту кометы Вислы и сама комета, если бы она еще существовала, была бы близка к точке пересечения, наблюдались великолепные дожди медленных метеоров (они нагоняли Землю со скоростью 19 км/с) с часовым числом их, доходившим до 7500. В 1892 и 1899 гг. потоки Андromедид опять усиливались, но незначительно. Последующая вспышка активности Андromедид наблюдалась спустя пять лет, в 1904 г., в то время как период обращения кометы Вислы составлял 6,6 лет. Значит, метеорное скопление существовало далеко впереди самой «бывшей кометы». После 1940 г. активность Андromедид возродилась, но в слабой степени.

В настоящее время успешно существуют комета Джакобини – Циннера и связанный с нею метеорный поток Драконид. Комета 1900 III была открыта Джакобини в 1900 г. вскоре после ее сильного сближения с Юпитером. После еще одного сближения с Юпитером, в 1910 г., она была

повторно открыта в 1913 г. и в дальнейшем неоднократно наблюдалась с периодом обращения 6,6 лет. Узел кометной орбиты теперь находится на расстоянии всего лишь 0,001 а.е. от земной орбиты. 9 октября 1933 г. Земля проходила эту точку на 80 дней позже, чем ее пересекла комета. В эту ночь также наблюдался великолепный дождь метеоров с радиантом в Драконе при часовом числе их до 6000. Спустя 13 лет, в ночь с 9 на 10 октября 1946 г., вновь наблюдался такой же, если не более интенсивный, метеорный дождь в течение 5–6 часов, пока Земля пересекала кометную орбиту спустя 15 дней после того, как это место прошла комета. В 1952 г. Земля проходила место сближения за 195 дней до кометы и опять наблюдался небольшой метеорный дождь (часовое число 200), а в 1959 г. Дракониды практически не наблюдались, хотя Земля опередила комету в месте наибольшего сближения орбит только на три недели. Таким образом, позади кометы Джакобини - Циннера образовался метеорный рой, но сама комета от этого мало пострадала: и в 1959 г. она была достаточно яркой; 8 октября 1985 г. поток Драконид опять проявил себя в полную силу – часовое число метеоров по радионаблюдениям достигало одной-трех тысяч.

Распад комет и образование метеоров, распределяющихся затем по всей орбите или по значительной ее части, происходит таким образом, что метеорные тела покидают ядро кометы с умеренными скоростями. Было подсчитано, например, что для объяснения наблюдавшихся в 1933 и 1946 гг. дождей Драконид достаточно, чтобы метеорные частицы выбрасывались из ядра кометы со скоростями порядка 14–20 м/с. Частицы эти располагаются довольно точно в плоскости кометной орбиты, иначе продолжительность метеорного дождя была бы много больше. Скорости выброса в 10 м/с достаточно, чтобы метеорные частицы растянулись за 160 лет по малой орбите, как орбита Геминид, и за 1100 лет по большой орбите, такой, как у кометы Галлея.

Конечно, метеорный рой, существующий отдельно от кометы, подвергается иным планетным возмущениям, чем сама комета, и ввиду меньшей точности метеорной орбиты учесть возмущения трудно. Вот почему совершенно непредвиденным образом отдельные метеорные потоки и сгущения в них то сближаются, то удаляются от Земли. Таков, например, несбыившийся дождь Леонид в 1899 г., который не состоялся, вопреки ожиданиям. Он предполагался таким же эффективным, как в 1866, 1833 и 1799 гг. Этот поток вновь проявил себя дождем в 1966 г.

В конечном счете, гравитационные и иные возмущения превращают комету в метеорный поток, а поток становится со временем все более и более рассеянным в пространстве.

Источники:

П.И.Бакулин, Э.В.Кононович, В.И.Мороз «Курс общей астрономии», М., Наука, 1983,  
Д.Я.Мартынов «Курс общей астрофизики», М., Наука, 1988.

---

#### **ВОПРОС №50:** Как возникают землетрясения?

**ОТВЕТ:** Сейсмичность, т.е. способность космического тела посредством землетрясения (лунотрясения и т.п.) «разряжаться» и «сбрасывать» накопленную упругую энергию, по-видимому, общее свойство для планет земной группы и больших спутников. Однако, если обратиться к карте землетрясений, видно, что если это и общеземное свойство, то проявляется оно далеко не равномерно на Земле. На нашей планете сейсмичность проявляется не повсеместно, а сосредоточена в основном в окрестности Тихого океана и существенно меньше в нескольких других выделенных районах, как на континентах, так и в океанах. Обычно это либо ослабленные, либо наиболее напряженные зоны литосферы. Глубины землетрясений варьируют от 5 до 700 км.

---

Известен ряд корреляций, связывающих сейсмичность с параметрами Земли: высотой геоида, скоростью вращения Земли, магнитным полем и т.д. Рассматривать сейсмичность Земли можно только вместе с ее моделью образования, эволюции и внутреннего устройства. Научные основы сейсмологии, как науки о физике землетрясений, были заложены после того, как Ч.Ф.Рихтером для сравнения одного землетрясения с другим была предложена шкала магнитуд. (Магнитуда – относительная величина.) Шкала определяет стандартное землетрясение и оценивает другие землетрясения по их максимальным амплитудам относительно этого стандартного масштаба при идентичных условиях наблюдения.

Магнитуда землетрясения  $M$  по определению Рихтера:

$$M = \lg [A/A_0],$$

где  $A_0$  и  $A$  – максимальные амплитуды записи на определенном сейсмографе для стандартного и измеряемого события соответственно. Магнитуда связана с энергией землетрясения. Изменение магнитуды на единицу эквивалентно повышению (понижению) энергии землетрясения в 32 раза. К примеру, магнитуда  $M = 8,0$  соответствует  $E = 6,3 \cdot 10^{23}$  эрг;  $M = 7,0$ ;  $E = 2,0 \cdot 10^{22}$  эрг и т.д.

Гутенберг и Рихтер установили закон повторяемости землетрясений. Число мелко-фокусных землетрясений ( $h < 50\text{км}$ ) в год зависит от магнитуды в соответствии с формулой

$$\lg \Delta N = -0,48 + 0,90(8-M),$$

где  $\Delta N$  – число землетрясений в год в интервале  $\Delta M = 0,1M$ . Смысл закона повторяемости землетрясений состоит в том, что землетрясения с высокой энергией происходят на Земле сравнительно редко, с меньшей – чаще, с еще меньшей – еще чаще. Средняя годовая энергия землетрясений, в целом по Земле, приходится в основном на землетрясения с магнитудой более 7.

Один из важнейших вопросов сейсмологии заключается в выяснении природы механизма землетрясения, т.е. физики процессов в его очаге. Несмотря на то, что этот вопрос стоит перед исследователями не один десяток лет, современные представления базируются, тем не менее, на идеях, заложенных 80 лет назад Дж.Рейдом.

Суть теории Рейда состоит в накоплении упругих деформаций при постепенном нарастании перемещения блоков, образовании разрыва и резкого смещения сторон разрыва в положение, в котором отсутствуют упругие деформации. Разрыв, трещина, собственно очаг землетрясения, по Рейду, могут либо выходить на поверхность – и тогда мы наблюдаем сильное землетрясение, либо находиться под ней – во всех случаях слабых землетрясений. Несмотря на неоднократные попытки критики этих положений, другие известные модели очага землетрясения недалеко "ушли" от модели Рейда, ничего принципиально нового в модели очага землетрясения так и не было сделано.

Возникает естественный вопрос: возможно, теория Рейда полностью удовлетворяет существующую сейсмологическую практику и не находит противоречия? В действительности это совсем не так. Рассмотрим возражения Ф.Стейси, обсуждающего одно из положений теории Рейда: напряжения на разломе линейно растут со временем и землетрясение происходит тогда, когда достигается определенный предел. Если принять, рассуждает Стейси, интервал времени между землетрясениями равным 100 годам, предел напряжения перед землетрясением порядка  $10^7$  дин/ $\text{см}^2$ , то получается скорость роста напряжения  $3 \cdot 10^{-3}$  дин/( $\text{см}^2 \cdot \text{с}$ ), что в 1000 раз меньше скорости изменения напряжений при лунных приливах в земной коре 7 дин/( $\text{см}^2 \cdot \text{с}$ ). Тогда, казалось бы, лунный прилив должен абсолютно четко проявляться в периодичности появления землетрясений, чего в действительности не наблюдается.

Таким образом, фактический материал не допускает однозначного толкования наблюдавших явлений. Гипотезы, описывающие очаг землетрясения, связывают излучение упругих волн с быстрой разгрузкой вследствие разрушения твердого тела в очаге.

Обратим внимание на следующие общепризнанные положения. Во-первых, сейсмическая энергия черпается за счет изменения упругой энергии сдвига в очаге. Во-вторых, очаг землетрясения достаточно локализован, и энергия излучаемых волн пропорциональна объему очага. (Некоторое различие величин накопленной энергии в единице объема для разных по глубине и протяженности очагов не имеют принципиального значения, учитывая огромный диапазон изменения энергий землетрясений.) В-третьих, повторяемость землетрясений свидетельствует об установленном или квазиустановившемся процессе деформирования.

Источники:

- Л.В.Тарасов «Физика в природе», М., Просвещение, 1988, глава 17,  
В.Н.Родионов, И.А.Сизов, В.М.Цветков «Основы геомеханики», М., Недра, 1986,  
В.В.Кузнецов «Физика земных катастрофических явлений», Новосибирск, «Наука», 1992.
- 

**ВОПРОС №51:** Есть ли у вселенной край?

**ОТВЕТ:** Ответ на вопрос зависит от того, что называть краем Вселенной (это слово принято писать с заглавной буквы).

Вселенная либо замкнута (трехмерное подобие мыльного пузыря) – тогда у нее края нет, либо бесконечна, и тогда края тоже нет. Однако в некоторых космологических моделях имеется так называемый горизонт. Это поверхность, из-за которой наблюдатель не может получить никаких сигналов. Однако горизонт не является физическим краем Вселенной, а пространство на горизонте устроено так же, как и в том месте, где находится наблюдатель. С другой стороны, в настоящее время с помощью внеатмосферного телескопа "Хаббл" и радиоинтерферометра со сверхдлинной базой (приемники излучения разнесены на расстояние 8000 км) астрономы имеют возможность наблюдать объекты, удаленные от нас на 15 миллиардов световых лет. Если общепринятая сейчас гипотеза Большого взрыва верна, а по различным оценкам это событие произошло 10–20 миллиардов лет назад (многие астрономы считают, что это случилось 17 миллиардов лет назад), то из приведенных цифр видно, как близко к началу Вселенной подошли астрономы-наблюдатели.

После Большого взрыва, в результате которого образовалась наша Вселенная, еще миллион лет образовавшееся вещество было непрозрачно для излучения. Похоже, что с помощью электромагнитных волн мы, в принципе, не узнаем, что было в этот первый миллион лет. Из анализа реликтового излучения, оставшегося после Большого взрыва следует, что вначале жизни нашей Вселенной вещество во Вселенной было распределено равномерно. Различные галактики возникли значительно позже.

Если за край Вселенной принимать расстояние, с которого мы в принципе можем получить информацию, то безусловно, такой край есть и современные методы наблюдения совсем близко к нему подобрались.

Литература:

- "Физика космоса" (маленькая энциклопедия), М., 1986,  
С.Миттон, Ж.Миттон "Астрономия", М., 1995.

*Воробьев П.В.*

---

**ВОПРОС №52:** Какие сейчас существуют антивирусные программы (для компьютеров) и чем они отличаются от прежних программ?

---

**ОТВЕТ:** Чтобы понять, какие сейчас существуют антивирусные программы, для начала следует понять, какие изменения произошли в технологии написания вирусов.

В начале возникли компьютеры, и вирусов не было, и был рай на Земле. Впервые вирус был написан исключительно из желания показать, что на компьютере можно создать программу, которая будет себя воспроизводить. Первый вирус был написан программистом профессионалом на компьютере PDP-11 (в нашей стране выпускался аналог этой машины, известный как ДВК) под системой RSX-11 (прообраз операционной системы Unix).

С появлением Dos начался бурный рост числа различных версий вирусов. Первые вирусы, как правило, размножались следующим образом: при запуске зараженной программы вирус брал на себя управление, заражал исполняемые файлы, а затем возвращал управление программы. Подобные вирусы легко отыскивались по сигнатурам (кусочкам бинарного кода соответствующих этому типу вируса). С подобными вирусами легко справлялся известный Aidstest (автор Лозинский, 1984). На данный момент русский дедушка всех антивирусов безнадежно устарел.

Технология, в том числе и технология производства вирусов не стоит на месте. Появились Stelth (невидимые) резидентные вирусы, которые оставались в памяти после исполнения программы донора и перехватывали обращения к диску антивирусных программ, которые пытались просмотреть код зараженной программы и подсовывали вместо зараженного участка программы код без вируса. Но сила подобных вирусов оказалась и их слабостью: стоило просмотреть программу с использованием стандартных функций Dos (который контролируется вирусом) и напрямую через железо, и сравнить результаты, то любой Stelth вирус будет замечен. Впервые в пределах xUSSR подобный алгоритм сканирования Stelth вирусов был применен в программе Adinf (Диалог Наука). На данный момент все антивирусные продукты включают в себя подобный сканер на случай заражения компьютер вирусов невидимок.

Следующий скачок вирусных технологий не заставил себя долго ждать: появились полиморфные (постоянно меняющиеся) вирусы – вирусы, которые при распространении полностью меняли последовательность команд в своем теле, вставляли пустые команды, шифровались и т.д. Две копии одного и того же вируса различались в каждом байте кода. Особенно распространение полиморфики получили после того, как один болгарский Черный Мститель (у человека явно были проблемы в личной жизни) выделил код шифровщика в отдельный объектный модуль и распространял по сети FidoNet, теперь каждый мог превратить свой простенький вирус в грозный полиморфик. Ответом на подобные изыски стал анализатор кода программы (эвристический анализатор), который искал в программе вирусоподобные команды. Какое-то время лидером в этой области был DrWeb (Диалог Наука), сейчас эта возможность есть практически в каждом антивирусном продукте.

При увеличении быстродействия компьютеров появилась возможность держать антивирусы постоянно запущенными. В таком состоянии антивирус сканирует все запускаемые файлы и контролирует доступ к диску и в случае попытки заражения подает сигнал (программа AVPM – лаборатория Касперского). Эти программы довольно сильно замедляют быстродействие и пока довольно нестабильны. Сейчас мы стоим на пороге новой вирусной революции – все чаще стали появляться вирусы, которые осваивают 32разрядность операционных систем Windows95, 98, NT – идеальная среда обитания для вирусов.

Одним из важных факторов появления новых вирусов является, как не странно, недальновидная политика фирм производящих программное обеспечение. Программа Word стала в России одним из основных инструментов набора текстов. Обмен информацией между людьми и организациями производится в формате Word. В формат текстового файла была добавлена возможность вставлять программы и передавать им управление при открытии документа. На сегодняшний момент Word Macro

вирусы составляют самый бурно развивающийся класс вирусов. Там есть свои полиморфики, вирусы, которые несут в себе бинарный код обычных файловых вирусов и т.д. и т.п. То же самое сейчас происходит с WWW: программа Internet Explorer может при просмотре WWW страничек выполнять сценарии, написанные на Visual Basic. Как вам страничка, при заходе на которую компьютер перезагружается? Единственный способ избежать проблем это перестать пользоваться подобными программами, которые, по сути, являются полуфабрикатами.

Наиболее известные в пределах xUSSR антивирусные продукты это AVP (Лаборатория Касперского), DrWeb и Adinf (Диалог наука). Существуют иностранные антивирусные пакеты Dr. Solomon, F-prot, Noroton Antivirus. По своим возможностям они кардинально не различаются.

Как это не банально основным барьером между вирусом и испорченными данными является вы. Следует ограничить доступ непроверенных программ и файлов Word/Exel/Access на свой компьютер. Никогда не запускайте программы и не открывайте файлы Word неизвестного содержания, это предупреждение того же класса, что и мойте руки перед обедом. Даже если вирус завелся на вашей машине это не фатально. Основная ценность на компьютере – данные созданные вами. Программы можно переставить – данные восстановить нельзя. Поэтому периодически сохраняйте тексты, набранные вашей рукой где-либо еще, кроме вашего компьютера (например, на дискете).

Очень интересна ситуация с антивирусами для операционной системы Linux, которая сейчас очень бурно развивается и находит новых последователей. В настоящий момент для Linux нет НИ ОДНОГО антивируса. Это происходит по той причине, что в этой системе (как и в любой UNIX подобной системе) для развития (под развитием понимается распространение копий самого себя на другие машины) вирусов практически нет никаких возможностей. На сегодняшний момент существует только один вирус для Linux-Bliss (существуют две модификации этого вируса). Он был написан с целью показать, что на Linux можно таки написать вирус. Несмотря на то, что Bliss при активизации может заражать исполняемые файлы, он не может попортить данные других пользователей, системные файлы и тем более заразить файлы на других машинах, если только это не сделать умышленно, что не так-то просто реализовать.

Подробную информацию о вирусах и антивирусах следует искать через поисковые серверы на WWW, такие как [www.rambler.ru](http://www.rambler.ru), [www.altavista.digital.com](http://www.altavista.digital.com), [www.yahoo.com](http://www.yahoo.com)

*Балдин Е.М.*

---

**ВОПРОС №53:** Правда ли, что ученые выдвинули гипотезу (основанную на наблюдениях), что вселенная расширяется с ускорением – значит, есть внешняя сила, которая <растаскивает вселенную>!

**ОТВЕТ:** Все космологические модели содержат так называемый параметр замедления.

Дело в том, что из наблюдений известно, что наша Вселенная расширяется. Причем, чем дальше от нас галактика или квазар, тем быстрее они от нас убегают. Темп этого расширения зависит от времени. Однако ускорение (или замедление) расширения Вселенной не требует привлечения внешних сил. Замедление расширения вселенной может быть просто обусловлено взаимным притяжением вещества Вселенной или свойствами вакуума (которые описываются, так называемым, лямбда-членом в уравнениях общей теории относительности Эйнштейна).

В любом случае внешних сил не требуется. Подробнее в книгах:

Сборник статей «Прошлое и будущее Вселенной», М., Наука, 1986,  
И.Д.Новиков «Как взорвалась Вселенная», Библиотечка «Квант», выпуск 68, М., Наука, 1988,  
С.Хокинг «От большого взрыва до черных дыр», М., Мир, 1990.

*Воробьев П.В.*

---

**ВОПРОС №54:** На какой минимальной широте можно наблюдать полярные сияния?

**ОТВЕТ:** Полярные сияния наблюдаются, как правило, на высотах от 100 до 1000 км от поверхности Земли. Наиболее часто они видны в двух кольцевых зонах, окружающих оба полюса Земли. В ночные часы полярные сияния появляются в зените, главным образом, на геомагнитных широтах, отстоящих от геомагнитного полюса Земли приблизительно на 23 градуса и называемых зонами полярных сияний.

В нашем полушарии южнее вышеуказанной зоны полярные сияния тоже бывают видны, но не в зените, а в северной части неба.

Интенсивные полярные сияния появляются в связи с мощными хромосферными вспышками на Солнце, приводящими к нарушению нормального состояния ионосферы Земли и появлению магнитных бурь. При наиболее сильных магнитных бурях полярные сияния регистрируются даже на экваторе (широта равна 0). На широте Новосибирска полярные сияния не так уж и редки. Они наблюдаются в северной части неба, чаще всего, как световые столбы разной яркости. Поскольку интенсивность излучения частиц на средних широтах мала, то мы не можем невооруженным глазом увидеть цвет полярного сияния и все его переливы.

Инструкцию по наблюдению полярных сияний можно найти в «Астрономическом календаре» (постоянная часть).

*Кириченко Н.А.*

---

**ВОПРОС №55:** Задача про бак... Можно ли её решить так: Пусть  $P$  – пропускная способность 1-ой трубы, а  $P_2$  – другой в л/мин. Емкость бака тогда будет  $8P$ . Но  $12P_2$  – тоже емкость того же бака, поэтому  $8P = 12P_2$ . Отсюда получим  $P = 12P_2/8 = 1,5P_2$ . Пусть  $x$  – время, за которое наполниться бак, тогда  $xP - xP_2 = 12P_2$ . Если  $P = 1,5P_2$ , то  $1,5xP_2 - xP_2 = 12P_2$ ;  $1,5xP_2 - xP_2 - 12P_2 = 0$ ;  $0,5xP_2 - 12P_2 = 0$ ;  $P_2(0,5x - 12) = 0$ ;  $P_2 = 0$  или  $0,5x - 12 = 0$ ; но  $P_2$  не равно 0;  $0,5x = 12$ ;  $x = 12/0,5$ ,  $x = 24$  мин. Что вы думаете?..

**ОТВЕТ:** Напомним условие задачи: «Через трубу наверху бака он заполняется за 8 мин. Через другую трубу внизу бака он полностью опорожняется за 12 мин. За сколько времени заполнится пустой бак, если открыть обе трубы одновременно?»

При вытекании через 2-ую трубу скорость вытекающей жидкости меняется, т.к. она вытекает при переменном напоре столба жидкости. Известно, что при этом скорость уровня жидкости в баке линейно меняется с течением времени (рис.1). Это значит, что введенная при решении пропускная способность 2-ой трубы  $P_2$  – средняя пропускная способность, которая равна половине максимальной.

С другой стороны, когда открыты обе трубы, уровень жидкости в баке повышается с переменным ускорением (рис.2). Действительно, пока жидкости в баке мало, скорость вытекания мала, и он наполняется почти равномерно. По мере роста уровня жидкости растет напор столба, увеличивается скорость вытекания, и, как следствие, падает скорость роста уровня жидкости в баке. Больше того, если бак очень большой, то, начиная с некоторого уровня жидкости, его повышение прекращается: сколько жидкости втекает, столько и вытекает (рис.3). Видно, что средняя пропускная способность 2-ой трубы  $P_2'$  в этом случае не равна половине максимальной пропускной способности.

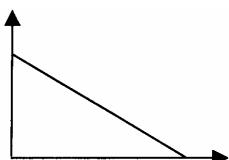


Рис. 1.

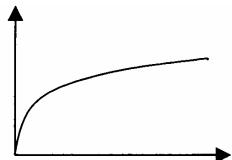


Рис. 2.



Рис. 3.

Таким образом, уравнение, описывающее заполнение бака, выглядит следующим образом:  $1,5xP_2 - xP_2 = 12P_2$ . Но сократить его на  $P_2$  теперь не удастся.

Правильный ответ задачи: бак вообще не сможет заполниться, он будет заполнен на  $9/16$  высоты.

*Шелест В.И.*

**ВОПРОС №56:** Какое влияние оказывают различные поля (электрическое, магнитное, электромагнитное и др.) на человека?

**ОТВЕТ:** Относительно слабое статическое электрическое поле на человека, по-видимому, не влияет никак. Стоит просто вспомнить, что все мы живем в электрическом поле Земли (точнее системы Земля-ионосфера), которое, примерно, равно  $100 \text{ В/м}$ , во время грозы это поле увеличивается в десятки раз. В сильном электрическом поле может возникать ионизация воздуха, которая, вообще говоря, вредна для здоровья человека. Возможны также и электрические разряды (например, молния) которые могут просто убить...

По поводу воздействия магнитного поля на организм известно очень немного. Считается, что относительно сильные магнитные поля заметного действия на организм не оказывают. Поэтому ЯМР-томография (ЯМР – ядерный магнитный резонанс) считается совершенно безвредной. А ведь магнитное поле в современных томографах достигает  $1-2$  Тесла. Это в примерно  $30000$  больше, чем магнитное поле Земли, в котором все мы живем ( $7 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$ ).

Со слабыми полями ситуация сложнее. Существуют эксперименты по содержанию животных (мышей) в "магнитном вакууме". С помощью ферромагнитных экранов внешние магнитные поля подавлялись примерно в  $1000$  раз. Оказалось, что в магнитном вакууме популяция мышей вырождается через несколько поколений, и через некоторое время они погибают. Популяция, живущая в таком же боксе, но из алюминия (который не экранирует магнитного поля Земли), прекрасно развивалась.

Сильные переменные магнитные поля представляют значительную опасность для здоровья. Такие поля индуцируют вихревые токи в теле человека, что может привести к серьезным осложнениям и даже смерти.

Что касается высокочастотных электромагнитных полей, то они весьма опасны, так как вызывают локальный перегрев внутренних органов и частей тела. Например, СВЧ излучение с длиной волны порядка  $3-10 \text{ см}$  вредно действует на глаза. В результате воздействия СВЧ излучения на организм возможны серьезные расстройства здоровья и значительно возрастает риск возникновения онкологических заболеваний. Поэтому существуют жесткие санитарные нормы на предельный уровень мощности ВЧ и СВЧ излучения в различных частотных диапазонах.

Подробности (с критериями допустимых воздействий) смотрите в книге:

«Магнитные поля», отчет Всемирной организацией здравоохранения, М., Медицина, 1992.

*Воробьев П.В.*

**ВОПРОС №57:** Какова история и функция темного пятна на Солнце?

**ОТВЕТ:** Темные пятна на Солнце впервые замечены древнекитайскими астрономами (естественно, невооруженным глазом). Солнечные пятна были открыты с появлением первых телескопов в начале XVII в. Шейнером и Галилеем. Шейнер наблюдал пятна раньше Галилея, но не понял их природы и не опубликовал о своем открытии. Приоритет открытия принадлежит по праву Галилею. Наблюдая за движением пятна по диску Солнца, Галилей определил период вращения Солнца. Оказалось, что скорость вращения вещества Солнца на разных широтах разная. Солнце вращается не как твердое тело.

В возникновении темных пятен нет ничего необычного. Солнце – это огромный бурлящий "котел" плазмы. Внутри оно горячее, снаружи – холоднее. Из-за этого перепада температур возникают конвекционные потоки – остывшие массы идут вглубь, а на их место поднимаются более горячие. Все было бы хорошо, если бы этому процессу не мешало сильное магнитное поле Солнца. Оказывается, что магнитные вихри могут локально приостановить конвекцию, не дать остывшим массам опуститься. В результате, эта область на солнечной поверхности будет холоднее окружающих, и поэтому будет выглядеть темнее. Это и есть темное пятно.

Солнечное пятно – область фотосферы с мощным магнитным полем, и его сложная структура обусловлена магнитогидродинамическими эффектами в плазме. В пятне кроме тени и полутиени прослеживается тонкая структура, являющаяся, в конечном счете, видоизмененной структурой Солнца вне активной зоны. Яркие точки в тени связаны с грануляцией Солнца, многие световые мосты – с факелами.

Число пятен на Солнце в разные годы различно. Для характеристики активности Солнца используют числа Вольфа, учитывающие количество одиночных пятен и групп пятен на Солнце. Оказалось, что эти числа меняются с циклом приблизительно 11 лет, хотя в этом столетии средний период был ближе к 10 годам. Поскольку магнитная полярность северного и южного полушария Солнца меняется каждые одиннадцать лет, полярность пятен в северном и южном полушарии меняется также каждые одиннадцать лет, то Солнце называют магнито-переменной звездой с циклом в 22 года.

Солнечная активность очень сильно влияет на жизнь на Земле. Первым эту связь начал исследовать А.Л.Чижевский в 1915 году, посвятил этим исследованиям всю свою жизнь, и, тем не менее, его книга "В ритме Солнца" осталась недописанной и вышла только в 1969 г., через 4 года после смерти автора. Сейчас солнечно-земные связи изучаются очень активно. Появились новые науки – гелиобиология, солнечно-земная физика, – которые исследуют взаимосвязь жизни на Земле, погоды, климата с проявлениями солнечной активности. Ближайший максимум числа пятен на Солнце ожидается в 2000–2001 году.

В 1980 году появилась методика, позволяющая обнаруживать наличие пятен в фотосферах других звезд. Оказалось, что у многих звезд спектрального класса G и K есть пятна, сходные с солнечными, с магнитным полем того же порядка. Зарегистрированы и изучаются циклы активности таких звезд. Они близки к солнечному циклу и составляют 5–10 лет.

Подробнее о солнечных пятнах можно прочитать в книгах:

"Солнечная и солнечно-земная физика" (под редакцией А.Бруцева и Ш.Дюрана), Москва, "Мир", 1980,  
С.И.Вавилов «Глаз и Солнце», М., Наука, 1981, стр.60–66,  
В.Н.Обдирко "Солнечные пятна и комплексы активности", Москва, "Наука", 1985.

*Иванов И.П., Кириченко Н.А.*

---

**ВОПРОС №58:** Скажите, какого объема существуют жесткие диски, и какие фирмы их произвели?

**ОТВЕТ:** Теоретически можно сделать жесткий диск любого размера. Ограничения накладываются существующими стандартами интерфейсов жестких дисков (договоренностями между ведущими фирмами, которые воплощаются в железе).

На данный момент наиболее популярные интерфейсы для жестких дисков на персональных компьютерах это IDE и SCSI (читается как скэйси). Если компьютер стоит у вас дома, то с вероятностью 99,999% ваш диск использует интерфейс IDE. Диски, использующие интерфейс SCSI дороже, плюс к ним нужна дополнительная плата (сам интерфейс, в то время как поддержка IDE встроена в материнскую плату), но SCSI не ограничивает размер дискового пространства, можно цеплять любое количество SCSI устройств (ограничение для IDE, как правило, 4 диска). SCSI может быть быстрее IDE. С точки зрения рядового потребителя все достоинства SCSI перебиваются его ценой и проблемами с совместимостью. (Это только так говорят – "стандарт SCSI", на самом деле это целое семейство стандартов: SCS-I, SCSI-2, UltraSCSI и т.д. и т.п.).

Какие же ограничения накладывает использование интерфейса IDE. Если операционная система производит ввод- вывод через BIOS (как это делал DOS) и если у вас компьютер где-то 3-летней давности, то вы рискуете не увидеть диск емкостью более чем:  $(1024s * 16heads * 63sects * 512bytes/sector) / (1024 * 1024) = 504 MB$ .

В свое время (3 – 4 года назад) это было проблемой. Сейчас эта не проблема, благодаря появлению новых стандартов и договоренностей. Вот выдержка из файла ide.txt, распространяемого вместе с дистрибутивом ядра для операционной системы Linux: «The ATA Interface spec for IDE disk drives allows a total of 28 bits (8 bits for sector, 16 bits for cylinder, and 4 bits for head) for addressing individual disk sectors of 512 bytes each (in "Linear Block Address" (LBA) mode, there is still only a total of 28 bits available in the hardware). This "limits" the capacity of an IDE drive to no more than 128GB (Giga-bytes). All current day IDE drives are somewhat smaller than this upper limit, and within a few years, ATAPI disk drives will raise the limit considerably».

То есть при использовании LBA моды у нас есть некий лимит в 128 Гигабайт. На данный момент для домашнего компьютера более чем достаточно диска в 5 GB (цены позволяют). В том же файле (ide.txt) автор советует использовать диски следующих производителей: «In particular, I recommend Quantum FireBalls as cheap and exceptionally fast. The new WD1.6GB models are also cheap screamers».

У меня стоит Quantum FireBalls5.1 – я им доволен, пару лет назад в Новосибирск была завезена очень большая партия бракованных WD1.2GB – поэтому доверие к этой фирме незаслуженно упало.

Жесткие диски выпускают фирмы Fujitsu, IBM, Segate, и многие другие. Самыми популярными являются SeeGate и Quantium, производящие диски объемом от 2 до 10 Гигабайт. В нашей стране достаточно распространены диски меньших объемов (от 200 Килобайт до 2 Мегабайт), которые импортировались ранее, но до сих пор не распроданы. Если Вы намерены приобрести диск, то рекомендуем обратить внимание на следующие его параметры:

- 1) объем дискового пространства должен удовлетворять Вашим задачам (для современных персональных компьютеров – от 2 до 4 Гигабайт),
- 2) технологические особенности диска (например, не имеет смысла покупать SCSI-диск, если у Вас нет SCSI-устройства),
- 3) фирма-производитель (наиболее "долгоживущими" являются диски SeeGate и Quantium, именно этим объясняется их популярность).

*Балдин Е.М.*

## **ВОПРОС №59:** Какое давление в чёрной дыре?

**ОТВЕТ:** Может быть, будет интересно узнать, что теоретически черные дыры предсказал еще в 1795 году Лаплас. Таким образом, четыре (или 3?) года назад можно было отпраздновать двухсотлетие физики черных дыр. Лаплас в рамках ньютоновской теории тяготения и корпускулярной теории света показал, что при фиксированной массе гравитирующего тела существует такой радиус тела, при котором скорость убегания равна скорости света, и его кванты-корпускулы не в состоянии покинуть тело и уйти на бесконечность. Этот радиус  $r_g = GM/c^2$  (где  $G$  – постоянная тяготения,  $c$  – скорость света,  $M$  – масса черной дыры) в терминологии сегодняшней физики называется гравитационным радиусом, а само тело, "спрятанное" под гравитационным радиусом, называется черной дырой (именно потому, что ни свет и ничто другое не может его покинуть).

Учет более тонких квантовых эффектов говорит нам сегодня, что черные дыры не совсем черные. Они излучают, как черное тело, с температурой обратно пропорциональной ее массе:  $T = hc^3 / (16\pi^2 k M G) = 0,5 \cdot 10^{-7} M_c / k M$ , где  $h$  – постоянная Планка,  $k$  – постоянная Больцмана  $1,4 \cdot 10^{-16}$  эрг/К,  $M_c$  – масса Солнца.

Но... вернемся к вопросу о давлении! Из общей теории относительности следует, что с точки зрения удаленного наблюдателя, покоящегося относительно черной дыры, сила притяжения, действующая на пробное тело, обращается в бесконечность на гравитационном радиусе. В этом смысле можно было бы думать, что так называемый горизонт событий – сферическая поверхность вокруг черной дыры, радиус которой равен гравитационному радиусу (вспомним, что свет не может покинуть эту поверхность и поэтому никакая информация о событиях на и под ней нам не доступна – отсюда и название), является особой поверхностью в пространстве, на которой обращается в бесконечность не только сила притяжения, но и другие физические величины (достигает бесконечности гравитационное красное смещение света и замедление времени).

В определенном смысле (с точки зрения наблюдателя покоящегося относительно черной дыры) – это так и есть. Однако, оказывается, что для наблюдателя, свободно падающего на черную дыру (так называемая локально-инерциальная система), ничего особенного на гравитационном радиусе не происходит. А ведь только такой наблюдатель и может провести измерения вблизи гравитационного радиуса. Правда, тайну своих открытий он навеки унесет с собой, так как из под горизонта событий невозможно послать сигнал оставшимся снаружи покоящимся наблюдателям и тем более вернуться назад!

Здесь следует заметить: то, что мы обычно называем полем тяготения (поле сил тяжести ньютоновского уравнения тяготения), локально устраниется в системе свободно падающего наблюдателя. И в действительности, поле тяготения характеризуется полем, так называемых, приливных сил. Представьте, что Вы свободно падаете на точечную массу равную, скажем, массе Земли и при этом (для определенности) ориентированы ногами вниз. Пока Вы находитесь далеко от массы (скажем, на расстоянии 6000 км), вы наслаждаетесь состоянием невесомости, хотя сила притяжения на этом расстоянии как раз такая, как на поверхности Земли. Однако, падая все ближе к центру, вы почувствуете беспокойство. Вы начинаете ощущать, что появилась сила, стремящаяся вытянуть вас в длину и в то же время сжать в поперечном направлении.

Появление такой силы понять не сложно: ускорение вашего падения определяется положением центра тяжести вашего тела. Однако, Ваши ноги немного ближе к тяготеющей массе и притягиваются чуть сильнее..., а голова, соответственно, чуть слабее. В вашей свободно падающей системе координат это приводит к тому, что появляются силы, стремящиеся вытянуть тело вдоль радиуса и сжать его вдоль ортогональных радиусу направлений. Расчет этих сил прост и для ньютоновской теории не выходит за

рамки школьного курса. Поэтому предлагаю этот расчет в качестве самостоятельного упражнения и не привожу здесь.

Вернемся к нашему падающему наблюдателю. Его беспокойство было не напрасным! Он будет разорван приливными силами еще до того, как встретится с нашей "точечной Землей". В этом смысле можно сказать, что всякому гравитационному полю соответствует анизотропное поле давления или натяжения приливных сил и именно это натяжение и является истинной мерой гравитационного поля.

Гравитационные волны, для поиска которых сегодня построено несколько весьма чувствительных гравитационных антенн, являются как раз волнами приливных сил. Все эти антенны основаны на том, что приливные силы гравитационной волны периодически пытаются сдвинуть или развести две массы, подвешенные свободно или связанные упругой связью.

Оказывается, что с точки зрения свободно падающего на черную дыру наблюдателя, поле приливных сил не содержит никаких особенностей на гравитационном радиусе. Оно вполне конечно и регулярно в том смысле, что гладко меняется от точки к точке. Для черной дыры с массой порядка солнечной приливные силы на горизонте событий достаточно велики, а для черной дыры с массой галактики вполне малы по человеческим меркам. Однако, в центре черной дыры имеется истинная особенность, где приливные силы обращаются в бесконечность.

Итак, мы выяснили, что любое гравитационное поле можно охарактеризовать полем приливных сил и, в этом смысле, распределенным в пространстве полем натяжений (давлений). Такое давление или натяжение не является свойством исключительно гравитационного поля. Таким образом, можно характеризовать практически любое поле (электромагнитное, поле звуковых волн). Например, в магнитном поле имеется натяжение вдоль силовых линий поля и давление поперек. В инженерной системе это давление равно:  $P[\text{atm}] = (B[\text{gauss}]/5000)^2$ . Сегодня легко достижимы поля порядка 1 миллиона гаусс (для сравнения поле Земли 0,7 гаусса). Магнитное давление в системах, создающих такое поле – 40000 атмосфер!

Теперь поговорим о давлении, характерном именно для черной дыры. В 1948 году Казимир показал, что при наличии границ вакуум перестраивается и в нем появляются натяжения, которых нет в вакууме пустого бесконечного пространства. В применении к вакууму теории электромагнетизма (электродинамики) это означает, что в пространстве между плоскими параллельными НЕ ЗАРЯЖЕННЫМИ проводящими пластинами (плоский не заряженный конденсатор) возникает притяжение.

Сила притяжения на единицу площади, в отличие от силы притяжения пластин заряженного конденсатора, зависит от расстояния между пластинами:  $F = \pi hc/(480a^4)$ , а – расстояние между пластинами. Сила очень мала и примерно равна 0,2 дины на квадратный сантиметр при расстоянии между пластинами 0,5 микрона.

Тем не менее, в 1958 году (через 10 лет после предсказания Казимира) Спарнай из лаборатории фирмы Сандия экспериментально подтвердил существование сил Казимира. Оказалось, что силы Казимира существенно зависят от геометрии границы и, например, для границы в виде проводящей сферы возникает не натяжение, а давление.

Вспомним теперь, что черная дыра имеет горизонт событий – поверхность совершенно непроницаемую наружу. В некотором смысле – это тоже граница и, в результате, в черной дыре возникает казимировское давление вакуума. Это явление сегодня широко обсуждается в физике черных дыр и космологии. Теория очень сложна и решения получены пока для очень простых случаев. Сейчас можно сказать только, что давление казимировского вакуума падает как четвертая степень гравитационного радиуса. Это давление велико только для черных дыр малой массы.

Однако, важно другое: казимировский вакуум обладает очень специфическими свойствами, совершенно отличными от свойств обычной материи (полей). Сейчас предполагается, что такой вакуум может стабилизировать, так называемые, "кротовые норы" – пространственные туннели между двумя удаленными областями пространства (или даже, вообще, разными пространствами – Вселенными). Именно такая кротовая нора – основа широко обсуждаемой нынче машины времени.

Подробнее в статьях:

Тимоти Бойер «Классический вакуум», журнал «В мире науки», 1985, №10, стр.4–13,

Д.А.Киржниц «Горячие черные дыры. Новое в понимании природы теплоты», «Соросовский образовательный журнал», 1997, №6, стр.84–90.

*Воробьев П.В.*

---

### **ВОПРОС №60:** Расскажите, пожалуйста, о турбулентности.

**ОТВЕТ:** При малых скоростях наблюдается упорядоченное течение жидкости (газа), при котором жидкость (газ) перемещается как бы слоями, параллельными направлению течения. Такое течение называется ламинарным. С увеличением скорости, в некоторый момент, режим течения меняется, оно становится турбулентным (*turbulentus* (лат.) – бурный, беспорядочный).

Необычность явления заключается в том, что картина течения жидкости изменяется во времени, даже если внешние условия постоянны. Например, в турбулентном течении в трубе, при неизменном перепаде давления на концах трубы, скорость жидкости в любой точке пульсирует, меняется во времени. При таком течении жидкости или газа отдельные элементы течения совершают неустановившиеся движения по сложным траекториям. В таких течениях образуются многочисленные вихри различных размеров, поэтому скорость частиц, температура, давление, плотность меняются при переходе от точки к точке и во времени не регулярно. Это приводит к интенсивному перемешиванию вещества.

Систематическое изучение турбулентности начал О.Рейнольдс в конце прошлого века. Он изучал течение жидкости в трубе, для визуализации течения он подкрашивал жидкость в центре сечения трубы. При малом перепаде давления подкрашенная струйка жидкости, не смешиваясь с остальной жидкостью в объеме трубы, спокойно текла вместе с ней. При некотором критическом перепаде давления на подкрашенной струйке появлялись волнобразные движения. При очень большом перепаде давления движение внутри трубы было быстрым и хаотичным, струйка сразу же размешивалась по трубе. Рейнольдс проводил опыты с разными размерами труб и жидкостями и выяснил, что переход от стационарного течения жидкости к меняющемуся во времени происходит, когда некоторая безразмерная комбинация скорости жидкости, её вязкости и размеров трубы достигает одного и того же значения. Эта безразмерная комбинация имеет вид  $Re = uL/v$ , где  $u$  – характерная скорость движения жидкости,  $L$  – характерные размеры течения, а  $v$  – кинематическая вязкость жидкости.

Число  $Re$  называется числом Рейнольдса и его численное значение в основном определяет характер течения жидкости: при малом числе Рейнольдса течение ламинарно (гладкое регулярное течение), а при большом – турбулентное (нерегулярное, в течении присутствуют вихри гораздо меньшего размера, чем размеры трубы). Характерные значения чисел Рейнольдса, при которых постоянство течения изменяется и появляются волнобразные движения – это десятки. Развитая турбулентность (когда движение на глаз действительно хаотично) наступает при числах Рейнольдса порядка тысячи.

Для примера рассмотрим, как происходит переход к турбулентному течению при обтекании шара потоком жидкости. Любая реально существующая жидкость (газ) обладают вязкостью. Слой вязкой жидкости, прилегающей к твердой стенке, прилипает к ней. Следующие слои потока скользят относительно друг друга с возрастающей скоростью. Между отдельными слоями возникают силы вязкого трения. Вблизи поверхности тела формируется пограничный слой, скорость течения в котором меньше, чем в набегающем потоке, а у поверхности равна 0. Потеря скорости приводит к тому, что поток, обтекающий шар, не может проникнуть в некоторую область за шаром. Происходит отрыв потока от поверхности тела, и поскольку скорость частиц в таком потоке возрастает по мере удаления от шара, то такой поток обладает вращающим моментом. В таком случае говорят, что течение обладает завихренностью. Поток жидкости, оторвавшийся от поверхности обтекаемого тела, оказывается завихренным. Но тонкие слои жидкости, обладающие завихрением, неустойчивы и обязательно распадутся на отдельные вихри. Эти вихри уносятся основным потоком жидкости и постепенно затухают. Подобным образом образуются завихренные дорожки и за движущимися в жидкости телами.

Можно спросить, почему числа Рейнольдса, при которых наступает ламинарно-турбулентный переход, – большие, много большие единицы? Качественная картина развитой турбулентности была дана Л.Ричардсоном в начале нашего века. Если мы мешаем ложкой жидкость в стакане, то мы создаём течения с размером порядка размера стакана (или ложки). Вязкость жидкости действует на течение тем сильнее, чем меньше характерный размер течения (больше градиент скорости). Если число Рейнольдса большое, то на крупномасштабные движения она действует слабо, эти движения за счёт вязкости затухали бы очень долго. Уравнение движения жидкости (уравнение Навье-Стокса) нелинейно (это связано с тем, что скорость жидкости переносится самой скоростью), и эти крупномасштабные движения неустойчивы. Они дробятся на более мелкие вихри, те в свою очередь на ещё более мелкие. В конце концов, на самых маленьких масштабах вступает в действие вязкость, и самые мелкие вихри затухают за счёт вязкости. Эта картина получила название прямого каскада (каскад от больших масштабов в маленькие).

Из-за вязкости кинетическая энергия движения жидкости постепенно переходит в тепло. Мешая ложкой, мы вкачиваем энергию в жидкость, а она диссирирует (исчезает). В динамическом равновесии энергии исчезает столько же, сколько мы её вкачиваем. Нетривиальным является тот факт, что создаваемые ложкой крупномасштабные движения не зависят от коэффициента вязкости. При одинаковом крупномасштабном движении и при разных коэффициентах вязкости диссипация энергии одинакова. Это странно потому, что вроде бы энергии исчезает тем меньше, чем меньше вязкость. Разгадка состоит в том, что при меньшем коэффициенте вязкости энергия диссирирует просто в более мелких масштабах течения жидкости, что и обеспечивает одинаковый уровень диссипации энергии.

В середине нашего века Колмогоров предположил, что картина турбулентного течения практически не меняется, если мы растянем все длины в несколько раз (гипотеза масштабной инвариантности или скейлинга). Кроме того, он предположил, что вихри очень разных размеров не взаимодействуют (большой вихрь просто переносит маленький, не меняя течения внутри него). Из этого он получил, что число вихрей масштаба 1 зависит от 1 степенным образом. Гипотеза Колмогорова получила экспериментальное подтверждение, хотя наблюдаются отличия реального турбулентного движения от картины, предсказываемой теорией Колмогорова (аномальный скейлинг).

Теория гидродинамической турбулентности в завершённом виде не создана и является одной из важных проблем современной теоретической физики. Широко распространены, так называемые, полуэмпирические теории турбулентности (решается не само уравнение Навье-Стокса, а упрощённое уравнение, делаются неконтролируемые предположения). Если воспринимать турбулентное течение как

случайное, то пока неизвестна даже сама функция распределения для течения (неизвестен вес, с которым нужно усреднять наблюдаемые величины).

Гидродинамическая турбулентность является сильной в том смысле, что нелинейность уравнений движения жидкости при больших числах Рейнольдса играет определяющую роль. В некоторых физических ситуациях (например, гравитационные волны на поверхности жидкости) нелинейность является малой, хотя также наблюдается каскадный режим. Такую турбулентность называют слабой, и её теория развита во второй половине нашего века, главным образом, усилиями выпускника НГУ В.Е.Захарова (сейчас он является академиком, директором Института теоретической физики им. Л.Д.Ландау в Москве).

В теории картина турбулентности сильно зависит также от размерности пространства, это связано с тем, что в каскаде с больших масштабов в маленькие может переноситься разные величины (в трёхмерной турбулентности это энергия, в двумерной – квадрат завихренности). В двумерной турбулентности имеет место также перенос энергии из малых масштабов в большие (обратный каскад).

Наиболее детально изучены турбулентные течения в трубах, каналах, пограничных слоях около обтекаемых тел и струи за движущимися в жидкостях телами. Оказалось, что основной вклад в передачу через турбулентную среду теплоты и импульса вносят крупномасштабные структуры, а мелкомасштабные структуры "отвечают", в частности, за перенос взвешенных в потоке частиц, дробление капель, перемешивание турбулентных жидкостей.

Большинство течений жидкости, как в природе, так и в технических сооружениях турбулентно. Например: движение воздуха в земной атмосфере, воды в реках и морях, течение воды в трубах, течение следа за движущимся катером и т.д.

Литература:

Лойцянский Л.Г. "Механика жидкости и газа", М., 1978,

Сивухин Д.В. "Курс общей физики", т.1 Механика, Москва, 1989.

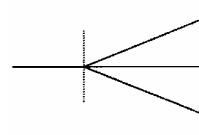
*Степанов М.Г., Кириченко Н.А.*

---

**ВОПРОС №61:** Могут ли быть причиной выхода из строя «сидирома» радиоволны, исходящие от радиостанции «Алинко», мощностью выходного сигнала не более 5 Вт. Этот вопрос возник из-за того, что известен выход из строя 4-х «сидиромов» (3 от компьютера и 1 от музыкального центра). Обычно «сидиромы» выходят из строя очень редко.

**ОТВЕТ:** Да, могут. Если антенна радиостанции излучает направленно на высокой частоте (около 100 МГц), то в рядом находящихся проводниках, в тонком скин-слое вблизи поверхности, будет выделяться тепловая мощность, достаточная для того, чтобы разогреть поверхность и привести к ее окислению. Если поднести руку к антенному выходу радиостанции, излучающей 5 Вт, то можно получить тепловой ожог.

*Потеряев В.С.*



---

**ВОПРОС №62:** Можно ли рассчитать упаковку информации на лазерном диске (кол-во дорожек на см), пользуясь подручными средствами и лазером? Если да, то, каким образом?

**ОТВЕТ:** Можно. Дорожки на CD образуют дифракционную решетку, и свет, проходя через нее (или отражаясь), испытывает дифракцию. В результате кроме прошедшего (или отраженного) луча (нулевой порядок дифракции) возникают лучи, отклоненные на определенные углы. Это то же явление, как и то,

когда вы смотрите сквозь ткань на яркий источник света. Но в случае ткани возникает система лучей в виде креста, а при дифракции на дорожках CD – дифрагированные лазерные лучи лежат в одной плоскости, а на удаленном экране дают систему точек, лежащих на линии.

Расстояние между дорожками  $d$  легко найти, зная длину волны  $\lambda$  излучения лазера, расстояние  $D$  между светлыми точками на экране от лучей нулевого и (соседнего) первого порядка дифракции, и расстояния от плоскости CD до плоскости экрана  $L$ :

$$d = \lambda L / D . \quad (1)$$

Формула получается очень просто: условие появления дифрагированного луча первого порядка заключается в том, чтобы на каждом периоде решетки набегала длина волны света. В результате угол отклонения луча первого порядка дифракции:

$$\alpha = \lambda / d . \quad (2)$$

Расстояние на экране между "зайчиками" от лучей нулевого и первого порядка дифракции:

$$D = L \alpha . \quad (3)$$

Комбинируя (2) и (3), получим (1).

Если все это проделать экспериментально, увидите, что расстояние между дорожками порядка 3–4 длин волн красного света (т.е. около 2 микрон).

Воробьев П.В.

---

### ВОПРОС №63: Выполняется ли закон Дальтона для реальных газов?

**ОТВЕТ:** Законы Дальтона звучат следующим образом:

- давление смеси химически не взаимодействующих идеальных газов равно сумме парциальных давлений,
- при постоянной температуре растворимость в данной жидкости каждого из компонентов газовой смеси, находящейся над жидкостью, пропорционально его парциальному давлению.

Оба закона Дальтона строго выполняются для идеальных газов. Для реальных газов эти законы применимы при условии, если их растворимость невелика, а поведение близко к поведению идеального газа.

Теоретическое нахождение давления смеси реальных газов является очень трудной задачей. Рассмотрим частный случай смеси неплотных неидеальных газов. Как известно, для таких газов уравнением состояния является уравнение Ван-дер-Ваальса:

$$(p + a v^2 / V^2) (V - b) = v RT \text{ или } p = v RT / (V - b) - a v^2 / V^2 ,$$

где  $p$ ,  $T$ ,  $v$  – давление, температура и количество молей газа, соответственно,  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $a$  и  $b$  – константы, характеризующие силы притяжения и отталкивания между молекулами газа. Для неплотных газов, когда  $v b \ll V$ , можно записать разложение:

$$p = v RT / V + (b RT - a) v^2 / V^2 .$$

Видно, что давление реального газа отличается от давления идеального на величину, пропорциональную  $b RT - a$ , которая может быть как больше, так и меньше нуля (все определяется тем, какие силы между молекулами преобладают – отталкивания или притяжения). Допустим, мы смешиваем два неплотных реальных газа, у которых константы  $a$  и  $b$  идентичны (например, изотопы). Тогда:

$$p_1 = v_1 RT / V + (b RT - a) v_1^2 / V^2 ,$$
$$p_2 = v_2 RT / V + (b RT - a) v_2^2 / V^2 ,$$

$$p_{cm} = (v_1 + v_2) RT/V + (bRT - a)(v_1 + v_2)^2/V^2,$$

где  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_{cm}$  – давление первого газа, второго газа и их смеси соответственно.

Легко получить, что  $\Delta p = p_{cm} - p_1 - p_2 = 2(bRT - a)v_1v_2/V^2$ . Таким образом, при  $T > a/bR$  давление смеси газов будет больше суммы парциальных давлений, при  $T < a/bR$  давление смеси газов будет меньше суммы парциальных давлений, а при  $T = a/bR$  закон Дальтона будет выполняться.

Подробнее в книгах:

Р.В.Телеснин «Молекулярная физика», М., 1973,

Д.В.Сивухин «Общий курс физики», том 2, М., Наука, 1990, глава 8,

Я.М.Гельфер, В.Л.Любошиц, М.И.Подгорецкий «Парадокс Гиббса и тождественность частиц в квантовой механике», М., Наука, 1975, глава 4.

*Шелест В.И.*

---

#### **ВОПРОС №64:** Как измерить массу тела в космосе, ведь там нет веса?

**ОТВЕТ:** Давайте вспомним определения:

- Вес – это сила, обусловленная силой притяжения Земли, с которой тело давит на подставку или растягивает подвес.
- Масса – это фундаментальная физическая величина, определяющая инерционные и гравитационные физические свойства тела.

С точки зрения теории относительности масса тела  $m$  характеризует его энергию покоя  $E_0$ , согласно соотношению Эйнштейна:  $E_0 = mc^2$ , где  $c$  – скорость света.

В ньютоновской теории гравитации масса служит источником силы всемирного тяготения, притягивающей все тела друг к другу. Сила  $F$ , с которой тело массы  $m_1$  притягивает тело с массой  $m_2$ , определяется законом тяготения Ньютона:  $F = Gm_1m_2/r^2$ .

Инерционные свойства массы в нерелятивистской (ニュートンовской) механике определяются соотношением  $F = ma$ .

Из определений ясно, что масса и вес вовсе не одно и то же. В состоянии невесомости масса остается. Больше того, если вам доведется побывать в невесомости, то помните, что отсутствие веса не значит отсутствие массы, и в случае удара о борт вашего космического корабля синяки и шишки будут самыми настоящими.

Из сказанного выше, можно получить, по крайней мере, четыре способа определения массы тела в невесомости:

- а) можно аннигилировать исследуемое тело (перевести всю массу в энергию) и померить выделившуюся энергию – по соотношению Эйнштейна получить ответ,
- б) с помощью пробного тела померить силу притяжения, действующую на пробное тело со стороны исследуемого объекта, – зная расстояние, по соотношению Ньютона найти массу,
- в) подействовать на тело с какой-либо известной силой (например, прицепить к телу динамометр) и измерить его ускорение, а по соотношению  $F = ma$  найти массу тела,
- г) можно воспользоваться законом сохранения импульса. Для этого надо иметь одно тело известной массы и измерять скорости тел до и после взаимодействия.

*Балдин Е.М., Кириченко Н.А.*

---

**ВОПРОС №65:** Не предвидят ли ученые падения какой-либо кометы на Землю?

**ОТВЕТ:** Падение кометы на поверхность планеты – достаточно редкое астрономическое явление. Многие ученые склоняются к мысли, что падение Тунгусского метеорита (1908 год) было таким явлением. В пользу этой гипотезы говорит много фактов. Аномальные пестрые зори, которые появились за несколько дней до столкновения, белые ночи на несвойственных им широтах после падения, отсутствие твердого метеоритного вещества и др. В настоящее время эта гипотеза о природе Тунгусского метеорита считается общепринятой. Вероятность того, что в течение столетия такое явление повторится, очень мала. Да и из тех комет, орбиты которых известны, кандидатов на прямое столкновение с Землей нет. С другой стороны, кометы – это объекты, по астрономическим масштабам имеющие очень короткую жизнь. Возмущения их орбит другими небесными телами и приливные силы приводят к тому, что траектория кометы может измениться, а сама она может распасться на более мелкие тела и образовать в пространстве метеорный рой. Поскольку вещество кометы в метеорном рое "размазано" в достаточно протяженное облако, то столкновение с отдельными частицами таких облаков происходит достаточно регулярно.

В 1994 году в г. Снежинске прошла международная конференция по проблемам защиты Земли от столкновения с космическими объектами. Присутствовавшие пришли к выводу, что человечеству по силам бороться с космической опасностью, защита от падения комет и астероидов проста, главное – не упустить время.

Создана комиссия, координирующая все работы, связанные с наблюдениями за космическими объектами. Космическая радиолокация и компьютерные комплексы астроразведки позволяют обнаружить опасные объекты за сотни миллионов километров от Земли.

На 1999 год по имеющимся данным ближе всего к Земле подойдет комета Мачхольда-2. Комета приблизится к Земле на расстояние 0,31 а.е. (примерно 46 млн.км), факт удаленности орбиты кометы от Земли говорит о невозможности ее падения на Землю.

Подробнее в статье Р.В.Алимова и Е.В.Дмитриева «Противоастероидная защита Земли» в журнале «Природа» 1995, №6, стр.94–101.

*Кириченко Н.А.*

---

**ВОПРОС №66:** Можно ли увидеть звезды днем (не при солнечном затмении): а) невооруженным глазом; б) с помощью телескопа. Если – да, то при каких условиях?

**ОТВЕТ:** Днем звезды невооруженным глазом не видны. Увидеть звезду на фоне дневного неба можно было бы только в том случае, если бы поток света от звезды был сравним с потоком от площадки неба, угловой размер которой равен разрешающей способности человеческого глаза (порядка 1'). Яркость дневного неба соответствует  $-5,2^m$  с 1 квадратной минуты, что раз в 25 больше яркости самой яркой звезды северного неба Сириуса с  $-1,6^m$ .

Телескоп может улучшить разрешающую способность глаза приблизительно до 2", т.е. в 50 раз (дневная атмосфера обычно не дает лучшего качества изображений). Значит, яркость неба снижается при этом в  $50^2 = 2500$  раз и становятся видны яркие звезды и планеты. Правда, для этого нужен телескоп с достаточно большим фокусным расстоянием объектива. В телескоп с фокусным расстоянием 1 м звезды днем не видны.

Кстати, широко распространенное утверждение, что звезды можно видеть днем, находясь в глубоком колодце, является заблуждением. Легко показать, что при диаметре колодца в 1 м его глубина должна быть более  $1 \text{ м} / \sin 100'' = 2 \text{ км}$ ! Но даже при этом наблюдателю будет видна лишь светлая

точка, яркость которой увеличится на мгновение, если какая-либо звезда будет пересекать зенит. Вполне возможно, что ряд наблюдателей принимали за звезды частички пыли или сажи, колеблющиеся в створе колодца.

Источники:

- Д.Я.Мартынов, В.М.Липунов «Сборник задач по астрофизике», М., 1986, стр.83,  
В.Г.Сурдин «Астрономические олимпиады», М., 1995, стр.192–194,  
Д.В.Сивухин «Общий курс физики», том 4, М., Наука, 1980, стр.161–162,  
Д.Я.Мартынов «Курс практической астрофизики», М., Наука, 1977, параграф 10.
- 

**ВОПРОС №67:** Насколько точно выполняются фундаментальные законы физики в различных теориях? Почему эти законы очень просты по сравнению с производными законами?

**ОТВЕТ:** На столь общий вопрос единого ответа нет. Для каждого из законов существуют ограничения, полученные в соответствующих процессах. Для многих законов эти ограничения очень сильные. Например, время жизни протона больше  $10^{33}$  лет.

Фундаментальные законы формулируются для "очищенных" обстоятельств, в них не надо подробно описывать детали ситуации. Кроме того, из различных формулировок фундаментального закона выбирается та из них, которая проще.

*Гинзбург И.Ф.*

---

**ВОПРОС №68:** Тут не так давно была в городе конференция о торсионных полях. Очень бы хотелось узнать, что там рассказывали. Что это за поля? И где применяются?

**ОТВЕТ:** Существование торсионного поля, или поля кручения, предсказывается в некоторых попытках обобщения общей теории относительности на явления метагалактического масштаба в 1922 г. Никаких эффектов, указывающих на существование таких полей в меньших масштабах не было обнаружено. В настоящее время нет абсолютно никаких экспериментальных указаний на существование торсионного поля, это чисто теоретическая гипотеза.

Некоторые люди пытались интерпретировать с помощью этих полей результаты своих экспериментов, выполненных чрезвычайно неаккуратно. Попытки воспроизвести эти результаты в более тщательных экспериментах неизменно приводили к отрицательному результату. В настоящее время применение торсионных полей к описанию явлений окружающей природы составляет предмет занятий неквалифицированных или (чаще) недобросовестных людей. Последние обещают получить из исследования торсионных полей и "доменной структуры вакуума" много завлекательных эффектов типа антигравитации и т.п. Торсионные поля употребляются этими людьми для выкачивания денег у государства (чаще всего у военных).

Теоретические представления, излагавшиеся Шиповым на недавнем семинаре в Институте математики СО РАН, безусловно, ошибочны. К науке они отношения не имеют. Технологические приложения, излагавшиеся Шиповым, – попросту шарлатанство.

*Гинзбург И.Ф., Хриллович И.Б.*

---

**ВОПРОС №69:** Излучает ли электромагнитные волны колебательный контур?

**ОТВЕТ:** Конечно, излучает: электромагнитные волны излучаются при ускоренном движении зарядов. Это легко понять, если представить себе заряд, окруженный электрическим полем. У поля есть энергия, следовательно, и масса. При ускорении движении заряда (например, вперед) поле по инерции движется с той же скоростью и, тем самым, отрывается от заряда. Мы при этом наблюдаем излучение электромагнитных волн.

Обычно при решении задач про колебательный контур излучением пренебрегают. Попробуем понять, когда это справедливо. Для начала оценим, какую мощность  $N$  излучает в виде электромагнитных волн заряд  $q$ , двигающийся с ускорением  $a$ . Очевидно, что  $N$  должна зависеть от  $q$ ,  $a$ , а также от скорости света  $c$  (именно с этой скоростью распространяются электромагнитные волны) и константы в законе Кулона  $k$  (именно она определяет интенсивность электромагнитных взаимодействий). Выписав размерности величин, легко получить, что есть единственная комбинация букв, дающая нужный ответ:  $N \sim kq^2a^2/c^3$ . Применим этот результат для оценки мощности излучения электромагнитных волн колебательным контуром с индуктивностью  $L$  и емкостью  $C$ . Для этого колебания в контуре будем интерпретировать следующим образом: в начальный момент конденсатор был заряжен зарядом  $q$ , а затем за время  $T \sim (LC)^{1/2}$  заряд переместился в катушку индуктивности, пройдя длину соединительных проводов  $l$ . Очевидно, что  $l \sim aT^2$ . В этом рассуждении считается, что в соединительных проводах нет своих носителей заряда, а катушка индуктивности и конденсатор – идеальные (все поле они сосредотачивают в себе и не излучают), т.е. электромагнитные волны могут испускаться только соединительными проводами. Тогда, поскольку ток в контуре  $I \sim q/T$ ,

$$N \sim kq^2a^2/c^3 \sim kq^2l^2/(T^4c^3) \sim kl^2I^2/(T^2c^3) \sim kl^2l^2/(LCc^3).$$

Аналогично тепловой мощности  $N=I^2R$  можно записать  $R_{изл}$  – эквивалентное сопротивление потерь энергии колебательным контуром на излучение электромагнитных волн длины  $\lambda$ :

$$R_{изл} \sim N/I^2 \sim kl^2/(LCc^3) \sim kl^2/(T^2c^3) \sim kl^2/(\lambda^2c) \sim (k/c)(l/\lambda)^2 \sim 100(l/\lambda)^2.$$

Очевидно, что если для колебательного контура с омическим сопротивлением  $R$  выполняется неравенство  $R_{изл} \ll R$ , то потерей энергии на излучение электромагнитных волн можно пренебречь. Обычно так и бывает, т.к.  $l \ll \lambda$ .

*Шелест В.И.*

---

**ВОПРОС №70:** Почему, с точки зрения скрытого контроля звука, применение направленных микрофонов затруднено?

**ОТВЕТ:** Раньше направленный микрофон делался следующим образом: на обычный высокочувствительный микрофон надевалась труба (рупор), которая выполняла роль коллиматора. Эта труба направлялась на источник звука и отсекала звуки, приходящие с других направлений. Естественно, таким микрофоном трудно пользоваться скрытно.

Современные направленные микрофоны работают по принципу фазированных решеток – звук фиксируется большим количеством микрофонов, и записывается с помощью АЦП в компьютер. Т.к. каждый из микрофонов находится от исследуемого источника на разных расстояниях, то возникают временные задержки в записываемых сигналах. Для каждого из записанных сигналов делается разложение в спектр по частоте. Для того, чтобы избавиться от посторонних звуков, в каждом из спектров оставляют только ту часть сигнала, которая фазово согласована с исследуемым источником звука. Осталось только синтезировать сигнал. С помощью обычного компьютера и 24-разрядной АЦП можно в реальном времени осуществлять высоконаправленную запись звука с разрешением по амплитуде в 120 дБ. Трудности скрытой записи состоят в том, что направленные микрофоны ловят звук,

приходящий из определенной точки: вам следует точно знать, где находится голова исследуемого субъекта – стоит ему сдвинуться, как звук пропадает.

Балдин Е.М., Потеряев В.С.

---

**ВОПРОС №71:** Почему опасно хвататься за ЛЭП, в то время как птицы там сидят?

**ОТВЕТ:** Опасно не напряжение само по себе – опасно падение напряжения на проводнике, в роли которого выступает схватившийся за провод объект изучения. Если объект одновременно касается провода под напряжением и Земли или двух проводов с разным напряжением, то ему станет плохо.

То, что птицы сидят на проводах – это проблемы не только птиц но и головная боль эксплуатационников линий электропередач: довольно много птиц при гибели (она, как правило, наступает в результате того, что птица коснулась двух рядом идущих проводов) провоцируют короткие замыкания. В частности, стандартные изоляторы на столбах электропередач спроектированы с учетом опасности со стороны птиц (делаются специальные насесты).

Оценим то напряжение, под которое попадает птица, севшая на провод. Любая линия электропередач представляет собой сопротивление для тока, и на этом сопротивлении теряется часть электроэнергии. Коэффициент полезного действия линии электропередач достаточно высок – 90–94%. Достаточно часто встречаются высоковольтные линии ЛЭП-500, рассчитанные на 500 кВ. С их помощью на расстояние 600–1200 км передается электроэнергия мощностью до 1000 МВт. Для оценки разности потенциалов, под действием которых находится птица, выберем наихудший вариант: длина линии электропередач – 600 км, потери энергии в проводах – 10%, мощность линии – 1000 МВт. При этих условиях 100 МВт идет на нагревание проводов. Теряемую мощность можно определить по формуле  $P = I^2R$ . Силу тока  $I$  находим, зная передаваемую мощность  $P_0$  и напряжение на линии  $U_0$ . Поскольку передача электроэнергии идет на переменном токе, то нужно знать еще коэффициент мощности. Строго говоря, он меняется в зависимости от загруженности линии в пределах 0,6–0,9. Тогда  $I = P_0/(U_0\cos\phi)$ , откуда  $R = P/I^2 = P(U_0\cos\phi)^2/P_0^2$ . Значит, для падения напряжение на проводах имеем  $U = IR = PU_0\cos\phi/P_0$ .

Получается, что падение напряжения на проводах около 40 кВ. Оценим разность потенциалов на 1 метре такой линии. Общая длина проводов 1200 км (линия двухпроводная). На 1 метре падает около 0,03 В. Расстояние между лапками птицы около 10 см. Поэтому напряжение, под которым находится птица, будет около 3 мВ, что совсем неопасно для нее.

Если человек стоит на земле и дотронется до высоковольтного провода, то он попадет под разность потенциалов "провод - земля". Это уже не доли вольта, а 500 кВ. В случаях, когда человек случайно попадает на высоковольтные провода, не имея связи с землей (например, падение с моста на один из проводов линии электропередачи, такие случаи бывали) поражения электрическим током не наблюдается.

Подробнее в книгах: А.С.Енохович "Справочник по физике и технике", Москва, 1989, Л.И.Вайнштейн "Памятка населению по электробезопасности", Москва, 1987.

Кириченко Н.А.

---

**ВОПРОС №72:** Правда ли Земля будет "переворачиваться"?

**ОТВЕТ:** Это – грубо ошибочное утверждение. Идея, о которой говорят, выглядит примерно так: "На полюсах Земли наросло много льда. Поэтому она превратилась из шара в некоторую гантель, которая легко может развернуться на 90 градусов от удара сравнительно небольшого метеорита".

Вывод неверен. Здесь забывают о вращении Земли вокруг оси. Земля – гироскоп (волчок), направление оси вращения которого изменить очень трудно. Для поворота оси на большой угол надо передать Земле момент импульса, сравнимый с ее собственным моментом, который порядка  $0,3MR^2\omega$ , где  $M$  – масса Земли,  $R$  – ее радиус и  $\omega$  – угловая скорость, равная  $2\pi/24$  час<sup>-1</sup> (как известно  $R\omega \approx 300$  м/с – скорость вращения на экваторе).

С наибольшим эффектом такой момент импульса  $mvR$  может передать Земле врезавшийся в нее по касательной астероид. Если принять скорость астероида  $v = 30$  км/с, то его масса  $m \sim M/300$ , т.е. он должен быть всего вчетверо легче Луны. Это – очень большой астероид. По-видимому, все астероиды подобного размера в поясе астероидов известны. Насколько можно судить по геологическим данным, за последние 2–4 млрд. лет было не более одного события такого масштаба в истории Земли.

*Гинзбург И.Ф.*

---

**ВОПРОС №73:** На чем основан эффект "Звук вокруг"(3D-sound)?

**ОТВЕТ:** Стереофония – эффект объемного звучания, при котором у слушателей создается впечатление о пространственном расположении источников звука. Звук воспроизводится несколькими (до 5) разнесеными в пространстве источниками звука (громкоговорителями, звуковыми колонками), каждый из которых получает сигналы по независимому каналу от соответствующего микрофона. Эффект стереозвучания возникает при определенном расположении громкоговорителей в месте воспроизведения и микрофонов в месте передачи звука.

Человек воспринимает пространственное расположение источников звука с помощью ушей, разнесенных на расстояние  $d$  около 20 см (это возможно для звука, длина волн которого  $\lambda \leq d$ ; это соответствует частотам звука более 1 кГц). Таким образом, благодаря высокочастотной составляющей звука, можно хорошо ориентироваться по звуку в пространстве. Различие в фазе низкочастотных составляющих воспринятого ушами звука воспринимаются человеком гораздо хуже. Поэтому для усиления эффекта объемного звучания искусственно увеличивают запаздывание между низкочастотными составляющими звука, достигающими разных ушей.

Для создания эффекта 3D-sound:

- из звукового сигнала от каждого микрофона выделяется его низкочастотная составляющая,
- электронным образом увеличивается разность фаз между низкочастотными составляющими сигналов, подающихся на разные звуковые колонки.

*Потеряев В.С.*

---

**ВОПРОС №74:** Скорости теплового движения многих молекул близки к скорости пули. Почему же даже очень чуткое обоняние диких животных не улавливает запах охотника, если он подкрадывается к ним против ветра?

**ОТВЕТ:** Молекулы в воздухе, действительно, летают с очень большими скоростями, но на очень маленькие расстояния. Длина свободного пробега  $\lambda$  молекул воздуха в воздухе при нормальных условиях менее 0,1 мкм, а у больших органических молекул пахучих веществ – еще меньше. Из-за многочисленных столкновений молекулы движутся хаотично. Такой процесс называется броуновским движением. При этом молекула после  $N$  столкновений сместится в среднем на расстояние  $L \sim N^{1/2}\lambda$ . Если молекула движется со скоростью  $v$ , то за время  $t$  произойдет  $N = tv/\lambda$  столкновений. Тогда  $L \sim (vt)^{1/2}$ . Сделаем несколько оценок. Свободно летящая в вакууме молекула азота преодолеет  $L = 10$  м за время  $t_c$

$\sim L/v \sim 0,02$  с, а диффундирующая в воздухе молекула азота преодолеет то же расстояние за время  $t_d \sim L^2/v\lambda \sim 2 \cdot 10^6$  с  $\sim 20$  суток.

Реально запахи распространяются быстрее, благодаря ветру и конвективному движению воздуха. Т.е. запахи распространяются по ветру.

Источник:

И.Ш.Слободецкий, Л.Г.Асламазов «Задачи по физике», Библиотечка «Квант», выпуск 5, М., Наука, 1980, стр.84–86.

---

**ВОПРОС №75:** Почему из хаоса всегда рождается порядок (космос)?

**ОТВЕТ:** А кто, собственно, вам сказал, что так оно есть? Из второго начала термодинамики вытекает, так называемый, закон возрастания энтропии (очень тесно связано с понятием необратимости направленности процессов во времени). В ваших терминах это означает, что из порядка всегда рождается хаос. Что бы мы ни делали, в результате мы увеличиваем энтропию, а, следовательно, и хаос. Например, если каждый отчет требует трех черновиков, то созданием строгого и точного отчета вы увеличиваете порядок на единицу, но при этом увеличиваете хаос на три единицы, сделав три черновика. Следовательно, хаос всегда в выигрыше.

Наука, изучающая закономерности возникновения порядка в разнообразных системах, называется синергетикой.

Балдин Е.М.

---

**ВОПРОС №76:** Какую массу и скорость должен иметь метеорит, чтобы разрушить Землю?

**ОТВЕТ:** Правильнее ожидать катастрофического по последствиям столкновения Земли с кометой или астероидом.

Будем считать, что с Землей сталкивается комета, которая приближается к Земле с относительной скоростью  $v$ . Тогда, по закону сохранения импульса, после удара система Земля-комета имеет скорость  $u = mv/(M+m)$ , где  $M$  – масса Земли,  $m$  – масса кометы. Видно, что на разрушение остается количество энергии, равное

$$Q = mv^2/2 - (M+m)u^2/2 = (mv^2/2)(M/M+m).$$

Если считать, что  $m \ll M$ , то  $Q \approx mv^2/2$ .

Известно, что при образовании больших кратеров почти все вещество, перемещаемое при образовании кратера, переходит в состояние расплава и пара (Г.Мелош «Образование ударных кратеров», М., Мир, 1994, стр.174–175).

Сделаем оценку: может ли комета своим ударом испарить Землю? Для этого необходимо, чтобы

$$Q \sim Mc\Delta T + Mr,$$

где  $c$  – средняя удельная теплоемкость материала Земли,  $\Delta T$  – средняя температура испарения материала Земли,  $r$  – удельная теплота испарения материала Земли. Легко получить, что

$$m/M \sim (c\Delta T + r)/v^2.$$

Считая  $c \approx 10^3$  Дж/(кг·К),  $\Delta T \approx 3 \cdot 10^3$  К,  $r \approx 6 \cdot 10^6$  Дж/(кг·К), получим  $m/M \sim 10^7/v^2$ . Если комета прилетела издалека, то она имеет скорость порядка 2-ой космической скорости Земли относительно Солнца, что дает на встречных курсах  $v \sim 70$  км/с. Т.е.  $m/M \sim 1/500$ . Поскольку масса тела пропорциональна его объему, а объем шара пропорционален кубу радиуса шара, то радиус кометы, которая могла бы испарить Землю, должен быть не меньше, чем  $1/8$  от радиуса Земли, т.е. около 800 км.

Сделаем другую оценку: может ли комета своим ударом распылить Землю, т.е. распределить все земное вещества по сфере с бесконечным радиусом. Затрачиваемая при этом работа равна энергии гравитационного поля

$$W \sim \gamma M^2 / R,$$

где  $\gamma$  – гравитационная постоянная,  $R$  – радиус Земли.

Положив  $Q \sim W$ , найдем

$$m/M \sim \gamma M / (Rv^2) \sim (v_1/v)^2,$$

где  $v_1$  – первая космическая скорость относительно Земли. Окончательно,  $m/M \sim 1/80$ . Такая комета должна иметь радиус не меньше, чем  $1/4$  от радиуса Земли, т.е. около 1600 км (кстати, это радиус Луны).

*Шелест В.И.*

---

**ВОПРОС №77:** Как работает лазерный принтер?

**ОТВЕТ:** На непроводящую (в темноте) селеновую поверхность фотобарабана коронным разрядом наносится заряд. Модулированный растром луч лазерного диода разворачивается в горизонтальной плоскости четырехгранным вращающимся зеркальцем и попадая на фотобарабан генерирует неосновные носители в полупроводниковом слое селена, порождая фотопроводимость, при помощи которой засвеченный участок барабана разряжается. На заряженные участки барабана налипает красящий порошок, который контактным способом переносится на бумагу, где и запекается при температуре 200°С соответствующей барабанной печкой.

*Балдин Е.М.*

---

**ВОПРОС №78:** Почему зимой становится теплее, когда идет снег?

**ОТВЕТ:** Атмосфера нагревается:

- поглощая солнечную радиацию (около 15 % всего ее количества, приходящего к Земле),
- поглощая собственное излучение земной поверхности,
- получая тепло от земной поверхности путем теплопроводности,
- получая тепло при испарении и последующей конденсации водяного пара.

Будучи нагретой, атмосфера излучает сама. Большая часть атмосферной радиации приходит к земной поверхности, которая поглощает это встречное излучение почти целиком. Встречное излучение возрастает с увеличением облачности, поскольку облака сами сильно излучают. Средняя полуденная энергетическая освещенность составляет около 1 кВт/м<sup>2</sup>. Встречное излучение составляет до 0,3 кВт/м<sup>2</sup>. Ночью земная поверхность остывает с эффективным темпом до 0,1 кВт/м<sup>2</sup>. В облачную погоду ночное охлаждение земной поверхности гораздо меньше. Днем это охлаждение перекрывается или частично компенсируется солнечной радиацией. Таким образом, облачность – одно из объяснений того, что становится теплее, когда идет снег.

С другой стороны, если из облака пошел снег, то образующиеся и падающие снежинки начинают собирать на себя воду, находящуюся в воздухе. При этом размеры снежинок растут, а выделившаяся при кристаллизации теплота нагревает воздух.

Подробнее в книге:

С.П.Хромов "Метеорология и климатология", Л., Гидрометеоиздат, 1983, гл.3.

Л.В.Тарасов "Физика в природе", М., Просвещение, 1988.

---

**ВОПРОС №79:** У нас в городе ломаются компьютеры. Говорят, что это вирус "Чернобыль". Что это за вирус и как от него защититься? Если можете, то пришлите антивирусные базы для "Доктора Вэба".

**ОТВЕТ:** Если ваш компьютер работает, то можете не волноваться – у вас нет этого вируса (по крайне мере, его не было на 26-ое апреля). Этот вирус активизируется 26-го апреля (есть версии, которые активизируются 26-го числа любого месяца) и делает следующие диструктивные действия: пытается испортить flesh BIOS (если есть такая возможность – микросхемы можно восстановить, но без соответствующего опыта это делать не стоит), портит винчестер, периодически записывая мусор на диск. Портятся данные на диске С (первом диске), остальные можно восстановить с помощью ndd, данные на первом диске можно восстановить только частично (это можно сделать с помощью утилиты TIRAMISU – японец заранее побеспокоился).

Win95.CIH – настоящее название этого вируса (это инициалы автора, он с Тайваня, а 26-ое – это скорее всего день его рождения – этот человек идентифицирован и ему, вроде как, грозит тюрьма), "Чернобыль" – это придумали журналисты ...

О существовании этого вируса было известно полгода назад (все антивирусы не старше лета 1998 знают о существовании этого вируса), 25-го сообщили об опасности по центральному телевидению. Так что проблема этого вируса на компьютере – это проблема из серии, что надо мыть руки перед обедом. Надо периодически проверять свой компьютер и не пользоваться подозрительными программами. Лазерные диски, купленные на развале, следует проверять.

Это вирус оказался очень удачным с точки зрения написания вредоносных программок – вот что про него говорят: "Вирус Win95.CIH" – один из самых заметных за последнее время. И не только потому, что он является первым из "вирусов, действительно портящих железо". А, главным образом, потому, что он использует очень интересный фокус с пролезанием на 0-ое кольцо привилегий процессора (в то время как большинство вирусов и юзерских программ – сосут на третьем). После этого вирус может вызывать (и успешно это делает) VxD сервисы и запись в порты. Он не изменяет SYSTEM.INI, он не пишет .VXD-файлов в WINDOWS\SYSTEM, он только заражает PE-файлы... и (иногда) стирает FLASH BIOS и жесткие диски ... Грубо говоря, это первый "по-настоящему резидентный" Win95/98 вирус (еще добавить немножко полиморфизма, и будет все как под DOS). Операционная система Windows95/98 является идеальной платформой для распространения вирусов – ну что тут скажешь – переходите на Linux. Автор компьютерного вируса "Чернобыль" создал его в пику электронным фирмам, "торгующим бесполезными антивирусными программами". Как сообщило агентство "Интерфакс" молодой тайванец Ченг Инг-ху, допрошенный полицией, признался в своем "отцовстве" и заявил, что сожалеет о содеянном и приносит извинения всем пострадавшим. По его словам, он не думал, что введение вируса будет иметь столь серьезные последствия. По разным данным, "Чернобылем" оказались затронуты более 60 млн. компьютеров во всем мире. Вирус, который активизируется 26 апреля, может превратить ПК в никому не нужное "железо". В частности, в Екатеринбурге в нынешнем году из-за "Чернобыля" вовремя не вышли несколько газет... Если молодой программист будет признан виновным, по тайваньским законам ему грозит самое большое 2 года тюрьмы.

Для обнаружения этого вируса на соответствующие интернетовские сайты были выложены необходимые утилиты. Много полезной информации можно почерпнуть у Касперского (<http://www.kasperskylab.ru>). Там вы можете скачать утилиту AVP для обнаружения вируса CIH.

Балдин Е.М.

---

**ВОПРОС №80:** Часто возникает вопрос: зависит ли сила трения между телами от площади соприкосновения тел?

**ОТВЕТ:** Зависимость силы трения от силы давления была установлена экспериментальным путем. Первая формулировка закона трения принадлежит Леонардо да Винчи, который утверждал, что сила трения пропорциональна силе прижатия, направлена против движения и не зависит от площади контакта. Через 180 лет этот закон был переоткрыт Г.Амонтоном и Ш.Кулоном. Кулон экспериментально установил, что коэффициент трения скольжения также зависит от относительной скорости движения поверхностей, продолжительности неподвижного контакта поверхностей и от удельного давления одного тела на другое. Оказалось, что коэффициент трения понижается с уменьшением площади касания. Однако это понижение незначительно. Закон для силы трения  $F = kN$  в силу своей простоты стал общепринятым, хотя уже в XIX веке стало ясно, что он не дает правильного описания силы трения.

В конце XIX века Рейнольдс создал первую теорию смазки. При наличии достаточно толстого слоя смазки сила трения определяется только гидродинамическими свойствами смазочного слоя и с ростом скорости сила трения должна возрастать. Если слой смазки недостаточен, то к силе вязкого трения прибавится "сухое" трение, описанное Кулоном.

В 1902 году Штрибек опубликовал данные о том, что в отсутствии смазки сила сопротивления не падает сразу с уровня максимальной силы трения покоя до силы трения скольжения, а возникает постепенное падение силы с ростом скорости (эффект Штрибека).

Современная модель возникновения сил трения выглядит следующим образом. Граница соприкосновения двух поверхностей в микроскопических масштабах испещрена неровностями. Трение обусловлено не зацеплением выпуклостей друг о друга (если бы это было так, то сила трения обязана была бы зависеть от площади соприкосновения, а этого не наблюдается в эксперименте), а взаимодействием тел в точках соприкосновения на молекулярном уровне. (Подтверждением этому является наличие больших сил трения между тщательно отполированными поверхностями). Один из авторов теории трения Ф.Боуден говорил, что "наложение двух твердых тел одного на другое подобно наложению швейцарских Альп на перевернутые австрийские Альпы – площадь контакта оказывается очень малой", именно поэтому сила трения не зависит от площади поверхности. Но если поверхности начинать сдавливать, то "горные пики" начнут деформироваться и подлинная площадь контакта увеличится пропорционально приложенной нагрузке. Сопротивление относительному сдвигу этих контактных зон и является основным источником трения движения. При наличии сдвигающей силы один "пик" начнет прогибать второй "пик", как бы пытаясь сгладить дорогу, а потом уже скользить по ней. При этом надо учитывать, что имеющиеся пылинки и разрушающаяся поверхностная пленка будут играть роль смазки, усложняя явление. Таким образом, при наложении горизонтальной смещающей силы можно выделить 4 основных режима движения:

- режим упругих микросмещений,
- режим скольжения по площадкам контактов поверхностного слоя,
- при увеличении скорости смазка создает подъемную силу, нарушающую большую часть прямых контактов, снижая тем самым силу трения,
- с увеличением скорости вязкое сопротивление возрастает и сила трения должна увеличиться.

Этим качественным представлениям соответствует график зависимости силы трения от скорости. При этом надо заметить, что если смазка не вводится искусственно, то увеличения силы трения с

ростом скорости почти незаметно и закон Кулона для силы трения скольжения выполняется за исключением малых скоростей при переходе от трения покоя к трению скольжения.

Источники:

И.В.Крагельский, В.С.Щедров «Развитие науки о трении», М., 1956,

Е.А.Бутиков, А.С.Кондратьев "Физика", книга 1, М., 1994, параграф 21,

А.А.Первозванский "Трение – сила знакомая, но таинственная", "Соросовский образовательный журнал" №2, 1998, стр.129.

---

**ВОПРОС №81:** Если предположить, что все здания в Москве построены из кирпичей, какое количество кирпичей для этого понадобится?

**ОТВЕТ:** Для грубой оценки числа кирпичей, необходимых для постройки Москвы, оценим число кирпичей, необходимых для строительства жилых зданий. Выберем модель, в которой для простоты вся Москва застроена 9 - этажными кирпичными домами. Длина такого дома около 100 м, ширина – 12 м, высота – 30 м. Толщина стены – 0,5 м. Толщина перегородки – 0,25 м. Тогда объем кирпичных стен  $2 \cdot (100+12) \cdot 30 \cdot 0,5 = 3360 \text{ м}^3$ .

Объем внутренних перегородок будет примерно такой же (они тоньше, но их суммарная длина больше). Оценим общий объем кирпича, пошедшего на строительство одного 9-этажного дома, в  $6000 \text{ м}^3$ .

Объем одного стандартного кирпича составляет  $0,25 \cdot 0,12 \cdot 0,065 = 0,00195 \text{ м}^3$ . Таким образом, на строительство такого дома понадобится примерно 3 миллиона кирпичей.

В Москве живет приблизительно 10 млн человек. В одном 9-этажном доме указанных размеров в среднем живет 600–700 человек. Для размещения всех жителей нужно приблизительно 16000 таких домов. Перемножив число домов на число кирпичей, необходимых для строительства одного дома, получим около 50 миллиардов кирпичей. Если же учитывать, что в Москве очень много не жилых зданий ( заводы, музеи, различные административные здания, Кремлевские стены и башни и т.д.), количество кирпичей, пожалуй, надо удвоить, а то и утроить. Но порядок величины  $10^{11}$  останется, т.е. нужно несколько сотен миллиардов кирпичей.

Литература: А.С.Енохович «Справочник по физике и технике», М., 1989.

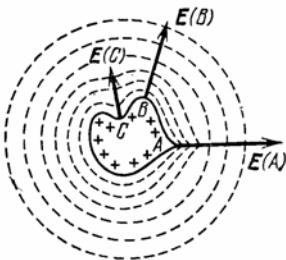
*Кириченко Н.А.*

---

**ВОПРОС №82:** Как доказать, что поверхностная плотность заряда обратно пропорциональна радиусу кривизны поверхности?

**ОТВЕТ:** Рассмотрим для простоты проводник, состоящий из двух проводящих шаров, соединенных проводом. Поскольку потенциалы соединенных шаров равны, а потенциал заряженного шара  $\phi \sim q/r$ , то отношение зарядов шаров равно отношению их радиусов. Поверхностная плотность заряда  $\sigma = q/S$ . Зная поверхность шара  $S = 4\pi r^2$ , можно найти отношение поверхностных плотностей зарядов: оно будет обратно пропорционально радиусам шаров.

Пусть имеется заряженный проводник какой-то сложной формы. Поскольку по поверхности проводника не течет ток, то потенциалы в разных точках проводника одинаковы. Заряженный проводник является эквипотенциальной поверхностью. Электрическое поле на внешней поверхности проводника направлено по нормали к поверхности. Величина этого поля пропорциональна поверхностной плотности заряда. Но заряды на поверхности проводника могут располагаться совсем неравномерно.



Рассмотрим заряженный одиночный проводник неправильной формы (см. рисунок). Допустим, что внешнее поле отсутствует, а сам проводник положительно заряжен. На очень больших расстояниях от проводника создаваемое им поле будет почти таким же, как поле точечного заряда. Следовательно, вдали от проводника эквипотенциальные поверхности будут близки к концентрическим сферам. Непосредственно около проводника эквипотенциальной является поверхность проводника. Поэтому, как видно из рисунка, эквипотенциальные поверхности будут сгущены около выступов проводника и разрежены около впадин в нем. Только в этом случае форма эквипотенциальной поверхности будет плавно превращаться из формы, повторяющей поверхность проводника, в сферу по мере удаления от проводника. Но там, где эквипотенциальные поверхности расположены гуще, быстрее изменяется потенциал, а, следовательно, больше электрическое поле. Отсюда следует, что на поверхности проводника поле (и плотность заряда) на выступах больше, чем на впадинах.

Особенно велики электрические поля на металлических остриях. Поле у острия отрицательно заряженного проводника может даже оказаться достаточным для уравновешивания работы выхода. В этом случае с острия будут стекать электроны.

Источник:

А.В.Астахов, Ю.М.Широков «Электромагнитное поле», М., Наука, 1980, параграф 17.2.

Подробнее в книгах: Г.Е.Зильберман «Электричество и магнетизм», М., Наука, 1970, параграф 30; Д.В.Сивухин "Общий курс физики" том 3, параграф 19 "Вычисление потенциала по напряженности поля".

**ВОПРОС №83:** Дано заряженное кольцо из проводящего материала, какие силы действуют на него, и под действием каких сил такое кольцо способно разорваться из-за заряда сосредоточенного на нём? Известны  $E$ ,  $Q$ ,  $R$ , и т.д.

**ОТВЕТ:** Интуитивно ясно, что благодаря взаимному отталкиванию одноименных зарядов, кольцо натягивается и стремится разорваться. Если все делать точно, то следует выбрать тороидальную систему координат (в которой эквипотенциальная тороидальная поверхность кольца является координатной поверхностью) и все решать там. Это уже совсем не школьная задача! Поэтому мы поступим проще и получим оценочное решение (тем не менее без интегралов и тут не обойтись).

Пусть  $Q$  – заряд кольца,  $R$  – его радиус,  $r$  – радиус провода, из которого сделано кольцо. Будем считать, что малый радиус тороидального кольца много меньше, чем большой:  $r \ll R$ . Тогда поле вблизи проводника кольца можно приблизительно считать полем заряженного цилиндра:  $E = kQ / (\pi Rr)$ , где  $k$  – константа в законе Кулона.

Плотность энергии электрического поля равна  $w = E^2 / (8\pi k)$ . Тогда энергию поля, сосредо-точенноговблизи кольца, можно оценить как

$$W = \int w dV, \text{ где } dV = (2\pi R)(2\pi r)dr,$$

r

откуда  $W = kQ^2 \ln(R/r) / (2\pi R)$ .

Натяжение вдоль большой и малой образующей кольца-тора находится как изменение электростатической энергии при изменении соответствующего радиуса:

$$T_R = -dW / d(2\pi R) = kQ^2 (\ln(R/r) - 1) / (4\pi^2 R^2),$$

что при  $R \gg r$  дает

$$T_R = kQ^2 \ln(R/r) / (4\pi^2 R^2), \quad (1)$$

$$T_r = -dW / d(2\pi r) = kQ^2 / (4\pi^2 Rr) \quad (2)$$

(дополнительные  $2\pi$  в знаменателе возникли потому, что на самом деле производная берется не по радиусу, а по длине окружности).

Анализируя выражения (1) и (2), можно видеть, что разрывающие силы пропорциональны квадрату заряда тора. Сила  $T_R$  обратно пропорциональна квадрату радиуса большой образующей тора и слабо (логарифмически) зависит от отношения большого радиуса тора к малому. Сила  $T_r$  обратно пропорциональна как большому, так и малому радиусу тора.

Очевидно, что сила  $T_R$ , стремящаяся растянуть наш тор вдоль большой окружности, меньше силы  $T_r$ , стремящейся растянуть его вдоль малой образующей (сделать бублик толще) в отношении  $T_R / T_r = (r/R) \ln(R/r)$ . Поскольку логарифм является медленной функцией по сравнению со степенной, то при  $R \gg r$   $T_R / T_r \approx r/R$ .

Силы  $T_R$  и  $T_r$  направлены вдоль поверхности тора нормально к малой и к большой образующим тора соответственно. Если сравнить силы натяжения на единицу длины  $\sigma_R = T_R / (2\pi r)$  и  $\sigma_r = T_r / (2\pi R)$ , то окажется, что натяжения поверхности тора по обоим направлениям практически равны (но вдоль длинной образующей натяжение все-таки немного (логарифмически) больше).

Т.о. видно, что «тонкий» тор (пер  $R \gg r$ ) будет разорван электростатическими силами, когда разрывающее усилие превзойдет предел прочности сплошного тора на разрыв:

$$kQ^2 / (4\pi^2 R^2) > \sigma r^2,$$

где  $\sigma$  – предел прочности материала тора на разрыв.

Этот критерий на разрыв кольца легко получить методом размерностей с точностью до коэффициента.

Воробьев П.В.

---

**ВОПРОС 84:** Расскажите подробнее о дискретизации и квантовании цифрового сигнала.

**ОТВЕТ:** В последнее время в технике идет переход на цифровые методы обработки информации. Это связано с тем, что цифровую информацию легче хранить (появились дешевые и удобные устройства для хранения информации, такие как жесткие диски компьютеров или лазерные диски), а также с тем, что цифровую информацию легко передавать по современным линиям связи практически без потерь.

Аналоговый сигнал – это в простейшем случае число  $x(t)$ , зависящее от времени  $t$ . При записи на носитель информации или воспроизведении с него сигнал неизбежно искажается различного рода шумами. Восстановить искаженный сигнал (убрать шумы) нельзя. Можно, конечно, пытаться подавлять шумы, используя некоторую дополнительную информацию (например, можно подавлять частоты, в которых сосредоточены шумы), но при этом мы теряем также и информацию о самом сигнале, т.е. опять же вносим искажения.

При оцифровке сигнала  $x(t)$  производятся две операции – дискретизация и квантование. Дискретизация – это замена сигнала  $x(t)$  с непрерывным временем  $t$  на дискретизованный сигнал – последовательность чисел  $x(t_i)$  для дискретного набора моментов времени  $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots$  (чаще всего интервалы между моментами времени  $\Delta t = t_i - t_{i-1}$  берутся одинаковыми). При дискретизации, конечно, часть информации о сигнале теряется. Но если сигнал  $x(t)$  за время  $\Delta t$  не сильно изменяется, числа  $x(t_i)$  и  $x(t_{i-1})$  близки друг к другу, то поведение  $x(t)$  между временами  $t_i$  и  $t_{i-1}$  нетрудно восстановить (сигнал практически линейно изменяется во времени от  $x(t_{i-1})$  до  $x(t_i)$ ). При дискретизации мы теряем частотные составляющие сигнала с частотами порядка  $f \sim 1/\Delta t$  и выше.

При дискретизации время из аналогового как бы становится цифровым – моменты времени  $t_i$  можно нумеровать, кодировать. Производится замена непрерывного времени  $t$  на нечто, которое может принимать не все значения, а только некоторые, а именно  $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots$ . Квантование сигнала – это нечто похожее, только данная процедура производится не со временем, а со значением сигнала  $x$ . Выбирается некий набор возможных значение сигнала  $x_1, x_2, \dots, x_n, \dots$  и каждому  $x(t_i)$  сопоставляется ближайшее число из этого набора.

Приведем конкретный пример дискретизации и квантования: пусть сигнал  $x(t)$  такой, что  $x(t) = t^{1/2}$ , шаг дискретизации  $\Delta t = 0.1$  (т.е. набор моментов времени  $t = 0, 0.1, 0.2, \dots$ ), значение сигнала  $x$  мы будем записывать с точностью до одной сотой (т.е. набор значений сигнала  $x = 0, \pm 0.01, \pm 0.02, \dots$ ). После дискретизации сигнала получим

$$\begin{array}{cccccc} x & = & 0. & 0.3162\dots & 0.4472\dots & 0.5477\dots & 0.6324\dots \dots \\ t & = & 0 & 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.4 & \dots \end{array}$$

Учитывая точность хранения значений  $x$ , после квантования получаем

$$\begin{array}{cccccc} x & = & 0. & 0.32 & 0.45 & 0.55 & 0.63 & \dots \\ t & = & 0 & 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.4 & \dots \end{array}$$

При дискретизации мы теряем высокие ( $f > 1/\Delta t$ ) частоты сигнала, при квантовании мы теряем маленькие (меньше  $\Delta x = x_n - x_{n-1}$ ) изменения сигнала. Кроме того, получившийся после квантования сигнал  $x_n(t_i)$  отличается от реального (но уже дискретизованного) сигнала  $x(t_i)$  на величину порядка шага квантования (или кванта)  $\Delta x$ . Это различие носит название шума квантования, и оно принципиально неустранимо.

Для примера, описанного выше, имеем

$$\begin{array}{cccccc} x(t_i) & = & 0. & 0.3162\dots & 0.4472\dots & 0.5477\dots & 0.6324\dots \dots \\ x_n(t_i) & = & 0. & 0.32 & 0.45 & 0.55 & 0.63 & \dots \\ t_i & = & 0 & 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.4 & \dots \\ \text{шум квантования} & \approx & 0. & 0.00377 & 0.00279 & 0.00228 & -0.00246 & \dots \end{array}$$

Иногда, чтобы внести в сигнал минимальные искажения, квантование делают так, что интервалы  $\Delta x = x_n - x_{n-1}$  делаются неравными (нелинейное квантование). Например, часто делают  $\Delta x$  маленьким при малом значении сигнала, чтобы относительная погрешность (шум квантования/сигнал) не становилась очень большой при малых  $x$ . Например, принимают  $\Delta x = \varepsilon x$ , где  $\varepsilon$  – маленькое число (так называемое логарифмическое квантование). Нелинейное квантование позволяет получить при приемлемой точности хранения сигнала большой динамический диапазон (отношение максимального значения сигнала к минимальному или к величине кванта).

Перевод аналогового сигнала в цифровой выполняется специальными устройствами – аналогово-цифровыми преобразователями (АЦП). Основными параметрами АЦП являются частота дискретизации  $f$  ( $f = 1/\Delta t$ ) и разрядность АЦП (количество двоичных разрядов, в которых хранится значение сигнала  $x$ , число возможных значений квантованного сигнала равно  $2^N$ , где  $N$  – число разрядов). Чем выше

разрядность АЦП, с тем большей точностью можно хранить сигнал ( $\Delta x$  мало), но тем медленнее он работает (больше  $\Delta t$ ).

Устройство, производящее обратную операцию (чтобы передать оцифрованный сигнал на какое-нибудь воспроизводящее устройство (динамик, телевизор, приводной мотор и т.д.)), называется цифроаналоговым преобразователем (ЦАП). Принципиальные схемы АЦП и ЦАП следует искать в книжках по радиоэлектронике (о принципах работы некоторых схем смотрите в книге И.П.Золотухина, А.А.Изюмова, М.М.Райзмана «Цифровые звуковые магнитофоны» (Томск, Радио и связь, Томский отдел, Массовая радиобиблиотека, вып. 1153, 1990).

Приведем для справки параметры известного стандарта CD: частота дискретизации  $f = 44.1$  кГц, линейное квантование, 16 двоичных разрядов.

$$f = 44.1$$

Цифровую информацию можно передать по линии связи практически без потерь. При передаче сигнал сначала превращается в аналоговый, пересыпается, после чего опять оцифровывается. Если линия связи вносит искажения в сигнал меньше чем шаг квантования, то после передачи и оцифровки полученный оцифрованный сигнал не будет отличаться от начального. Обычно же информация передается с помощью двоичных импульсов, т.е. для восстановления сигнала необходимо лишь решать, передали 1 или 0. При передаче двоичной информации по линии связи естественно слегка смещается время прибытия импульса, но если смещение меньше расстояния между импульсами, то место импульса в общей последовательности легко восстанавливается. Дополнительную защиту дает применение кодов с устранением ошибок (коды Хэмминга, Рида-Соломона и др.).

Степанов М.Г.

---

### ВОПРОС №85: Сколько лет астрономии?

**ОТВЕТ:** Астрономия – одна из самых древних наук. Вначале астрономия носила религиозный и прикладной характер. Первые «каменные календари», где отмечались точки восхода и захода Солнца в дни равноденствий и солнцестояний, датируются около 2–20 тыс. лет до н.э. (например, Стоунхендж в Англии, «каменные сундуки» в Хакасии (Красноярский край), «обсерватории» в Армении и т.д.). Стоунхендж настолько стар, что в эпоху античности его истинная история была забыта. К настоящему времени доказано, что Стоунхендж – это своего рода лунно-солнечный календарь. Каждый его камень, каждая лунка, а также ряд линий, проведенных от наблюдателя, соответствуют определенной конфигурации Земля-Луна-Солнце.

Большое количество текстов, посвященных астрономическим наблюдениям в Египте, относятся ко времени Среднего (2052–1786 г. до н.э.) и Нового царства (1554–1072 г. до н.э.). Существовала ли астрономия во времена Древнего царства (2664–2155 г. до н.э.) науке не известно. Единственный текст эпохи Древнего царства, имеющий отношение к астрономии, – это табличка из слоновой кости, найденная в гробнице в Абидосе, на которой вырезан текст: "Сотис – предвестник нового года и наводнений" (существуют и другие переводы этой надписи, например, "Сотис блистающая взошла на небе и Нил выходит из своих берегов").

В Вавилоне и Ассирии астрономия получила большее развитие, чем в Египте. Старовавилонская цивилизация (XIX–XVI век до н.э.) продолжает традиции более древней цивилизации шумеров (клинопись, запись чисел, методы наблюдений и регистрации результатов). В Вавилоне этого времени уже составлялись астрологические прогнозы, основанные на перемещении Луны и состоянии неба в день, когда месяц становился виден в начале нового года. До нас дошла обширная серия клинописных текстов астрологии второго тысячелетия до н.э. (серия "Энума Ану Энлиль") в которой содержится

около 7000 предзнаменований, составленных с использованием наблюдений Венеры, Солнца, Луны, планет, звезд, общего состояния неба и сумеречного сегмента.

На востоке астрономия была наиболее развита в Китае. Китайские авторы относят возникновение астрономии, как науки, ко второму тысячелетию до нашей эры. Однако в Китае нет астрономических документов того времени (по крайней мере, они неизвестны европейцам). Регулярные астрономические наблюдения в Китае начались в первом тысячелетии до н.э.

На территории бывшего Советского Союза самые древние памятники, связанные с астрономией, связаны с цивилизацией Урарту (территория современной Армении).

Однако наукой астрономия стала лишь тогда, когда от разрозненных сведений о небе перешли к их систематическому изучению, стали исследовать как особую часть природы, вне зависимости от того, нужно это для хозяйственной деятельности или нет.

Первые попытки в этом направлении были сделаны Аристотелем (Греция, 4 в. до н.э.), но особый, неоценимый вклад в становление астрономии, как науки, сделал Гиппарх (Греция, 2 в. до н.э.). Он составил каталог около 850 звезд, ввел географические и астрономические координаты, изобрел армиллярную сферу, открыл явление прецессии.

Подзорная труба была открыта до Галилея, но пребывала в неизвестности более 20 лет. Побыв в руках великого ученого всего 10 месяцев, подзорная труба превратилась в главное действующее лицо науки нового времени. Первая его работа "Sidereus nuncius" ("Звездный вестник"), посвященная его исследованием звездного неба с помощью нового инструмента, вышла 12 марта 1610 года.

Т.о., начало астрономии, как науки, можно обозначить 2–5 в.в. до н.э.

Литература:

А.Паннекук "История астрономии", М., 1966,

Дж.Хокинс, Дж.Уайт "Разгадка тайны Стоунхенджа", М., 1973,

Б.Ван-дер-Варден "Пробуждающаяся наука II. Рождение астрономии", М., 1991.

Кириченко Н.А.

---

#### **ВОПРОС №86:** Почему во время цветения черемухи бывают похолодания?

**ОТВЕТ:** Графически представляя годовой ход температуры воздуха по средним месячным ее значениям, т.е. по 12 точкам, мы получим плавную кривую синусоидального характера. Но если представить годовой ход температуры по средним суточным данным, то и за многолетний (даже за столетний) период кривая не получится вполне плавной. На ней будут зазубрины, возмущения, обусловленные непериодическими изменениями температуры.

Некоторые возмущения в ходе температуры особенно значительны и распространяются на несколько дней подряд; это может быть, например, падение температуры весной на фоне ее общего роста. Такого рода возмущения можно объяснить тем, что потепления или похолодания повторяются из года в год (хотя и не обязательно каждый год) в некоторые более или менее устойчивые календарные сроки. Поэтому и на климатологической кривой остаются соответствующие возмущения, называемые календарными особенностями.

Так, весной в Европе, когда температура в годовом ходе вообще повышается, есть такие календарные периоды, когда на климатологических кривых, построенных по дням, температура существенно падает или, по крайней мере, рост ее замедляется. Так бывает, например, в первой половине мая и около половины июня. Известны возвраты холодов и в первой половине февраля. Напротив, осенью, в конце сентября или начале октября, когда температура вообще падает,

наблюдается временное замедление этого падения, а в отдельные годы даже смена его на рост в течение нескольких суток. Такие осенние периоды потепления называются бабьим летом.

Не следует, конечно, думать, что в отдельные годы определенные изменения температуры появляются всегда в одни и те же дни. Сроки их наступления в разные годы могут быть разными. Так, майские холода могут наблюдаться и в начале, и в середине, и в конце месяца, могут и не наблюдаться вовсе. Но наиболее часто они будут происходить в первой половине месяца, что и отражается на климатологической кривой.

Объяснением календарных особенностей является изменение баланса распределения солнечной энергии, поступающей на Землю. Например, начало активного цветения растительности весной приводит к заметному росту поглощения солнечной энергии растительностью, и, наоборот, осыпание листьев осенью – заметно уменьшает поглощение солнечной энергии растительностью.

С метеорологической точки зрения «бабье лето» – это первый осенний период с устойчивой антициклонической погодой, когда ночное выхолаживание почвы и воздуха еще не слишком сильное, а дневной прогрев хотя и существует, но не достигает предела, который воспринимался бы как жара.

В других странах существуют свои названия этого периода приятной погоды: например, в США он получил название «киндейского лета».

Источники:

С.П.Хромов «Метеорология и климатология», Л., Гидрометеоиздат, 1983,  
П.Д.Астапенко «Вопросы о погоде», Л., Гидрометеоиздат, 1987.

---

**ВОПРОС №87:** Насколько состоятельна гипотеза об уменьшении скорости света с течением времени?

**ОТВЕТ:** Вопрос о зависимости фундаментальных констант от времени был впервые поставлен П.Дираком в 1937 г. Можно насчитать немало различных фундаментальных постоянных, которые, грубо говоря, по порядку величины равны единице, например,  $\alpha = e^2/hc \approx 1/137$ ,  $m_e/m_\mu \approx 1/200$ , и т.д. С другой стороны, легко увидеть и очень большие безразмерные постоянные, такие, как отношение силы электростатического притяжения между электроном и протоном к силе гравитационного притяжению между ними,  $e^2/Gm_p m_e \approx 2 \cdot 10^{39}$ .

Дирак предположил, что такие значения не являются просто игрой чисел, а представляют собой изменяющиеся параметры, которые характеризуют современное состояние Вселенной. Он отметил, что возраст Вселенной, выраженный в естественных единицах  $e^2/m_e c^3 \approx 10^{-23}$  с, соответствует величине  $e^2/Gm_p m_e$ . Данная временная единица, названная темптоном, равна промежутку времени, за который свет в вакууме проходит расстояние в один радиус электрона. Возраст Вселенной примерно равен  $10 \cdot 10^9$  лет или  $3 \cdot 10^{40}$  темптонов. Это число очень близко к величине отмеченного выше отношения.

Дирак предположил, что такое совпадение не случайно, а эти два числа должны быть практически одинаковыми в любой момент времени (дираковская гипотеза о больших числах), т.е.

$$Gm_p m_e / e^2 \approx m_e c^3 t / e^2. \quad (1)$$

Следовательно, безразмерные постоянные, по порядку величины равные  $10^{40}$ , должны линейно изменяться во времени. Если считать, что атомные постоянные не зависят от времени, то гравитационная постоянная G должна уменьшаться с течением времени t:

$$G \sim t^{-1}. \quad (2)$$

Эту гипотезу можно обобщить таким образом, что безразмерные числа порядка  $(10^{40})^n$  должны изменяться по закону  $t^n$ . Если оценить число барионов во Вселенной путем деления видимой массы Вселенной на протонную массу, то в результате получится примерно  $10^{78}$  барионов. Дирак предсказал

увеличение числа барионов во Вселенной по закону  $t^2$ .

Примерно, через 10 лет после этого Э.Теллер показал, что уменьшение G по закону  $t^{-1}$ , по-видимому, противоречит наблюдениям, связанным с эволюцией Вселенной. Ему удалось получить соотношение между светимостью L звезды, массой M и гравитационной постоянной G:

$$L \sim G^7 M^5. \quad (3)$$

Поэтому большее значение G в более ранние периоды приводило бы к большей светимости Солнца и меньшему радиусу земной орбиты  $R \sim G^{-1}$ .

Согласно гипотезе Дирака изменение гравитационной постоянной со временем непосредственно связано со скоростью расширения Вселенной, так называемой константой Хаббла  $H = 40 \div 100 \text{ км}\cdot\text{Мпс}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$ :

$$|G'/G| = H = (4 \cdot 10^{-11} \div 1 \cdot 10^{-10}) \text{ лет}^{-1}. \quad (4).$$

Если G уменьшается со временем, то  $G'/G \approx -5 \cdot 10^{-11} \text{ лет}^{-1}$ . В этом случае температура поверхности Земли около двух миллиардов лет назад была бы несовместима с развитием жизни на нашей планете. Поэтому в рамках концепции эволюции соотношение (2) исключается. Астрофизические данные также противоречат этой зависимости.

В 1967 г. Дж.Гамов предположил, что G в формуле (1) могла бы оставаться постоянной, если бы элементарный заряд возрастал со временем:  $e^2 \sim t$ .

Работая независимо, Э.Теллер выдвинул гипотезу  $\alpha^{-1} = hc / e^2 \sim \ln(t m_e c^2 / h)$ . Однако изучение систем атомов  $^{187}\text{Re} - ^{187}\text{Os}$  поставило под сомнение оба подхода.

Недавно было признано, что вышеупомянутые аргументы, противоречащие предположению  $G \sim t^{-1}$ , не имеют более силы. Противоречие с астрофизикой состояло в том, что Солнце должно быть уже красным гигантом, если возраст Вселенной не менее 15 миллиардов лет. До 1964 г. это значение считалось слишком большим, однако в настоящее время возраст Вселенной оценивается равным от 10 до 20 миллиардов лет. Теллеровские аргументы о светимости Солнца и температуре Земли также были опровергнуты. Прецизионное исследование систем, которые подвержены только воздействию гравитации, показывают, что G и M всегда входят в выражения в виде комбинации GM. Так, при рассмотрении структуры Солнца применяется следующее дополнительное условие:  $GM = \text{const}$ , следовательно, светимость звезды практически не зависит от времени. Этот аспект не принимался во внимание Теллером и другими авторами, поэтому уравнение (3), которое предсказывает сильную зависимость L от G и M, теряет силу.

Умозрительные идеи Дирака повлекли за собой множество экспериментов, задачей которых был поиск возможной зависимости фундаментальных констант от времени. Важность этих измерений возросла после выдвижения новых теоретических моделей, в которых константы связи сопоставляются радиусам, так называемых, компактифицированных размерностей. Дело в том, что до сих пор современные теории не дают количественных предсказаний о характере возможной зависимости фундаментальных физических констант от времени. Однако такая зависимость допускается в рамках моделей с числом размерностей, превышающим четыре, в, так называемых, теориях Калуцы-Клейна. При очень специальных предположениях в суперструнных теориях предсказывается изменение во времени гравитационной постоянной с  $G'/G \approx -1 \cdot 10^{-11 \pm 1} \text{ лет}^{-1}$ .

Укажем еще на одно интересное следствие возможной зависимости гравитационной постоянной G от времени. В рамках ньютоновской механики зависимость от времени константы G приводит к нарушению закона сохранения энергии, что легко видно из следующего рассмотрения. Пусть небольшой шарик и кольцо двигаются навстречу друг другу из бесконечности под действием взаимного притяжения. В некоторый момент времени шарик пролетает через кольцо, и эти объекты, продолжая

свое движение, удаляются друг от друга. Если  $G(t)$  уменьшается со временем, то сила притяжения между шариком и кольцом на некотором расстоянии между ними во время сближения оказывается больше, чем эта же сила на том же расстоянии во время их разлета. Следовательно, относительная скорость и, тем самым, кинетическая энергия после встречи объектов оказываются больше, чем перед их встречей. Поскольку потенциальная энергия обращается в ноль на больших расстояниях между телами, то в случае взаимодействующих частиц нарушается закон сохранения энергии. Следовательно, требование сохранения энергии и ньютоновский закон тяготения в форме  $F(r) = -G(t) m_1 m_2 / r^2$  не совместимы, если  $G(t) \neq \text{const}$ .

Если предположить, что закон сохранения энергии более фундаментален, чем закон тяготения Ньютона, то можно получить некоторое новое выражение для силы притяжения. Численные значения возникшей поправки соответствуют постоянной Хаббла, данной в формуле (4). Такой поправкой обычно пренебрегают.

Из нового соотношения для силы притяжения следует, что если гравитация зависит от времени, то во Вселенной не может быть двух частиц, неподвижных друг относительно друга. Это заключение согласуется с наблюдением, что практически все физические системы находятся в состоянии относительного движения, начиная с вакуумных флуктуаций микроскопических систем и кончая расширением Вселенной. Поскольку новое соотношение для силы притяжения не имеет строго радиального характера, то в общем случае угловой момент может не сохраняться.

Ожидаемое изменение фундаментальных констант крайне мало, поэтому требуются очень точные измерения. Отметим, что в таких экспериментах часто определяют не одну только константу связи, а некоторую комбинацию нескольких констант. Поэтому интерпретация результатов измерений сильно зависит от того, вариация какой константы рассматривается. При определенных обстоятельствах в таких комбинациях искомая зависимость может полностью теряться. Кроме того, необходимо быть уверенным в том, что в основе измерения не заложено предположение о постоянстве величин, временную зависимость которых предстоит измерить.

Эксперименты можно разделить на две категории. Одни состоят в измерении вариации фундаментальных констант при современных условиях, а другие  $G$  – в геофизических и астрономических наблюдениях, которые позволяют сравнить современное значение константы с ее значением в более ранний момент времени или со средним значением за некоторые временные отрезки в прошлом. Например, результаты какой-нибудь реакции, протекавшей много лет назад, можно сравнить с современными результатами той же реакции. Соответствующие сечения реакции позволяют получить информацию о константах связи. Одна из проблем геофизических экспериментов заключается в процедуре определения возраста образцов, так как популярный метод, состоящий в измерении радиоактивности, также зависит от констант связи.

Известно много экспериментов обеих категорий. В таблице приведены ограничения, полученные для различных констант ( $H = h \cdot 100 \text{ км} \cdot \text{Мпс}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$  при  $0,4 < h < 1$ ):

Метод	Величина $Q$	$d(\ln Q) / dt$ , лет $^{-1}$
Орбита планет	$G$	$(0,2 \pm 0,4) \cdot 10^{-11}$
Сравнение часов	$\frac{g_{Cs}}{(m_e / m_{Cs})^\alpha^3}$	$< 1,2 \cdot 10^{-11}$
Реактор	$\alpha$	$< 1 \cdot 10^{-17}$

Тонкая структура	$\alpha$	$< 1,3 \cdot 10^{-13}$
Сверхтонкое расщепление	$\alpha$	$< 2 \cdot 10^{-14}$
Время жизни $^{187}\text{Re}$	$\alpha$	$< 2 \cdot 10^{-15}$
Ядерный синтез	$\alpha$	$< 1,5 \cdot 10^{-14}$
Ядерный синтез	G	$< 9 \cdot 10^{-13}$
Красное смещение	h	$(-3 \pm 4) \cdot 10^{-13}$

В таблице приведены наиболее важные результаты, касающиеся проблемы постоянства фундаментальных физических констант. Они полностью исключают гипотезу Дирака. Отметим, однако, что эти ограничения в ряде случаев справедливы только в предположении, что все остальные константы не зависят от времени.

Возможно, что до сих пор поиск зависимости мировых констант от времени проводился на неадекватном временном масштабе. В общем случае предполагается, что константы изменяются как степени космологического времени  $H^{-1}$ . Однако, вполне допустимо считать, что компактификация дополнительных размерностей закончилась очень быстро и их радиусы сегодня всего лишь осциллируют вблизи своих положений равновесия. В этом случае адекватный временной масштаб определялся бы планковским временем  $\sim 5 \cdot 10^{-44}$  с и поэтому наблюдаемые величины представляли бы только средние значения, усредненные по большому числу осцилляций.

Недавно группа ученых из Университета Нового Южного Уэльса в Австралии проверяла предположение о постоянстве  $\alpha$ , сравнивая «старинный» свет, испущенный древними атомами, с современным светом, испущенным атомами недавно. В частности, они сравнивали расщепление линий в дуплетах в спектрах поглощения различных атомов в отдаленных газовых облаках, находящихся перед отдаленными квазарами. Расщепление линий пропорционально  $\alpha^2$ . После учета красного смещения, вызванного расширением Вселенной, было получено, что  $\alpha$  монотонно изменяется с ростом красного смещения z. При  $z > 1$  относительное изменение  $\alpha$  составило около  $2 \cdot 10^{-4}$ .

Источники:

Г.В.Клапдор-Клайнгроухаус, А.Штаудт «Неускорительная физика элементарных частиц», М., Наука, 1997, глава 12,  
The American Institute of Physics Bulletin of Physics News Number 410 January 13, 1999.

**ВОПРОС №88:** Что такая вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли? Каким прибором пользуются для её определения? Опишите, пожалуйста, его строение. Как можно его изготовить?

**ОТВЕТ:** Известно, что у Земли есть собственное магнитное поле (именно, благодаря этому, мы и можем пользоваться магнитным компасом). В первом и достаточно точном приближении магнитное поле Земли (МПЗ) можно представить полем точечного магнитного диполя, иначе говоря, рамки с током, расположенной в центре Земли практически в плоскости экватора. И действительно, магнитное поле Земли вызвано, в основном, током, циркулирующим в жидким проводящем ядре Земли, причем ось эквивалентного магнитного диполя отклонена от оси вращения примерно на 11 градусов.

Оценим для разминки ток, создающий МПЗ. Геофизики (сейсмологи) учат нас, что радиус жидкого ядра Земли около 3000 км. Примем, что средний радиус токовой петли 2400 км (или  $2,4 \cdot 10^6$  м). Магнитное поле петли на большом удалении от нее определяется ее магнитным дипольным моментом:

$$m = IS = I\pi r_0^2, \quad (1)$$

где  $I$  – ток,  $S$  – площадь токовой петли,  $r_0$  – ее радиус.

Магнитное поле  $B$  – вектор. Его компоненты в системе координат, где плоскость петли с током ортогональна оси  $Z$  (направление на магнитный полюс Земли) определяются выражениями:

$$B_z = (m / 4\pi\epsilon_0 c^2) (1 / R^3 - 3z^2 / R^5)$$

для компоненты вектора параллельной оси  $Z$  и

$$B_r = (m / 4\pi\epsilon_0 c^2) (3zr / R^5),$$

для компоненты вектора поля, параллельной плоскости экватора. Здесь  $z$  – координата точки измерения поля вдоль полярной оси,  $r$  – координата точки измерения поля в экваториальной плоскости (это просто общезвестная цилиндрическая система координат),  $R = (z^2 + r^2)^{1/2}$ .

Удобнее представить выражение для поля магнитного диполя в сферических координатах:

$$B_v = B_0 \cos\theta, \quad (2)$$

$$B_h = B_0 \sin\theta/2, \quad (3)$$

$$B_0 = 2m / (R_0^3 4\pi\epsilon_0 c^2). \quad (4)$$

Здесь  $B_0$  – магнитное поле на полюсе,  $R_0$  – радиус Земли, а  $\theta$  – полярный угол, отсчитываемый от полярной оси.

На полюсе (магнитном) поле точно вертикально, а на экваторе точно горизонтально относительно поверхности Земли, т.е. вертикальная компонента вектора индукции  $B$  магнитного поля Земли равна нулю на экваторе и достигает максимального значения ( $+B_0$  и  $-B_0$ ) на полюсах.

Вернемся к вычислению кольцевого тока в ядре Земли. Мы знаем, что  $B_0 = 0,63$  гаусса или  $6.3 \cdot 10^{-5}$  Тесла,  $R_0 = 6,4 \cdot 10^6$  м,  $r_0 = 2,4 \cdot 10^6$  м, а  $4\pi\epsilon_0 c^2 = 10^7$ . Тогда из (1) и (4) получим:

$$I = 2B_0 \epsilon_0 c^2 (R_0^3 / r_0^2),$$

что после подстановки соответствующих чисел дает:  $I = 4,5 \cdot 10^9$  А.

Теперь об измерениях компонент магнитного поля. Все знают, что стрелка компаса показывает на север. Это происходит потому, что компас сконструирован так, чтобы чувствовать именно горизонтальную компоненту поля Земли. Чтобы убедиться с помощью обычного компаса в существовании вертикальной составляющей магнитного поля Земли в качестве объекта наблюдения можно использовать обычную батарею центрального отопления. Так как у магнитного поля Земли есть вертикальная составляющая, то у намагниченной батареи возникают как бы два полюса магнита — сверху и снизу: где-нибудь в середине батареи поднесите обычный компас к верхнему краю батареи, а затем и к нижнему — в зависимости от того, к какому краю вы поднесли компас, стрелка компаса отклонится по-разному.

В принципе, подвесив магнитную стрелку на вертикальной упругой нити, можно реализовать магнитные крутильные весы, и, таким образом, измерять как направление (режим компаса), так и величину горизонтальной компоненты магнитного поля Земли. Простейший прибор для измерения вертикальной компоненты индукции магнитного поля Земли тоже построен по принципу торсионных (крутильных) весов. Только теперь упругая нить натянута горизонтально и магнитная стрелка, прикрепленная к ней посередине, располагается тоже горизонтально. Вертикальная компонента магнитного поля стремится повернуть стрелку вертикально, а упругость нити и поле компенсирующего магнитика стремятся вернуть ее в горизонтальное положение. Регулируя закрутку нити и положение компенсирующего магнита можно добиться того, чтобы отклонения стрелки от горизонтального положения не было. При этом степень закрутки нити и положение компенсирующего магнита позволяют измерять величину вертикальной компоненты поля. На этом принципе построены торсионный магнитометры типа М-27М (измеряет вертикальную компоненту МПЗ) и М-15 (измеряет

горизонтальную компоненту МПЗ). Чувствительность таких магнитометров, несмотря на их простоту, довольно велика, порядка 3-5 нанотесла ( $5 \cdot 10^{-9}$  Тл) и лучше.

Вообще для измерения малых полей и их вариаций введена новая единица, которая называется гамма: 1гамма =  $10^{-9}$  Тл = 1 нанотесла. Эту величину следует сравнить с величиной вариации МПЗ при магнитной буре: средняя магнитная буря – 100 гамм, сильная – до 500 гамм. Магнитные бури вызваны возмущением токов, протекающих в ионосфере потоками солнечного ветра.

Магнитометры другого типа:

- протонный прецессионный магнитометр – основан на явлении ядерного магнитного резонанса (ЯМР), чувствительность порядка – 1 гамма (например, ММП-203),
- квантовые оптические магнитометры – основаны на смещении атомных энергетических уровней в магнитном поле (например, ММП-303), чувствительность порядка  $10^{-12}$  Тл (0,001 гамма),
- сверхпроводниковые квантовые магнитометры СКВИДы, чувствительность порядка  $10^{-12} - 10^{-13}$  Тл ( $10^{-4}$  гамма),
- феррозондовые магнитометры, чувствительность порядка  $10^{-10}$  Тл (0,1 гамма).

Феррозонд – наиболее простой магнитометр и его можно сделать самому. Именно, благодаря исключительной простоте легкости и надежности, такие магнитометры используются на самолетах в качестве магнитных компасов, а на космических зондах для измерения межпланетного магнитного поля и собственных магнитных полей планет.

Простейший феррозонд представляет собой относительно длинный и тонкий (например, 50 x 0.5 мм) сердечник из ферромагнетика с высокой магнитной проницаемостью (например, отожженной проволоки из пермаллоя 79 НМ или аморфного железа). Пермаллоевый сердечник обычно отжигается в трубочке из кварцевого стекла, которая в дальнейшем служит каркасом для обмоток и предохраняет пермаллоевую проволочку от механических напряжений. Сердечник из неотожженного аморфного железа имеет несколько меньшую магнитную проницаемость, чем пермаллой, зато не боится механических напряжений. Этот сердечник является магнитопроводом насыщающегося трансформатора, имеющего две обмотки. Одна из них намотана по всей длине сердечника за исключением небольшого участка посередине и является обмоткой возбуждения. Вторая – намотана на среднем участке, свободном от первой обмотки, и является обмоткой считывания. Число витков – несколько сотен. Если на обмотку возбуждения подать переменный ток звуковой частоты (порядка нескольких килогерц) такой амплитуды, чтобы происходило сильное насыщение магнитного сердечника, то на вторичной обмотке возникнут относительно короткие симметричные разнополярные импульсы напряжения в момент прохождения намагничивающего поля через нуль. Если внешнее постоянное (измеряемое) намагничивающее поле равно нулю, то последовательность импульсов разделена одинаковыми интервалами и в частотном спектре этой последовательности присутствуют только нечетные гармоники частоты возбуждения. Подмагничивающее измеряемое поле смешает рабочую точку на петле намагничивания сердечника так, что на одном полупериоде поля возбуждения намагничивание ускоряется, а на другом замедляется. В результате вместо равномерной последовательности разнополярных импульсов получается "хромая" последовательность, в которой временной интервал от положительного до отрицательного импульса не равен интервалу от отрицательного до положительного импульса. Однако, разумеется, интервал между положительными импульсами равен интервалу между отрицательными и, естественно, точно равен периоду сигнала возбуждения. "Хромота" последовательности приводит к тому, что в спектре сигнала считывания появляются четные гармоники сигнала возбуждения, и амплитуда этих гармоник пропорциональна напряженности внешнего (измеряемого) подмагничивающего поля. Обычно в приборах используют

вторую гармонику, так как ее амплитуда заметно больше, чем амплитуда следующих гармоник. Магнитометр имеет максимальную чувствительность для поля, направленного вдоль ферромагнитного сердечника, и нулевую для поля, направленного поперек. В этом смысле феррозонд измеряет проекцию магнитного поля, параллельную сердечнику, и если поставить его вертикально, то будет измерять как раз вертикальную компоненту индукции МПЗ.

Итак, простейший (но довольно чувствительный) феррозондовый магнитометр состоит из:

- насыщающегося трансформатора на линейном пермаллоевом сердечнике с большим удлинением,
- генератора сигнала возбуждения,
- селективного усилителя второй гармоники,
- фазового (синхронного) детектора, если Вы хотите определять еще и ЗНАК компоненты магнитного поля, параллельной зонду.

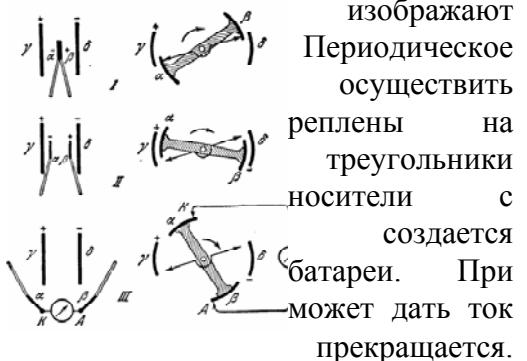
В качестве генератора сигнала возбуждения можно использовать школьный генератор звуковой частоты. В качестве селективного усилителя и индикатора – селективный вольтметр, который должен быть настроен точно на вторую гармонику сигнала возбуждения. Чувствительность Вашего магнитометра будет определяться качеством изготовления феррозонда (насыщающегося трансформатора) и стабильностью настройки генератора и селективного вольтметра. Дрейф нуля Вашего магнитометра будет зависеть от этих же параметров.

*Воробьев П.В.*

### ВОПРОС №89: Как работает электрофорная машина?

**ОТВЕТ:** Первой индукционной машиной был «электрофор», открытый А.Вольта в 1775 г. и объясненный И.К.Вильке в 1777 г. Индукционные (или электростатические) машины представляют собой источники малых токов (редко больше чем  $10^{-5}$  А) и высокого напряжения (часто выше  $10^5$  В).

Носители электричества (рис.1) попарно заряжаются путем электростатической индукции, а расстояние между ними увеличивают путем их механического перемещения. Этап I дает нам картину зарядки носителей в процессе индукции, а этапы II и III разделение зарядов и их перенос к электродам К и А. повторение этих процессов технически проще всего при помощи вращения. Носители электричества  $\alpha$  и  $\beta$  ук-изолирующим вращающимся стержнем. Небольшие черные изображают скользящие контакты, соединяющие эти электродами К и А. Первоначальное поле между  $\gamma$  и  $\delta$  присоединением этих пластин на короткое время к полюсам вращении со скоростью в 10 оборотов в секунду такая машина около  $10^{-8}$  А. При исчезновении поля между  $\gamma$  и  $\delta$  этот ток Для этого достаточно коснуться пальцами пластин  $\gamma$  и  $\delta$  и тем установить между ними проводящее соединение.



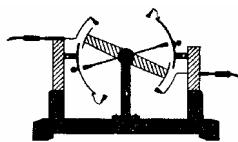
Индукционные машины, предназначенные для практического применения, имеют еще одно добавочное устройство, которое доводит заряд на пластинах  $\gamma$  и  $\delta$  до очень высокого значения и обеспечивает его сохранение, несмотря на неизбежные потери вследствие плохой изоляции. Для осуществления такого добавочного устройства были предложены два процесса.

В первом, так называемом, мультиликаторном процессе заряды, полученные путем индукции, не полностью отводят к месту потребления, а сохраняют часть  $\alpha$  и  $\beta$  и этот остаток переносят при помощи ящиков Фарадея  $F_1$  пластины поля  $\gamma$  и  $\delta$  (на рис.2 обратите внимание на знаки!). усиливается поле, которое участвует в следующем процессе

При переходе к вращающимся машинам уменьшают до размеров двух кусков жести, которые охватывают снаружи. Кроме того, при этом соединяют скользящие электроды не с гальванометром, а со статическим вольтметром, т.е. с конденсатором. Вследствие этого носители  $\alpha$  и  $\beta$ , проходя у электродов К и А, не отдают им весь свой заряд, а сохраняют часть его для передачи в ящики Фарадея  $F_1$  и  $F_2$ . На рис.3 изображена модель, работающая точно по этой схеме. После нескольких оборотов она дает напряжение в несколько тысяч вольт. При этом практически нет необходимости в том, чтобы искусственно создавать исходное напряжение между  $\gamma$  и  $\delta$ . Почти всегда между этими пластинами существует небольшое случайное напряжение, которое быстро повышается в результате мультиликаторного процесса.

Во втором процессе индуцирующие заряды сами усиливаются тем же процессом индукции: пластины  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ ,  $\delta$  имеются в большом количестве и все время меняются ролями. На рис.4 изображены два кольца конденсаторов, вращающихся в противоположные стороны. Цифрами 1–4 отмечены скользящие контакты, попарно соединенные металлическими стержнями. Положим, что на пластинке, отмеченной жирным знаком +, случайно имеется положительный заряд. Между пластинкой + и контактом 1, так же как между пластинкой - и контактом 2 имеется слабое электрическое поле, схематически отмеченное двумя силовыми линиями. Пусть внешнее кольцо будет неподвижно, а внутреннее мы повернем против часовой стрелки на три сегмента. После этого поворота мы получаем картину, изображенную на рис.4б. Вследствие индукции на каждом трех соответственных пластинах внутреннего кольца возник электрический заряд. Самым существенным здесь является то обстоятельство, что все исходящие из этих зарядов линии поля сходятся в контактах 3 и 4, соединенных между собой металлом.

их на носителях и  $F_2$  на Этим ящики Фарадея носители только контакты или



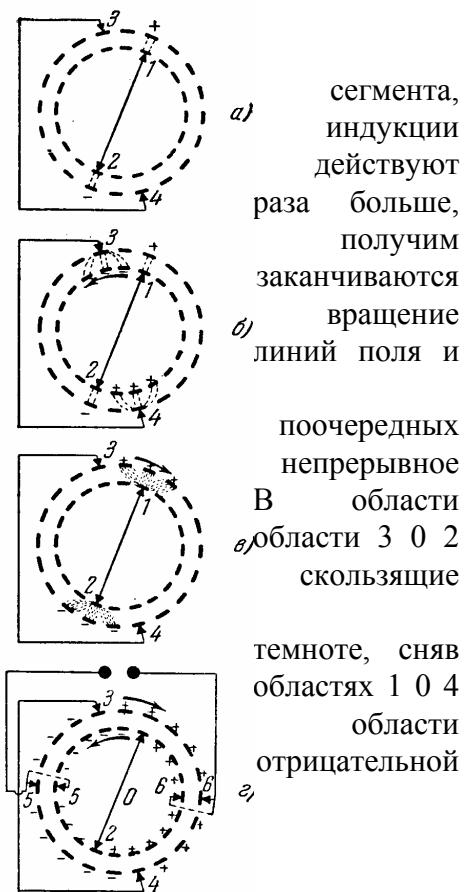
Теперь повернем по часовой стрелке внешнее кольцо на три удерживая внутреннее кольцо неподвижным. Процесс будет происходить у контактов 3 и 4, но при этом каждый раз шесть линий поля, т.е. индуцированные заряды будут в три раза больше, получим заканчиваются вращение линий поля и

Само собой разумеется, что практически вместо поворотов то одного, то другого кольца используют вращение обоих дисков в противоположные стороны (рис.4г). тупого угла 1 0 4 обе пластины заряжены положительно, а в обе они заряжены отрицательно. В этих областях и помещают щетки 5 и 6, служащие клеммами для съема тока.

Очень поучительно наблюдать работающую машину в предварительно щетки 5 и 6. Противоположные заряды в и 3 0 2 отмечаются интенсивным свечением. В положительной наблюдаются длинные красноватые пучки света, а в – фиолетовое сияние.

Источники:

Р.В.Поль «Учение об электричестве», М., 1962, параграф 39,  
Ф.Тэнесеску, Р.Крамарюк «Электростатика в технике», М.,  
глава 4.



Энергия, 1980,

**ВОПРОС №90:** Какое максимальное количество информации возможно записать на магнитооптический носитель в настоящее время?

**ОТВЕТ:** Технология, которая используется при создании обычных лазерных дисков (CD-ом) позволяет записать на один диск около 650 Мбайт информации. Ограничения чисто физические (нельзя создать бесконечно тонкий пучек света из-за дифракции). Если размер физический магнитооптического диска сравним с размером CD, то ограничение на объем записи примерно такое же.

Сейчас идет становление нового формата для записи компакт дисков DVD-ом – объем хранимой информации в несколько раз (от 4-х до 8) превышает объем CD дисков. DVD технология использует для записи сразу несколько слоев в одном диске (вместо 1-го в CD). Может быть скоро появится подобная технология и для магнитооптики.

Для хранения больших объемов данных, когда некритична скорость, лучше всего использовать ленты (около 4 Гб на кассете по объему меньше магнитофонной), если скорость доступа критична, то следует воспользоваться съемными носителями информации – емкость от 250 Мб (дисководы Zip) до 2 Гб (пока нет безусловного лидера). Магнитооптика не прижилась в силу своей относительной дороговизны.

То, что сейчас продаётся на каждом компьютерном углу, имеет такие характеристики: 3,5"-2,6 Gb, 5,25"-5,2 Gb, и это не рекордные объемы. Современный технологический потолок лежит в пределах 20–30 Gb, но для простого покупателя они не доступны.

Рассмотрим принцип работы магнитооптических (МО) дисков. МО диски являются устройствами с, так называемой, поперечной записью информации. Это значит, что намагничивание феррослоя осуществляется перпендикулярно поверхности слоя. Такой способ записи обеспечивает наивысшую плотность записи и широко используется сегодня как в МО системах, так и в системах с записью/считыванием посредством обычной магнитной головки. Правда, головка для поперечной записи/воспроизведения устроена несколько необычно. Она имеет тонкий "игольчатый" полюс для записи и широкий полюс для замыкания потока. В результате, поле вблизи тонкого полюса велико и достаточно для перемагничивания пленки а поле вблизи широкого полюса мало и феррослой под ним не перемагничивается.

Феррослой МО дисков представляет собой многослойное Pt/Co или Sm/Co покрытие (порядка 10 слоев общей толщиной около 10–20 нанометров), причем ось легкого намагничивания перпендикулярна поверхности феррослоя. Коэрцитивная сила МО покрытий колеблется от 1 до 5 килоэрстэд. Столь высокая коэрцитивная сила обеспечивает высокую надежность записи (запись практически невозможно испортить внешними магнитными полями).

Вернемся к работе МО накопителя. Запись производится следующим образом: поле нужного знака (перпендикулярное поверхности феррослоя) создается подмагничивающим сердечником, размер которого вовсе не мал по сравнению с размером ячейки записи (магнитным доменом) в область, где осуществляется запись фокусируется луч полупроводникового лазера. Луч нагревает пленку выше точки Кюри, при этом она размагничивается. При остывании пленка намагничивается в соответствии с направлением поля в подмагничивающей катушке. Ясно, что перемагничивается область феррослоя размер которой соответствует пятну, в которое сфокусирован свет лазера. Оптика учит нас, что минимальный размер светового пятна определяется длиной волны света и не может быть сделан меньше длины волны.

Обычно рабочая длина волны ПП лазера для МО записи около 780 нанометров. Считая, что размер пятна  $0,78 \times 0,78$  микрон получим предельную плотность записи порядка  $1,5 \cdot 10^8 \text{ б/см}^2 = 150 \text{ мегабит/см}^2$ , что при площади поверхности 3-дюймового МО диска  $36 \text{ см}^2$  дает предельную емкость около 670 мегабайт. Реальная плотность записи всегда несколько ниже и сегодня примерно равна  $80 \text{ мегабит/см}^2$  для записи 780 нм лазером с обычной плотностью. Т.о. на 3- дюймовой МО диске помещается примерно 360 мегабайт.

Считывание информации основано на магнитооптическом эффекте Керра. Суть эффекта заключается в том, что при отражении от намагниченной пленки плоскость поляризации светового луча поворачивается. При использовании в оптическом тракте поляриметра это приводит к модуляции яркости отраженного лазерного луча, что позволяет быстро считывать информацию. Понятно, что размер области считывания тоже определяется длиной волны света.

Очевидный путь повышения плотности записи – уменьшение рабочей длины волны лазера. И интенсивные работы в этом направлении ведутся. Сейчас разрабатываются МО системы, работающие на свете с длиной волны порядка 500 нм. Это сразу позволит увеличить плотность записи в 2,5 раза. Однако основной прорыв в проблеме увеличения плотности записи МО носителей произошел в совершенно другом направлении. Инженеры лаборатории Белл (AT&T), использовав оптику ближней зоны, получили рекордную плотность записи. Они сумели записать и прочитать на Pt/Co носитель информацию с плотностью 45 гигабит на кв.дюйм (это  $7 \text{ гигабит/см}^2 = 0,87 \text{ гигабайта/см}^2$  !!! (<http://portal.research.bell-labs.com/leisure/souvenirs/gallery/bits.html>)

При такой плотности записи на 3-дюймовую МО дискету поместится примерно 32 гигабайта! Суть метода в следующем: свет от 780 нм ПП лазера вводится в световод, который заканчивается зеркальным конусом. Минимальный поперечный размер световода по которому свет еще может распространяться

примерно половина длины волны. От более узкого световода свет отражается обратно, а в самом волноводе затухает экспоненциально на характерной длине соответствующей поперечнику световода. Тем не менее, в конической области размер световода уменьшается примерно до 1/10 длины волны. При этом основная часть света отражается назад, но примерно 1/1000 проходит через отверстие в вершине конуса и попадает на феррослой. Оказывается, что ПП лазер мощностью 10 мВт тем не менее обеспечивает запись сигнала (разогрев МО покрытия выше точки Кюри), а для считывания информации достаточно гораздо меньшей мощности. Для того, чтобы свет, проникающий через конус, не рассеивался, отверстие в вершине конуса должно находиться на расстоянии от феррослоя не далее десятка нанометров!

Вообще, следует осознавать, что у Вас на столе в вашей ЭВМ имеется устройство (МО или винчестерский диск с поперечной записью), в котором осуществляется позиционирование считающей/записывающей системы с точностью порядка 1/10 микрона! И все это – несмотря на вибрации стола и тряску!

Дальнейший резерв увеличения плотности записи в уменьшении рабочей длины волны ПП лазера. Это может дать еще, примерно, 3-4 раза.

Балдин Е.М., Воробьев П.В.

Современная технология изготовления компакт-дисков допускает размещение на них информации с плотностью записи не более 160 Мбит/см<sup>2</sup>. Ведущие компании мира интенсивно работают над поиском новых технологических решений, направленных на создание носителей с качественно более высокими показателями. Компания "ИБМ" недавно провела успешные испытания диска, на котором информация размещалась с плотностью 7,2 Гбит/см<sup>2</sup>. Запись и считывание осуществлялись с помощью электронного пучка, а само устройство во многом напоминало электронный микроскоп.

Еще более впечатляют результаты работы П.Краусса и С.Чу (P.Krauss, S.Chou; Университет штата Миннесота, США), сумевших разместить на 1 см<sup>2</sup> 64 Гбит! Успех последовал после применения оригинального метода нанолитографии, разработанного в этом университете. Авторы рекламируют свой метод, как достаточно простой, дешевый и производительный. Печать дисков может производиться по готовой матрице с помощью, так называемой, молдинг-технологии, которая уже стала стандартной. На поверхности демонстрационного диска элементы записи размером 10 нм разнесены на расстояния 40 нм.

В отличие от разработки "ИБМ" коммерческое освоение этих дисков пока сдерживается, поскольку здесь еще не найден эффективный способ считывания информации. По мнению Чу, реализовать считывание можно устройством, конструктивно похожим на профилометр, но работающим в режиме свободных колебаний наконечника. Тончайшая кремниевая игла движется вдоль поверхности диска на очень малом расстоянии от него. Имея высокую добротность, игла колеблется на частоте собственного механического резонанса. Однако взаимодействие с поверхностью диска вызывает вариации этой частоты, что фиксируется электронной схемой и позволяет различать элементы записи.

Измерение микропрофиля поверхности, а в более общем случае – распределения величин, характеризующих физические (и химические) свойства поверхности, восходит к туннельному микроскопу. Затем были созданы атомно-силовой и магнитно-силовой микроскопы.

Вообще, разработчики компакт-дисков полагают, что ближайшие новые образцы будут иметь диаметр всего 2 см, причем если на современном диске умещается лишь 10-минутный видеофильм среднего качества, то на этих маленьких гигантах – 5-часовой, высококачественный!

Источник:  
«Природа» №5, 1999.

---

**ВОПРОС №91:** Известно, что существует солнечный ветер. Луна вращается вокруг Земли по орбите. Почему Луну не "сдует" с орбиты?

**ОТВЕТ:** Как известно, концентрация частиц в солнечном ветре порядка  $4 \text{ см}^{-3}$  и скорость 300 км/сек. Максимальная скорость может несколько превосходить 1000 км/сек. Ветер представляет собой сверхзвуковой поток газа. Индукция магнитного поля солнечного ветра составляет  $5 \cdot 10^{-9} \text{ Тл}$ . (Данные взяты из книги "Физика космоса", М., Советская энциклопедия, 1986, стр.636).

Обычное газодинамическое описание теряет смысл, когда средняя длина свободного пробега молекул в газе становится порядка размера тела, которое этот газ обтекает. Это связано с тем, что закон дисперсии звуковых волн резко меняется, когда длина волны сравнивается с длиной свободного пробега (вообще, в этой области понятие звуковой волны теряет смысл). Но в определенном смысле газ узнает о препятствии (и организует тот или иной режим его обтекания) именно благодаря тому, что в газе могут распространяться возмущения давления – звуковые волны. Можно провести аналогию с электростатикой и сказать, что статическое поле давления вокруг тела, обтекаемого газовым потоком, аналогично кулоновскому полю виртуальных фотонов в случае тела, помещенного в электрическое поле.

В нашем случае нарушено сразу два условия применимости газодинамического приближения: во-первых, длина свободного пробега на много порядков превосходит размер Луны, поэтому взаимодействие потока с Луной надо считать ньютоновым; во-вторых, поток сверхзвуковой, и обтекание ни в каком случае не может быть ламинарным (ударные волны, скачки и все премудрости сверхзвуковой газодинамики). Правда, для немагнитной Луны говорить о сверхзвуковом обтекании бессмысленно, т.к. взаимодействие ньютоново.

Итак, пусть Луна состоит из непроводящих пород. Тогда магнитное поле солнечного ветра (а кроме плазмы и нейтралов в солнечном ветре есть и вмороженное в него магнитное поле) свободно проходит через Луну, а все частицы солнечного ветра падают на лунную поверхность, отдавая ей свой импульс. Плотность потока импульса в солнечном ветре в районе орбиты Земли порядка  $p = m p n v^2 \sim 10^{-9} \text{ Н/м}^2$ . Это дает силу давления солнечного ветра на поверхность Луны порядка  $F \sim D^2 p \sim 10^4 \text{ Н}$ .

Эта сила действует на одном полувитке в одну сторону, а на другом – в другую и, в принципе, за время существования системы Земля-Луна могла бы привести к некоторой эволюции Лунной орбиты (изменению эксцентриситета). Однако, если вспомнить, что орбита Луны обдувается солнечным ветром с разных сторон в течение года, то понятно, что эффект, даже если он и имел бы место, полностью исчезает за счет усреднения.

В пользу ньютона режима обтекания говорит большое содержание  $\text{He}$  (и  $\text{He}_3$ ) в поверхностном слое лунных пород и аномально низкое альбедо лунной поверхности, которое можно объяснить как результат длительной бомбардировки протонами солнечного ветра с энергией порядка 1 КэВ.

Теперь немного о взаимодействии с магнитным полем солнечного ветра. Если проводимость лунных пород не нулевая, то магнитное поле солнечного ветра проникает в Луну за характерное время  $t \sim d^2 s m_0 m$ , где  $t$  – типичное время установления поля в проводящей среде,  $d$  – толщина скин-слоя (равная размеру Луны),  $s$  – проводимость лунных пород,  $m$  – магнитная проницаемость,  $m_0$  – магнитная постоянная.

Если  $t$  заметно больше, чем время пролета солнечного ветра мимо Луны, то магнитное поле "налипает" на солнечную сторону Луны и его напряженность увеличивается. Когда напряженность магнитного поля вырастет настолько, что эффективное давление магнитного поля уравновесит

давление, связанное со скоростным напором солнечного ветра, процесс станет стационарным и магнитное поле на солнечной стороне Луны стабилизируется.

Как мы говорили, поток импульса солнечного ветра  $m p n v^2 \sim 10^{-9} \text{ Н/м}^2$ . Приравнивая это к давлению магнитного поля  $B^2/(2m_0)$ , находим  $B \sim 5 \cdot 10^{-8} \text{ Тл}$ .

Как видим, поле должно, примерно, на порядок превосходить характерное магнитное поле солнечного ветра, и при этом оно должно полностью останавливать плазму солнечного ветра перед поверхностью Луны. В результате, должна возникнуть ударная волна и должно наблюдаться индуцированное дипольное магнитное поле Луны (которое должно менять полярность в соответствии с полярностью локального поля в солнечном ветре).

Здесь снова может появиться газодинамика, несмотря на то, что длина свободного пробега велика. Это связано с тем, что в замагниченной плазме есть свои характерные размеры – ларморовский и дебаевский радиусы (причем, по крайней мере, дебаевский радиус мал по сравнению с размером Луны). Поэтому в магнитной гидродинамике обтекание снова может проходить в газовом (сверхзвуковом) режиме. Но если оценить силу давления солнечного ветра (или магнитного поля) на поверхность Луны, то результат будет того же порядка, что и при ньютоновом обтекании.

Что происходит на самом деле (есть ли у Луны наведенное магнитное поле), я не знаю. Но, как и говорилось выше, сила взаимодействия солнечного ветра с Луной зависит от этого слабо и эффект взаимодействия совершенно незначителен.

И вот еще. Уж если и сравнивать цифры, то не силу давления солнечного ветра с силой притяжения Луны Землей, а изменение импульса Луны на полувитке к ее полному импульсу:  $\Delta p \sim F t \sim 10^{10} \text{ Н}\cdot\text{с}$  – это импульс силы давления за полмесяца,  $P = M V \sim 10^{26} \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{с}$  – это импульс Луны.

Итак, катастрофическое изменение орбиты происходит за  $P/\Delta p \sim 10^{16}$  оборотов или за  $10^{15}$  лет ... – это превосходит время жизни Вселенной! Кроме того, как я говорил выше, следует помнить, что эффект исчезает за счет того, что солнечный ветер в течение года обдувает орбиту Луны со всех сторон.

*Воробьев П.В.*

---

**ДОПОЛНЕНИЕ К ОТВЕТУ НА ВОПРОС №64:** Как измерить массу тела в космосе, ведь там нет веса?

**ОТВЕТ:** Поговорим об измерении массы в условиях невесомости (в космическом корабле).

Вспомним, сначала, в каком смысле буква "m" встречается в ньютоновской теории (механика + гравитация): во-первых, мы видим массу тела в ньютоновском законе тяготения  $F = GMm/r^2$ ; во-вторых, видим, что в этом законе масса упомянута дважды: один раз она выступает как активная масса  $M$  – источник гравитационного поля, а во втором случае как пассивная масса  $m$  – взаимодействующая с данным гравитационным полем. Рассматривая взаимодействие тел с различными комбинациями активной и пассивной гравитационных масс, можно показать, что значение активной массы любого тела равно значению его пассивной массы, и, наконец, мы видим массу тела в законе ньютоновской динамики:  $F = ma$ . Но теперь  $m$  – это инертная масса тела и она, вообще говоря, вовсе не обязана быть равной гравитационной массе.

Предположение о равенстве инертной и гравитационной масс является совершенно независимой гипотезой, называется ПРИНЦИПОМ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ (инертной и гравитационной массы) является основой общей теории относительности (ОТО).

Сегодня равенство инертной и гравитационной масс проверено с точностью лучше, чем 10–13 в серии экспериментов Эвёша, Дикке, Брагинского и в многочисленных экспериментах по поискам так называемой "пятой силы" (которую в определенном смысле можно связать с антигравитацией). Таким образом, с точностью лучше, чем 10–13 или даже абсолютно точно – если мы верим в ОТО – инертная и гравитационная массы тела одинаковы.

Масса встречается, разумеется, и в знаменитой эйнштейновской формуле  $E = mc^2$ , но для нас это значит только, что масса тела определяется не только суммарной массой составляющих его элементарных частиц, но и энергией связей, которые собирают эти частицы в осозаемое тело. Конечно, постепенно аннигилируя тело известным количеством антивещества, можно измерить его массу. Но такого решения не должен предлагать даже плохой теоретик. При аннигиляции одного килограмма массы выделяется  $2 \cdot 10^{17}$  джоулей тепла в виде жесткого гамма излучения. Только это уже приведет к катастрофическому разрушению вашего объекта (вместе с вами и кораблем) задолго до полной аннигиляции тела. Поэтому такой способ можно классифицировать как фантастический и абсурдный.

Остается измерение гравитационной или инертной массы тела. Измерение гравитационной массы – общий прием измерения массы на Земле: ставите на чашку весов измеряемую массу и уравновешиваете ее образцовой массой – это коромысловые/рычажные весы, ставите на чашку весов измеряемую массу и силу притяжения ее к Земле уравновешиваете силой калиброванной пружины – привычный динамометр.

Однако, в вашем корабле невесомость (сила притяжения к Земле исключена свободным падением корабля). Поэтому мы можем попытаться измерить массу, измеряя силу притяжения к ней известной пробной массы на известном расстоянии (аналог опыта Кавендиша). Это сложный эксперимент, требующий тонкой методики и чувствительного оборудования, но в таком измерении (активной) гравитационной массы порядка килограмма и более с вполне приличной точностью сегодня ничего невозможного нет. Просто это серьезный и тонкий опыт, подготовить который вы должны еще до старта вашего корабля. В земных лабораториях закон Ньютона проверен с прекрасной точностью для относительно небольших масс в интервале расстояний от одного сантиметра примерно до 10 метров.

Другой способ взвешивания тела – измерение/сравнение его инертной массы. И именно такой способ очень часто используется в физических измерениях (и не только в невесомости). Как вы, вероятно, помните из личного опыта и из курса физики, грузик, прикрепленный к пружинке, колеблется с вполне определенной частотой:  $w = (k/m)^{1/2}$ , где  $k$  – жесткость пружинки,  $m$  – масса грузика. Таким образом, измеряя частоту колебаний грузика на пружинке, можно с нужной точностью определить его массу. Причем совершенно безразлично – есть невесомость, или ее нет. В невесомости удобно держатель для измеряемой массы закрепить между двумя пружинами, натянутыми в противоположном направлении. (Можете для развлечения определить, как зависит чувствительность весов от предварительного натяжения пружинок).

В реальной жизни такие весы используются для определения влажности и концентрации некоторых газов. В качестве пружинки используется пьезоэлектрический кристалл, частота собственных колебаний которого определяется его жесткостью и массой. На кристалл наносится покрытие, селективно поглощающее влагу (или определенные молекулы газа или жидкости). Концентрация молекул, захваченных покрытием, находится в определенном равновесии с концентрацией их в газе. Молекулы, захваченные покрытием, слегка меняют массу кристалла и, соответственно, частоту его собственных колебаний, которая определяется электронной схемой (помните, я сказал, что кристалл

пьезоэлектрический)... Такие "весы" очень чувствительны и позволяют определять очень малые концентрации водяного пара или некоторых других газов в воздухе.

*Воробьев П.В.*

---

## **ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

### **Новосибирского государственного университета приглашает абитуриентов**

На факультете имеются два отделения: *общефизическое и физико-технической информатики*.

Выпускники факультета получают специальность *физика*. В дипломе о высшем образовании выпускников-бакалавров после 4 лет обучения указывается квалификация *физик*. В дипломе выпускников-магистров после 6 лет обучения указывается квалификация *магистр физики* и одна из более узких специальностей, приобретаемых на выпускающих кафедрах.

Для поступления на физический факультет НГУ необходимо сдать письменные экзамены по *физике, математике и русскому языку*. Приемные экзамены проводятся с 4 по 14 июля. Прием документов осуществляется с 21 июня по 3 июля.

Наш адрес: НГУ, ул. Пирогова 2, гл. корп., к. 335, Новосибирск, 630090.

Телефон деканата: (383-2) 39-78-00, факс: (383-2) 39-71-01, электронная почта: [Dean@phys.nsu.ru](mailto:Dean@phys.nsu.ru)

Телефон приемной комиссии: (383-2) 39-73-77.

Самую свежую информацию о физическом факультете НГУ, включая варианты вступительных экзаменов за прошлые годы, можно получить, посетив наш сайт в Интернете по адресу <http://www.phys.nsu.ru>.

## **НАУЧНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ШКОЛЬНИКОВ**

### **Избранные темы для исследований (1992-99):**

<b>БЛИКИ</b>	<i>Как возникают блики света на дне водоема?</i>
<b>МОЛОКО</b>	<i>Почему сбегает молоко?</i>

<b>ЧАСЫ</b>	<i>От чего зависит скорость хода песочных часов?</i>
<b>ОКНО</b>	<i>Каким должен быть оптимальный зазор между стеклами в оконной раме?</i>
<b>ТРАМБОВКА</b>	<i>Что эффективнее при трамбовке: один раз ударить сильно или много раз слабо?</i>
<b>ФОНАРЬ</b>	<i>С какого расстояния свет от уличного фонаря становится мерцающим?</i>
<b>БРЫЗГИ</b>	<i>Как бежать по лужам, чтобы не забрызгаться?</i>
<b>ПЕНА</b>	<i>Как шарик тонет в пене?</i>
<b>СИГНАЛ</b>	<i>Как лучше передать звуковой сигнал: криком или свистом?</i>
<b>ГРИБ</b>	<i>Почему после взрыва клубы пыли часто имеют грибовидную форму?</i>
<b>РИСУНОК</b>	<i>Как возникает рисунок при оттирании листа бумаги от стекла, покрытого водным раствором краски?</i>
<b>ЦЕПОЧКА</b>	<i>Цепочка соскальзывает с края стола. Какую форму она будет иметь во время полета и на полу, когда упадет?</i>
<b>БЕРЕГ</b>	<i>Исследуйте, в каких случаях берег моря будет размываться, а в каких, наоборот - намываться.</i>
<b>ИЗОЛЯЦИЯ</b>	<i>Если поджечь спичкой полиэтиленовую изоляцию обычного провода, то падающие капли расплавленного полиэтилена издают характерный звук. Исследуйте явление.</i>
<b>ПЫЛЬ</b>	<i>Что можно сказать о количестве пыли в воздухе, зная скорость ее оседания на экран телевизора?</i>
<b>ГОРЯЩАЯ БУМАГА</b>	<i>Опишите процесс горения падающей горящей бумаги.</i>
<b>ЛУЖА</b>	<i>Как зависит время испарения лужи от скорости ветра?</i>
<b>ЕЗДА ПО ПЕСКУ</b>	<i>Как зависит скорость езды по песку от его влажности?</i>
<b>СКОТЧ</b>	<i>Как зависит скорость разматывания мотка липкой ленты от силы, приложенной к краю ленты?</i>

<b>ЧАЙНИК</b>	<i>От чего зависит время, на которое стихает шум воды в чайнике перед ее закипанием?</i>
<b>ЧАШКА</b>	<i>Воду размешивают в чашке не круглого сечения. Исследуйте, какая будет форма воронки?</i>
<b>ЛИСТ</b>	<i>Горизонтально расположенному недалеко от поверхности стола листу бумаги сообщили горизонтальную скорость. Сколько далеко он улетит?</i>
<b>МОРЕ</b>	<i>Как зависит цвет моря от его глубины?</i>
<b>НИМБ</b>	<i>Почему возникает "нимб" вокруг тени пальца, касающегося поверхности воды?</i>

**Если Вы любите ставить опыты и задумываться о природе вещей,  
если Вы хотите попробовать свои силы в научно-исследовательской деятельности - обращайтесь  
к нам**

*Вы сможете пообщаться со своими сверстниками, ищущими себя в науке,  
а также получить консультацию у квалифицированных преподавателей и физиков-профессионалов*

**E-mail: ylad@ssl.nsu.ru**

**<http://www.nsu.ru/materials/ssl/>**