

ВЫПУСК

96

Библиотека КВАНТ

ВЫПУСК

96



Библиотека КВАНТ

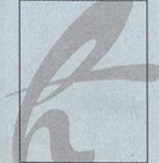
ОЛИМПИАДА



«Интеллектуальный марафон»

ФИЗИКА

Б Ю Р О



КВАНТУМ



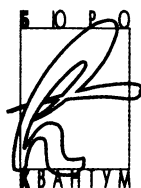
Приложение к журналу  
«Квант» №4/2006

# ОЛИМПИАДЫ

*«Интеллектуальный  
марафон»*

## ФИЗИКА

*Составители*  
*В. В. Альминдеров*  
*А. И. Черноуцан*



Москва  
2006

УДК 373.167.1:53  
ББК 22.3я72  
О-54

Серия  
«Библиотечка «Квант»  
основана в 1980 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Б.М.Болотовский, А.А.Варламов, В.Л.Гинзбург,  
Г.С.Голицын, Ю.В.Гуляев, М.И.Каганов, С.С.Кротов,  
С.П.Новиков, Ю.А.Осипьян (председатель),  
В.В.Произволов, Н.Х.Розов, А.Л.Стасенко, В.Г.Сурдин,  
В.М.Тихомиров, А.Р.Хохлов,  
А.И.Черноуцан (ученый секретарь)

**О-54 Олимпиады «Интеллектуальный марафон». Физика.**

Составители В.В.Альминдеров, А.И.Черноуцан. – М.: Бюро Квантум, 2006. – 144 с. (Библиотечка «Квант». Вып. 96. Приложение к журналу «Квант» № 4/2006.)

ISBN 5-85843-061-9

Книга представляет собой сборник физических задач, а также вопросов по истории физики, предлагавшихся на Международных олимпиадах «Интеллектуальный марафон» на протяжении пятнадцати лет. К большинству задач даются подробные решения или краткие ответы. В заключительной части книги помещены задачи, которые можно использовать для подготовки к различным физическим олимпиадам.

Для старшеклассников средних школ, лицеев и гимназий, для членов и руководителей физических кружков и факультативов, а также для всех любителей решать интересные задачи.

ББК 22.3я72

ISBN 5-85843-061-9

© Бюро Квантум, 2006

## ПРЕДИСЛОВИЕ

---

Международные олимпиады «Интеллектуальный марафон» проводятся с 1991 года Международным интеллект-клубом (МИК) «Глюон» в рамках программы «Дети. Интеллект. Творчество». Идейным вдохновителем и организатором олимпиад стал президент клуба профессор МИФИ В.В.Альминдеров. Вместе с ним над становлением и развитием новой формы олимпиад все эти годы работали его коллеги и друзья, известные педагоги и ученые из журнала «Квант» (А.А.Егоров, В.Н.Дубровский, Ж.М.Раббот, А.И.Черноуцан, В.И.Голубев), из МГУ им. М.В.Ломоносова (А.М.Попов, О.Б.Поповичева) и из других известных университетов (назовем Е.И.Бутикова и В.Г.Криштопа). Большую помощь в проведении олимпиад оказывали журнал «Квант», Издательский дом «Первое сентября», компании «Кирилл и Мефодий», «Физикон», «1С», фонд «Династия» и другие организации. Часть олимпиад прошли в России, но многие олимпиады проводились за рубежом – в Болгарии, Турции, Греции, Чехии. В разные годы в «Интеллектуальных марафонах» приняли участие более 30 команд из многих городов и регионов России, а также из Болгарии, Индонезии, Польши, Финляндии, Норвегии, Казахстана, Турции.

Почему же эти олимпиады стали столь популярными? Почему они называются «Интеллектуальный марафон»? Расскажем коротко о формате марафонов в том виде, как они проходят в настоящее время (с годами формат олимпиад немного менялся). Мы остановимся только на традиционном направлении – физико-математическом. Возникшие в последние годы соревнования по направлениям биология-экология и культурология-история проводятся по аналогичным правилам.

Главная особенность «Интеллектуальных марафонов» состоит в том, что это – индивидуально-командные соревнования. Каждый участник приезжает в составе команды из 3 – 6 человек, представляющей школу, город, регион, а иногда и целую страну. Он принимает участие в пяти турах: двух индивидуальных – по физике и математике и трех командных – по физике, математике и истории научных идей и открытий.

Индивидуальные туры проводятся в письменной форме. Участникам предлагается 7 задач разной степени сложности на 4 часа. Это вполне традиционная олимпиадная форма, за исключением того, что каждый участвует в обоих турах – математическом и физическом. Общая сумма баллов в каждом туре – 100. Награжда-

ются как победители отдельных предметных туров, так и показавшие лучший суммарный результат по двум турам.

Командные туры проходят в устной форме. Командам предлагается 10 вопросов, каждый из которых оценивается максимум в 10 баллов. В зависимости от сложности вопроса назначается различное время на его обсуждение – от 3 до 15 минут. Сразу после того как команды сдали свои варианты ответов, представитель жюри рассказывает правильное решение и формулирует следующий вопрос. Пока команды ищут ответ на очередной вопрос, жюри оценивает результаты ответов на предыдущий вопрос и немедленно объявляет эти результаты.

Изюминкой олимпиады всегда был устный командный тур по истории научных идей и открытий, который обычно проводится в первый день соревнований. Этот тур проводят совместно математики и физики, вопросы по истории математики и физики идут вперемешку, наглядно демонстрируя взаимосвязь и взаимопроникновение двух великих наук.

После этого тура «марафонцам» предстоят еще два тяжелых рабочих дня, в каждый из которых они утром участвуют в индивидуальном письменном туре по одному предмету, а после обеда – в командном устном по другому. А кроме того – разборы задач всех туров, обсуждения и дискуссии, посещение лекций известных ученых, организованных для участников олимпиады. Чтобы вынести все это и добиться успеха, надо быть настоящим марафонцем и главное – любить математику и физику. Избежать усталости помогает интересная культурная программа, участие в разнообразных экскурсиях, проходящих в свободные от соревнований дни.

В данной книге собраны большая часть заданий письменных и устных туров по физике, а также вопросы по истории физики из устных туров по истории научных идей и открытий. Почти все задачи снабжены решениями или ответами.

В заключительной части книги помещены задачи, которые можно использовать для подготовки к «Интеллектуальным марафонам» (и другим олимпиадам тоже). Большинство этих задач взяты из книги А.И.Черноуцана «Физика. Задачи с ответами и решениями» (М.: Книжный дом «Университет», Высшая школа, 2003).

# I ОЛИМПИАДА

Ашхабад, 1991

## Письменный тур

1. При какой массе  $M_x$  правого груза груз массой  $2m$  может оставаться в покое (рис.1)?

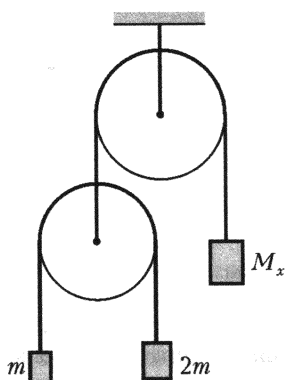


Рис. 1

2. При каком ускорении блока  $a$  груз массой  $2m$  будет иметь ускорение, равное  $g/10$  (рис.2)?

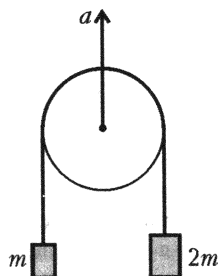


Рис. 2

3. При какой массе  $M_x$  груза, летящего со скоростью  $2v$ , он сможет остановиться после удара (рис.3)?

4. Кубик вначале находится у левого края тележки длиной

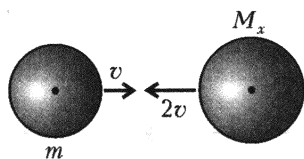


Рис. 3

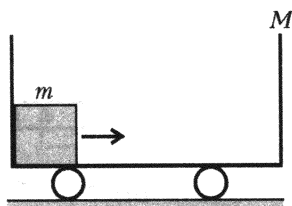


Рис. 4

$L = 0,5$  м (рис.4). Ему толчком сообщают скорость  $v = 1$  м/с, направленную вправо. На каком расстоянии от левого края тележки остановится кубик, если коэффициент трения о дно тележки  $\mu = 0,3$ ,  $m = 0,3$  кг,  $M = 1$  кг?

5. Оцените размер молекулы воды, используя известные

табличные данные о воде. Оцените среднее расстояние между молекулами насыщенного водяного пара при температуре 100 градусов по шкале Цельсия. Оцените также среднее число ударов между молекулами в 1 литре такого пара за 1 секунду.

6. Один моль идеального одноатомного газа расширяется по закону, изображенному на графике зависимости давления от объема прямой линией (рис.5). Найдите максимальную температуру газа в этом процессе. На каком участке газ получает тепло, а на каком отдает его?

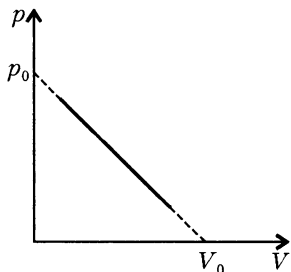


Рис. 5

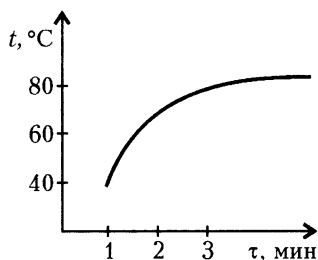


Рис. 6

7. В стакан опустили нагреватель мощностью 200 Вт и включили в сеть. График изменения температуры со временем приведен на рисунке 6. Каким был бы график при мощности нагревателя 100 Вт?

8. Найдите токи, текущие через каждый резистор в схеме, изображенной на рисунке 7. Батарейки считайте идеальными.

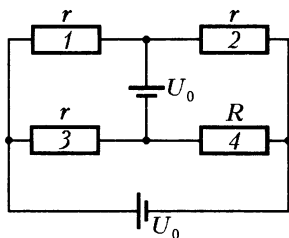


Рис. 7

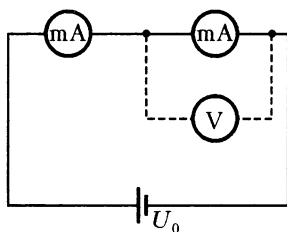


Рис. 8

9. К идеальной батарейке подключили последовательно два одинаковых миллиамперметра, и они показали по 1 мА (рис.8). Параллельно одному из приборов включили вольтметр, и он показал 0,3 В, а показания этого миллиамперметра при этом уменьшились до 0,8 мА. Что показывает второй миллиампер-

метр? Чему равно напряжение батарейки? Найдите сопротивления приборов.

**10.** Для измерения электростатического поля применяют конденсатор, состоящий из двух обкладок в форме полукругов площадью  $S = 10 \text{ см}^2$  каждый, находящихся на расстоянии  $d = 0,1 \text{ см}$  друг от друга (рис.9). Один из полукругов неподвижен, а другой вращается со скоростью  $n = 100 \text{ об/с}$  так, что емкость конденсатора меняется от максимального значения практи-

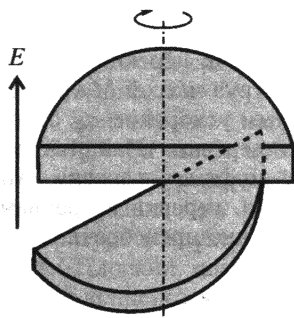


Рис. 9

чески до нуля. Собрана измерительная схема, включающая два диода и гальванометр с сопротивлением рамки  $R = 1 \text{ кОм}$  (рис.10). Какой ток он покажет при напряженности поля  $E = 10000 \text{ В/м}$ ? Что изменится, если сопротивление рамки прибора уменьшить или увеличить?

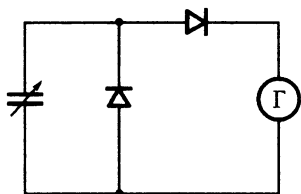


Рис. 10

чески до нуля. Собрана измерительная схема, включающая два диода и гальванометр с сопротивлением рамки  $R = 1 \text{ кОм}$  (рис.10). Какой ток он покажет при напряженности поля  $E = 10000 \text{ В/м}$ ? Что изменится, если сопротивление рамки прибора уменьшить или увеличить?

**11.** Найдите максимальный ток через катушку индуктивности и ток через батарейку в момент достижения максимального тока через катушку (рис.11). Найдите также максимальное напряжение на верхнем конденсаторе. Сопротивление батарейки и проводов считайте небольшим,  $C = 3 \text{ мкФ}$ ,  $L = 1 \text{ Гн}$ ,  $U_0 = 10 \text{ В}$ .

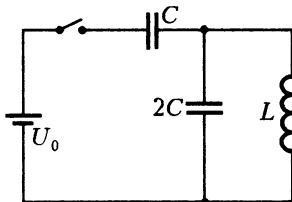


Рис. 11

**12.** На тонкую линзу падает луч света под углом  $\alpha = 4^\circ$  к главной оптической оси. Он пересекает ось на расстоянии  $L = 12 \text{ см}$  от линзы и выходит после преломления под углом  $\beta = 8^\circ$ . Найдите фокусное расстояние линзы.

## II ОЛИМПИАДА

Зеленоградск, 1992

Письменный тур

- 13.** Через неподвижный блок перекинута веревка, на одном конце которой закреплен груз массой  $M$  (рис.12). Муфта массой  $m$  скользит с постоянным ускорением  $a_0$  относительно веревки. Найдите силу трения муфты о веревку. Массой блока, веревки и трением в блоке можно пренебречь.

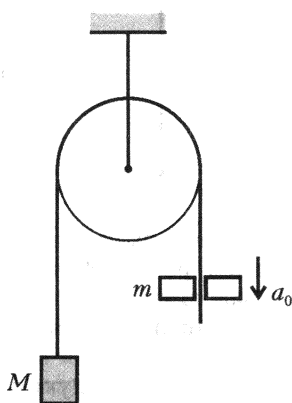


Рис. 12

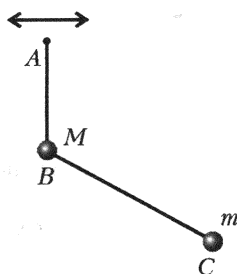


Рис. 13

- 14.** К маятнику  $AB$  с шариком массой  $M$  подвешен маятник  $BC$  с шариком массой  $m$  (рис.13). Точка  $A$  совершает колебания в горизонтальном направлении с периодом  $T$ . Найдите длину нити  $BC$ , если известно, что нить  $AB$  все время остается в вертикальном положении.

- 15.** Две горизонтальные полуплоскости, расположенные на высоте  $h$  одна над другой, плавно переходят друг в друга, как показано на рисунке 14. По верхней полуплоскости под углом  $\alpha$  к направлению на спуск движется со скоростью  $v$  небольшой брусок. Как он будет двигаться по нижней полуплоскости? Брусок не подпрыгивает, трения нет.

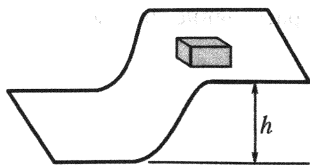


Рис. 14

- 16.** Планету радиусом  $r$  и массой  $M$  окружает равноплотная атмосфера, состоящая из газа с мо-

лярной массой  $M$ . Какова температура атмосферы на поверхности планеты, если высота атмосферы  $h$ ?

**17.** Внутри большого сосуда с гелием при давлении  $p_0 = 1$  атм и температуре  $T_0 = 300$  К находится маленький теплоизолированный откачанный сосуд. На короткое время в стенке маленького сосуда открывают небольшое отверстие, при этом некоторое количество гелия успевает войти в этот сосуд. Какая температура установится в нем?

**18.** В стакан, содержащий  $m = 200$  г воды, опускают нагреватель мощностью  $P = 50$  Вт. Максимальная температура воды после длительного нагревания составляет в этом случае  $t_1 = 55$  °С. За какое время вода остынет на  $\Delta t = 1$  °С после выключения нагревателя? Оцените максимальную температуру воды в стакане при увеличении напряжения в сети на 20%. Температура воздуха  $t = 20$  °С.

**19.** Плоский конденсатор имеет емкость  $C$ . На одну из пластин конденсатора поместили заряд  $+q$ , а на другую – заряд  $+4q$ . Определите разность потенциалов между пластинами конденсатора.

**20.** Электрический прибор подключен к сети переменного тока напряжением  $U_0 = 220$  В последовательно с резистором сопротивлением  $R = 100$  Ом (рис.15). При этом амперметр показывает ток

$I = 0,5$  А, вольтметр – напряжение  $U = 200$  В. Какую среднюю мощность потребляет прибор?

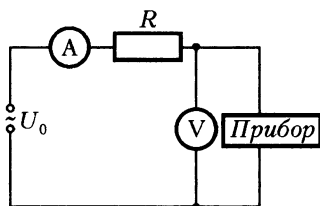


Рис. 15

### III ОЛИМПИАДА

Старый Петергоф, 1993

#### Письменный тур

**21.** Под каким максимальным углом можно бросить тело в однородном поле тяжести Земли, чтобы оно в течение времени полета удалялось от точки бросания (рис.16)? Сопротивлением воздуха пренебречь.

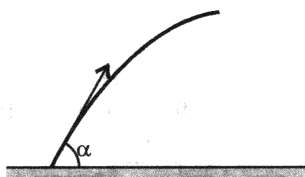


Рис. 16

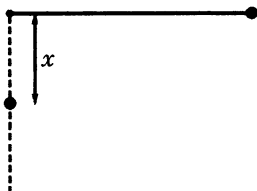


Рис. 17

**22.** Маленький грузик подвешен на невесомой нити длиной  $l$  около гладкой стенки. На расстоянии  $x$  под точкой подвеса в стенку вбит гвоздь. Грузик выводят из положения равновесия так, что нить отклоняется на угол  $\pi/2$  (рис.17), и отпускают.

а) При каких  $x$  грузик после закручивания нити вокруг гвоздя будет двигаться по окружности?

б) При каких  $x$  нить хотя бы раз обернется вокруг гвоздя?

**23.** Ракета стартует с планеты вертикально вверх со скоростью  $v$  (рис.18), меньшей второй космической скорости. Имеется возможность на короткое время включить дополнительные двигатели. Выберите, когда это лучше сделать, чтобы преодолеть притяжение планеты (атмосфера на планете отсутствует):

а) сразу после отработки основных двигателей;

б) когда скорость ракеты обратится в ноль;

в) безразлично когда, поскольку реактивные силы, действующие между газами, вырывающимися из сопла, и ракетой, являются внутренними для системы ракеты – газ.

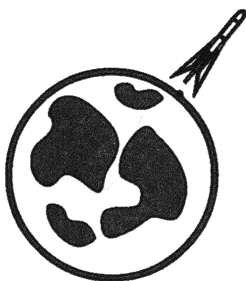


Рис. 18

**24.** Какой из перечисленных приборов позволяет найти полную кинетическую энергию поступательного движения молекул воздуха в комнате, где вы находитесь:

- а) психрометр;
- б) термометр;
- в) барометр?

Объем комнаты считайте известным, ответ поясните.

**25.** Известно, что в нашем трехмерном мире электрические заряды располагаются на поверхности проводника. Верно ли это утверждение в плоском, двумерном мире? Иными словами, будут ли располагаться заряженные частицы, взаимодействующие кулоновскими силами, вдоль границы плоского проводника?

**26.** Конденсатор емкостью  $C$  зарядили до заряда  $Q_0$  и подсоединили через ключи  $K_1$  и  $K_2$  к двум одинаковым катушкам индуктивностью  $L$  каждая (рис.19). Сначала замкнули ключ  $K_1$ , а затем, когда ток в первой катушке был равен  $I_0$ , замкнули ключ  $K_2$ . Определите:

- а) максимальные токи через каждую катушку;
- б) максимальный заряд конденсатора.

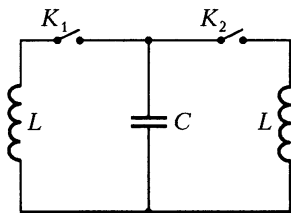


Рис. 19

## IV ОЛИМПИАДА

Ростов-на-Дону, 1994

### Письменный тур

**27.** При какой наименьшей начальной скорости можно перебросить теннисный мяч с земли через прямоугольный ангар шириной  $d = 20$  м и высотой  $h = 10$  м (рис. 20)? А через полуцилиндрический ангар высотой  $R = 10$  м?

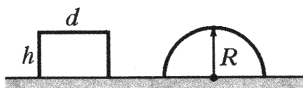


Рис. 20

**28.** В частично откачанном баллоне давление воздуха составляет половину атмосферного давления. Вентиль открывают, происходит

быстрое заполнение баллона атмосферным воздухом, и сразу после выравнивания давлений вентиль закрывают. Каким будет давление воздуха в баллоне после того, как восстановится его тепловое равновесие с окружающей средой?

**29.** Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью  $L$  и двух последовательно соединенных одинаковых конденсаторов емкостью  $C$  каждый (рис. 21). Один из конденсаторов заряжают до напряжения  $U_0$ , после чего цепь замыкают. Найдите зависимость от времени напряжения на этом конденсаторе после замыкания цепи. Предложите механический аналог такой электрической цепи.

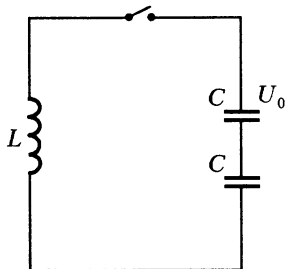


Рис. 21

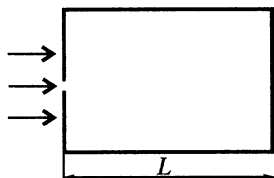


Рис. 22

**30.** Камера-обскура представляет собой непрозрачную коробку с маленьким круглым отверстием в одной из стенок и светочувствительной пленкой на противоположной стенке (рис. 22). Расстояние от отверстия до пленки  $L = 10$  см. При каком

диаметре отверстия эта камера будет давать наиболее четкие изображения предметов?

**31.** Какое из трех тел – брусок, диск, кольцо – быстрее съедет с наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол  $\alpha$  (рис. 23)? Коэффициенты трения скольжения для

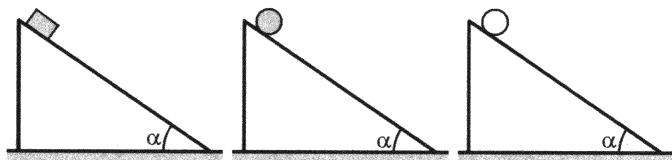


Рис. 23

всех трех тел одинаковы и равны  $\mu$ . Радиусы диска и кольца одинаковы.

**32.** С горизонтального цилиндра радиусом  $R$  свисает намотанная на него нить, на конце которой закреплен небольшой грузик. Длина  $d$  свисающей части нити равна длине окружности цилиндра ( $d = 2\pi R$ ). Оцените минимальную скорость, которую нужно сообщить грузику, чтобы нить обернулась вокруг цилиндра, все время оставаясь натянутой.

**33.** В естественной смеси изотопов урана содержится 99,27% урана-238 и 0,73% урана-235. Измеренные периоды полураспада этих изотопов составляют  $T_1 = 4,47$  млрд лет и  $T_2 = 0,704$  млрд лет соответственно. Оцените возраст Земли, приняв, что при ее образовании содержание этих изотопов было примерно одинаковым. (Периодом полураспада называется промежуток времени, в течение которого распадается половина ядер данного элемента.)

## V ОЛИМПИАДА

Варна (Болгария), 1995

*Письменный тур*

**34.** Объем пузырька воздуха по мере его всплытия со дна озера (рис. 24) на поверхность увеличивается в  $n$  раз. Какова глубина озера? Изменением температуры и плотности с глубиной пренебречь.

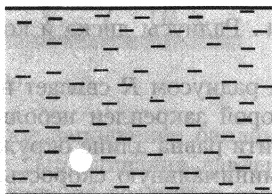


Рис. 24

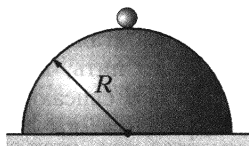


Рис. 25

**35.** Небольшой шар находится на вершине полусферы радиусом  $R$ , лежащей на горизонтальной поверхности (рис. 25). Определите точку, в которой произойдет отрыв шара от полусферы, если движение из верхней точки началось с нулевой начальной скоростью. Коэффициент трения скольжения шара о поверхность полусферы  $\mu \gg 1$ .

**36.** Вокруг сферической планеты радиусом  $R$ , обладающей разреженной атмосферой, летает спутник массой  $m$  по круговой орбите на высоте  $H$  от поверхности планеты (рис. 26). Оцените число оборотов, которое совершит спутник до падения на поверхность планеты в результате торможения в атмосфере. Считать, что сила сопротивления пропорциональна квадрату скорости и не зависит от высоты над поверхностью планеты.

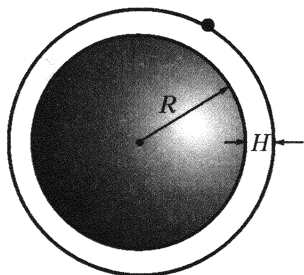


Рис. 26

**37.** Разреженный газ находится в сосуде размером  $L \times L \times L$  с квадратным отверстием размером  $a \times a$  (длина свободного пробега молекул много меньше размеров сосуда). Оцените, как меняется по времени средняя энергия

молекул в сосуде. В начальный момент молекулы с равной вероятностью имеют одинаковые значения энергии из интервала от нуля до  $\epsilon_{\max}$  и распределены по всем направлениям изотропно.

**38.** Брусок массой  $m$  лежит на наклонной плоскости, составляющей угол  $\alpha$  с горизонтом (рис. 27). Как (с какой по величине и направлению силой) надо тянуть брусок, чтобы он перемещался параллельно основанию наклонной плоскости с постоянной скоростью? Коэффициент трения скольжения бруска о плоскость  $\mu$ .

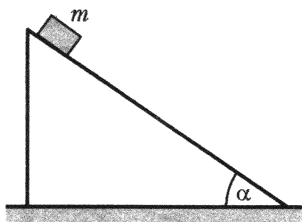


Рис. 27

**39.** В однородно заряженном диэлектрическом шаре радиусом  $R$  имеется сферическая полость радиусом  $R/2$  с центром, удаленным на  $R/2$  от центра шара (рис. 28). Полный заряд шара  $Q$ . Вдоль прямой, соединяющей центры шара и полости, проделано узкое отверстие, в которое помещен точечный заряд  $-q$  с массой  $m$ . Определите период его малых колебаний вблизи положения равновесия.

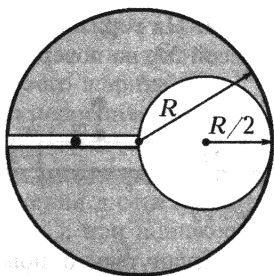


Рис. 28

**40.** Электромагнитное излучение можно рассматривать как поток частиц (фотонов) массой  $m = \hbar\nu/c^2$ , и потому оно взаимодействует с гравитационным полем. Оцените величину фокусного расстояния гравитационной линзы, образованной массивным сферическим телом радиусом  $R$  и массой  $M$ , для узкого пучка электромагнитного излучения видимого диапазона частот, распространяющегося вдоль прямой, проходящей через центр гравитирующего тела. Проведите численную оценку для  $M = 10^{30}$  кг,  $R = 10$  км. Гравитационная постоянная  $G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$ .

## VI ОЛИМПИАДА

Созополь (Болгария), 1996

### Письменный тур

**41.** Под каким углом к берегу необходимо плыть на лодке, чтобы снос по течению был наименьшим, если скорость лодки относительно воды  $v_d$ , а скорость реки:

а) постоянна по всей ширине реки и равна  $v_p$  (причем  $v_p > v_d$ );

б) изменяется по линейному закону – равна нулю у берегов, на середине реки максимальна и равна  $v_0$  (причем  $v_0 > 2v_d$ )?

**42.** На горизонтальной поверхности лежит длинный брусок массой  $M$ , на поверхности которого находится шарик массой  $m$  (рис. 29). В начальный момент времени брусок начинает двигаться по плоскости со скоростью  $v_0$ , а шарик подскакивает вверх. Определите путь, пройденный бруском до остановки.

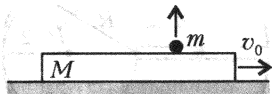


Рис. 29

Считайте, что шарик успевает много

раз стукнуться о поверхность бруска, не соскакивая с него. Удар предполагайте абсолютно упругим, коэффициент трения бруска о горизонтальную поверхность равен  $\mu$ .

**43.** Одной из существенных причин образования космической пыли являются энергичные столкновения астероидов, когда кинетическая энергия удара  $E$  достаточна для полного испарения обоих сталкивающихся тел. Образовавшийся газовый шар массой  $M$  и радиусом  $R$  расширяется, пока его плотность не достигнет плотности насыщенных паров, при которой начнется конденсация и образование частиц космической пыли. Оцените время до начала образования космической пыли и установите закон изменения плотности газового шара до начала образования космической пыли.

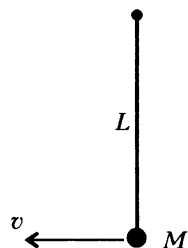


Рис. 30

**44.** На конце нерастяжимой нити длиной  $L$  прикреплен шарик массой  $M$  (рис. 30). Нить может вращаться в вертикальной плоскости относительно горизонтальной оси. Шарик толкают со скоростью  $v$ . Найдите

высоту, на которую поднимется шарик.

**45.** На графике (рис.31) изображены две адиабаты для одного и того же количества идеального газа. Определите температуру  $T_3$  для точки, находящейся на середине отрезка прямой  $A_1A_2$ . Прямая проведена из начала координат и пересекает адиабаты в точках  $A_1$  и  $A_2$ . Температура в точке  $A_1$  равна 400 К, а в точке  $A_2$  составляет 6000 К.

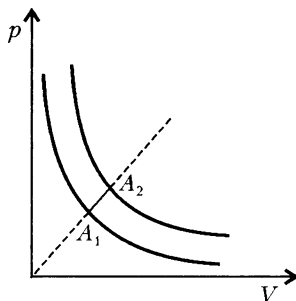


Рис. 31

**46.** Три небольших одинаковых незаряженных металлических шарика, находящихся в вакууме, расположены в вершинах правильного треугольника. Шарики поочередно по одному разу соединяют с бесконечно удаленным проводником, потенциал которого поддерживается постоянным. В результате на первом шарике образуется заряд  $q_1 = 12 \text{ мкКл}$ , а на третьем — заряд  $q_3 = 3 \text{ мкКл}$ . Определите заряд второго шарика.

**47.** Терморегулятор электрокалорифера периодически включает нагрев на некоторое время и затем отключает его на то же время, поддерживая таким образом почти неизменную заданную температуру. При нормальном напряжении в сети продолжительность промежутков составляет 1 мин, а при понижении напряжения более чем на 20% калорифер уже не может поддерживать заданную температуру. Чему будет равна продолжительность включения при понижении напряжения на 10%?

### Устный тур

**48.** В цилиндрический стакан наливают воду. При каком уровне воды в стакане центр тяжести системы (стакана с водой) занимает наинижнее положение?

**49.** Найдите минимальную работу, которую необходимо совершить, чтобы вынуть пробку из бутылки. Известно, что минимальная сила, которую надо приложить, чтобы пробка начала двигаться, равна  $F_0$  и длина пробки  $l$  (рис. 32).

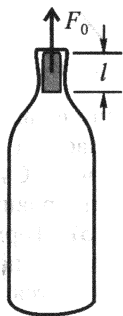


Рис. 32

**50.** Известно, что в атмосфере при  $-15^\circ\text{C}$  могут долго и устойчиво существовать облака из переохлажденных капель воды неизменного раз-

мера. Являются ли устойчивыми облака, состоящие из ледовых кристаллов и переохлажденных капель?

**51.** Как охладить бутылку с водой, сидя в жаркую погоду в душном поезде?

**52.** Тело соскальзывает из точки  $A$  в точку  $B$ , не отрываясь, один раз по дуге  $ACB$ , другой раз — по дуге  $ADB$  (рис. 33). В каком случае скорость тела в точке  $B$  больше, если коэффициент трения один и тот же?

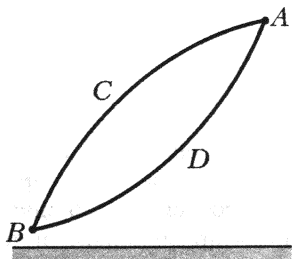


Рис. 33

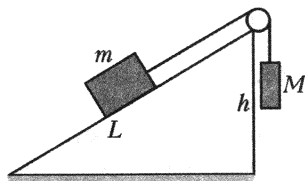


Рис. 34

**53.** Предлагаем рассмотреть известную систему из двух тел (рис. 34). Проанализируйте ее поведение при заданных параметрах  $h = 60$  см,  $L = 1$  м,  $m = 0,5$  кг,  $\mu = 0,25$  и при массе  $M$ , равной: а) 0,25 кг; б) 0,3 кг; в) 0,35 кг. Определите силу трения, действующую на брусок, ускорение движения системы и силу натяжения нити.

**54.** Даны предмет  $AB$  и его изображение  $A'B'$  (рис. 35). Определите, какая это линза, и найдите ее главную оптическую ось и положения главных фокусов.

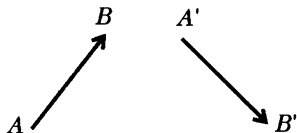


Рис. 35

**55.** Тело брошено под углом к горизонту в воздухе. Сравните времена подъема и спуска тела.

**56.** Барометр в кабине летчика все время показывает одно и то же давление  $p$ , благодаря чему летчик считает высоту неизменной. Однако температура воздуха изменилась на  $\Delta T$ . Какую ошибку в определении высоты допустит летчик? Считать атмосферу изотермической и атмосферное давление равным  $p_0$ .

**57.** Герметичный сосуд полностью заполнен водой. На небольшой поршень площадью  $S$  давят рукой с силой  $F$ . Поршень находится ниже крышки сосуда на  $H_1$  и выше дна на  $H_2$ . На какую высоту поднимется струйка фонтана, если в крышке сосуда проделать маленькое отверстие?

**58.** Изобретатель термометра за основную температурную точку, равную нулю, выбрал температуру смеси воды, льда и поваренной соли. Что это за шкала и чему равна температура кипения воды по этой шкале?

**59.** Немецкий ученый Г.Ом, решая задачу о распределении потенциала вдоль электрической цепи, ошибочно полагал, что тем самым находит количества электричества в соответствующих местах проводника. По аналогии с какой теорией была сделана эта ошибка?

**60.** Какой великий ученый какое наблюдаемое им явление описывал так: «Свет периодически испытывает приступы легкого прохождения и приступы легкого отражения»?

**61.** Какие Нобелевские премии по физике и кому были даны за работы, определившие технический прогресс XX века?

**62.** Назовите физические термины, смысл которых не соответствует их содержанию.

**63.** Всем известны постоянные споры между великими учеными И.Ньютоном и Р.Гуком. Кому удалось примирить их и чем знаменит этот человек?

**64.** Со времен Ньютона до середины девятнадцатого века пространство рассматривалось как пассивное место расположения тел и зарядов. Какое открытие девятнадцатого века считал наиболее значительным А.Эйнштейн и кем оно было сделано?

**65.** Какое наиболее значительное открытие современности, связанное с глобальной деятельностью человечества, было сделано за письменным столом, а обнаружено только через десять лет природными измерениями?

**66.** Немецкий ученый Г.Лейбниц положил в основу учения о движении, названного им динамикой, учение о «живых и мертвых силах». Что он так называл?

## VII ОЛИМПИАДА

Анталия (Турция), 1997

Письменный тур

**67.** На наклонной плоскости, имеющей угол наклона  $\alpha$ , лежит брусок массой  $m$  (рис. 36). С помощью невесомой нерастяжимой нити, перекинутой через блок, брусок соединяют с осью колеса массой  $M$  и радиусом  $R$ , находящегося на ровной горизонтальной поверхности. Определите ускорение бруска и силу натяжения нити. Коэффициент трения скольжения  $\mu$ , всю массу колеса считать сосредоточенной в его ободе, т.е. на расстоянии  $R$  от оси.

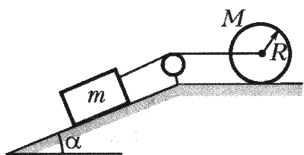


Рис. 36

**68.** Тело массой  $m$  бросают вертикально вверх с начальной скоростью  $v_0$ . На какую высоту поднимется тело, если на него действует сила вязкого трения, пропорциональная квадрату скорости:  $f = -\beta v^2$ , причем  $\beta v_0^2 \ll mg$ , где  $g$  — ускорение свободного падения?

**69.** Один моль одноатомного идеального газа находится в цилиндрическом стакане под поршнем площадью  $S$  и массой  $M$ . Температура газа  $T_0$ , внешнее давление  $p_0$ . Определите период малых колебаний, возникающих при выведении поршня из состояния равновесия. Процесс считать адиабатическим.

**70.** В цилиндрическом теплоизолированном сосуде под поршнем находится перегретая вода при температуре  $T = 110^\circ\text{C}$ . Определите, на какую высоту поднимется поршень после вскипания жидкости и установления термодинамического равновесия системы. Начальный уровень воды  $h$ , удельная теплота парообразования  $r = 2,3 \cdot 10^6$  Дж/кг, удельная теплоемкость воды  $c = 4200$  Дж/(кг · К). Массой поршня пренебречь, внешнее давление считать равным нормальному атмосферному давлению.

**71.** Плоский конденсатор с площадью пластин  $S$  и расстоянием между ними  $d$ , расположенный вертикально, наполовину заполняется диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  (рис. 37). Как изменится при этом энергия такой системы,

если заряд на обкладках конденсатора  $q$ ?

**72.** Согласно представлениям классической физики, электрон, движущийся вокруг ядра с ускорением, теряет энергию. Покажите, что энергия, излучаемая электроном за один оборот, мала по сравнению с его энергией. Оцените время

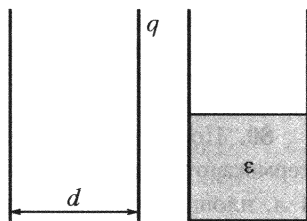


Рис. 37

падения электрона на ядро, считая, что начальный радиус орбиты  $R_0 = 0,5 \text{ \AA}$ . Скорость потери энергии на излучение

определяется выражением  $W = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2e^2}{3c^3} a^2$ , где  $a$  – ускорение электрона,  $e$  – его заряд,  $c$  – скорость света.

**73.** Температура поверхности Земли определяется балансом солнечной энергии, поглощаемой Землей, и энергией, излучаемой Землей в космическое пространство. Считая, что поток энергии, излучаемый и Солнцем и Землей, определяется законом Стефана – Больцмана  $Q = \sigma T^4$  ( $\sigma$  – постоянная Стефана – Больцмана,  $T$  – температура поверхности), оцените среднюю температуру поверхности Земли. Температура поверхности Солнца  $5770 \text{ K}$ , радиус Земли  $6,4 \cdot 10^6 \text{ м}$ , радиус Солнца  $7 \cdot 10^8 \text{ м}$ , радиус орбиты Земли  $1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$ , доля отраженного Землей солнечного излучения (альбедо Земли)  $0,4$ .

#### Устный тур

**74.** Резиновый шарик прыгает в однородном поле тяготения над горизонтальной поверхностью. Опишите процессы превращения энергии из одного вида в другой, которые при этом происходят. Нарисуйте график зависимости полной механической энергии шарика от времени, считая, что при  $t = 0$  шарик находится на максимальной высоте.

**75.** Какой принцип расположения топливных баков самолета следует применять для обеспечения устойчивости его полета?

**76.** Почему в пустынях наблюдается резкий перепад температур дня и ночи?

**77.** Для растяжения пружины на некоторую длину требуется сила  $F$ . Какая сила потребуется для растяжения на ту же длину  $n$  пружин, соединенных параллельно? Во сколько раз изменится растягивающая сила в случае последовательного соединения пружин?

**78.** Два одноименно заряженных шарика притягиваются. Может ли такое быть?

**79.** Почему начинают фонтанировать заглохшие нефтяные скважины после накачки их сжатым воздухом?

**80.** Полость между теплоизолированными стенками колбы термоса откачана до давления  $10^{-5}$  торр. Вместимость колбы 1 л, площадь поверхности  $600 \text{ см}^2$ . Оцените время, в течение которого чай в таком термосе остынет от  $90^\circ\text{C}$  до  $70^\circ\text{C}$ . (1 торр = 1 мм рт.ст.)

**81.** Проволочная прямоугольная рамка вращается с постоянной скоростью вокруг одной из своих сторон, параллельной прямолинейному проводнику с током. Пренебрегая индукцией магнитного поля Земли, укажите, когда в рамке индуцируется максимальная и минимальная ЭДС.

**82.** Может ли человек бежать быстрее своей тени?

**83.** Спутник движется вокруг Земли по круговой орбите со скоростью  $v$ . Нарисуйте график зависимости скорости его движения от времени с учетом силы сопротивления среды.

#### *История научных идей и открытий*

**84.** Какие важные физические эксперименты удалось провести благодаря неравномерному оседанию фундамента у одного из архитектурных сооружений Европы? Где находится это сооружение? Кто и когда проводил эти опыты? Какие выдающиеся выводы были им сделаны?

**85.** Какой выдающийся ученый предсказал возможность существования черных дыр задолго до создания общей теории относительности? Из каких соображений он исходил? Когда была опубликована его работа?

**86.** Кто, когда и за какое открытие получил первую в мире Нобелевскую премию по физике?

**87.** Назовите выдающегося ученого и государственного деятеля Средней Азии, автора всемирно известного каталога звездного неба. В каком веке и где он жил?

**88.** Когда впервые на орбите Земли появился искусственно созданный объект? Кто его создал и сколько он весил?

## VIII ОЛИМПИАДА

Афины (Греция), 1999

### Письменный тур

**89.** Мальчику, живущему в доме на расстоянии  $h_1 = 200$  м от реки, надо принести ведро воды бабушке, живущей в доме, расположенном вниз по течению на расстоянии  $L = 400$  м и удаленном от реки на  $h_2 = 100$  м. Какое минимальное время необходимо мальчику, чтобы выполнить поручение? Скорость мальчика считать равной  $v = 2$  м/с, временем наполнения ведра пренебречь.

**90.** Тонкое кольцо скатывается без проскальзывания с высоты  $h$  по наклонной плоскости, образующей угол  $\alpha$  с горизонтальной поверхностью. Определите скорость движения кольца у основания наклонной плоскости, если его начальная скорость равна нулю.

**91.** Определите силу взаимодействия точечного заряда  $q$  с идеально проводящей металлической пластиной, имеющей поверхностную плотность заряда  $\sigma$ , если расстояние между пластиной и зарядом равно  $l$ .

**92.** Определите электрическое сопротивление цепей, представленных на рисунке 38. Сопротивления всех элементов одинаковы и равны  $r$ .

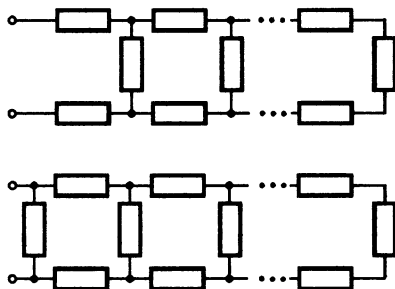


Рис. 38

**93.** Оцените время замерзания слоя воды толщиной  $h = 100$  мкм, находящегося в вакуумной камере при температуре  $t = 0$  °С. Давление насыщенного водяного пара при указанной

температуре  $p_0 = 4,5$  мм рт. ст. Удельная теплота испарения воды  $r = 2260$  Дж/г, удельная теплота плавления  $\lambda = 334$  Дж/г, плотность воды  $\rho_0 = 1$  г/см<sup>3</sup>.

**94.** Полый стальной шар радиусом  $R = 50$  см, погруженный на дно глубокого водоема, всплывает за некоторое время  $t$ . Если наполнить шар водой, он погружается на дно водоема за то же самое время. Определите толщину стенок шара. Плотность стали  $\rho = 7,8$  г/см<sup>3</sup>, плотность воды  $\rho_0 = 1,0$  г/см<sup>3</sup>.

### Устный тур

**95.** На Земле, Луне и Марсе на пружинных весах взвешивают разные тела и получают один и тот же результат. Каково соотношение между массами этих тел?

**96.** В рассказе О.Генри поросенок, получив пинок в зад, полетел, «опережая собственный визг». Какова должна быть минимальная скорость движения поросенка?

**97.** В Храме неба в Пекине есть кольцевая стена (диаметром 80 м), хорошо и четко передающая речь на большие расстояния. Объясните этот эффект.

**98.** В сосуде с водой плавает тонкостенный стакан. Изменится ли уровень воды в сосуде, если в этот стакан налить немного воды из сосуда так, чтобы стакан продолжал плавать?

**99.** Если комета видна в Афинах вечером сразу после захода Солнца, то куда направлен ее хвост?

**100.** Какую минимальную силу надо приложить, чтобы перекатить через балку высотой 0,1 м колесо весом 1000 Н и радиусом 0,5 м (рис. 39)? Какова минимальная величина коэффициента трения между балкой и плоскостью, при которой это возможно?



Рис. 39

**101.** Два одинаковых сосуда с одним и тем же газом соединены горизонтальной трубкой с небольшим столбиком ртути посередине (рис. 40). В одном сосуде температура газа  $T_1$ , а в другом  $T_2$ . Сместится ли ртуть в трубке, если оба сосуда нагреть на одну и ту же разность температур  $\Delta T$ ?

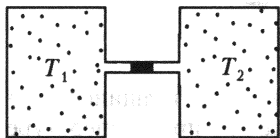


Рис. 40

**102.** Воздушный конденсатор заряжается до разности потенциалов  $\Delta\phi$  и заливается керосином с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ . При этом его энергия изменяется. Объясните, во что она переходит.

**103.** Резерфорд, проводя опыты по рассеянию  $\alpha$ -частиц на тонких золотых фольгах, пришел к выводу о существовании внутри атома компактного ядра. Он был первый, кто оценил его размер:  $r \approx 10^{-12}$  см. Как он это сделал? (Энергия  $\alpha$ -частиц 5 Мэв, порядковый номер золота 79.)

**104.** Вы в случайный момент времени измеряете угол отклонения от положения равновесия математического маятника, совершающего колебания с амплитудой  $\alpha_0$ . Эксперимент повторяется многократно и в случайные моменты времени. Как будет выглядеть полученное распределение вероятности  $W$  по углам отклонения  $\alpha$ ?

### *История научных идей и открытий*

**105.** Один из классиков современной физики в начале XX века провел серию экспериментов по изучению структуры атомов. В чем заключались эти эксперименты и какую модель атома удалось построить с их помощью? Кто был этот замечательный ученый?

**106.** Величайший ученый античных времен создал физическую картину мира, которая продержалась около 2000 лет. И только под влиянием результатов исследований ученых эпохи позднего Возрождения эта картина мира сменилась более современной. Какова была картина мира для современников этого ученого? Назовите этого ученого. Когда и где он жил?

**107.** Какая планета Солнечной системы была впервые открыта с помощью математических расчетов? Какая идея лежала в основе этого открытия? Кто и когда его сделал?

**108.** В классической механике Ньютона уравнение движения имеет вид  $\vec{F} = m\vec{a}$ . Какое уравнение движения использовалось в механике Аристотеля? Какой вид движения оно описывает с точки зрения механики Ньютона?

**109.** Ньютон в детстве провел опыт по измерению скорости ветра: он прыгал по ветру и против него и по разнице в длине прыжка сумел оценить величину скорости ветра. Как он это сделал?

# IX ОЛИМПИАДА

Протвино, 2000

Письменный тур

**110.** Клин, имеющий форму прямоугольного треугольника (рис. 41), скользит вдоль горизонтальной поверхности с ускорением  $a$ . Через блок, установленный на вершине клина, перекинута невесомая нерастяжимая нить, к концам которой прикреплены бруски 1 и 2 массой  $m$  каждый. Определите, при каких значениях  $a$  брусок 2 будет двигаться вверх. Коэффициент трения скольжения брусков о поверхность

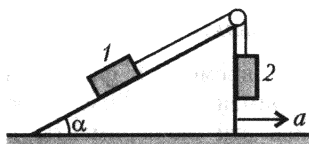


Рис. 41

клина  $\mu$ , угол наклона клина к горизонтальной поверхности  $\alpha$ . (Случай отрыва бруска 1 от поверхности клина не рассматривать.)

**111.** С какой минимальной начальной скоростью надо бросить мяч, чтобы перебросить его через стену высотой  $h$  и попасть в яму, расположенную за стеной на расстоянии  $L$  (рис. 42)?

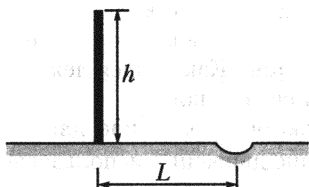


Рис. 42

считать изотермической ( $T = 300$  К). Плотность воздуха у поверхности Земли  $\rho_0 = 1,29$  кг/м<sup>3</sup>.

**113.** Тонкое металлическое кольцо радиусом  $R$  расположено в горизонтальной плоскости (параллельно земле) и имеет заряд  $Q$  (рис. 43). Через центр кольца перпендикулярно его плоскости проходит тонкий стержень, вдоль которого может скользить шарик с массой  $m$  и зарядом  $q$ . Определите возможные положения равновесия в системе и исследуйте их на устойчивость. Трение не учитывать.

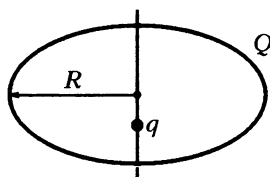


Рис. 43

**114.** Молекулярный ион водорода  $\text{H}_2^+$  ионизируется мощным лазерным импульсом длительностью порядка  $10 \text{ фс}$  («кулоновский взрыв»). Оцените кинетическую энергию образовавшихся при ионизации протонов. Какова будет кинетическая энергия ядер, образовавшихся при фотоионизации молекулы  $\text{HD}^+$ ? Масса дейтрона  $m_D = 2m_p$ , где  $m_p$  – масса протона. Равновесное расстояние между ядрами в системе равно  $1 \text{ \AA}$ .

**115.**  $N$  точек пространства соединены попарно одинаковыми резисторами сопротивлением  $R$  каждый. Между двумя из них включен источник с ЭДС  $\mathcal{E}$ . Какая мощность выделяется в данной цепи?

**116.** Оцените время падения капли дождя радиусом  $R = 0,1 \text{ см}$  с высоты  $h = 1 \text{ км}$ . Плотность атмосферного воздуха  $\rho_0 = 1,29 \text{ кг/м}^3$ , плотность воды  $\rho_v = 1 \text{ г/см}^3$ . Как время падения зависит от размера капли?

### *Устный тур*

**117.** Каким будет выигрыш в силе при подъеме бочки по наклонной плоскости с помощью перекинутых через нее веревок?

**118.** После удара молотком по одному концу длинной металлической трубы человек, находящийся у другого ее конца, будет слышать двойной удар. Почему?

**119.** Когда парусным судам легче входить в гавань: днем или ночью?

**120.** Металлический шарик заряжен до потенциала  $1 \text{ В}$ . Его вносят внутрь сферической проводящей поверхности, заряженной до потенциала  $1000 \text{ В}$ , и касаются ее. Укажите, куда будут переходить заряды, и объясните почему.

**121.** Почему глаз человека может смотреть на Солнце, когда оно у горизонта, и не может, когда оно в зените?

**122.** Оцените время соударения двух одинаковых металлических шаров.

**123.** Какой термометр (при прочих равных условиях) более чувствителен: ртутный или спиртовой?

**124.** Какие очки нужны человеку в воздухе, если в воде он видит нормально?

**125.** Почему притягиваются два параллельных проводника с токами одного направления и отталкиваются два аналогичных электронных пучка в вакууме?

**126.** Основываясь на модели расширяющейся Вселенной, один из выдающихся физиков нашего столетия пришел к выводу о необходимости наличия во Вселенной остаточного равновесного электромагнитного излучения, так называемого реликтового излучения, и оценил его температуру. Впоследствии это излучение было обнаружено экспериментально, и его параметры оказались близкими к расчетным. Кто, когда и из каких соображений пришел к этим выводам? Какова температура реликтового излучения?

**127.** Эксперименты какого выдающегося физика привели к созданию электродвигателя и генератора переменного тока? В каком году были опубликованы труды этого ученого с описанием результатов опытов?

**128.** В романе А.Толстого «Гиперболоид инженера Гарина» описана установка, позволяющая создавать мощный световой поток, способный производить огромные разрушения. Какие выдающиеся ученые и когда создали сначала теоретическую модель такой установки, а затем, много лет спустя, и ее саму? На какой идее основано ее устройство?

**129.** Для того чтобы заглянуть в глубь микромира, ученые применяют своеобразные аналоги микроскопа: ускорители элементарных частиц. На каких идеях основано их устройство? Какие типы ускорителей вы знаете? Когда они появились? Кто из ученых внес особенно большой вклад в их создание? Какие ускорители являются крупнейшими в мире и где они находятся?

**130.** Кто из великих физиков двадцатого века был вратарем сборной своей страны по футболу?

### Письменный тур

**131.** Частица, обладающая ненулевым моментом количества движения  $L_0$  (обладающая ненулевой тангенциальной составляющей скорости), движется в центрально-симметричном поле с притягивающим потенциалом  $U = -\alpha/r^n$ , где  $n > 0$  – действительное число. Определите условия, при выполнении которых возможно падение частицы на центр.

**132.** Схема простейшего ускорителя протонов, а именно циклотрона, представлена на рисунке 44. Частицы вылетают из источника 1, находящегося в центре между полыми электродами (дуантами) 2, и движутся по спиралевидной траектории 3 под действием постоянного магнитного поля с индукцией, равной  $B$  и направленной перпендикулярно плоскости рисунка. Ускорение частиц происходит в резонансном высокочастотном электрическом поле  $U = U_0 \cos \Omega_0 t$ , приложенном между дуантами. По мере ускорения в результате эффекта релятивистского возрастания массы резонанс нарушается. Оцените максимальную энергию, до которой можно ускорить протоны в циклотроне с амплитудой ускоряющего напряжения на дуантах  $U_0 = 30$  кВ. Масса протона  $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$  кг.

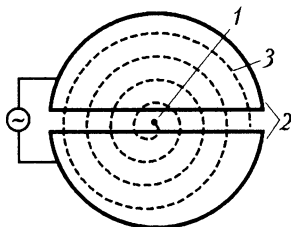


Рис. 44

**133.** Найдите уравнения адиабатического процесса для случаев одномерного и двумерного одноатомных газов.

**134.** Считая, что равновесие звезды определяется балансом гравитационных сил и сил газокINETического давления, оцените температуру в центральных областях Солнца. Массу и радиус Солнца считать равными  $M_0 = 2 \cdot 10^{30}$  кг и  $R_0 = 7 \cdot 10^8$  м. Гравитационная постоянная  $G = 6,8 \cdot 10^{-11}$  Н · м<sup>2</sup>/кг<sup>2</sup>.

**135.** Однородный поток частиц, летящих со скоростью  $v_0$ , упруго рассеивается при нормальном падении на бесконечно тяжелую стенку, совершающую гармонические колебания с

частотой  $\omega$  и амплитудой  $a_0$ . Определите распределение частиц по энергиям после рассеяния. Считать выполненным условие  $a_0\omega \ll v_0$ .

**136.** Поток монохроматического излучения с длиной волны  $\lambda$  падает на экран с двумя узкими щелями (размер щелей  $d \ll \lambda$ ), разделенными расстоянием  $2a$ , и формирует изображение на удаленном непрозрачном экране (расстояние до экрана  $L \gg a$ ). Найдите распределение интенсивности на экране в зависимости от угла наблюдения, т.е. зависимость  $I(\theta)$ . Найдите также условие, при выполнении которого на экране будут возникать полосы с нулевой интенсивностью.

**137.** В спектрах излучения звезд наблюдается гравитационное «красное смещение» – увеличение длины волны испускаемой линии при распространении излучения в гравитационном поле звезды. Исходя из квантовых представлений о свете (свет – поток фотонов, т.е. частиц с энергией  $E = \hbar\omega$  и массой  $m = E/c^2$ , где  $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – постоянная Планка,  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с – скорость света), оцените величину смещения излучения с длиной волны  $\lambda_0 = 6563 \text{ \AA}$  в спектре Солнца с массой  $M_0 = 2 \cdot 10^{30}$  кг и радиусом  $R_0 = 7 \cdot 10^8$  м и нейтронной звезды с массой  $M_N = 1,5M_0$  и радиусом  $R_N = 10^4$  м.

### Устный тур

**138.** На рисунке 45  $A$  и  $B$  – наблюдатели:  $A$  сидит на карусели,  $B$  стоит на земле на расстоянии  $2R$  от центра карусели. Скорость  $A$  относительно  $B$  в указанный момент равна  $v$ . Чему равна в этот момент скорость  $B$  относительно  $A$ ?

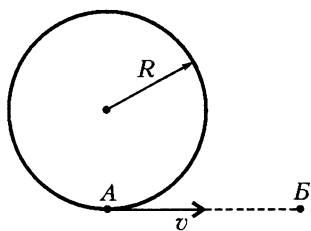


Рис. 45

**139.** На землю с большой высоты падает шарик от пинг-понга. Чему равно его ускорение сразу после упругого удара о землю? Что значит – с большой высоты? Сделайте оценку.

**140.** С полицейского космолета обстреливают улетающего космотеррориста. Скорость снаряда 1 км/с, его масса 10 кг. Первый выстрел был произведен с неподвижного космолета, и было затрачено  $10 \cdot 10^6 / 2$  Дж = 5 МДж энергии. При скорости космолета 100 км/с полицейский сообразил, что снаряду теперь нужно сообщить  $10 \cdot 10^6 (101^2 - 100^2) / 2$  Дж  $\approx 1000$  МДж энер-

гии. Побоявшись остаться без запасов энергии, он не стал стрелять. Прав ли полицейский?

**141.** В космическом корабле цилиндрической формы создали искусственную силу тяжести вращением вокруг оси с угловой скоростью  $\omega$ . Чему равен период колебаний математического маятника длиной  $l$ , подвешенного к оси корабля (рис. 46)?

**142.** На поверхности воды в сосуде плавает тело. Сосуд плотно закрывают пробкой. Можно ли, не открывая пробку, заставить тело утонуть? Какое надо взять тело и какой сосуд? Предложите простую демонстрацию.

**143.** В сосуде объемом 1 л находится 1 моль азота при давлении 1 атм. Азот медленно откачивают при постоянной температуре. Сколько надо откачать газа, чтобы давление уменьшилось вдвое? (Недостающие данные спросите.)

**144.** Теплоизолированный цилиндр с гелием разделен на две части легким, но теплонепроницаемым поршнем. Температура газа в одной части сосуда выше, чем в другой. Какой части сосуда выгоднее передать количество теплоты  $Q$ , чтобы вызвать большее увеличение давления?

**145.** Маленький заряженный шарик летит издалека вдоль оси заряженного кольца в сторону его центра (рис. 47). Заряды шарика и кольца  $q$ , их массы  $m$ , радиус кольца  $R$ , начальная скорость шарика  $v_0$ . Чему будет равна конечная скорость шарика (когда он снова будет далеко от кольца)?

**146.** Имеются две концентрические проводящие сферы. Потенциал внешней сферы 10 В, радиус внутренней сферы в два раза меньше, а потенциал — в два раза больше. Сферы соединяют тонкой проволокой. Чему будут равны потенциалы сфер?

**147.** Почему в свете фар автомобиля лужа ночью кажется темным пятном?

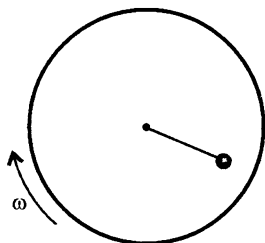


Рис. 46

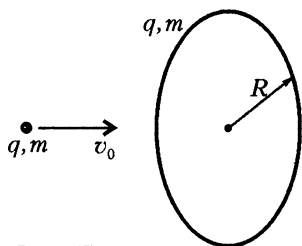


Рис. 47

**148.** Что означает имя нашего интеллект-клуба – глюон? В каком разделе физики и какую роль играет это понятие? Когда оно появилось и кем было введено?

**149.** Еще в глубокой древности ученые разных стран пытались понять, из чего состоит окружающий нас мир. Но только после проведения серии убедительных экспериментов стало ясно, что все вещества на земле имеют дискретную структуру. Теоретическая модель этого эксперимента, построенная спустя почти 80 лет, позволила вскоре экспериментально и весьма точно получить значение числа Авогадро. Назовите авторов этих работ и даты их проведения.

**150.** Согласно учению Аристотеля, все цвета можно получить, смешивая в разных пропорциях белый и черный цвета. Когда и кем было снято это заблуждение? Какие для этого понадобились опыты? Какие цвета надо смешать на самом деле, чтобы получить белый цвет? Что такое в действительности черный цвет? В каком еще разделе физики существуют «цветовые» характеристики, которые при смешивании дают белый «цвет» наблюдаемых эффектов?

**151.** Выдающийся русский летчик Валерий Чкалов всю свою сознательную жизнь мечтал «облететь вокруг шарика», т.е. вокруг Земли, и увидеть ее из космоса. Кто, когда и на каком летательном аппарате сумел впервые осуществить несбывшуюся мечту Чкалова? Какие фундаментальные законы физики лежат в основе действия этого летательного устройства?

**152.** Были ли среди российских и советских физиков лауреаты Нобелевской премии? Если да, то расскажите, кто из них, за что и когда был удостоен этой награды? Можете ли вы сказать, какие еще достижения физики XX века стоило бы отметить этой премией?

## XI ОЛИМПИАДА

Халкидики (Греция), 2002

### Письменный тур

**153.** На сколько сдвинется лодка, если рыбак перейдет с одного ее конца на другой (рис. 48)? Масса рыбака  $m$ , масса лодки  $M$ , длина лодки  $l$ . Рассмотрите два случая: а) трение о воду полностью отсутствует; б) сила сопротивления воды пропорциональна скорости:  $F_c = kv$ . Рассмотрите предельный переход  $k \rightarrow 0$ .

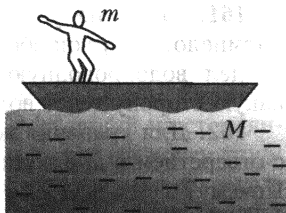


Рис. 48

**154.** Груз массой  $m$  висит на упругом шнуре. К грузу дважды приложили постоянную силу, направленную вверх: в первом случае величиной  $0,25mg$ , во втором – величиной  $0,75mg$ . Во сколько раз максимальная высота подъема груза во втором случае больше, чем в первом?

**155.** Камень бросили вверх с поверхности Земли со скоростью, на  $0,1\%$  меньшей, чем вторая космическая скорость. Оцените, через сколько дней он упадет обратно.

**156.** В теплоизолированном вертикальном цилиндре под поршнем находится идеальный одноатомный газ (рис. 49). Над поршнем газа нет. На поршень ставят груз, масса которого равна массе поршня, и отпускают. После достижения системой равновесия груз с поршня мгновенно убирают. Во сколько раз конечная температура газа отличается от начальной? Трением пренебречь.

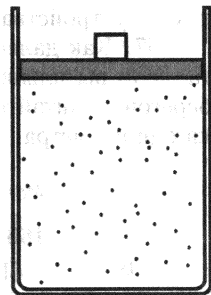


Рис. 49

**157.** Маленький шарик с массой  $m$  и зарядом  $q$  медленно приближается издалека к проводящей сферической оболочке — ее радиус  $R$ , толщина  $\Delta R \ll R$  — и пролетает ее насквозь через два маленьких отверстия. Найдите скорость шарика в тот момент, когда он пролетает через центр оболочки.

**158.** Нерелятивистский дейтрон упруго рассеивается на пер-

воначально покоившемся протоне. Найдите максимальный угол отклонения дейтрона. (Масса дейтрона в два раза больше массы протона.)

### *Устный тур*

**159.** Как двум участникам марафона преодолеть глубокую расщелину в греческих горах, если в их распоряжении есть только две легкие, но прочные доски, длина каждой из которых немного меньше ширины расщелины?

**160.** Шарик для пинг-понга бросили вертикально вверх. Что займет больше времени – подъем или падение? Почему?

**161.** Один из участников олимпиады заблудился в лесу. Стемнело. Вдруг он обо что-то споткнулся. При свете спички он увидел водопроводную трубу. Как он может определить, в какую сторону течет вода по трубе?

**162.** Для хранения живой рыбы рыбак сделал в лодке ящик с отверстием в дне лодки. Будет ли лодка плавать или утонет? Почему?

**163.** В двух одинаковых чайниках, стоящих на одинаковых горелках, кипит вода. У одного чайника крышка неподвижна, а у другого все время бренчит и подпрыгивает. Почему?

**164.** Во сколько раз возрастет полезная мощность вентилятора при увеличении скорости вращения в два раза?

**165.** Космонавт оттолкнулся от орбитальной станции на высоте 400 км от Земли и полетел в ее сторону со скоростью 5 м/с. Как скоро он упадет на Землю?

**166.** Античные источники описывают маятниковые часы для использования вне помещений, сделанные в виде тонкой трубки, заканчивающейся резервуаром со ртутью. В чем смысл такого устройства?

**167.** Как далеко от вас находится линия видимого горизонта, если вы плывете в лодке при полном штиле вне видимости берегов? Считайте, что линия глаз находится на высоте порядка одного метра.

### *История научных идей и открытий*

**168.** Ученые и учения Древней Греции:

1) Кому из древнегреческих ученых принадлежит учение, что «ни одна вещь не возникает беспричинно, все возникает на каком-нибудь основании и в силу необходимости» (принцип причинности) и «все вещи состоят из атомов и пустоты, все явления природы происходят в результате их движения»?

2) Кому первому принадлежит гипотеза о шарообразности Земли?

3) Кто сформулировал правило параллелограмма для сложения скоростей: «если движимое движется сразу двумя движениями так, что пространства, пробегаемые в одно и то же время, находятся в постоянном отношении, то это движимое движется по диагонали параллелограмма, длина сторон которого находится в том же отношении»?

**169.** Отклонение света, испущенного звездой в поле тяготения Солнца, – один из первых эффектов, правильно рассчитанных общей теорией относительности Эйнштейна, – было обнаружено в 1919 году. На основе каких представлений о движении брошенных тел древнегреческие ученые полагали, что скорость света очень большая?

**170.** История изобретения термометра началась с Галилея, который построил термоскоп – прибор, состоящий из стеклянной трубки, заканчивающейся шариком. Открытый конец трубки опускался в сосуд с водой. Когда воздух в шарике нагревался, столбик воды в трубке опускался. Позже французский ученый Амонтон сконструировал газовый термометр, в котором вместо воды он использовал ртуть, и проградуировал столбик ртути. Изобретателем современного ртутного термометра считается Фаренгейт. Аналогичные жидкостные термометры, но на основе спирта, сконструировали Реомюр и Цельсий.

1) Какие физические законы лежат в основе действия газовых и жидкостных термометров?

2) Какие термометры – жидкостные или газовые – пригодны для создания эталонной температурной шкалы?

3) Какие температуры принципиально нельзя измерять газовыми термометрами?

**171.** Про какого ученого говорили, что он «взвесил Землю»? Что вы еще знаете об этом ученом и его открытиях? Что на самом деле он измерял в эксперименте, о котором идет речь?

**172.** Красивое зрелище представляет собой летящая по ночному небу комета, напоминающая героиню древнегреческого мифа Медузу Горгону. Какие силы определяют направление хвоста кометы? Кто из ученых занимался изучением этих сил? Где еще проявляется действие таких сил?

## ХII ОЛИМПИАДА

Пушино, 2003

### *Письменный тур*

**173.** Оказалось, что температура воздуха в Пушино в безветренный пасмурный день может быть описана зависимостью  $T(^{\circ}\text{C}) = 20 + 10 \cos(2\pi t/24 + \varphi)$ , где  $t$  – время в часах,  $\varphi$  – постоянная величина. Определите, когда достигается максимальная температура воды, равная  $25^{\circ}\text{C}$ , в небольшом пруду, расположенном недалеко от пансионата «Пушино». Температура воздуха максимальна в 15.00 часов.

**174.** Даны две пружины из одного и того же материала, свитые виток к витку. Диаметры витков пружин 3 мм и 9 мм, их длины 1 см и 7 см, диаметры проволок 0,1 мм и 0,3 мм. Чему равна жесткость второй пружины, если жесткость первой 14 Н/м?

**175.** Груз массой  $m$  начинает соскальзывать с вершины гладкой полусферы массой  $m$  и радиусом  $R$ , лежащей на гладкой горизонтальной плоскости. На какой высоте груз оторвется от полусферы?

**176.** В сосуде, окруженном вакуумом, находится смесь равных масс водорода и кислорода. Каков будет состав молекулярного пучка, вытекающего из сосуда через очень маленькое отверстие?

**177.** Заряд  $q$  равномерно распределен по поверхности полусферы радиусом  $R$ . Чему равен потенциал в точках, расположенных посередине между центром сферы и ее краем?

**178.** В течение какого промежутка времени может поддерживаться непрерывная радиосвязь между спутниками, если она возможна лишь при условии прямой видимости? Орбиты спутников лежат в одной плоскости на высоте 50 км и 100 км. Рассмотрите случаи, когда спутники движутся в одном направлении или навстречу друг другу.

**179.** В результате теплового излучения масса Солнца ежедневно уменьшается на 4,3 млн тонн. Как в результате этого эффекта изменится радиус орбиты Земли в двух случаях: а) за 1 год; б) за 1 млрд лет? В настоящее время масса Солнца  $M = 2 \cdot 10^{30}$  кг, радиус орбиты Земли  $R = 1,5 \cdot 10^{11}$  м.

**180.** Рыбак, живший около устья впадающей в океан реки, перебрался на новое место жительства на несколько километров выше по течению. Там он с удивлением обнаружил, что время между началом прилива и началом отлива уменьшилось. Почему?

**181.** Что произойдет раньше (рис. 50): левый груз ударится о стенку или правый груз ударится о блок? Трением пренебечь.

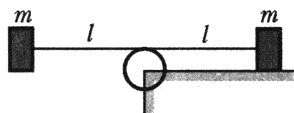


Рис. 50

**182.** В одном случае к потолку подвешивают цепочку длиной  $L$ , закрепив ее концы на расстоянии меньшем  $L$ , а в другом случае к этим же точкам подвешивают два стержня длиной  $L/2$  каждый, соединив их другие концы (рис. 51). В каком случае центр тяжести системы будет выше?



Рис. 51

**183.** Космический корабль опустился на пару часов для установки радиомаяка на астероид со средней плотностью  $2,5 \text{ г/см}^3$ . Оцените, при каком диаметре астероида космонавты смогут объехать его на вездеходе за время стоянки.

**184.** Левый клин медленно вдвигают под правый (рис. 52). Каким должен быть угол  $\beta$ , чтобы правый клин перевернулся?

**185.** Аристотель тщательно взвешивал пустой кожаный мешок и тот же мешок, но заполненный воздухом. Показания весов были одинаковыми. Почему же его вывод о невесомости воздуха был неверен?

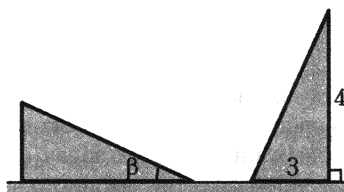


Рис. 52

**186.** Вертикальный цилиндрический сосуд массой  $m$  стоит на подставке. Объем цилиндра делится на две части горизонтальным поршнем массой  $2m$ , который может перемещаться без трения. Подставку мгновенно убирают. Чему равны в первый момент ускорения сосуда и поршня?

**187.** Кусок льда всплывает с глубины 500 м. Оцените, какая часть льда при этом растает. Температура воды и льда  $0^\circ\text{C}$ . Удельная теплота плавления льда  $3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$ .

**188.** Трехлитровую банку с водой пытаются вскипятить кипятильником мощностью 300 Вт, но удается нагреть воду

только до 70 °С . За сколько секунд вода остынет на 2 градуса после выключения кипятильника?

**189.** Потенциал в вершине кубика, заряженного равномерно по объему, равен 12 В. Чему равен потенциал в центре кубика?

### *История научных идей и открытий*

**190.** Самым сильным научным аргументом против коперниканской системы в XVI веке был следующий. Поскольку все планеты обращаются вокруг Солнца, а радиус орбиты Венеры составляет 0,7 радиуса орбиты Земли, то отношение максимального расстояния от Венеры до Земли к минимальному должно составлять  $(1 + 0,7) : (1 - 0,7) \approx 6$  . Следовательно, блеск Венеры должен меняться в  $6^2 = 36$  раз. Однако реально блеск Венеры в течение всего времени наблюдения меняется не более чем в 2–3 раза. Значит, отношение максимального и минимального расстояний не может быть таким, как это утверждается в гелиоцентрической системе, и она неверна. Это рассуждение ставило коперниканцев в тупик, и они не могли дать ответ вплоть до начала проведения телескопических наблюдений.

1) Объясните, в чем ошибка приведенного аргумента.

2) Какую роль в опровержении этого аргумента сыграли телескопические наблюдения?

**191.** 1) За что и кому была присуждена Нобелевская премия по физике 2003 года?

2) Какие еще Нобелевские премии были присуждены за изучение этих явлений?

**192.** При появлении новых направлений в архитектуре во второй половине XIX века потребовалось много дешевого и большого по размерам оконного стекла. Для быстрого решения новых инженерных задач стекольной промышленности фирмы по производству оконного стекла спонсировали ряд физических лабораторий с целью создания приборов по измерению высоких температур. У этих лабораторий были и другие заказчики – фирмы, разрабатывающие конверторную выплавку стали.

1) В чем заключались особенности этих заказов?

2) Какие опытные физические законы и кем были открыты в связи с работами по выполнению заказов?

3) В чем заключались революционные изменения, внесенные в науку при теоретическом объяснении этих законов?

4) Кем и когда были сделаны эти революционные изменения?

**193.** 24 марта 1896 года в Петербурге А.С.Поповым была передана первая в мире радиোগрамма (на расстояние 250 м). В этом же году патент на применение электромагнитных волн для беспроводной связи получил итальянский инженер Г.Маркони.

1) Каков был текст (2 слова) первой в мире радиোগраммы?

2) В каком году Маркони осуществил радиосвязь через Атлантический океан?

3) Почему короткие радиоволны распространяются на большие расстояния лучше, чем длинные?

4) Для передачи сообщений на очень коротких радиоволнах в настоящее время используются геостационарные спутники. Оцените время между передачей сигнала и его приемом на Земле (без учета задержки сигнала в радиоусилительных устройствах).

**194.** В 1964 году М.Гелл-Манн и Дж.Цвейг независимо друг от друга выдвинули гипотезу о фундаментальных частицах, из которых «построены» барионы, в частности протоны и нейтроны. Одна из особенностей этих частиц состоит в том, что их электрический заряд составляет либо одну треть элементарного электрического заряда (отрицательного), либо две трети этого заряда (положительного). Цвейг предложил для названия этих частиц термин игральные карты: «тузы», т.е. самые главные частицы. Однако физическому сообществу ученых пришлось по душе другое название, предложенное Гелл-Манном.

1) Как называются сейчас эти частицы?

2) Как это название связано с художественной литературой XX века (писатель, произведение, персонажи)?

3) Если одна из этих частиц ( $d$ ) имеет электрический заряд  $-1/3$  элементарного заряда, а другая ( $u$ ) имеет заряд  $+2/3$  элементарного заряда, то какова структура протона и нейтрона? Каждый барион содержит три частицы типа  $u$  или  $d$ .

4) Сколько всего, по современным представлениям, существует таких элементарных частиц, как  $u$  и  $d$ ?

5) Почему по отношению к этим частицам применим термин «конфайнмент», т.е. «тюремное заключение»?

### ХІІІ ОЛИМПИАДА

Сечь (Чехия), 2004

#### Письменный тур

**195.** Мотоциклист начинает разгоняться по круговой трассе, стараясь набрать скорость за минимальное время. Какую часть круга он пройдет к моменту достижения максимальной скорости?

**196.** Два свинцовых шарика, отпущенных с большой высоты, достигают при падении в воздухе установившихся скоростей 100 м/с и 150 м/с. Чему будет равна установившаяся скорость падения, если шарики соединить длинной невесомой нитью? Сила сопротивления пропорциональна площади поперечного сечения и квадрату скорости.

**197.** Частица движется в центральном силовом поле  $\vec{F} = -k\vec{r}$  по круговой траектории радиусом  $R_0$ . Внезапно в некоторый момент времени происходит уменьшение коэффициента  $k$  в два раза. Каким будет максимальное удаление частицы от силового центра? По какой траектории будет двигаться частица?

**198.** В морозную ночь на поверхности озера начинает нарастать лед и за первые 5 ночных часов достигает толщины 5 см. Какой станет толщина льда еще через 5 часов, если температура воздуха не меняется? Теплопроводность льда во много раз больше теплопроводности воды.

**199.** В вертикальном цилиндре под поршнем находится идеальный одноатомный газ при температуре 280 К. С помощью нагревателя газ очень быстро (так, что поршень не успевает сдвинуться с места) нагревают до температуры 350 К. Чему будет равна температура газа после установления полного равновесия? Снаружи — вакуум.

**200.** Тонкий проводящий диск толщиной  $d$  и площадью  $S$  падает в вертикальном положении в горизонтальном магнитном поле с индукцией  $B$ , линии которой параллельны плоскости проводника. Найдите ускорение падения диска, если его масса равна  $m$ .

**201.** Определите сжатие Юпитера у полюсов  $\Delta R/R_0$ , где  $\Delta R$  — разность между радиусами на экваторе и на полюсе и  $R_0$  — средний радиус планеты, если известно, что  $R_0 = 70000$  км,

$g = 20 \text{ м/с}^2$  у поверхности, а период обращения составляет 10 часов. Считать, что основная масса планеты сосредоточена в плотном компактном сферическом ядре.

### *Устный тур*

**202.** Можно ли на самолете догнать лунную тень, движущуюся по поверхности Земли на широте города Парду-бице?

**203.** Пустая бутылка емкостью 0,5 л имеет массу 250 г. Найдите плотность стекла, из которого сделана бутылка, если известно, что плавающая в воде бутылка тонет, когда ее заполняют водой на 70%.

**204.** Невесомый стержень длиной  $2l$ , на котором закреплены два одинаковых груза на расстояниях  $0,2l$  от его концов, свободно вращается с угловой скоростью  $\omega$  вокруг оси, проходящей через его середину. В некоторый момент грузы освобождаются и начинают скользить по стержню без трения. За какое время грузы достигнут концов стержня?

**205.** При испытании новой модели электрического чайника, рассчитанного на мощность  $P = 300 \text{ Вт}$  и напряжение сети  $U = 110 \text{ В}$ , оказалось, что вода нагревается почти до  $100^\circ\text{C}$ , но не закипает. За какое время чайник выкипит наполовину, если его подключить к сети напряжением  $220 \text{ В}$ ? Масса воды  $m = 1 \text{ кг}$ , удельная теплота парообразования  $r = 2,3 \text{ МДж/кг}$ .

**206.** На расстоянии  $r$  от заземленного металлического шарика радиусом  $R$  ( $R \ll r$ ) находится точечный заряд  $q$ . Во сколько раз увеличится сила, действующая на шарик, если к нему поднести второй такой же заряд и расположить его на расстоянии  $r/2$  от шарика так, что отрезки, соединяющие шарик с зарядами, взаимно перпендикулярны?

**207.** Длинная трубка, закрытая с верхнего конца, выступает из воды на 10 см. Трубка целиком заполнена водой, но содержит маленький пузырек воздуха. Где будет находиться уровень воды в трубке, если ее нагреть до  $100^\circ\text{C}$ ?

**208.** В лодку налили столько воды, что ее уровень сравнялся с уровнем воды в водоеме. Изменится ли глубина погружения лодки, если в нее положить бревно, плавающее на поверхности воды? Течь в лодке отсутствует.

**209.** Бруску, сечение которого имеет вид правильного шестиугольника (большой карандаш), сообщили начальную скорость в поперечном направлении. При каких значениях коэффициента трения он будет скользить не перекатываясь?

**210** (экспериментальная). Демонстрируется опущенная в воду таблетка шипучего аспирина (Аспирин Упса), которая некоторое время лежит на дне, а затем всплывает. Требуется объяснить наблюдаемое явление.

**211.** В рекламе известной марки чешского пива «Великоповицкий козел» есть такая сцена: для проверки качества сваренного пива пивовар садится кожаными штанами на облитую свежим пивом деревянную скамью и тащит ее на себе. Может ли такое быть на самом деле, и каков физический механизм этого явления? Выделите главный из возможных механизмов и сделайте оценки действующей силы, введя все необходимые параметры.

### *История научных идей и открытий*

**212.** Описывая историю своих астрономических открытий, этот замечательный ученый написал: «...Наконец, не щадя ни труда, ни издержек, я дошел до того, что построил себе прибор, до такой степени превосходный, что с его помощью предметы казались почти в тысячу раз больше и более чем в тридцать раз ближе, чем при наблюдении простым глазом». В это же время похожий телескоп построил и другой известный ученый.

- 1) В каком году это происходило?
- 2) Назовите этих двух ученых.
- 3) В каких городах они жили (когда изобретали эти приборы)?
- 4) В процитированном выше отрывке говорится о труде и издержках. В чем заключался основной труд, и почему необходимы были значительные денежные затраты?
- 5) В чем заключалось различие между конструкциями телескопов этих двух ученых?
- 6) Какая конструкция применялась в астрономии чаще?
- 7) Перечислите несколько астрономических открытий, сделанных первым из этих двух ученых с помощью телескопа.

**213.** В 1600 году был опубликован научный труд, озаглавленный «О магните, магнитных телах и большом магните – Земле».

- 1) Кто автор этого труда?
- 2) Какая из идей, высказанных в этом труде, облегчила Ньютону создание закона всемирного тяготения?
- 3) Какой ученый практически одновременно с Ньютоном сформулировал закон всемирного тяготения? Чем еще известен этот ученый?

**214.** На купюрах американской валюты изображены основатели Соединенных Штатов Америки и некоторые выдающиеся политические деятели.

1) На купюре какого достоинства изображен известный ученый-естествоиспытатель (в частности, он изобрел кресло-качалку)?

2) Каков наиболее существенный вклад этого ученого в науку?

3) В чем заключалась его общественная деятельность?

4) Какой писатель написал роман об одном из эпизодов жизни этого ученого? Как он называется?

5) Какие российские ученые примерно в то же время занимались той же самой научной проблемой? Почему об одном из них английский религиозный философ Джозеф Пристли сказал, что он «нашел свою завидную смерть»?

**215.** В истории науки первой половины XX века большую роль сыграло развитие работ Дж.Дж.Томсона о применении силы Лоренца для определения удельного заряда и массы электрона. Ученик Томсона сконструировал прибор, который он назвал масс-спектрографом, и за время с 1919 по 1937 год значительно улучшил его конструкцию, добившись точности измерения масс атомов до 0,001%.

1) Назовите имя этого ученого.

2) В чем заключались первые важные результаты применения масс-спектрографов, за которые этот ученый получил Нобелевскую премию по химии?

3) В чем состояло главное практическое значение результатов точных измерений масс атомов для человечества?

**216.** В 1880 году окончил Пражский университет (получив второе высшее техническое образование) один из самых выдающихся изобретателей и конструкторов в области электротехники и радиотехники. Он работал в разных фирмах и получал за свою работу крупные вознаграждения – например, по одному доллару за каждый киловатт мощности создаваемых им двигателей. Это позволяло ему думать только о работе. Одно из его дел – постройка Ниагарской гидроэлектростанции.

1) Каково имя этого ученого и изобретателя?

2) В какой стране он жил и работал с 1884 года до своей смерти в возрасте 87 лет?

3) Какие его изобретения вам известны?

4) Какая физическая единица названа его именем? Выразите размерность этой величины через основные единицы Международной системы единиц.

## XIV ОЛИМПИАДА

Ретимно (о.Крит, Греция), 2005

*Письменный тур*

**217.** Брусок массой  $M$  стоит на гладкой горизонтальной плоскости (рис. 53). На бруске закреплен штатив, к которому на нити длиной  $l$  подвешен груз массой  $m$ . Какую наименьшую горизонтальную скорость  $v_0$  надо сообщить грузу, чтобы он совершил полный оборот в вертикальной плоскости?

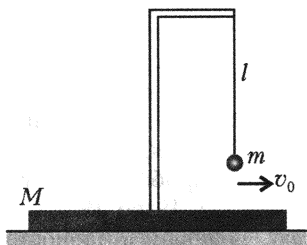


Рис. 53

**218.** По одной из гипотез, звезды образуются из межзвездной среды (космическая пыль) путем сжатия под действием гравитационных сил. Оцените время образования звезды из гигантского сферического облака космической пыли плотностью  $2 \cdot 10^{-20} \text{ г/см}^3$ .

**219.** Два груза массой  $m$  каждый соединены нитью длиной  $L$  и лежат на гладком столе. Середину нити начинают перемещать горизонтально с ускорением  $a$  в направлении, перпендикулярном нити. Какое количество теплоты выделится при неупругом ударе грузов?

**220.** Молекула водяного пара при попадании в воду может отразиться, а может и «прилипнуть» — стать молекулой жидкости. Оцените вероятность «прилипания», если известно, что при  $+20^\circ\text{C}$  в условиях низкой влажности уровень воды в блюдце понижается за минуту примерно на 1,5 мм. Давление насыщенных паров при этой температуре составляет приблизительно 2 кПа.

**221.** Один моль идеального газа находится при температуре 300 К. Его объем увеличивают в 5 раз так, что теплоемкость газа остается постоянной и равной 5000 Дж/К. Оцените, на сколько изменится температура газа.

**222.** Два маленьких шарика, лежащих на гладкой горизонтальной плоскости, соединены невесомой пружиной. Шарики зарядили одноименными зарядами, в результате чего пружина растянулась в три раза. Во сколько раз изменится частота малых колебаний системы?

**223.** Проволочный предохранитель перегорает при напряжении 300 В. При каком напряжении перегорит предохранитель, если его длину увеличить в 3 раза, а диаметр — в 2 раза?

*Устный тур*

**224.** Прямоугольный брусок, высота которого значительно превышает его длину и ширину, стоит на горизонтальной поверхности. Как определить коэффициент трения между бруском и поверхностью, имея лишь один измерительный прибор — линейку?

**225.** Конькобежец решил затормозить и свел вместе пятки, разведя при этом носки врозь (обычно тормозят наоборот). Как он будет двигаться дальше, если продолжает удерживать ступни в этом положении?

**226.** Уровень воды, попавшей в лодку, совпадает с уровнем воды в озере. Где уровень воды будет выше, если в лодку бросить полено?

**227.** Моллюск выращивает жемчужину, причем скорость увеличения ее радиуса обратно пропорциональна квадрату радиуса ( $\frac{\Delta R}{\Delta t} \sim R^{-2}$ ). За первый месяц радиус достиг значения 0,5 мм. Через сколько месяцев после этого радиус жемчужины станет равным 1 мм?

**228.** Стенки сосуда, заполненного газом с температурой  $T$ , быстро нагрели (или охладили) до температуры  $T_1$ . Что произойдет с давлением газа?

**229.** Открытая с концов длинная трубка высовывается из воды на 10 см. Верхний конец трубки закрывают, после чего воздух в трубке нагревают от 20 °С до 100 °С. Оцените, на сколько надо при этом переместить трубку вверх, чтобы уровень воды в трубке остался на уровне воды в сосуде.

**230.** Деревянное кольцо (пяльцы) помещают вертикально на открытую бутылку, а сверху аккуратно ставят вертикальный узкий цилиндр (рис. 54). Предлагается, не затрагиваясь до цилиндра, переместить его внутрь бутылки.

**231.** Имеется некоторая масса воды при температуре  $T$  и другая такая же масса воды

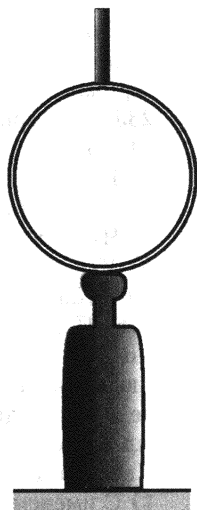


Рис. 54

при температуре  $2T$ . Можно ли сделать так, чтобы температура всей первой массы воды стала больше, чем температура всей второй массы? Теплообмен с другими телами запрещен.

**232.** Как изменится период колебаний математического маятника, если в точку подвеса и на грузик поместить одноименные заряды?

**233.** По торцу длинного стеклянного цилиндра ползает муха, а на боковой поверхности сидит паук. Где должен находиться паук, чтобы он мог увидеть муху? Показатель преломления стекла равен 1,5.

### *История научных идей и открытий*

**234.** Это понятие родилось в Древней Греции. Его древнегреческое название всем нам хорошо известно. Древнеримские философы придумали для него термин «квинтэссенция». Через 2000 лет, в XIX веке, это понятие, звучащее снова на греческом, широко использовалось в физике, однако впоследствии физики дружно от него отказались.

- 1) Как мы называем (по-гречески) это понятие?
- 2) Как оно переводится на русский язык?
- 3) Какой философ впервые его ввел для объяснения мира и когда (с точностью до века)?
- 4) Как переводится на русский язык «квинтэссенция» и почему древнеримские философы использовали именно этот термин?

5) Под влиянием работ какого ученого физики начали отказываться от этого понятия? Когда (хотя бы приблизительно) это произошло?

**235.** Размеры Земного шара впервые определены греком.

- 1) Когда (с точностью до века) это произошло?
- 2) Назовите имя этого грека.
- 3) Где это было (современное название страны)?
- 4) Что именно и каким прибором было измерено?
- 5) Как по измеренным данным этот грек вычислял радиус Земли? Какие еще величины ему понадобились для расчета?

**236.** Полоса полного солнечного затмения 29 мая 1919 года проходила в Южной Америке и Атлантическом океане. Для наблюдения за этим явлением были снаряжены две необычные экспедиции. Один из физических результатов наблюдений получил широчайшую огласку в прессе и известность среди людей, весьма далеких от физики.

- 1) С именем какого ученого связана известность этих наблюдений?

- 2) Что конкретно измерялось в этих экспедициях?
- 3) Какую теорию подтвердило одно из наблюдений?
- 4) Какие другие экспериментальные факты подтверждают эту теорию?

5) Какое значение имеет эта теория для современной человеческой деятельности?

**237.** Деление тяжелых ядер – это явление, широко используемое в современной энергетике и не только в ней.

1) Какой ученый (будущий Нобелевский лауреат) и когда впервые осуществил этот процесс в лаборатории (хотя и неправильно его интерпретировал)?

2) Какие ученые (один из них – будущий Нобелевский лауреат), повторив эти опыты, дали им правильное объяснение и поэтому считаются первооткрывателями явления?

3) Когда и где (страна, город) впервые заработал ядерный реактор?

4) Когда и где (страна, город) заработала первая промышленная атомная электростанция (мощностью 5 МВт)?

5) В каком государстве в наше время ядерная энергетика занимает ведущее место (свыше 75%) в получении энергии?

**238.** Одному великому физiku в 58-летнем возрасте пришлось совершить необычное путешествие: сначала темной ночью через морской пролив в рыбацкой шхуне; затем около 1200 км в бомбовом отсеке бомбардировщика (потеряв при этом сознание из-за кислородного голодания); только после этого путешествие проходило в комфортабельных условиях океанского лайнера и трансконтинентального экспресса.

1) Назовите имя этого ученого.

2) Укажите маршрут путешествия (страны, города) – начальный, промежуточные и конечный пункты.

3) Когда это было?

4) Каковы были причины этого путешествия?

5) Перечислите основные научные достижения этого ученого.

1.  $M_x = 8m$ .

2.  $a = \frac{7}{20}g$ , если ускорение груза массой  $2m$  направлено вверх, и  $a = \frac{13}{20}g$ , если его ускорение направлено вниз.

3.  $\frac{m}{2} < M_x < 2m$ , при этом левый груз движется влево и его энергия не больше первоначальной энергии системы.

4.  $x = \frac{Mv^2}{2\mu g(M+m)} \approx 0,13 \text{ м}.$

5.  $d_b \approx 3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ ;  $d_{\text{нп}} \approx 4 \cdot 10^{-9} \text{ м}$ ;  $\alpha \approx 5 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$ . *Указание:* давление насыщенного пара воды при  $100^\circ\text{C}$  составляет 1 атм.

6. Запишем зависимость  $p(V)$  в виде

$$p = p_0 \left( 1 - \frac{V}{V_0} \right).$$

Максимум температуры

$$T = \frac{pV}{R} = \frac{p_0}{R} \left( V - \frac{V^2}{V_0} \right)$$

достигается при  $V_1 = \frac{V_0}{2}$  и равен

$$T_1 = \frac{p_0 V_0}{4R}.$$

Хотя при дальнейшем расширении температура, а значит, и внутренняя энергия уменьшаются, газ продолжает получать тепло вплоть до  $V_2 = \frac{5}{8}V_0$ . Действительно,

$$dQ = pdV + \frac{3}{2}RdT = pdV + \frac{3}{2}(pdV + Vdp) = \frac{5}{2}pdV + \frac{3}{2}Vdp.$$

Подставляя

$$p = p_0 \left( 1 - \frac{V}{V_0} \right) \text{ и } dp = -\frac{p_0}{V_0} dV,$$

получим

$$dQ = 4p_0 \left( \frac{5}{8} - \frac{V}{V_0} \right) dV.$$

Видно, что  $dQ > 0$  пока  $V < \frac{5}{8} V_0$ . Это означает, что на участке

$V < V_2 = \frac{5}{8} V_0$  газ получает тепло, а на участке  $V > V_2$  — отдает.

7. См. рис. 55.

$$8. I_2 = I_3 = \frac{U_0}{r}; I_1 = I_4 = 0.$$

$$9. I_2 = 1,2 \text{ мА}; U_0 = 0,75 \text{ В}; R_V = 0,75 \text{ кОм}; R_A = 0,375 \text{ кОм}.$$

10. Поскольку постоянная времени  $\tau = CR$  для разрядки конденсатора через гальванометр много меньше периода  $T$  изменения емкости (или  $I_{\max} R \sim \frac{q_{\max}}{T} R \ll \frac{q_{\max}}{C}$ ), то напряжение на конденсаторе все время мало по сравнению с  $U = Ed$ . Это означает,

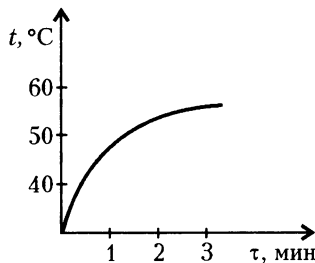


Рис. 55

что поле конденсатора  $E_k = \frac{q}{C} : d$  в каждый момент времени компенсирует внешнее поле  $E$ . Следовательно, за период через миллиамперметр проходит (за те полпериода, пока емкость уменьшается) заряд  $q_{\max} = C_{\max} U = C_{\max} Ed = \epsilon_0 S E$ . Средний ток через миллиамперметр равен

$$I = \frac{q_{\max}}{T} = \epsilon_0 S E n \approx 8,85 \cdot 10^{-9} \text{ А}.$$

Этот ток не зависит ни от  $R$ , ни от  $d$ .

$$11. I_{Lm} = U_0 \sqrt{\frac{C}{3L}} = 10^{-2} \text{ А}; I_6 = U_0 \sqrt{\frac{C}{27L}} \approx 3 \cdot 10^{-3} \text{ А};$$

$$U_{Cm} = \frac{4}{3} U_0 \approx 13 \text{ В}.$$

12.  $F = 4$  см, если линза собирающая, и  $F = -12$  см, если линза рассеивающая.

$$13. F_{\text{тр}} = \frac{mM(2g - a_0)}{m + M}.$$

14. Пусть груз массой  $M$  совершает колебания по закону  $x_1 = A \cos \omega t$ , где  $\omega = 2\pi/T$ . Уравнение движения этого груза

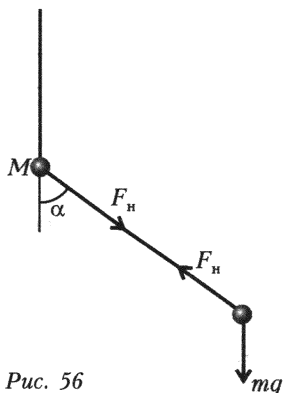


Рис. 56

имеет вид (рис. 56)

$$F_H \sin \alpha = Ma_1,$$

где  $a_1 = -\omega^2 A \cos \omega t$ . При  $\alpha \ll 1$   
 $F_H = mg$  и  $\sin \alpha = \alpha$ , т.е.

$$mg\alpha = Ma_1.$$

Ускорение груза массой  $m$ , подвешенного на нити длиной  $l$ , равно

$$a_2 = a_1 + l\alpha'' = a_1 - \frac{Ml}{mg} \omega^2 a_1.$$

На этот груз действует в горизонтальном направлении сила  $-F_H \sin \alpha = -Ma_1$ , и уравнение движения этого груза имеет вид

$$-Ma_1 = m \left( a_1 - \frac{Ml}{mg} \omega^2 a_1 \right),$$

откуда

$$l = \frac{M+m}{M} \frac{g}{\omega^2} = \frac{M+m}{M} \frac{gT^2}{4\pi^2}.$$

15.  $u = \sqrt{v^2 + 2gh}$  и  $\sin \beta = \frac{v \sin \alpha}{u}$ , где  $u$  — скорость бруска после спуска,  $\beta$  — угол с направлением на спуск.

16.  $T = G \frac{MMh}{r^2 R}$ , где  $R$  — универсальная газовая постоянная.

17. Предположим, что постоянное давление в большом сосуде поддерживается за счет перемещения поршня (рис. 57). Если

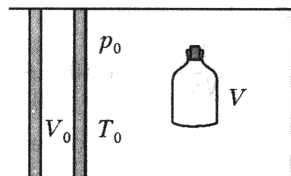


Рис. 57

объем большого сосуда уменьшился на  $V_0$ , то работа поршня под газом равна  $A = p_0 V_0$ , а количество газа, вошедшего в маленький сосуд, определяется уравнением

$$p_0 V_0 = \nu R T_0.$$

Изменение внутренней энергии этого газа равно работе внешних сил (поршня):

$$\frac{i}{2} \nu R (T - T_0) = p_0 V_0,$$

где  $i$  – число степеней свободы молекул газа. Получаем

$$T - T_0 = \frac{2}{i} T_0, \quad T = \frac{i+2}{i} T_0 = \gamma T_0,$$

где  $\gamma$  показатель адиабаты. Для одноатомного газа  $\gamma = \frac{5}{3}$ , поэтому

$$T = \frac{5}{3} T_0 = 500 \text{ К}.$$

**18.**  $\tau \approx \frac{cm\Delta t}{P} \approx 17 \text{ с}$  (мощность теплоотдачи равна мощности нагревателя);  $t_{\max} \approx 70^\circ \text{C}$  (мощность теплоотдачи пропорциональна разности температур).

**19.**  $U = \frac{3}{2} \frac{q}{C}.$

**20.** Из векторной диаграммы (рис. 58) следует, что

$$U_0^2 = U_R^2 + U_{\text{пр}}^2 + 2U_R U_{\text{пр}} \cos \varphi,$$

где

$$U_R = IR, \quad U_{\text{пр}} = U.$$

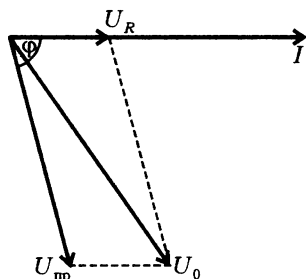


Рис. 58

Прибор потребляет среднюю мощность

$$P = U_{\text{пр}} I_{\text{пр}} \cos \varphi \approx 30 \text{ Вт}.$$

**21.** В момент броска и в момент падения тело удаляется от точки броска. Следовательно, если тело может приближаться к этой точке, то между броском и падением будет момент, когда тело начинает приближаться, и момент, когда оно начинает снова удаляться. В эти моменты вектор  $\vec{r} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{g} t^2}{2}$  и вектор  $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g} t$  взаимно перпендикулярны, поэтому их скалярное произведение равно нулю, т.е.  $(\vec{v} \cdot \vec{g}) = 0$ . Подставляя  $\vec{v}$  и  $\vec{r}$  и учитывая, что  $(\vec{v}_0 \cdot \vec{g}) = -v_0 g \sin \alpha$ , получим квадратное уравнение для  $t$ :

$$t^2 - 3 \frac{v_0}{g} \sin \alpha \cdot t + \frac{2v_0^2}{g^2} = 0.$$

Если корней нет, то тело все время удаляется от точки броска.

Условие  $D \leq 0$  приводит к ответу

$$\sin \alpha \leq \frac{2\sqrt{2}}{3}, \text{ и } \alpha_{\max} = \arcsin \frac{2\sqrt{2}}{3}.$$

22. а)  $x \geq \frac{3l}{5}$ ; б)  $x \geq l\sqrt{3}(2 - \sqrt{3})$ .

23. Дополнительные двигатели надо включить сразу после отработки основных двигателей, т.е. пока скорость ракеты максимальна. Действительно, из закона сохранения импульса следует, что изменение скорости ракеты не зависит от момента включения двигателей, а приращение ее энергии, равное

$$\frac{m(v + \Delta v)^2}{2} - \frac{mv^2}{2} = mv\Delta v + \frac{m\Delta v^2}{2},$$

максимально при максимальном значении  $v$ .

24. Поскольку  $E_{\text{пост}} = \frac{3}{2}pV$ , то для измерения этой энергии надо барометром измерить давление.

25. Это утверждение было бы верным в том случае, если бы взаимодействие между зарядами в «плоском» мире определялось не обычным, а «плоским» законом Кулона:  $F \sim \frac{q_1 q_2}{r}$ . Если же взаимодействие определяется обычным законом Кулона, то утверждение оказывается неверным.

26. Поскольку суммарная ЭДС двух катушек равна нулю, то полный магнитный поток сохраняется:

$$LI_1 + LI_2 = LI_0.$$

Кроме того, действует закон сохранения энергии:

$$\frac{LI_1^2}{2} + \frac{LI_2^2}{2} + \frac{Q^2}{2C} = \frac{Q_0^2}{2C}.$$

а) Максимальный ток соответствует условию  $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = U = 0$ , т.е.  $Q = 0$ . Получаем

$$I_{1\max} = I_{2\max} = \frac{I_0}{2} + \sqrt{\frac{Q_0^2}{2LC} - \frac{I_0^2}{4}}.$$

б) Максимальный заряд означает, что ток через конденсатор равен нулю, т.е.  $I_1 = I_2 = \frac{I_0}{2}$ . Отсюда

$$Q_{\max} = \sqrt{Q_0^2 - \frac{I_0^2 LC}{2}}.$$

**27.** При любой форме ангара, траектория мяча при минимальной скорости должна касаться ангара в симметрично расположенных точках.

В случае прямоугольного ангара траектория проходит через две вершины прямоугольника (рис. 59). Поскольку скорость  $v_1$  и начальная скорость  $v_0$  связаны соотношением

$$v_0^2 = v_1^2 + 2gh$$

(которое следует из закона сохранения энергии), то минимальной величине  $v_0$  соответствует минимальная величина  $v_1$ , которая соответствует углу  $\beta = 45^\circ$ . Получаем

$$d = \frac{v_1^2}{g}, \text{ и } v_0 = \sqrt{g(d + 2h)} = 20 \text{ м/с}.$$

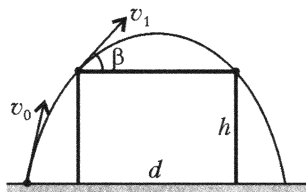


Рис. 59

В случае полуцилиндрического ангара обозначим за  $h$  высоту тех точек, где траектория мяча касается ангара (рис. 60). Расстояние между точками касания равно  $2R \sin \beta$ , следовательно,

$$\frac{v_1^2 \sin 2\beta}{g} = 2R \sin \beta,$$

или

$$v_1^2 = \frac{gR}{\cos \beta} = \frac{gR^2}{h}.$$

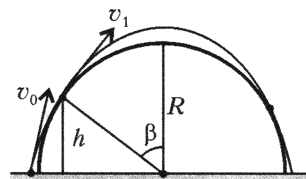


Рис. 60

Из закона сохранения энергии получаем

$$v_0^2 = v_1^2 + 2gh = g \left( \frac{R^2}{h} + 2h \right).$$

Определив минимум этого выражения, найдем начальную скорость:

$$v_0 = \sqrt{2\sqrt{2}gR} \approx 14 \text{ м/с}.$$

**28.** Предположим, что рассматриваемый баллон находится внутри большого сосуда, давление в котором поддерживается постоянным и равным атмосферному давлению  $p_0$  за счет перемещения поршня (см. рис. 57). Найдем температуру в баллоне сразу после закрывания вентиля.

Обозначив уменьшение объема внешнего сосуда  $V_0$ , количество газа в баллоне до открывания вентиля  $v_1$ , количество

вошедшего в баллон воздуха  $v_2$  и изменение температуры  $\Delta T$ , запишем закон сохранения энергии в виде

$$p_0 V_0 = \frac{5}{2} (v_1 + v_2) R \Delta T.$$

Теперь запишем уравнения состояния газа в нашем баллоне в начале (до открывания вентиля) и в конце (сразу после выравнивания давлений):

$$\frac{p_0}{2} V = v_1 R T_0, \quad p_0 V = (v_1 + v_2) R (T_0 + \Delta T),$$

где  $V$  — объем баллона. Кроме того, для газа, вошедшего в баллон, тоже можно записать уравнение состояния:

$$p_0 V_0 = v_2 R T_0.$$

После преобразований получим

$$\Delta T = \frac{T_0}{6}.$$

Значит, температура в баллоне сразу после заполнения газом равна

$$T' = \frac{7}{6} T_0.$$

После изохорного остывания газа до температуры  $T_0$  давление станет равным

$$p' = \frac{6}{7} p_0.$$

**29.**  $u = \frac{1}{2} U_0 (1 + \cos \omega t)$ , где  $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC/2}}$ ; механический аналог: колебания грузика между двумя пружинами, одна из которых поджата в начальный момент времени.

**30.** Оптимальный диаметр отверстия соответствует случаю, когда размер дифракционного пятна совпадает с размером отверстия. Допустим, что при от-

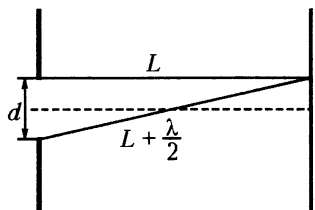


Рис. 61

ступлении от центра пятна на  $\frac{d}{2}$  разность хода между крайними лучами составляет  $\frac{\lambda}{2}$  (рис. 61). Тогда получим

$$\left( L + \frac{\lambda}{2} \right)^2 = d^2 + L^2,$$

откуда

$$d \approx \sqrt{\lambda L}.$$

Подставляя  $\lambda = 500$  нм (средняя длина волны видимого света), найдем искомый диаметр отверстия:

$$d \approx 0,2 \text{ мм}.$$

**31.** Если  $\operatorname{tg} \alpha < \mu$ , то  $a_6 = 0$ ,  $a_d = \frac{2}{3} g \sin \alpha$  и  $a_k = \frac{1}{2} g \sin \alpha$ , т.е. первым съезжает диск, затем кольцо, а брусок остается неподвижным; если  $\mu < \operatorname{tg} \alpha < 2\mu$ , то  $a_6 = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$ ,  $a_d = \frac{2}{3} g \sin \alpha$  и  $a_k = \frac{1}{2} g \sin \alpha$ , т.е. первым съезжает диск, затем кольцо и потом брусок; если  $2\mu < \operatorname{tg} \alpha < 3\mu$ , то  $a_6 = a_k = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$  и  $a_d = \frac{2}{3} g \sin \alpha$ , т.е. первым съезжает диск, а затем брусок и кольцо съезжают одновременно; если  $\operatorname{tg} \alpha > 3\mu$ , то  $a_6 = a_d = a_k = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$ , т.е. все тела съезжают одновременно.

$$\mathbf{32.} \quad v_{\min} \approx \sqrt{gR \left( 7\pi + \frac{2\sqrt{2}}{9} \right)}.$$

$$\mathbf{33.} \quad T_3 \approx 6 \text{ млрд лет}.$$

**34.**  $h = \frac{(n-1)p_0}{\rho g}$ , где  $p_0$  — атмосферное давление,  $\rho$  — плотность воды.

$$\mathbf{35.} \quad h = \frac{10}{17} R.$$

**36.** Будем считать, что орбита спутника в каждый момент времени близка к круговой. Тогда из второго закона Ньютона

$$G \frac{mM}{r^2} = m \frac{v^2}{2}$$

следует, что полная механическая энергия спутника равна

$$E = \frac{mv^2}{2} - G \frac{mM}{r} = -G \frac{mM}{2r}.$$

Если за некоторый интервал времени спутник совершил  $\Delta N$  оборотов, то работа силы сопротивления ( $F_c = \alpha v^2$ )

$$A = -\alpha v^2 \cdot 2\pi r \cdot \Delta N = -\alpha \frac{GM}{r} \cdot 2\pi r \Delta N$$

равна изменению его механической энергии

$$\Delta E = \Delta \left( -G \frac{mM}{2r} \right) = G \frac{mM}{2r^2} \Delta r.$$

Получаем

$$\Delta N = -\frac{m}{4\pi\alpha} \frac{\Delta r}{r^2}.$$

Интегрируя от  $r_1 = R + H$  до  $r_2 = R$ , находим

$$N = \frac{m}{4\pi\alpha} \left( \frac{1}{R} - \frac{1}{R+H} \right) = \frac{m}{4\pi\alpha} \frac{H}{R(R+H)}.$$

37.  $\varepsilon(t) = \frac{12\varepsilon_{\max}}{\gamma^4}$  при  $\gamma \gg 1$  и  $\varepsilon(t) = \frac{\varepsilon_{\max}}{2} \left( 1 - \frac{4}{5}\gamma \right)$  при  $\gamma \ll 1$ , где  $\gamma = \frac{a^2 t}{6L^3} \sqrt{\frac{2\varepsilon_{\max}}{m}}$  ( $m$  – масса молекулы).

38. Сила равна  $F = mg\sqrt{\mu^2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}$  и с направлением движения бруска составляет угол  $\beta = \arctg \frac{1}{\mu} \tg \alpha$ .

39. Напряженность поля в отверстии на расстоянии  $r$  от центра можно найти как суперпозицию поля однородно заряженного шара радиусом  $R$  с зарядом  $Q_1 = \frac{8}{7}Q$  и отрицательно заряженного шара радиусом  $\frac{R}{2}$  с зарядом  $Q_2 = \frac{Q}{7}$ :

$$E = k \frac{Q_1}{R^2} \frac{r}{R} - k \frac{Q_2}{\left( \frac{R}{2} + r \right)^2} = \frac{8}{7} k \frac{Q}{R^2} \left( \alpha - \frac{1}{2(1+2\alpha)^2} \right),$$

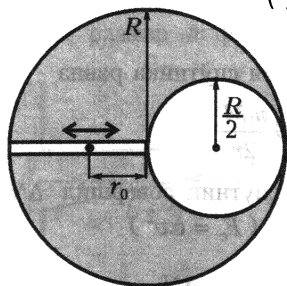


Рис. 62

где  $\alpha = \frac{r}{R}$ . Отрицательный заряд  $-q$  будет совершать малые колебания возле точки  $r_0 = \alpha_0 R$ , где напряженность поля равна нулю (рис. 62). Для  $\alpha_0$  получаем уравнение

$$2\alpha_0 (1 + 2\alpha_0)^2 = 1,$$

имеющее корень  $\alpha_0 \approx 0,2$ . Подставив в выражение для напряженности

$r = r_0 + x$  ( $x \ll r_0$ ), получим

$$E \approx \frac{8}{7} k \frac{Q}{R^3} \left( 1 + \frac{2}{(1+2\alpha_0)^3} \right) \cdot x.$$

Следовательно, заряд  $-q$  с массой  $m$  будет совершать колебания с частотой

$$\omega = \sqrt{\frac{8}{7} k \frac{Qq}{mR^3} \left( 1 + \frac{2}{(1+2\alpha_0)^3} \right)}.$$

**40.** Сила гравитационного притяжения фотона массой  $m$  к центру шара на расстоянии  $r < R$  от центра равна

$$F = G \frac{mM}{R^3} r,$$

а проекция этой силы на направление, перпендикулярное линии пролета фотона (рис. 63), равна

$$F_{\perp} = G \frac{mM}{R^3} r \sin \alpha = G \frac{mM}{R^3} h$$

и остается постоянной внутри шара. Импульс, сообщенный фотону в поперечном направлении, равен

$$p_{\perp} = F_{\perp} t = G \frac{mM}{R^3} h \frac{2R}{c}$$

( $t$  – время пролета фотона). Фотон отклонится на угол

$$\beta = \frac{p_{\perp}}{p} = \frac{p_{\perp}}{mc} = 2G \frac{M}{R^2} \frac{h}{c^2}.$$

Следовательно, луч пересечется с осевой линией на расстоянии

$$L = \frac{h}{\beta} = \frac{R^2 c^2}{2GM} \approx 100 \text{ км}.$$

Это и есть фокусное расстояние гравитационной линзы

**41. а)** Решим задачу графически (рис. 64). Скорость лодки относительно берега равна

$$\vec{v} = \vec{v}_p + \vec{v}_л.$$

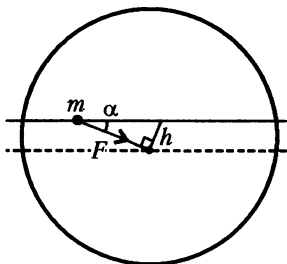


Рис. 63

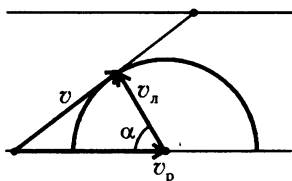


Рис. 64

Выбирая различные направления  $\vec{v}_л$ , надо добиться того, чтобы вектор  $\vec{v}$  составлял наибольший угол с берегом. Конец вектора  $\vec{v}_л$  описывает полуокружность, и наименьший снос соответствует направлению  $\vec{v}$  по касательной к полуокружности. Получаем

$$\alpha = \arccos \frac{v_л}{v_p}.$$

Интересно отметить, что лодка движется по отношению к берегу перпендикулярно выбранному лодочником направлению движения ( $\vec{v} \perp \vec{v}_л$ ).

б) В этом случае снос будет таким же, как для реки с постоянной скоростью течения, равной  $v_p = \frac{v_0}{2}$ . Получаем

$$\alpha = \arccos \frac{2v_л}{v_0}.$$

**42.** Во время взаимодействия шарика с брусом возрастает сила давления бруса на поверхность, следовательно, возрастает и сила трения. Изменение импульса системы за время удара в проекциях на оси  $y$  и  $x$  определяется дополнительными силами давления  $N'$  и трения  $F'_{тр}$ :

$$N' \Delta t = 2mv,$$

$$-F'_{тр} \Delta t = \Delta p'_x,$$

где  $\Delta t$  – время взаимодействия,  $v$  – скорость шарика в момент падения. Учитывая, что  $F'_{тр} = \mu N'$ , получим

$$\Delta p'_x = -\mu \cdot 2mv.$$

Дополнительное изменение импульса бруса за время  $t$  равно

$$-\mu \cdot 2mv \cdot n = -\mu \cdot 2mv \frac{t}{2v/g} = -\mu mgt,$$

где  $n$  – число ударов за время  $t$ . Получаем, что тормозящее действие ударов эквивалентно добавлению дополнительной силы трения, равной  $\mu mg$ . Среднее ускорение бруса будет равно

$$a = \frac{\mu Mg + \mu mg}{M},$$

а путь, пройденный брусом до остановки, составит

$$s = \frac{v_0^2}{2a} = \frac{v_0^2}{2\mu g} \frac{M}{m + M}.$$

**43.**  $t = \frac{1}{v} \sqrt[3]{\frac{3M}{4\rho_n}}$ , где  $\rho_n$  — плотность насыщенных паров,  $v$  — скорость разлета газового шара, связанная с энергией удара  $E$ ;  $\rho = \rho_0 \left(\frac{t_0}{t}\right)^3$ , где  $\rho_0$  — начальная плотность газового шара,  $t_0 = \frac{R}{v}$ .

**44.**  $h = \sqrt{\frac{v^2}{2g}}$  при  $v \leq \sqrt{2gL}$ ;  $h = 2L$  при  $v \leq \sqrt{5gL}$ ;  $h = L \left(1 + \sin \alpha + \frac{1}{2} \sin \alpha \cos^2 \alpha\right)$ , где  $\sin \alpha = \frac{2}{3} \left(\frac{v^2}{2gL} - 1\right)$ , при подъеме на угол  $\alpha > 90^\circ$ . *Указание:* при условии  $v = \sqrt{gL \sin \alpha}$  натяжение нити равно нулю, тело отрывается от круговой орбиты и летит по параболе.

**45.** Для точек, лежащих на прямой  $A_1 A_2$ , можно записать  $p \sim V$ ,  $T \sim pV \sim V^2$ , т.е. объем связан с температурой соотношением

$$V = \alpha \sqrt{T}.$$

Для точки  $A_3$ , лежащей посередине между точками  $A_1$  и  $A_2$ ,

$$V_3 = \frac{V_1 + V_2}{2}.$$

Получаем

$$\sqrt{T_3} = \frac{\sqrt{T_1} + \sqrt{T_2}}{2},$$

или

$$T_3 = \frac{(\sqrt{T_1} + \sqrt{T_2})^2}{4}.$$

Отметим, что адиабаты, на которых лежат точки  $A_1$  и  $A_2$ , упомянуты в условии для отвода глаз и в решении никак не используются.

**46.** Считая радиусы шариков малыми по сравнению с рас-

стояниями между ними, т.е. полагая  $R \ll a$ , получим

$$\varphi = k \frac{q_1}{R},$$

$$\varphi = k \frac{q_2}{R} + k \frac{q_1}{a},$$

$$\varphi = k \frac{q_3}{R} + k \frac{q_1 + q_2}{a}.$$

Исключив  $a$  и  $R$ , придем к соотношению

$$q_2 = \sqrt{q_1 q_3} = 6 \text{ мкКл}.$$

**47.** Так как при  $U < 0,8U_0$  калорифер не может поддерживать заданную температуру, то при  $U = 0,8U_0$  мощность теплоотдачи сравнивается с подводимой мощностью:

$$P_{\text{отд}} = 0,64 \frac{U_0^2}{R}.$$

При  $U > 0,8U_0$  калорифер при включении нагревает воду от температуры включения до температуры выключения, сообщая воде определенное количество теплоты  $Q$ :

$$\left( \frac{U_0^2}{R} - 0,64 \frac{U_0^2}{R} \right) t_1 = Q,$$

$$\left( 0,81 \frac{U_0^2}{R} - 0,64 \frac{U_0^2}{R} \right) t_2 = Q,$$

где  $t_1 = 1$  мин, а  $t_2$  — искомое время. Получаем

$$0,36t_1 = 0,17t_2, \text{ или } t_2 \approx 2,1 \text{ мин.}$$

**48.** Когда уровень воды совпадает с уровнем центра тяжести стакана.

**49.** Сила, сдавливающая пробку в горлышке бутылки, равна

$$F_d = p_0 S = p_0 \cdot 2\pi R x,$$

где  $x$  — длина части пробки, находящейся в бутылке,  $p_0$  — давление пробки на бутылку. Значит, сила трения

$$F_{\text{тр}} = \mu F_d = \mu p_0 \cdot 2\pi R x$$

линейно зависит от  $x$ . При  $x = l$  сила трения равна  $F_0$ . Получаем

$$F_{\text{тр}} = F_0 \frac{x}{l}.$$

Работа против этой силы равна

$$A = \frac{0 + F_0}{2} l = \frac{F_0 l}{2}.$$

Это и есть минимальная работа, которую надо совершить, чтобы вынуть пробку из бутылки.

**50.** Нет, поскольку давление насыщенных паров надо льдом ниже, чем над жидкостью, и поэтому капли начнут испаряться, а ледовые кристаллы — расти.

**51.** Нужно обернуть бутылку в мокрое полотенце и положить за окно. Быстрый поток воздуха будет обеспечивать быстрое испарение воды и, как следствие, охлаждение бутылки.

**52.** При скольжении по выпуклой дуге  $ACB$ .

**53.** а)  $F_{\text{тр}} = 0,5 \text{ Н}$ ,  $a = 0$ ,  $F_{\text{н}} = 2,5 \text{ Н}$ ;

б)  $F_{\text{тр}} = 0$ ,  $a = 0$ ,  $F_{\text{н}} = 3 \text{ Н}$ ,

в)  $F_{\text{тр}} = 0,5 \text{ Н}$ ,  $a = 0$ ,  $F_{\text{н}} = 3,5 \text{ Н}$ .

**54.** См. рис. 65.

**55.** Время подъема меньше времени спуска.

**56.** Используя барометрическую формулу и уравнение Клапейрона — Менделеева, получим

$$\Delta h = \frac{\Delta TR \ln(p_0/p)}{Mg},$$

где  $M$  — молярная масса воздуха.

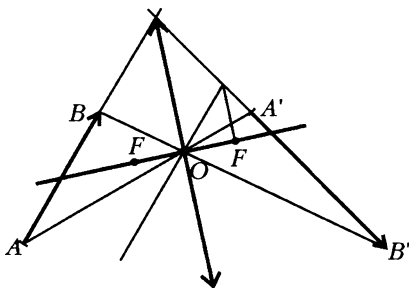


Рис. 65

**57.** Используя уравнение Бернулли, получим  $h = \frac{F}{\rho S g} - H_1$ , где  $\rho$  — плотность воды.

**58.** Шкала Фаренгейта, температура кипения воды равна  $212^\circ \text{F}$ .

**59.** С хорошо разработанной в то время теорией теплоты.

**60.** И.Ньютон, наблюдаемое им явление — это «кольца Ньютона».

**61.** 1) Нобелевская премия 1956 г. — Шокли У., Бардин Дж., Браттейн У. — за исследования полупроводников и открытие транзисторного эффекта; 2) 1909 г. — Маркони Г., Браун К. — за развитие беспроводной телеграфии; 3) 1964 г. — Таунс Ч., Басов Н.Г., Прохоров А.М. — за фундаменталь-

ные исследования в области квантовой электроники, которые привели к созданию генераторов и усилителей нового типа, т.е. мазеров и лазеров.

**62.** Емкость, электродвижущая сила.

**63.** Э.Галлею, который знаменит открытием кометы (комета Галлея).

**64.** Идея поля, высказанная М.Фарадеем.

**65.** Гибель озона в стратосфере (существование «озоновой дыры» над Антарктидой).

**66.** «Живые силы» — кинетическая энергия тела, «мертвые силы» — его потенциальная энергия.

**67.** В зависимости от параметров задачи возможны такие режимы движения колеса: скольжение, качение без проскальзывания и покой.

а) *Режим проскальзывания колеса*

Уравнения поступательного движения бруска и колеса имеют вид

$$ma = mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha - T, \quad Ma = T - \mu Mg.$$

Отсюда находим ускорение бруска и силу натяжения нити:

$$a = g \frac{m(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) - \mu M}{m + M}, \quad T = g \frac{mM}{M + m} (\mu + \sin \alpha - \mu \cos \alpha).$$

Для определения границы такого режима движения рассмотрим уравнение вращательного движения колеса:

$$Ma_r = \mu Mg,$$

где  $a_r$  — линейное ускорение обода колеса. Поскольку должно быть выполнено соотношение  $a_r = \mu g < a$ , режим проскальзывания реализуется при

$$\mu < \frac{m \sin \alpha}{m(1 + \cos \alpha) + 2M}.$$

б) *Режим качения без проскальзывания*

Уравнения движения бруска, а также поступательного и вращательного движений колеса запишем в виде

$$ma = mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha - T,$$

$$Ma = T - F_{\text{тр}},$$

$$Ma_r = F_{\text{тр}},$$

где  $F_{\text{тр}}$  — сила трения покоя, приводящая к качению колеса без

проскальзывания ( $a_r = a$ ). Из уравнений движения получим

$$a = g \frac{m(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{m + 2M}, \quad T = g \frac{2mM}{2M + m} (\sin \alpha - \mu \cos \alpha).$$

Такой режим движения реализуется при выполнении условия

$$\frac{m \sin \alpha}{m(1 + \cos \alpha) + 2M} < \mu < \operatorname{tg} \alpha.$$

в) *Состояние покоя*

Оно реализуется при условии  $\mu > \operatorname{tg} \alpha$ . При этом  $a = 0$ ,  $T = 0$ .

**68.** В отсутствие силы вязкого трения максимальная высота подъема определяется выражением

$$H = \frac{v_0^2}{2g},$$

причем квадрат скорости убывает с высотой подъема по закону

$$v^2(x) = v_0^2 - 2gx.$$

Посчитаем величину работы силы трения в процессе подъема тела до максимальной высоты:

$$A = \frac{1}{2} \beta v_0^2 H = \beta \frac{v_0^4}{4g}.$$

С учетом силы трения высота подъема окажется меньше на величину  $\Delta h$ , определяемую из соотношения

$$mg\Delta h = A.$$

В результате получим искомую высоту подъема тела:

$$x_{\max} = H - \Delta h = \frac{v_0^2}{2g} \left( 1 - \frac{\beta v_0^2}{2mg} \right).$$

**69.** Положение равновесия поршня в стакане определяется условием

$$p^* = p_0 + \frac{Mg}{S},$$

где  $p^*$  – давление газа в стакане и  $p_0$  – атмосферное давление. Учитывая, что

$$p^* S x_0 = RT_0$$

(уравнение состояния идеального газа,  $R$  – универсальная

газовая постоянная), найдем положение равновесия:

$$x_0 = \frac{RT_0}{p_0 S + Mg}.$$

Запишем уравнение малых колебаний поршня вблизи положения равновесия:

$$Ma = -Mg + (p - p_0)S.$$

Учитывая, что процесс адиабатический, при котором

$$p = p^* \left( \frac{x_0}{x} \right)^\gamma,$$

где  $\gamma = 5/3$  – показатель степени адиабаты для одноатомного газа, перепишем уравнение движения в виде

$$Ma = -(Mg + p_0 S) \left( 1 - \left( \frac{x_0}{x} \right)^\gamma \right).$$

Вводя величину смещения поршня от положения равновесия

$$\delta = x - x_0 \text{ и полагая, что } 1 - \left( \frac{x_0}{x} \right)^\gamma = \frac{\gamma \delta}{x_0}, \text{ получим}$$

$$a = -\frac{\gamma}{M} \frac{(Mg + p_0 S)^2}{RT_0} \delta.$$

Это – уравнение гармонических колебаний. Период таких колебаний равен

$$T = \frac{2\pi}{\omega}, \text{ где } \omega^2 = \frac{\gamma}{M} \frac{(Mg + p_0 S)^2}{RT_0}.$$

**70.** Считая массу поршня пренебрежимо малой, получим, что после установления в системе термодинамического равновесия под поршнем образуется насыщенный водяной пар с температурой  $T_0 = 100^\circ\text{C}$  при нормальном атмосферном давлении. Испарившуюся массу жидкости  $\Delta m$  найдем из уравнения теплового баланса

$$cSh\rho\Delta T = \Delta mr,$$

где  $S$  – площадь сечения сосуда,  $\rho$  – плотность воды,  $\Delta T = 10^\circ\text{C}$ . Изменение высоты уровня воды в сосуде составит

$$\Delta h = h \frac{c\Delta T}{r}.$$

Высота столба пара над жидкостью будет равна

$$x = \Delta h \frac{\rho}{\rho_n} = \Delta h \frac{\rho}{p_0 M / (RT_0)},$$

где  $\rho_n$  – плотность насыщенного пара при температуре  $T_0$  и давлении  $p_0$ ,  $M$  – молярная масса воды,  $R$  – универсальная газовая постоянная. Окончательно, новое равновесное положение поршня будет находиться на высоте

$$H = h + x - \Delta h = h \left( 1 + \frac{c\Delta T}{r} \left( \frac{\rho RT_0}{Mp_0} - 1 \right) \right) \approx h \frac{c\Delta T}{r} \frac{\rho RT_0}{Mp_0} \approx 40h.$$

**71.** Изменение энергии системы равно

$$\Delta E = E - E_0,$$

где

$$E_0 = \frac{q^2}{2C_0}$$

– начальная энергия конденсатора,  $C_0 = \epsilon_0 S/d$  – его емкость,

$$E = \frac{q^2}{2C}$$

– энергия конденсатора, наполовину заполненного диэлектриком. Учитывая, что в конечном состоянии систему можно рассматривать как два параллельно соединенных конденсатора с емкостями  $C_0/2$  и  $\epsilon C_0/2$ , найдем ее емкость:

$$C = \frac{1}{2} C_0 (1 + \epsilon).$$

В результате получим

$$\Delta E = \frac{q^2 d}{2\epsilon_0 S} \frac{1 - \epsilon}{1 + \epsilon}.$$

**72.** Запишем выражение для скорости потерь энергии на излучение при движении электрона по круговой орбите:

$$\frac{\Delta E}{\Delta t} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2e^2}{3c^3} a^2 = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2e^2}{3c^3} \frac{v^4}{R^2},$$

где  $v$  – скорость движения электрона по орбите. Эта скорость связана с радиусом орбиты  $R$  соотношением

$$\frac{mv^2}{R} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{R^2}.$$

Выражая  $v$  и  $R$  через полную энергию системы, получим

$$\frac{\Delta E}{\Delta t} = -\gamma E^4, \quad \text{где } \gamma = 4\pi\epsilon_0 \frac{32}{3m^2c^2e^2}.$$

Оценивая время падения электрона на ядро  $\tau$  как временной интервал, за который энергия изменяется на свою величину, найдем

$$\tau \sim \frac{1}{\gamma E_0^3} \sim 10^{-10} \text{ с}, \quad \text{где } E_0 = \frac{e^2}{2R_0}.$$

Отметим, что величина  $\tau$  на много порядков больше периода обращения электрона по круговой орбите радиусом  $R_0$ .

**73.** Температура поверхности определяется из условия баланса поглощаемой и излучаемой поверхностью Земли энергий.

Поглощаемая энергия равна

$$Q_{\text{п}} = \sigma T_{\text{С}}^4 \left( \frac{R_{\text{С}}}{R} \right)^2 \pi R_{\text{З}}^2 (1 - \alpha),$$

где  $T_{\text{С}}$  — температура поверхности Солнца,  $R_{\text{С}}$  и  $R_{\text{З}}$  — радиусы Солнца и Земли соответственно,  $R$  — расстояние от Земли до Солнца,  $\alpha$  — альбеда Земли.

Для энергии, излучаемой Землей, запишем

$$Q_{\text{и}} = \sigma T_{\text{З}}^4 \cdot 4\pi R_{\text{З}}^2,$$

где  $T_{\text{З}}$  — температура поверхности Земли.

Полагая, что  $Q_{\text{п}} = Q_{\text{и}}$ , получим

$$T_{\text{З}} = T_{\text{С}} \sqrt[4]{\frac{R_{\text{С}}}{R}} \sqrt[4]{\frac{1 - \alpha}{4}} \approx 20^\circ \text{С}.$$

**74.** В процессе движения шарика над горизонтальной поверхностью происходит переход кинетической энергии в потенциальную энергию тяготения и обратно. При ударе происходит переход кинетической энергии в потенциальную энергию упругой деформации и обратно. Оба процесса сопровождаются потерями механической энергии шарика в результате действия сил вязкого трения и возбуждения акустических волн в шарике и поверхности, а также вслед-

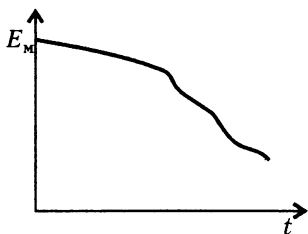


Рис. 66

ствие того, что деформация шарика и поверхности не может быть абсолютно упругой (рис. 66).

**76.** Низкая влажность воздуха приводит к малому поглощению тепла от горячей поверхности — поверхность быстро остывает. (Вода эффективно поглощает излучение инфракрасного диапазона.)

**77.**  $nF$ ; уменьшится в  $n$  раз.

**78.** Да. Например, в случае протяженных заряженных тел, когда один из зарядов значительно больше другого.

**79.** Воздух хорошо растворяется в нефти и заметно уменьшает ее плотность. Это приводит к тому, что даже ослабленного давления подземных пластов оказывается вполне достаточно для того, чтобы загלוхшие скважины вновь зафонтанировали.

**80.** Порядка  $10^4$  часов.

**81.** ЭДС индукции максимальна, когда плоскость рамки перпендикулярна проводнику с током, и минимальна, когда они параллельны.

**82.** Да. Например, если источник света движется быстрее человека и параллельно ему и экрану. Проще всего рассмотреть этот эффект в системе отсчета бегущего человека. Если скорость источника света  $V$ , а человека  $v$ , то скорость тени относительно человека равна

$$v_0 = h(V - v)/(H - h),$$

где  $h$  и  $H$  — расстояния от человека и источника света до экрана.

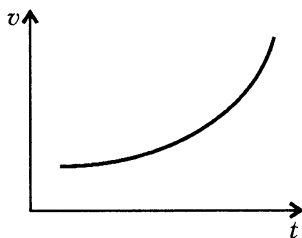


Рис. 67

**83.** См. рис. 67.

**84.** «Падающая башня» находится в городе Пизе в Италии. На ней в конце XVI века Галилео Галилей проводил свои знаменитые опыты по изучению движения падающих тел. В частности, он установил, что при падении с одной и той же высоты скорость падения как легкого, так и тяжелого тел одна и та же.

**85.** Французский ученый Пьер Лаплас в 1798 году опубликовал статью, в которой рассчитал параметры небесного тела, поле тяготения которого не выпускает даже свет.

**86.** Вильгельм Конрад Рентген в 1901 году стал первым Нобелевским лауреатом по физике «за открытие лучей, названных его именем (рентгеновских лучей)».

**87.** Это — Мухаммед Тарагай Улугбек, правитель Самарканда в первой половине XV века.

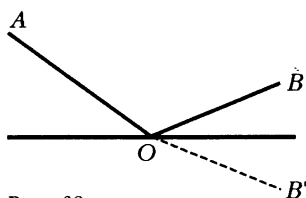


Рис. 68

$B'$  получается отражением точки  $B$  относительно берега реки. Минимальный путь, который должен пройти мальчик, равен

$$s = \sqrt{L^2 + (h_1 + h_2)^2}.$$

Затрачиваемое на этот путь время составляет

$$t = \frac{s}{v} = \frac{\sqrt{L^2 + (h_1 + h_2)^2}}{v} = 250 \text{ с} \approx 4 \text{ мин}.$$

**90.** По закону сохранения энергии,

$$mgh = \frac{mv^2}{2} + E_{\text{вр}},$$

где  $E_{\text{вр}}$  — кинетическая энергия вращения кольца. Поскольку кольцо движется без проскальзывания, можно считать, что

$$E_{\text{вр}} = \frac{mv^2}{2}.$$

Таким образом, для скорости кольца у основания наклонной плоскости получаем

$$v = \sqrt{gh}.$$

$$\mathbf{91.} \quad F = \frac{\sigma q}{\epsilon_0} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{(2l)^2}.$$

**92.** Представим первую цепь в виде, изображенном на рисунке 69. Здесь  $R_3$  — эквивалентное сопротивление цепи, состоящей из всех элементов, кроме трех выделенных. Поскольку цепь бесконечна,  $R_3$  тождественно равно искомому сопротивлению  $R_1$ . Из рисунка имеем

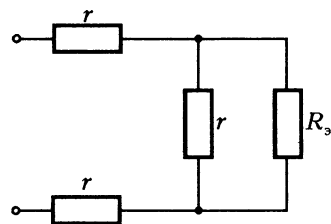


Рис. 69

$$R_1 = R_3 = 2r + \frac{R_1 r}{R_1 + r},$$

откуда

$$R_1 = r(1 + \sqrt{3}).$$

Для второй цепи запишем

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{r} + \frac{1}{R_1},$$

где  $R_1$  – сопротивление первой цепи. Поэтому

$$R_2 = r(\sqrt{3} - 1).$$

**93.** Замерзание слоя воды происходит в результате испарения ее поверхностного слоя. В состоянии динамического равновесия (над пленкой воды существует насыщенный пар) поток  $j$  массы, испаряющейся с поверхности, равен обратному потоку частиц из газовой фазы на поверхность:  $j = \rho_n v / 4$ , где  $v = \sqrt{3RT/M}$  – тепловая скорости движения молекул воды ( $R$  – универсальная газовая постоянная,  $M$  – молярная масса воды),  $\rho_n$  – плотность насыщенного пара при температуре  $t = 0^\circ\text{C}$ , определяемая из соотношения  $p_0 = \rho_n \frac{R}{M} T$ . Поток

энергии с поверхности  $S$  равен  $J = rjS$ . С другой стороны, для замерзания слоя воды толщиной  $h$  необходимо отвести энергию  $Q = \lambda \rho_0 h S$ . Следовательно, искомое время замерзания равно

$$\tau = \frac{Q}{J} = 4 \frac{h \rho_0 \lambda}{v \rho_n r} = 4 \frac{h \rho_0 \lambda}{p_0 r} \sqrt{\frac{RT}{3M}} \approx 0,03 \text{ с}.$$

**94.** Считая движение шара установившимся, запишем баланс сил для случаев всплытия и погружения:

$$mg + \beta v_1 = F_A, \quad mg = \beta v_2,$$

где  $m$  – масса шара,  $\beta$  – коэффициент вязкого трения,  $v_1$  и  $v_2$  – скорости всплытия и погружения,  $F_A = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho_0 g$  – архимедова сила. По условию задачи  $v_1 = v_2$ . Поэтому  $F_A = 2mg$ . Поскольку  $m = 4\pi R^2 \Delta R \rho$ , где  $\Delta R$  – искомая толщина стенок, получаем

$$\Delta R = \frac{1}{6} \frac{\rho_0}{\rho} R \approx 1 \text{ см}.$$

**95.**  $m_2 > m_3 > m_1$ .

**96.** Больше скорости звука в воздухе.

**97.** Эффект связан с многократными отражениями звуковой волны от стены.

**98.** Нет.

**99.** Перпендикулярно линии горизонта за горизонт.

**100.**  $F_{\min} = 750 \text{ Н}$ ;  $\mu_{\min} = 0,75$ .

**101.** Да.

**102.** Во внутреннюю энергию диэлектрика.

**103.** Альфа-частица отклоняется на значительный угол, если электрическая энергия ее взаимодействия с положительным ядром того же порядка, что и кинетическая энергия частицы.

**104.** Максимумы кривой  $W(\alpha)$  расположены вблизи точек поворота маятника (где скорость минимальна), а минимумы – вблизи положений равновесия маятника (где скорость максимальна).

**105.** Эрнест Резерфорд провел опыты по рассеянию  $\alpha$ -частиц на золотых фольгах и предложил планетарную модель атома.

**106.** Древнегреческий ученый Клавдий Птолемей (ок. 90 – ок. 160) построил геоцентрическую картину мира.

**107.** Джон Адамс (Англия) и Урбен Леверье (Франция) в середине XIX века, независимо друг от друга, вычислили орбиту и положение планеты Нептун на основе исследования возмущений Урана.

**108.** Аристотель предполагал, что скорость тела пропорциональна действующей на него силе. Механика Аристотеля описывает установившееся движение тела с учетом силы вязкого трения.

**109.** Пусть  $l_1$  – дальность прыжка по ветру,  $l_2$  – против ветра,  $u$  – скорость ветра,  $v$  – горизонтальная составляющая скорости прыгуна. Тогда  $l_1 = (v + u)\tau$ ,  $l_2 = (v - u)\tau$ . Длительность прыжка  $\tau$  можно оценить, считая, что прыжок происходит под углом  $45^\circ$  к горизонту, тогда  $\tau = 2v/g$ .

**110.** В системе отсчета, связанной с клином, запишем уравнения движения брусков в проекциях на направления вдоль наклонной плоскости, перпендикулярное ей и вертикальное:

$$-ma_1 = -mg \sin \alpha + T + \mu N - ma \cos \alpha ,$$

$$0 = -mg \cos \alpha + ma \sin \alpha + N ,$$

$$ma_1 = mg - T - \mu ma .$$

Отсюда находим

$$a_1 = \frac{1}{2} (g(\sin \alpha - 1) + a \cos \alpha - \mu (g \cos \alpha + a(1 - \sin \alpha))) .$$

Из условия  $a_1 > 0$  получаем

$$a > g \frac{1 - \sin \alpha + \mu \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu (1 - \sin \alpha)}.$$

При этом также должно быть выполнено условие скольжения бруска по поверхности

$$a \leq g \operatorname{ctg} \alpha.$$

Окончательно,

$$g \operatorname{ctg} \alpha \geq a > g \frac{1 - \sin \alpha + \mu \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu (1 - \sin \alpha)}.$$

**111.** Введем систему координат, как показано на рисунке 70. Запишем уравнение траектории мяча:

$$y(x) = (x - x_0) \operatorname{tg} \alpha - \frac{g(x - x_0)^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha}.$$

Учитывая, что траектория проходит через точки  $(L, 0)$  и  $(0, h)$ , найдем

$$v_0^2 = \frac{gL}{2 \cos^2 \alpha \cdot \left( \operatorname{tg} \alpha - \frac{h}{L} \right)}$$

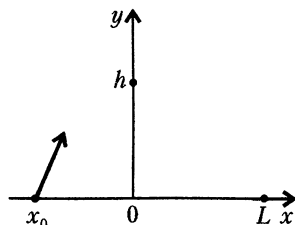


Рис. 70

Минимум этого выражения достигается при значении

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{L}{h}.$$

Отсюда получаем

$$v_0 = \sqrt{g \left( \sqrt{L^2 + h^2} + h \right)}.$$

**112.** Максимальную высоту подъема определим из условия (массой гелия пренебрегаем)

$$F_A = Mg, \text{ где } M = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho(h).$$

Учитывая, что

$$\rho(h) = \rho_0 \exp \left( -\frac{Mgh}{RT} \right),$$

где  $M$  – молярная масса воздуха, находим искомую высоту:

$$h = \frac{RT}{Mg} \ln \left( \frac{4\pi R^3 \rho_0}{3M} \right) \approx 10 \text{ км}.$$

**113.** Равновесие в системе определяется из условия

$$f(\alpha) = \frac{\beta\alpha}{(1+\alpha^2)^{3/2}} = 1, \text{ где } \alpha = \frac{x}{R}, \beta = \frac{qQ/R^2}{mg}.$$

Решение этого уравнения относительно  $\alpha$  легко найти графически – рисунок 71 соответствует случаю  $qQ > 0$ . Максимум функции  $f(\alpha)$  достигается в точке

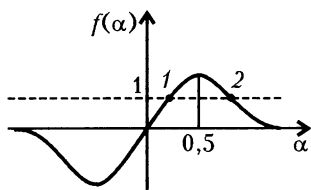


Рис. 71

$\alpha = 0,5$ . Поэтому условие  $f(\alpha) = 1$  разделяет область значений  $\alpha$  на две области, соответствующие отсутствию положения равновесия и наличию двух точек равновесия. Положение равновесия 1 – устойчивое, 2 – неустойчивое.

Аналогично рассматривается случай  $qQ < 0$  (заряды разных знаков).

**114.** За время «взрыва» расстояние между ядрами практически не успевает измениться. Поэтому из законов сохранения энергии и импульса для энергии образовавшихся протонов получаем

$$E_p = \frac{e^2}{2R} \approx 3,4 \text{ эВ}.$$

В случае молекулы  $\text{HD}^+$  энергии образовавшихся ядер равны

$$E_H = \frac{2e^2}{3R} \approx 4,5 \text{ эВ} \text{ и } E_D = \frac{e^2}{3R} \approx 2,3 \text{ эВ}.$$

**115.** Эквивалентная схема цепи, содержащей  $N$  попарно соединенных сопротивлений, приведена на рисунке 72 (через резисторы, соединяющие любые другие две точки, ток не течет, и эти резисторы можно выбросить). Общее сопротивление такой цепи равно

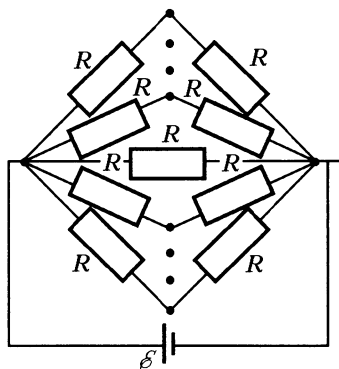


Рис. 72

$$R_{\text{общ}} = \frac{2R}{N}.$$

Выделяемая в цепи мощность равна

$$P = \frac{\varepsilon^2}{R_{\text{общ}}} = \frac{N\varepsilon^2}{2R}.$$

**116.** Оценивая установившуюся скорость падения как

$$v \sim \sqrt{gR} \sqrt{\frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_0}},$$

найдем время падения капли:

$$\tau \sim \frac{h}{v} \sim \frac{h}{\sqrt{gR\rho_{\text{в}}/\rho_0}} \sim 100 \text{ с}.$$

Большие капли падают быстрее маленьких.

**117.** В 2 раза.

**118.** Скорости звука в воздухе и в металле различны.

**119.** Днем.

**120.** С шарика на поверхность.

**121.** В первом случае солнечные лучи сильнее рассеиваются.

**122.** Порядка  $10^{-5}$  секунды.

**123.** Спиртовой.

**124.** Никакие.

**125.** В первом случае основную роль играют магнитные, а не электрические силы.

**126.** Г.Гамов в 1953 году предсказал, что, остыв после Большого взрыва, в расширяющейся Вселенной фотонный газ должен иметь температуру порядка 5–7 К. В 1965 году американские астрофизики А.Пензиас и Р.Вильсон открыли экспериментально это реликтовое излучение и определили, что его температура действительно имеет предсказанный порядок величины и составляет приблизительно 3 К.

**127.** М.Фарадей в 1821 году построил первый в мире электродвигатель, а в 1831 году опубликовал результаты своих исследований и опытов в книге «Экспериментальные исследования по электричеству».

**128.** Теоретическую модель процессов, происходящих в лазере, создал в 1916 году А.Эйнштейн. В дальнейшем советский физик В.А.Фабрикант предложил в 1939 году практическую модель для создания системы с так называемой инверсной заселенностью атомов (т.е. таких систем, в которых возбужденных атомов больше, чем невозбужденных) с помощью электрического разряда в газе. В 1955 году советские физики Н.Г.Басов и А.М.Прохоров и, независимо, американский физик Ч.Таунс предложили конкретный принцип создания лазера, в котором усиление света происходит в результате вынужденного излучения.

**129.** В ускорителях происходит ускорение заряженных частиц в вакууме под действием электрических и магнитных полей.

Они используются в научных и медицинских целях. Различают ускорители прямого действия, циклические ускорители и ускорители на встречных пучках. Первые ускорители появились в 30-х годах XX века. Большой вклад в их разработку и создание внесли В.И.Векслер, Г.И.Будкер, И.М.Капчинский, Э.Макмиллан и другие. Крупнейшие в мире ускорители находятся в США, России, Швейцарии.

**130.** Нильс Бор.

**131.** Используя цилиндрическую систему координат  $(r, \varphi)$ , запишем закон сохранения энергии:

$$\frac{mr'^2}{2} + \frac{m}{2}(r\dot{\varphi})^2 - \frac{\alpha}{r^n} = E_0,$$

или, воспользовавшись законом сохранения момента импульса  $L_0 = mr^2\dot{\varphi}$ :

$$\frac{mr'^2}{2} + \left( \frac{L_0^2}{2mr^2} - \frac{\alpha}{r^n} \right) = E_0.$$

Здесь  $E_0$  – полная энергия системы, а величина  $U_{\text{эф}} = \frac{L_0^2}{2mr^2} - \frac{\alpha}{r^n}$  играет роль эффективной потенциальной энергии. Падению частицы на центр соответствует условие  $r \rightarrow 0$ . В случае  $n < 2$  падение на центр невозможно ни при каких начальных условиях. В случае  $n > 2$  падение на центр возможно, причем значения начальной скорости и радиальной координаты частицы легко могут быть получены из анализа зависимости  $U_{\text{эф}}(r)$ .

**132.** Существенной особенностью рассматриваемой задачи является то, что релятивистский эффект прекращения ускорения частицы в циклотроне (вследствие потери резонанса) наступает в нерелятивистской области энергий. Действительно, запишем выражение для частоты обращения протона в циклотроне:

$$\omega = \frac{eB}{m} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}},$$

где  $v$  – скорость протона. Для разности периодов обращения частицы и изменения знака ускоряющего поля между дуанатами имеем

$$\Delta T = 2\pi \left( \frac{1}{\omega} - \frac{1}{\Omega_0} \right),$$

где  $\Omega_0$  – частота поля между дуанатами. Учитывая, что

$\Omega_0 = eB/m$  , получим

$$\Delta T = \frac{2\pi}{eB} E_k ,$$

где  $E_k$  – кинетическая энергия ускоряемого протона. За  $N$  оборотов протон набирает энергию  $E_{\max} = 2eU_0N$  . Оценивая число оборотов, совершаемое протоном до выхода из резонансного режима ускорения, из условия  $\Delta TN = T/4$  , найдем

$$E_{\max} \approx \sqrt{eU_0 mc^2} \approx 3 \text{ МэВ} .$$

**133.** Уравнение адиабаты имеет вид  $pV^\gamma = \text{const}$  , где  $\gamma = c_p/c_V$  – показатель степени адиабаты. В двумерном и одномерном случаях под «объемом» понимается площадь поверхности и линейный размер, занимаемый газом. Соответственно, «давление» имеет размерность силы, действующей на единицу длины, и просто силы. Для одного моля газа  $c_p = c_V + R$  , где  $R$  – универсальная газовая постоянная. Поскольку  $c_V = iR/2$  , где  $i$  – число степеней свободы, для одно-, двух- и трехмерного случаев получаем  $\gamma = 3$  ,  $\gamma = 2$  и  $\gamma = 5/3$  соответственно.

**134.** Запишем условие равновесия звезды:

$$\frac{dp}{dr} = G \frac{M(r)}{r^2} \rho(r) ,$$

где  $p(r)$  ,  $\rho(r)$  – распределения давления и плотности по радиусу,  $M(r)$  – масса части звезды, заключенная внутри сферической оболочки радиусом  $r$  . Будем считать, что распределение плотности по радиусу является однородным, и оценим градиент давления как  $dp/dr \approx p_0/R_0$  (здесь  $p_0$  – давление в центре звезды,  $R_0$  – ее радиус). Тогда, воспользовавшись

уравнением состояния идеального газа  $p = 2 \frac{\rho}{m} kT$  (здесь  $m$  – масса протона, а множитель «2» возникает за счет вклада электронной и ионной составляющих в давление плазмы), получим

$$kT \approx \frac{1}{2} \frac{GM_0 m}{R_0} .$$

Численные оценки дают  $T \approx 11$  млн кельвинов.

**135.** В системе отсчета, связанной со стенкой, скорость частицы равна  $v = v_0 + a_0 \omega \sin \omega t$  . Поэтому дополнительная скорость, приобретаемая (теряемая) в момент столкновения, рав-

на  $2a_0\omega\sin\omega t$ , а скорость частиц после отражения лежит в пределах  $(v_0 - 2a_0\omega, v_0 + 2a_0\omega)$ . Вероятность иметь конкретное значение скорости из указанного интервала определяется вероятностью столкновения со стенкой в определенный момент времени.

Введем функцию распределения частиц по скоростям:

$F(v)dv = \frac{dt}{T/2}$ , где  $dt$  – интервал времени, в течение которого скорость шарика находилась в интервале от  $v$  до  $v + dv$ , а  $T = 2\pi/\omega$  – период колебаний стенки. Учитывая, что  $dt = dv/(2a_0\omega^2 \cos\omega t)$ , после преобразований получаем

$$F(v)dv = \frac{1}{\pi a_0 \omega^2} \frac{dv}{\sqrt{1 - ((v - v_0)/(2a_0\omega))^2}}.$$

**136.** Разность фаз двух волн, распространяющихся от каждой из щелей под углом  $\theta$  к оси, равна

$$\Delta\varphi = \omega\tau = \omega \frac{2a \sin \theta}{c}.$$

Тогда распределение интенсивности на удаленном экране имеет вид

$$I = I_0 |1 + \exp(i\Delta\varphi)|^2 = 4I_0 \cos^2\left(\frac{\omega a}{c} \sin \theta\right),$$

где  $I_0$  – интенсивность излучения при одной открытой щели.

При выполнении условия  $(\omega a \sin \theta)/c > \pi/2$  возникает направление, под которым интенсивность излучения равна нулю.

**137.** Запишем уравнение для изменения энергии фотона при удалении от поверхности звезды:

$$\hbar d\omega = -G \frac{Mm}{r^2} dr = -G \frac{M}{r^2} \frac{\hbar\omega}{c^2} dr,$$

откуда получаем

$$\lambda = \lambda_0 \exp\left(\frac{R_g}{2R}\right),$$

где  $R$  – радиус звезды,  $R_g = 2GM/c^2$  – гравитационный радиус. Для Солнца  $R_0 \gg R_g$  и

$$\Delta\lambda = \lambda_0 \frac{GM_0}{R_0 c^2} \approx 0,023 \text{ \AA},$$

для нейтронной звезды

$$\Delta\lambda \approx 0,1\lambda_0 \approx 650 \text{ \AA}.$$

**138.**  $v_B = 2v$ .

**139.**  $a = 2g$ ;  $h \geq \frac{m}{\rho_B S}$ , где  $m$  – масса шарика,  $S$  – площадь его поперечного сечения,  $\rho_B$  – плотность воздуха.

**140.** Нет. Надо учесть изменение энергии космолета, тогда получится опять 5 МДж (что очевидно в системе отсчета, связанной с космолетом).

**141.** Колебаний не будет, поскольку искусственная сила тяжести направлена вдоль нити.

**142.** Можно. Достаточно взять пластиковую бутылку, в которой плавает тело, содержащее воздух и опущенное отверстием вниз (например, пипетка).

**143.** Сосуд содержит жидкий азот и его пары при температуре порядка 77 К. Масса паров около 4 г. Надо откачать приблизительно 2 г.

**144.** Увеличение давления будет одинаковым и равным  $\Delta p = \frac{2Q}{3V}$ , где  $V$  – общий объем сосуда.

**145.**  $v = 0$ , если  $v_0 < v_1 = \sqrt{\frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 Rm}}$ ;  $v = v_0$ , если  $v_0 > v_1$ .

**146.** 10 В.

**147.** Асфальт рассеивает свет во все стороны, а лужа отражает большую часть света вперед.

**148.** Глюоны (от английского glue – клей) – это элементарные частицы, переносчики сильного взаимодействия между кварками. Были введены в квантовой хромодинамике, возникшей благодаря работам М.Гелл-Мана и Г.Цвейга (1964 г.).

**149.** Р.Броун (1827 г.), А.Эйнштейн (1905 г.), Ж.Перрен (1908 г.).

**150.** И.Ньютон в опытах со стеклянными призмами разложил белый свет на семь цветов. Черный цвет – это цвет среды, поглощающей все цвета спектра. Интересно, что цвет является также одной из характеристик элементарных частиц.

**151.** Советский летчик-космонавт Ю.А.Гагарин 12 апреля 1961 года впервые совершил полет в космос на космическом корабле «Восток». Ракетный двигатель корабля работает на основе законов ньютоновской механики, записанных для движения тела переменной массы.

**152.** Н.Н.Семенов (совместно с С.Хиншелвудом) – за иссле-

дование механизма химических реакций (Нобелевская премия по химии, 1956 г.); П.А.Черенков, И.Е.Тамм и И.М.Франк – за открытие и объяснение эффекта Вавилова–Черенкова (1958 г.); Л.Д.Ландау – за создание теории квантовых жидкостей (1962 г.); Н.Г.Басов и А.М.Похоров (совместно с Ч.Таунсом) – за создание лазеров (1964 г.); А.Д.Сахаров – за правозащитную деятельность (Нобелевская премия мира, 1975 г.); П.Л.Капица – за открытия в области низких температур (1978 г.); Ж.И.Алферов – за выдающийся вклад в развитие физики наносекундных процессов (2000 г.).

$$153. \text{ а) } s_{\text{л}} = \frac{m}{m+M} l.$$

б) Поскольку изменение импульса системы человек – лодка за все время движения равно нулю, то

$$\Delta \vec{p} = 0 = \int_0^{\infty} \vec{F}_c dt = - \int_0^{\infty} k \vec{v}_{\text{л}} dt = -k \int_0^{\infty} d\vec{s}_{\text{л}} = -k \vec{s}_{\text{л}}.$$

В пределе  $k \rightarrow 0$  время возвращения лодки в начальное положение стремится к бесконечности. Когда человек остановится, у системы останется маленькая скорость в противоположном направлении, и через очень большое время она вернется к начальному положению.

154. Если высота подъема  $h$  меньше, чем начальное растяжение  $x_0 = mg/k$ , то шнур останется все время в растянутом состоянии, а если  $h$  больше  $x_0$ , то сила упругости обращается в ноль (шнур не может находиться в сжатом состоянии). Найдем, при каком значении силы  $F_0$  высота подъема составит точно  $x_0$ . Работа внешней силы равна изменению энергии:

$$F_0 x_0 = mg x_0 - \frac{k x_0^2}{2},$$

откуда

$$F_0 = \frac{mg}{2}.$$

В первом случае  $F_1 < F_0$ , т.е. шнур остается растянутым. Тогда удобно отсчитывать полную потенциальную энергию от положения равновесия. Получаем

$$F_1 h_1 = \frac{k h_1^2}{2} - 0,$$

или

$$h_1 = \frac{2F_1}{k} = \frac{mg}{2k}.$$

Во втором случае  $F_2 > F_0$ , т.е. в конце шнур не растянут. Получаем

$$F_2 h_2 = mgh_2 - \frac{kx_0^2}{2},$$

откуда

$$h_2 = \frac{kx_0^2}{2(mg - F_2)} = \frac{2mg}{k}.$$

Таким образом,  $\frac{h_2}{h_1} = 4$ .

**155.** Найдем сначала, на какое расстояние  $r$  удалится камень от Земли. Запишем закон сохранения энергии:

$$\frac{mv_0^2}{2} - G \frac{mM}{R} = -G \frac{mM}{r},$$

где  $R$  — радиус Земли,  $v_0 = (1 - \alpha)v_{II}$  — начальная скорость ( $\alpha = 10^{-3}$ ),  $v_{II}$  — вторая космическая скорость, которая определяется уравнением

$$\frac{mv_{II}^2}{2} - G \frac{mM}{R} = 0.$$

Получаем

$$((1 - \alpha)^2 - 1)G \frac{mM}{R} = -G \frac{mM}{r},$$

откуда

$$r \approx \frac{R}{2\alpha} = 500R.$$

Время от броска камня до его возвращения примерно равно периоду обращения по круговой орбите радиусом  $r/2$ , который можно найти из второго закона Ньютона

$$G \frac{mM}{(r/2)^2} = m \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 \frac{r}{2}.$$

Учитывая, что  $G \frac{M}{R^2} = g$ , получим

$$t \approx T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} \frac{1}{(4\alpha)^{3/2}} \approx 230 \text{ суток}.$$

**156.**  $k = \frac{28}{25} = 1,12$ .

**157.** В тот момент, когда шарик находится в центре оболоч-

ки, электрическое поле  $E$  во всем пространстве совпадает с полем шарика в отсутствие оболочки, за исключением того, что внутри проводника поле равно нулю. Следовательно, начальная электрическая энергия больше конечной на величину

$$\Delta W = \frac{\epsilon_0 E^2}{2} \cdot 4\pi R^2 \Delta r,$$

где

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R^2}.$$

Получаем

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 R^2} \Delta R,$$

откуда

$$v = \sqrt{\frac{q^2 \Delta R}{4\pi\epsilon_0 R^2 m}}.$$

**158.**  $\alpha = \arcsin \frac{m_p}{m_D} = \arcsin \frac{1}{2} = 30^\circ.$

**160.** Падение.

**161.** Разжечь костер под трубой.

**162.** Лодка будет плавать, если верхний край ящика окажется выше уровня воды в реке.

**163.** В первом чайнике уровень воды ниже основания носика.

**164.** В 8 раз.

**165.** Космонавт никогда не упадет на Землю, а будет двигаться по эллиптической орбите, близкой к круговой.

**166.** Период колебаний такого маятника не меняется в зависимости от температуры, поскольку тепловое расширение ртути приводит к подъему центра тяжести системы, что компенсирует тепловое удлинение стержня маятника.

**167.**  $s = \sqrt{2hR} \approx 3,6$  км (здесь  $R$  – радиус Земли,  $h = 1$  м).

**168.** 1) Левкипп, Демокрит, Эпикур. 2) Пифагор. 3) Аристотель.

**169.** Траектория брошенного тела искривляется, а искривление светового луча не наблюдается.

**170.** 1) Законы идеальных газов и теплового расширения вещества. 2) Газовые. 3) Очень низкие и очень высокие.

**171.** Генри Кавендиш (1731–1810).

**172.** Это сила светового давления, которую изучал П.Н.Лебедев.

**173.** Пока температура воздуха больше температуры воды, вода нагревается. Температура воды максимальна в тот момент, когда температура воздуха опускается до  $25^\circ\text{C}$ . Удобно отсчитывать время от момента, когда температура максимальна:  $t' = t - 15$  (ч), тогда фаза  $\varphi$  будет равна нулю. Получаем уравнение

$$20 + 10 \cos\left(\frac{2\pi t'}{24}\right) = 25,$$

откуда находим

$$t' = 4 \text{ ч}, \text{ т.е. } t = 19 \text{ ч.}$$

Итак, максимальная температура воды достигается в 19.00 часов.

**174.** Жесткость пружины должна быть пропорциональна модулю упругости материала пружины и обратно пропорциональна ее длине:

$$k = A(D, d) \frac{E}{l},$$

причем коэффициент пропорциональности  $A$  зависит от диаметра витков  $D$  и диаметра проволоки  $d$ . Поскольку размерность жесткости  $[k] = \text{Н/м}$ , а размерность модуля упругости  $[E] = \text{Н/м}^2$ , то коэффициент пропорциональности должен иметь размерность  $[A] = \text{м}^2$ . Следовательно, при изменении  $D$  и  $d$  в одно и то же число раз  $\alpha$  коэффициент  $A$  изменится в  $\alpha^2$  раз. В данном примере  $D$  и  $d$  второй проволоки в 3 раза больше, а длина  $l$  больше в 7 раз. Получаем

$$k_2 = \frac{3^2}{7} k_1 = 18 \text{ Н/м}.$$

**175.** Пусть в момент отрыва груз массой  $m_1$  находится на высоте  $h = R \cos \alpha$ , а полусфера массой  $m_2$  движется со скоростью  $v_2$  (рис. 73).

Запишем законы сохранения энергии и импульса в инерциальной системе отсчета, движущейся со скоростью  $v_2$ . В этой системе груз и полусфера вначале имеют одну и ту же скорость, равную  $v_2$ , в момент отрыва полусфера покоится, а груз движется со скоростью, равной  $v_1$  и направленной по касательной к по-

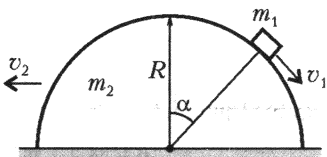


Рис. 73

верхности полусферы. Получаем

$$\frac{(m_1 + m_2)v_2^2}{2} + m_1 g R = \frac{m_1 v_1^2}{2} + m_1 g R \cos \alpha ,$$

$$(m_1 + m_2)v_2 = m_1 v_1 \cos \alpha .$$

Запишем теперь второй закон Ньютона для груза в момент отрыва в системе отсчета, связанной с полусферой, где груз движется по окружности. Поскольку полусфера движется с ускорением, то эта система отсчета неинерциальная. Однако в момент отрыва сила давления груза на полусферу обращается в ноль, ускорение полусферы и сила инерции, действующая на груз, также исчезают, и закон Ньютона принимает вид

$$m_1 g \cos \alpha = \frac{m_1 v_1^2}{R} .$$

Из этого уравнения и законов сохранения энергии и импульса получаем уравнение

$$\cos^3 \alpha - 3 \left( \frac{m_1 + m_2}{m_1} \right) \cos \alpha + 2 \left( \frac{m_1 + m_2}{m_1} \right) = 0 ,$$

или, поскольку в данной задаче  $m_1 = m_2$ ,

$$\cos^3 \alpha - 6 \cos \alpha + 4 = 0 .$$

Одним из корней этого кубического уравнения является число 2. Разделив на  $(\cos \alpha - 2)$ , приходим к квадратному уравнению

$$\cos^2 \alpha + 2 \cos \alpha - 2 = 0 ,$$

из которого находим

$$\cos \alpha = \sqrt{3} - 1 , \text{ откуда } h = (\sqrt{3} - 1) R .$$

**176.** Число молекул данного типа, вылетающих за секунду через отверстие, пропорционально их концентрации и средней скорости теплового движения:

$$\Delta N \sim n v .$$

Поскольку массы газов равны, отношение концентраций обратно отношению молярных масс газов:

$$\frac{n_1 V M_1}{N_A} = \frac{n_2 V M_2}{N_A} , \text{ откуда } \frac{n_1}{n_2} = \frac{M_2}{M_1} ,$$

а отношение средних скоростей молекул обратно отношению корней из молярных масс:

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}.$$

Таким образом, отношение числа молекул водорода в пучке к числу молекул кислорода равно

$$\frac{\Delta N_1}{\Delta N_2} = \left( \frac{M_2}{M_1} \right)^{3/2} = 64.$$

**177.** Обозначим искомый потенциал  $\varphi$ . Докажем, что этот потенциал равен потенциалу центра полусферы, т.е. что

$$\varphi = k \frac{q}{R}.$$

Для этого приставим к полусфере другую точно такую же заряженную полусферу так, чтобы вместе они образовали целую сферу. Потенциал, создаваемый второй полусферой в рассматриваемой точке, из соображений симметрии также равен  $\varphi$ . Однако потенциал целой сферы в этой точке равен потенциалу центра сферы. Получаем

$$2\varphi = k \frac{2q}{R}, \text{ или } \varphi = k \frac{q}{R},$$

что и доказывает наше утверждение.

**178.** Времена сеансов прямой видимости в первом и втором случаях (рис. 74) составляют, соответственно,

$$t_1 = \frac{2(\varphi_1 + \varphi_2)}{|\omega_1 - \omega_2|} \text{ и } t_2 = \frac{2(\varphi_1 + \varphi_2)}{\omega_1 + \omega_2},$$

где  $\omega_1, \omega_2$  — угловые скорости спутников. Угол  $\varphi_1$  равен

$$\varphi_1 = \arctg \frac{\sqrt{2Rh_1 + h_1^2}}{R} \approx \sqrt{\frac{2h_1}{R}}$$

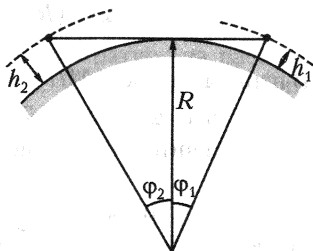


Рис. 74

(приведены как точная формула, так и приближенная с учетом того, что  $h_1 = 50 \text{ км} \ll R = 6400 \text{ км}$ ). Угловую скорость найдем из второго закона Ньютона

$$G \cdot \frac{mM}{(R + h_1)^2} = m\omega_1^2 (R + h_1),$$

откуда, с учетом равенства  $g = GM/R^2$ , получим

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{gR^2}{(R+h_1)^3}} = \sqrt{\frac{g}{R}} \left(1 + \frac{h_1}{R}\right)^{3/2} \approx \sqrt{\frac{g}{R}} \left(1 - \frac{3}{2} \frac{h_1}{R}\right).$$

Аналогичное выражение легко получается и для  $\omega_2$ . Подставляя  $\omega_1$  и  $\omega_2$  в формулы для времен сеансов, найдем

$$t_1 \approx \frac{4}{3} \frac{R}{h_2 - h_1} \left( \sqrt{\frac{2h_1}{g}} + \sqrt{\frac{2h_2}{g}} \right) \approx 11,4 \text{ ч},$$

$$t_2 \approx \sqrt{\frac{2h_1}{g}} + \sqrt{\frac{2h_2}{g}} \approx 4 \text{ мин.}$$

**179.** Запишем для движения Земли второй закон Ньютона:

$$G \frac{mM}{R^2} = m \frac{v^2}{R}$$

и закон сохранения момента импульса (второй закон Кеплера):

$$mvR = \text{const.}$$

Исключая скорость, получим

$$MR = \text{const.}$$

Поскольку относительные изменения массы и радиуса орбиты малы, то

$$(M - \Delta M)(R + \Delta R) = MR, \text{ и } \Delta R = R \frac{\Delta M}{M}.$$

В первом случае  $\Delta M/M \approx 1,4 \cdot 10^{17} / (2 \cdot 10^{30}) \approx 0,7 \cdot 10^{-13}$ , во втором случае  $\Delta M/M \approx 0,7 \cdot 10^{-4}$ . Тогда за один год радиус орбиты увеличится примерно на 1 см, а за миллиард лет — на  $10^4$  км.

**180.** Во втором случае прилив начинается позже — когда уровень воды поднимается до нового места жительства рыбака. Отлив начинается всюду одновременно.

**181.** Правый груз ударится раньше.

**182.** Во втором.

**183.** За 2 часа объехать астероид невозможно, так как для этого надо передвигаться со скоростью, большей первой космической скорости.

**184.**  $\beta = \arctg 0,75$ .

**185.** Сила Архимеда компенсирует вес воздуха в мешке.

**186.** Ускорение поршня равно нулю, ускорение сосуда составляет  $3g$ .

$$187. \frac{\Delta m}{m} \sim \frac{\rho_v - \rho_l}{\rho_v} \frac{gh}{\lambda} \approx 0,0015.$$

$$188. \tau = \frac{cm\Delta t}{P} = 84 \text{ с}.$$

**189.** 24 В. Указание: из соображений размерности потенциал в вершине кубика пропорционален  $q/a$ , центр кубика находится в вершинах восьми кубиков вдвое меньшего размера.

**190.** 1) Венера светит отраженным светом, который исходит только от освещенной поверхности. 2) Галилей обнаружил фазы Венеры.

**191.** 1) В 2003 году Нобелевскую премию по физике «За пионерский вклад в теорию сверхпроводников и сверхтекучих жидкостей» получили А.А.Абрикосов, В.Л.Гинзбург и Э.Леггет.

2) Ранее за изучение этих явлений Нобелевские премии получили: Г.Камерлинг-Оннес (1913 г.) «За исследование свойств тел при низких температурах и получение жидкого гелия»; Л.Д.Ландау (1962 г.) «За пионерские исследования по теории конденсированных сред, особенно жидкого гелия»; Дж.Бардин, Л.Купер и Дж.Шриффер (1972 г.) «За разработку теории сверхпроводимости»; П.Л.Капица (1978 г.) «За открытия в области физики низких температур»; Д.Ли и Д.Ошерофф (1996 г.) «За открытие сверхтекучести в гелии-3».

**192.** 1) В необходимости измерять температуру на расстоянии. 2) Законы теплового излучения, Й.Стефан и В.Вин. 3) Квантовые представления. 4) М.Планк, 1900 год.

**193.** 1) «Генрих Герц». 2) 1901 год. 3) За счет отражений от ионосферы. 4) 0,25 с.

**194.** 1) Кварки. 2) Джеймс Джойс, «Поминки по Финнегану», Мистер Марк слышит во сне слова: «Три кварка для мистера Марка». 3)  $uud$ ,  $udd$ . 4) Шесть. 5) Кварки не наблюдаются в свободном состоянии.

**195.** Ускорение мотоциклиста определяется силой трения. Чтобы набирать скорость максимально быстро, он должен в каждый момент времени иметь максимально возможное тангенциальное ускорение. Для этого полное ускорение также должно быть максимально большим, т.е. равным  $a = F_{\text{тр}}/m = \mu g$ , где  $\mu$  – коэффициент трения. Обозначив через  $\alpha$  угол между векто-

ром ускорения и вектором скорости, выразим тангенциальное и нормальное ускорения:

$$a_\tau = v'(t) = a \cos \alpha, \quad a_n = \frac{v^2}{R} = a \sin \alpha.$$

Продифференцируем второе уравнение по времени:

$$\frac{2vv'}{R} = a \cos \alpha \cdot \alpha'.$$

Учитывая, что  $v' = a \cos \alpha$ , а  $v R = \omega = \varphi'$ , где  $\varphi$  – угол поворота радиуса-вектора мотоциклиста, получим  $\varphi' = \alpha'/2$ . Значит, в каждый момент времени  $\varphi = \alpha/2$ . В момент достижения максимальной скорости  $\alpha = \pi/2$ . Следовательно, в этот момент  $\varphi = \pi/4$ , т.е. мотоциклист прошел восьмую часть окружности.

**196.** При установившемся падении сила сопротивления воздуха равна силе тяжести:

$$F_c = mg.$$

Поскольку  $m = \rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3$ , а  $F_c = k S v^2 = k \pi R^2 v^2$ , где  $k$  – коэффициент пропорциональности, получаем

$$v_1^2 = \frac{4}{3} \frac{\rho}{k} R_1, \quad v_2^2 = \frac{4}{3} \frac{\rho}{k} R_2.$$

Для шариков, связанных нитью, запишем

$$\rho \cdot \frac{4}{3} \pi R_1^3 g + \rho \cdot \frac{4}{3} \pi R_2^3 g = k \pi R_1^2 v^2 + k \pi R_2^2 v^2,$$

или

$$v^2 (R_1^2 + R_2^2) = \frac{4}{3} \frac{\rho}{k} (R_1^3 + R_2^3).$$

Подставив сюда  $R_1$  и  $R_2$ , получим

$$v = \sqrt{\frac{v_1^6 + v_2^6}{v_1^4 + v_2^4}} = 143 \text{ м/с}.$$

**197.** В проекциях на координатные оси уравнение движения частицы имеет вид

$$ma_x = -kx, \quad ma_y = -ky,$$

т.е. движение по каждой оси происходит по закону гармонии-

ческих колебаний с частотой  $\omega_1 = \sqrt{k/m}$ , амплитудой  $R_0$  и максимальной скоростью  $v_0 = \omega_1 R_0$ , равной линейной скорости движения частицы по окружности. Выберем оси координат так, чтобы в тот момент, когда  $k$  скачком уменьшается в два раза, частица находилась на оси  $y$ , тогда  $x = 0$  и  $y = R_0$ . После этого движение в проекциях на оси будет происходить по закону гармонических колебаний с частотой  $\omega_2 = \omega_1/\sqrt{2}$ , причем вдоль оси  $y$  амплитуда колебаний останется равной  $R_0$ , а вдоль оси  $x$  амплитуда станет равной  $A_x = v_0/\omega_2 = \sqrt{2} v_0/\omega_1 = \sqrt{2} R_0$ .

Итак, движение частицы будет происходить по эллипсу с минимальным и максимальным удалениями от центра  $R_0$  и  $\sqrt{2} R_0$  соответственно.

**198.** Будем считать, что тепло, выделяющее при кристаллизации на границе воды и льда, уходит через лед наружу за счет разности температур  $\Delta T$  между нижней и верхней кромками льда (т.е. пренебрежем потоком тепла от воды). Тогда запишем

$$\lambda \rho_{\text{л}} dh = \gamma \frac{\Delta T}{h} dt,$$

где  $\lambda$  — удельная теплота плавления льда,  $\gamma$  — теплопроводность льда,  $h$  — толщина слоя льда. Отсюда находим

$$h^2 = \frac{2\gamma\Delta T}{\lambda\rho_{\text{л}}} t + C.$$

Поскольку в начальный момент толщина льда была равна нулю, получаем, что  $C = 0$ , т.е.  $h \sim \sqrt{t}$ . Через 10 часов толщина льда будет в  $\sqrt{2}$  раз больше, чем через 5 часов, т.е. составит примерно 7 см.

**199.** Запишем условие равновесия поршня в начальном состоянии (до нагревания) и в конечном (после прихода в равновесие):

$$pS = mg.$$

Уравнения Клапейрона–Менделеева для этих состояний имеют вид

$$p(Sh_1) = \nu RT_1, \quad p(Sh_2) = \nu RT_3.$$

Из этих уравнений найдем соотношения

$$mgh_1 = \nu RT_1, \quad mgh_2 = \nu RT_3,$$

которые подставим в закон сохранения энергии

$$mgh_1 + \frac{3}{2}vRT_2 = mgh_2 + \frac{3}{2}vRT_3 ,$$

где  $T_2$  – температура сразу после нагревания, и получим

$$vRT_1 + \frac{3}{2}vRT_2 = vRT_3 + \frac{3}{2}vRT_3 .$$

Отсюда находим искомую температуру:

$$T_3 = \frac{2T_1 + 3T_2}{5} = 322 \text{ К} .$$

**200.** Если диск в данный момент имеет скорость  $v$ , то действующая на электрон сила Лоренца уравнивается силой со стороны электрического поля:

$$qvB = qE .$$

Это означает, что на противоположных поверхностях диска появляются заряды противоположных знаков, равные по величине

$$q = CU = \frac{\epsilon_0 S}{d}(Ed) = \epsilon_0 SvB .$$

Следовательно, от одной поверхности к другой протекает горизонтальный ток силой

$$I = q'(t) = \epsilon_0 SBv'(t) = \epsilon_0 SBa ,$$

на который действует направленная вверх сила Ампера

$$F_A = IBd = \epsilon_0 SdB^2a .$$

Подставляя это выражение в уравнение движения (второй закон Ньютона)

$$mg - F_A = ma ,$$

получим ответ для ускорения:

$$a = \frac{mg}{m + \epsilon_0 SdB^2} .$$

**201.** Будем решать задачу в предположении небольшого отклонения формы планеты от сферической. Во вращающейся системе отсчета на любой элемент планеты кроме силы тяготы

ния  $mg$  действует еще центробежная сила инерции, равная  $m\omega^2 r$  и направленная от оси вращения ( $r$  – расстояние до оси). Поскольку все точки поверхности должны иметь одинаковые гравитационные потенциалы, работа по переносу пробной массы  $m$  из центра планеты на поверхность должна быть вдвой и той же для экватора и полюса. Отсюда получаем

$$\int_0^{R_0} m\omega^2 r dr - mg\Delta R = 0 ,$$

или

$$\frac{\Delta R}{R_0} = \frac{4\pi^2 R_0}{2gT^2} = 0,05 .$$

**202.** Скорость тени равна скорости движения поверхности Земли за счет суточного вращения, т.е. примерно 1100 км/ч.

**203.** Масса тонущей бутылки равна 250 г + 350 г = 600 г, внешний объем бутылки 0,6 л, объем стекла 0,1 л. Отсюда находим плотность стекла: 2500 кг/м<sup>3</sup>.

**204.** Поскольку стержень невесомый, момент сил, действующих на него со стороны грузов, должен быть равен нулю. Следовательно, грузы не взаимодействуют со стержнем и движутся равномерно по прямой со скоростью  $v = \omega \cdot 0,8l$ . Пройдя расстояние  $s = \sqrt{l^2 - (0,8l)^2} = 0,6l$ , они достигнут концов стержня за время  $t = s/v = 0,75 \omega^{-1}$ .

**205.** Мощность теплоотдачи при 100 °С равна  $P$ . При увеличении напряжения в два раза мощность нагревателя возрастает до  $4P$ , причем  $P$  тратится на теплоотдачу, а  $3P$  – на испарение воды. Из уравнения

$$3Pt = r \frac{m}{2}$$

найдем  $t \approx 21$  мин.

**206.** Наведенный на шарике заряд  $Q$  находится из условия равенства нулю потенциала его центра:

$$k \frac{q}{r} + k \frac{Q}{R} = 0 .$$

При поднесении второго заряда наведенный заряд увеличится в 3 раза. Если вначале на шарик действовала сила  $F$  притяжения к заряду  $q$ , то теперь на него действуют две взаимно перпендикулярные силы, равные  $3F$  со стороны первого заряда и  $12F$  со

стороны второго. Равнодействующая этих сил равна  $3\sqrt{17}F$ . Значит, сила увеличится в  $3\sqrt{17}$  раза.

**207.** Давление насыщенного пара равно атмосферному, поэтому уровень воды в трубке сравняется с уровнем воды в сосуде.

**208.** Глубина погружения увеличится.

**209.** Если брусок близок к перекатыванию, он опирается о плоскость только передним нижним ребром. Приравнивая моменты сил трения и нормальной реакции относительно центра бруска, получим

$$\mu N \cdot a \frac{\sqrt{3}}{2} = N \cdot \frac{a}{2},$$

откуда

$$\mu = \frac{\sqrt{3}}{3} = 0,58.$$

Перекатывания не будет при  $\mu < 0,58$ .

**210.** Площадь поверхности таблетки уменьшается гораздо медленнее, чем ее объем.

**210.** 1) 1609 год. 2) Галилео Галилей и Иоганн Кеплер. 3) Галилей – в Падуде, Кеплер – в Праге. 4) Труд – в шлифовании линз, доведении их поверхностей до сферических; издержки – в большой стоимости стекла для линз, которое должно быть особо однородным. 5) Галилей использовал плосковыпуклую и плосковогнутую линзы с примерно одинаковыми фокусными расстояниями, а Кеплер – две плосковыпуклые линзы, причем длиннофокусную для окуляра и короткофокусную для объектива. 6) Телескоп Кеплера – он давал большую яркость изображения. 7) Обнаружение спутников Юпитера и спутника Сатурна, открытие пятен на Солнце, гор на Луне, фаз Венеры.

**213.** 1) Уильям Гильберт. 2) Идея о передаче силового взаимодействия через пространство, а не только при непосредственном соприкосновении тел. 3) Роберт Гук. Открыл закон упругости; сконструировал круговой пружинный маятник для ручных часов; усовершенствовал воздушный насос; провел систематизированные исследования микроскопического мира, которые привели, в частности, к открытию клетки.

**214.** 1) Бенджамин Франклин; стодолларовая купюра. 2) Создал первую теорию электричества, исследовал атмосферное

электричество и изобрел громоотвод. 3) Участвовал в работе над Декларацией независимости и Конституцией США. 4) Лион Фейхтвангер; «Лисы в винограднике». 5) М.В.Ломоносов; Георг Рихман, который погиб при проведении опытов с «притягиванием» молнии к громоотводу.

**215.** Фрэнсис Астон. 2) Открытие большого числа изотопов химических элементов и изучение их свойств. 3) Точные измерения масс атомов позволили измерить дефект масс атомных ядер, знание которых было необходимо для практического использования ядерной энергии.

**216.** 1) Никола Тесла. 2) США. 3) Разработал ряд конструкций электродвигателей, электрогенераторов, высокочастотных трансформаторов; построил радиоантенну. 4) Тесла – единица магнитной индукции;  $1 \text{ Тл} = 1 \text{ кг}/(\text{А} \cdot \text{с}^2)$ .

**217.** Запишем законы сохранения энергии и импульса для бруска с грузом:

$$\frac{mv_0^2}{2} = mg \cdot 2l + \frac{mv_1^2}{2} + \frac{Mv_2^2}{2},$$

$$mv_0 = mv_1 + Mv_2,$$

где  $v_1$  и  $v_2$  – скорости груза и бруска в момент времени, когда груз находится в верхней точке. Если груз совершает полный оборот вокруг точки подвеса, то нить натянута во всех точках траектории. При минимальной начальной скорости натяжение в верхней точке обращается в ноль. Второй закон Ньютона в этой точке запишем в системе отсчета, связанной с бруском:

$$mg = \frac{m(v_1 - v_2)^2}{l},$$

так как именно в этой системе отсчета радиус кривизны траектории груза равен длине нити  $l$ . В системе отсчета, связанной с землей, точка подвеса нити перемещается вместе с бруском, и груз движется по сложной траектории. Отметим, что в рассматриваемый момент времени ускорение бруска равно нулю, т.е. связанная с ним система отсчета является инерциальной (сила инерции обращается в ноль). Выполнив преобразования (выразив  $v_1$  и  $v_2$  из второго и третьего уравнений и подставив их в первое), получим

$$v_0 = \sqrt{\left(5 + 4 \frac{m}{M}\right) gl}.$$

*Замечание.* Если вы знакомы с важным свойством системы центра масс двух материальных точек, утверждающим, что кинетическая энергия системы в этой системе отсчета выражается через относительную скорость точек по формуле

$$E_k = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \frac{(\vec{v}_1 - \vec{v}_2)^2}{2}$$

(это утверждение несложно проверить «в лоб»), то можно решать эту задачу в системе центра масс:

$$\frac{mM}{m+M} \frac{v_0^2}{2} = mg \cdot 2l + \frac{mM}{m+M} \frac{v_{\text{отн}}^2}{2}, \quad mg = m \frac{v_{\text{отн}}^2}{l}.$$

**218.** Так как все точки облака движутся к центру не опережая друг друга, то частица, находившаяся изначально на расстоянии  $r$  от центра, все время притягивается к массе  $M = 4\pi r^3/3$ . Найдем время падения частицы с расстояния  $r$  на центр (конечное расстояние до центра пренебрежимо мало по сравнению с начальным, так как здесь плотность облака возрастает на много порядков). Заменим движение по прямой движением по очень узкому эллипсу с большой осью  $r$ . В соответствии с третьим законом Кеплера, период движения по такому эллипсу равен периоду движения по окружности радиусом  $r/2$ , который найдем из второго закона Ньютона:

$$G \frac{mM}{(r/2)^2} = m \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 (r/2).$$

Выразив массу  $M$  через начальную плотность облака, найдем время падения на центр:

$$t = \frac{T}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3\pi}{8G\rho}} \approx 10^6 \text{ лет.}$$

Обращаем внимание на то, что ответ не зависит от начального положения рассматриваемой частицы в облаке.

**219.** В системе отсчета, связанной с серединой нити, на каждый из грузов действует сила инерции  $\vec{F} = -m\vec{a}$ , эквивалентная силе тяжести с ускорением свободного падения  $\vec{g}' = -\vec{a}$ . Записав для движения в этом поле закон сохранения энергии:

$$2ma \frac{l}{2} = Q,$$

найдем выделившееся количество теплоты:

$$Q = mal.$$

*Замечание.* Утверждение о силе инерции следует из закона сложения ускорений:

$$\vec{T} = m(\vec{a} + \vec{a}_{\text{отн}}), \text{ откуда } \vec{T} + (-m\vec{a}) = m\vec{a}_{\text{отн}}.$$

**220.** Насыщенный пар находится в состоянии динамического равновесия с жидкостью, т.е. число «прилипших» молекул равно числу испарившихся. Разумно предположить, что процесс испарения не зависит от наличия пара над поверхностью, а определяется только температурой жидкости. Тогда масса жидкости, испарившейся за время  $t$  с поверхности жидкости площадью  $S$ , а значит, и масса «прилипших» молекул, равна

$$m_{\text{прил}} = m_{\text{исп}} = \rho_v S \frac{\Delta h}{\Delta t} t,$$

где  $\Delta h/\Delta t$  – скорость понижения уровня в условиях низкой влажности. Для оценки массы молекул насыщенного пара, упавших за это же время на поверхность, предположим, что  $1/6$  часть молекул летит в сторону жидкости и что все молекулы имеют одну и ту же среднюю скорость  $v$ . За время  $t$  поверхности достигнет  $1/6$  массы пара, находящегося в цилиндре объемом  $Svt$ :

$$m_{\text{пад}} = \frac{1}{6} \rho_p S v t.$$

Для оценки средней скорости возьмем значение средней квадратичной скорости:  $v = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ , а плотность пара выразим через давление:  $\rho_p = \frac{pM}{RT}$ . Подставляя численные значения, получим

$$\frac{m_{\text{прил}}}{m_{\text{пад}}} = \frac{6\rho_v}{\rho_p v} \frac{\Delta h}{\Delta t} = 6 \frac{\rho_v}{p} \frac{\Delta h}{\Delta t} \sqrt{\frac{RT}{3M}} \approx 0,02.$$

**221.** Теплоемкость газа тем выше, чем ближе процесс к изотермическому. Поскольку молярная теплоемкость в данном процессе во много раз (почти на три порядка) больше  $R$ , сделаем оценку полученного количества теплоты, считая  $T = \text{const}$ . Получим

$$Q = A = \int_{V_1}^{V_2} p \, dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{RT}{V} \, dV = RT \ln \frac{V_2}{V_1} \approx 4000 \text{ Дж}.$$

Изменение температуры равно

$$\Delta T = \frac{Q}{C} \approx 0,8 \text{ К}.$$

При таком  $\Delta T$  изменение внутренней энергии, которым мы пренебрегли при расчете тепла, составляет 10–20 Дж (в зависимости от типа газа), т.е. вносит поправку всего лишь в доли процента.

**222.** Запишем условие равновесия шариков после нанесения на них зарядов:

$$k(3l - l) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{(3l)^2}.$$

При изменении расстояния между шариками на малую величину  $x$  (от  $3l$  до  $3l + x$ ) сила взаимодействия изменится на

$$\begin{aligned} \Delta F &= \Delta F_{\text{упр}} + \Delta F_{\text{эл}} = -kx + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{q^2}{(3l+x)^2} - \frac{q^2}{(3l)^2} \right) \approx \\ &\approx -kx - \frac{q^2 \cdot 6lx}{4\pi\epsilon_0 (3l)^4} = -kx - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{(3l)^2} \frac{2}{3} \frac{x}{l} = -kx - \frac{4}{3} kx = -\frac{7}{3} kx \end{aligned}$$

(при упрощении использована первая формула). Возникающая при малом смещении из положения равновесия возвращающая сила эквивалентна действию пружины с жесткостью  $\frac{7}{3}k$ . Следовательно, частота колебаний возрастет в  $\sqrt{\frac{7}{3}}$  раз.

**223.** Проволочка предохранителя перегорает при достижении температуры плавления. Предположим, что нагревание происходит достаточно медленно, т.е. в каждый момент времени мощность выделенного током тепла равна мощности отдачи тепла в окружающую среду, которая пропорциональна разности температур и площади поверхности:

$$\frac{U^2}{R} = \alpha(T_{\text{пл}} - T)S, \text{ или } U = \sqrt{\rho \frac{l}{\pi d^2/4} \alpha(T_{\text{пл}} - T) \pi l d}.$$

Отсюда получаем

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{l_2}{l_1} \sqrt{\frac{d_1}{d_2}} = \frac{3}{\sqrt{2}} = 2,12, \text{ и } U_2 = 636 \text{ В}.$$

**224.** Надо определить, на какой максимальной высоте  $h$  (отсчитывая от основания) надо приложить к бруску горизон-

тальную силу, перпендикулярную боковой грани, чтобы брусок скользил, а не опрокидывался. Тогда  $\mu = a/(2h)$ , где  $a$  – длина ребра, параллельного приложенной силе.

**225.** Описанное положение неустойчиво по отношению к повороту. Конькобежца развернет, и он поедет пятками вперед.

**226.** Уровень воды будет выше в лодке (с учетом толщины бортов площадь внешнего сечения больше, чем внутреннего).

**227.** Скорость нарастания объема жемчужины постоянна:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = 4\pi R^2 \frac{\Delta R}{\Delta t} = \text{const}.$$

Объем должен увеличиться в 8 раз, что произойдет еще через 7 месяцев.

**228.** При увеличении температуры стенок давление возрастет, так как средняя скорость молекул после удара о стенку станет больше, переданный им импульс увеличится.

**229.** Давление пара при  $100^\circ\text{C}$  равно 1 атм, и полное давление внутри трубки будет больше внешнего на величину давления воздуха в трубке. Уровень воды в трубке всегда будет ниже уровня воды в сосуде.

**230.** Надо тяжелым предметом резко ударить по внутренней поверхности кольца в горизонтальном направлении. При ударе кольцо будет деформироваться так, что его вертикальный размер уменьшится, и оно вылетит, не успев сообщить цилиндру горизонтальный импульс.

**231.** Можно. Первый шаг: взять часть холодной воды, например половину, и привести ее в тепловой контакт с горячей водой (без перемешивания). Второй шаг: привести горячую воду в тепловой контакт со второй половиной холодной воды. Третий шаг: смешать две половины холодной воды.

**232.** Период не изменится, поскольку кулоновская сила направлена вдоль нити и не дает вклада в возвращающую силу.

**233.** Поскольку предельный угол полного внутреннего отражения меньше  $45^\circ$ , вошедшие через верхнюю грань лучи не выйдут через боковую поверхность, и паук не увидит муху.

**234.** 1) Эфир. 2) Сиять, сияние. 3) Аристотель, IV век до н.э. 4) «Пятая сущность»; поскольку Аристотель добавил ее к четырем ранее принятым элементам мира: огонь, вода, воздух, земля. 5) Альберт Эйнштейн; 1905 год (специальная теория относительности отменила эфир за ненужностью).

**235.** 1) III век до н.э. 2) Эратосфен. 3) Арабская Республика Египет. 4) Высота отвесного шеста, врытого в землю, величина тени от шеста, время измерений в Александрии и Асуане;

линейка и часы. 5) Базовое расстояние от Александрии до Асуана.

**236.** 1) Альберт Эйнштейн. 2) Точные угловые координаты положения звезд около солнечного диска, закрытого Луной. 3) Измерения подтвердили величину отклонения лучей света полем тяготения Солнца, предсказываемую общей теорией относительности. 4) Аномальная прецессия орбиты Меркурия (большая величина прецессии по сравнению с предсказываемой ньютоновской теорией тяготения) и красное смещение спектров, испущенных массивными небесными объектами, добавочное к доплеровскому смещению. 5) Общая теория относительности имеет научно-познавательное значение, а также используется для точности расчетов движения спутников и ракет в околоземном пространстве.

**237.** 1) Энрико Ферми, 1934 год, Нобелевская премия по физике 1938 года. 2) Отто Ган и Фриц Штрассман, 1938 год, Отто Ган — Нобелевская премия по химии 1944 года. 3) США, Чикаго, 1942 год. 4) СССР, Обнинск, 1954 год. 5) Франция.

**238.** 1) Нильс Бор. 2) Копенгаген (Дания), Мальме и Стокгольм (Швеция), Северная Шотландия, Лондон (Англия), Нью-Йорк и Лос-Аламос (США). 3) Октябрь-декабрь 1943 года. 4) Бегство из Дании, захваченной Гитлером, и необходимость помочь созданию ядерного оружия в США. 5) Квантовая теория атома водорода (1913 г.); теория электронных оболочек и первое приближенное обоснование периодической системы элементов (1923 г.); принцип дополнительности (1927 г.); первая теория атомного ядра (1936 г.); первая теория деления ядер (1939 г.).

## МЕХАНИКА

### Кинематика

1. Спортсмены бегут колонной длиной 20 м с одной и той же скоростью 3 м/с. Навстречу бежит тренер со скоростью 1 м/с. Каждый спортсмен, поравнявшись с тренером, бежит назад с прежней скоростью. Какова будет длина колонны, когда все спортсмены развернутся? (10)

2. С подводной лодки, погружающейся равномерно, испускаются звуковые импульсы длительностью 30,1 с. Длительность импульса, принятого на лодке после его отражения от дна, равна 29,9 с. Определите скорость погружения лодки. Скорость звука в воде 1500 м/с. (5)

3. Эскалатор метрополитена, двигаясь равномерно, поднимает неподвижно стоящего на нем пассажира в течение одной минуты. По неподвижному эскалатору пассажир, двигаясь равномерно, поднимается за 3 минуты. Сколько секунд будет подниматься пассажир по движущемуся вверх эскалатору? (45)

4. В безветренную погоду для перелета из города А в город Б и обратно самолет затрачивает 8 часов полетного времени. На сколько минут увеличится это время, если все время полета будет дуть ветер со скоростью 20 м/с в направлении от А к Б? Скорость самолета относительно воздуха 312 км/ч. (27)

5. Самолет, совершающий перелеты из города А в город Б и обратно, развивает в полете скорость 328 км/ч относительно воздуха. При боковом ветре, перпендикулярном линии полета, перелет туда и обратно занял 6 часов полетного времени. На сколько минут дольше займет этот перелет, если ветер будет все время дуть в направлении от А к Б? Скорость ветра в обоих случаях 20 м/с. (9)

6. При переправе через реку шириной 80 м надо попасть в точку, лежащую на 60 м выше по течению, чем точка старта (рис.1). Лодочник управляет моторной лодкой так, что она

---

<sup>1</sup> В скобках после условия задачи приведен численный ответ.

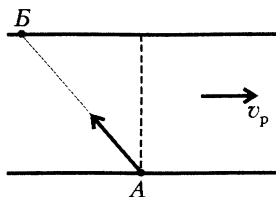


Рис. 1

движется точно к цели со скоростью  $4,5 \text{ м/с}$  относительно берега. Какова при этом скорость лодки относительно воды, если скорость течения реки  $2,1 \text{ м/с}$ ? (6)

7. Автомобиль приближается к пункту А со скоростью  $80 \text{ км/ч}$ . В тот момент, когда ему оставалось проехать  $10 \text{ км}$ , из пункта А в перпендикулярном направлении выезжает грузовик со скоростью  $60 \text{ км/ч}$ . Чему равно наименьшее расстояние (в км) между автомобилем и грузовиком? (6)

8. За пятую секунду прямолинейного движения с постоянным ускорением тело проходит путь  $5 \text{ м}$  и останавливается. Какой путь пройдет тело за вторую секунду этого движения? (35)

9. Двигаясь с постоянным ускорением в одном направлении, тело за два последовательных промежутка времени величиной по  $2 \text{ с}$  каждый проходит отрезки пути  $16 \text{ м}$  и  $8 \text{ м}$ . Найдите скорость тела в начале первого этапа. (10)

10. Тело бросают вертикально вверх. Наблюдатель заметил, что на высоте  $75 \text{ м}$  тело побывало дважды, с интервалом времени  $2 \text{ с}$ . Найдите начальную скорость тела.<sup>2</sup> (40)

11. Камень, брошенный вертикально вверх, дважды был на одной и той же высоте – спустя  $0,8 \text{ с}$  и  $1,5 \text{ с}$  после начала движения. Чему равна эта высота? (6)

12. С какой высоты падает тело без начальной скорости, если путь, пройденный им за последнюю секунду движения, в пять раз больше пути, пройденного за первую секунду? (45)

13. Свободно падающее тело в последние  $10 \text{ с}$  своего движения прошло  $3/4$  всего пути. Определите высоту, с которой падало тело без начальной скорости. (2000)

14. Из вертикальной трубки высыпается песок, причем диаметр его струи остается равным диаметру трубки. Скорость песчинок у конца трубки  $1 \text{ м/с}$ . Во сколько раз средняя плотность песка в струе на расстоянии  $2,4 \text{ м}$  от конца трубки будет меньше, чем внутри трубки у ее конца? Считать, что каждая песчинка падает свободно. (7)

15. Когда пассажиру осталось дойти до двери вагона  $25 \text{ м}$ , поезд тронулся с места и стал разгоняться с ускорением

<sup>2</sup> Здесь и далее (кроме специально оговоренных случаев) ускорение свободного падения считать равным  $10 \text{ м/с}^2$ .

$0,5 \text{ м/с}^2$ . Пассажир побежал с постоянной скоростью. При какой минимальной скорости он догонит свой вагон? (5)

**16.** Два тела начинают одновременно двигаться по прямой навстречу друг другу с начальными скоростями  $10 \text{ м/с}$  и  $20 \text{ м/с}$  и с постоянными ускорениями  $2 \text{ м/с}^2$  и  $1 \text{ м/с}^2$ , направленными противоположно соответствующим начальным скоростям. Определите, при каком максимальном начальном расстоянии между телами они встретятся в процессе движения. (150)

**17.** В течение  $20 \text{ с}$  ракета поднимается с постоянным ускорением  $0,8g$ , после чего двигатели ракеты выключаются. Через какое время после этого ракета упадет на землю? (40)

**18.** Тело начинает двигаться вдоль прямой без начальной скорости с постоянным ускорением. Через  $28 \text{ с}$  ускорение тела меняется по направлению на противоположное и уменьшается по величине на  $4\%$ . Через какое время после этого тело вернется в исходную точку? (70)

**19.** Конькобежец проходит  $450 \text{ м}$  с постоянной скоростью  $v$ , а затем тормозит до остановки с ускорением  $0,5 \text{ м/с}^2$ . При некотором значении скорости  $v$  общее время движения конькобежца будет минимально. Чему равно это время? (60)

**20.** Железный шарик подкатился к краю верхней ступеньки лестницы со скоростью  $1,5 \text{ м/с}$  (рис.2). Высота и ширина каждой ступени  $20 \text{ см}$ . О какую по счету ступеньку шарик ударится впервые? Первой считать ступеньку сразу после той, на которой находился шар. (3)

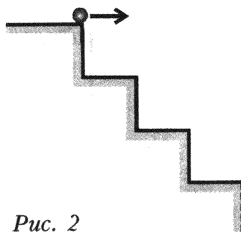


Рис. 2

**21.** Из зенитного орудия производят выстрел в тот момент, когда самолет, летящий со скоростью  $540 \text{ км/ч}$  на высоте  $2 \text{ км}$ , находится точно над орудием. При какой наименьшей скорости вылета снаряда можно поразить цель? (250)

**22.** Футбольный мяч посылается с начальной скоростью  $10 \text{ м/с}$  под углом  $15^\circ$  к горизонту. На расстоянии  $3 \text{ м}$  от точки удара находится вертикальная стена, о которую мяч упруго ударяется. Найдите расстояние от точки удара по мячу до места его приземления. (1)

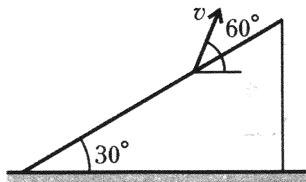


Рис. 3

**23.** Из некоторой точки на склоне горы бросают вверх по склону тело с начальной скоростью  $21 \text{ м/с}$

под углом  $60^\circ$  к горизонту (рис.3). На каком расстоянии от точки броска упадет тело, если угол наклона горы  $30^\circ$ ? (30)

**24.** С высоты 1,5 м на наклонную плоскость вертикально падает шарик и абсолютно упруго отражается. На каком расстоянии от места падения он снова ударится о ту же плоскость? Угол наклона плоскости к горизонту  $30^\circ$ . (6)

**25.** Из некоторой точки одновременно бросают два камня: один в северном направлении под углом  $30^\circ$  к горизонту со скоростью 24 м/с, другой в южном направлении под углом  $60^\circ$  к горизонту со скоростью 32 м/с. Найдите расстояние между камнями через 1,5 с. (60)

**26.** Два камня расположены на одной горизонтали на расстоянии 42 м друг от друга. Один камень бросают вертикально вверх со скоростью 5 м/с, а второй одновременно бросают под углом  $30^\circ$  к горизонту по направлению к первому камню со скоростью 8 м/с. Чему равно наименьшее расстояние между камнями в процессе движения? (6)

**27.** Через блок радиусом 0,2 м переброшена нерастяжимая нить с одинаковыми грузиками на концах (рис.4). Ось блока поднимается со скоростью 1 м/с, а один из грузиков опускается со скоростью 2 м/с (относительно земли). Чему равна угловая скорость вращения блока? (15)

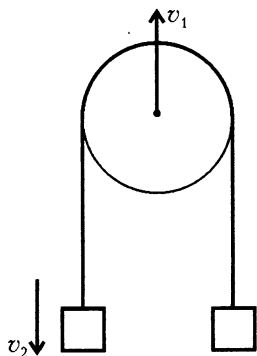


Рис. 4

**28.** Пуля, выпущенная из винтовки, попадает во вращающийся с частотой 50 об/с тонкостенный цилиндр диаметром 20 см. Найдите скорость пули, если выстрел произведен в направлении диаметра цилиндра, а к моменту вылета пули из цилиндра входное отверстие сместилось на 1 см.<sup>3</sup> (628)

**29.** Через блок перекинули нерастяжимую нить, к концам которой прикрепили два груза. В некоторый момент ось блока поднимается вертикально вверх со скоростью 2 м/с, а один из грузов опускается со скоростью 3 м/с. С какой скоростью движется в этот момент другой груз? (7)

**30.** Плот подтягивают к высокому берегу с помощью веревки. С какой скоростью (в см/с) надо выбирать веревку в тот

---

<sup>3</sup> Здесь и далее принять  $\pi = 3,14$ .

момент, когда она образует с горизонтом угол  $60^\circ$ , чтобы лодка двигалась со скоростью  $1,2 \text{ м/с}$ ? (60)

**31.** Палочку длиной  $60 \text{ см}$  прислонили к стене, и она начала соскальзывать. В тот момент, когда расстояние между нижним концом палочки и стеной было равно  $48 \text{ см}$ , его скорость была равна  $18 \text{ см/с}$ . Чему была равна в этот момент скорость (в  $\text{см/с}$ ) верхнего конца? (24)

**32.** Палочка движется по плоскости. В некоторый момент скорость одного конца палочки направлена вдоль палочки и равна  $25 \text{ см/с}$ , а скорость второго конца направлена под углом  $60^\circ$  к линии палочки. Чему равна в этот момент скорость (в  $\text{см/с}$ ) второго конца? (50)

### Динамика

**33.** Два шарика из одного материала падают в воздухе. Отношение радиусов шариков равно  $4$ . Во сколько раз больше скорость установившегося падения крупного шарика? Сила сопротивления пропорциональна площади поперечного сечения шарика и квадрату его скорости. (2)

**34.** Начальная скорость тела равна  $10 \text{ м/с}$ . Считая, что на тело действует только сила сопротивления среды, пропорциональная его скорости с коэффициентом пропорциональности  $2 \text{ кг/с}$ , найдите расстояние, пройденное телом до остановки. Масса тела  $4 \text{ кг}$ . (20)

**35.** Свободно летящее тело попадает в среду, где на него действует сила сопротивления, пропорциональная скорости. К моменту, когда его скорость уменьшилась вдвое, тело прошло путь  $60 \text{ м}$ . Какое расстояние пройдет оно с этого момента до остановки? Силу тяжести не учитывать. (60)

**36.** Тело массой  $10 \text{ кг}$  находится на горизонтальной плоскости. На тело один раз действовали горизонтальной силой  $5 \text{ Н}$ , а другой раз – силой  $50 \text{ Н}$ , направленной вверх под углом  $30^\circ$  к горизонту. Во сколько раз сила трения во втором случае больше, чем в первом, если коэффициент трения  $0,2$ ? (3)

**37.** Маленький брусок находится на вершине наклонной плоскости длиной  $26 \text{ м}$  и высотой  $10 \text{ м}$ . Коэффициент трения между бруском и плоскостью  $0,45$ . Какую минимальную скорость надо сообщить бруску, чтобы он достиг основания плоскости? (4)

**38.** С каким ускорением начнет спускаться тело с наклонной плоскости, если за привязанную к телу нить потянуть в

горизонтальном направлении с силой, вдвое меньшей действующей на тело силы тяжести? Высота наклонной плоскости 3 м, ее длина 5 м. Коэффициент трения 0,8. (6)

**39.** Телу толчком сообщили скорость, направленную горизонтально вдоль поверхности наклонной плоскости. Найдите величину ускорения тела в начальный момент, если синус угла наклона плоскости 0,2, а коэффициент трения  $\sqrt{3}/3$ . (6)

**40.** Две лодки по очереди приводят в движение горизонтальной силой  $F$ . Установившаяся скорость одной лодки оказывается равной 1,2 м/с, другой 0,4 м/с. Чему будет равна установившаяся скорость (в см/с), если лодки связать длинной веревкой и приложить к одной из них силу  $F$ ? Сила сопротивления воды пропорциональна скорости. (30)

**41.** На доске массой 2 кг, лежащей на гладкой горизонтальной поверхности, находится брусок массой 1 кг. Коэффициент трения между бруском и доской 0,4. Какую наименьшую горизонтальную силу надо приложить к бруску, чтобы стащить его с доски? (6)

**42.** Доска массой 8 кг может двигаться без трения по наклонной плоскости с углом наклона  $30^\circ$  к горизонту (рис.5). С каким по величине ускорением (в см/с<sup>2</sup>) должен бежать по доске человек массой 80 кг, чтобы доска не соскальзывала с наклонной плоскости? (550)

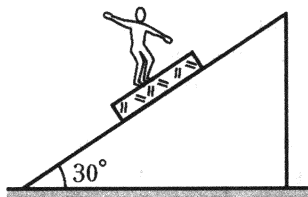


Рис. 5

**43.** На длинной нити, перекинутой через блок, подвешены на одном уровне одинаковые грузы. От одного из грузов отделяется

часть, масса которой равна  $1/5$  массы груза, и через 1 с падает на землю. Через какое время после этого достигнет земли другой груз? (2)

**44.** На концах легкого стержня, который может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через его середину, закреплены грузы 1 кг и 3 кг. Стержень приводят в горизонтальное положение и отпускают. С какой силой действует он на ось сразу после этого? (30)

**45.** Невесомый стержень может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через точку, которая делит стержень в отношении 1:2 (рис.6).



Рис. 6

На концах стержня закреплены одинаковые грузы массой 0,5 кг каждый. Стержень приводят в горизон-

тальное положение и отпускают. С какой силой действует он на ось сразу после этого? (9)

**46.** На некоторой планете запущен спутник связи, т.е. спутник, все время находящийся над одной точкой планеты. Во сколько раз высота этого спутника над поверхностью планеты больше ее радиуса, если известно, что другой спутник, вращающийся вокруг планеты на малой высоте, делает за время планетарных суток 8 полных оборотов? (3)

**47.** Тело массой 2 кг вращается в вертикальной плоскости на нити длиной 1 м. Когда тело проходит точку, расположенную на 0,5 м ниже точки подвеса нити, она обрывается. После этого тело поднимается на 4 м выше точки подвеса. Чему было равно натяжение нити перед обрывом? (250)

**48.** Гоночный автомобиль массой 2500 кг едет по шоссе со скоростью 360 км/ч вдоль экватора. На сколько отличаются силы давления автомобиля на полотно дороги при его движении с запада на восток и с востока на запад? Угловая скорость вращения Земли  $7,3 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ . (73)

**49.** Тонкую цепочку длиной 1 м и массой 200 г замкнули в круглое кольцо, положили на гладкую горизонтальную поверхность и раскрутили вокруг вертикальной оси так, что скорость каждого элемента цепочки равна 5 м/с. Найдите натяжение цепочки. (5)

**50.** Резиновый шнур длиной 0,8 м и массой 300 г имеет форму круглого кольца. Его положили на гладкую горизонтальную поверхность и раскрутили вокруг вертикальной оси так, что скорость каждого элемента кольца равна 3 м/с. Найдите удлинение (в см) шнура, если его жесткость 30 Н/м. (10)

**51.** Мотоциклист производит поворот на наклонном треке. Во сколько раз максимально допустимая скорость движения больше минимальной, если коэффициент трения 0,75, а угол наклона трека к горизонту  $45^\circ$ ? Поворот надо пройти без проскальзывания колес по треку. (7)

**52.** С какой максимальной скоростью можно кататься на велосипеде по поверхности холма, имеющего форму полусферы радиусом 48 м, оставаясь все время на высоте 38,4 м (отсчитанной от центра кривизны). Коэффициент трения колес о землю 0,8. (3)

**53.** Цепочку длиной 1 м и массой 157 г замкнули в кольцо и надели сверху на гладкий круговой конус с вертикальной осью и углом полураствора  $45^\circ$ . Каким будет натяжение (в мН)

цепочки, если конус привести во вращение так, чтобы каждый элемент цепочки имел скорость  $2 \text{ м/с}$ ? (878)

**54.** Замкнутая цепочка массой  $157 \text{ г}$  надета «с натягом» на жесткий вертикальный цилиндр радиусом  $5 \text{ см}$ . Натяжение цепочки равно  $3 \text{ Н}$ . До какой угловой скорости надо раскрутить цилиндр, чтобы цепочка с него соскользнула вниз? Коэффициент трения цепочки о цилиндр  $0,1$ . (20)

### Импульс

**55.** Ракета массой  $3 \text{ т}$  поднимается вертикально вверх с ускорением  $5,6 \text{ м/с}^2$ , находясь на высоте  $1600 \text{ км}$  над поверхностью Земли. Какая масса газов выбрасывается из сопла ракеты за  $1 \text{ с}$ ? Скорость выброса газов  $1800 \text{ м/с}$ . Радиус Земли  $6400 \text{ км}$ . (20)

**56.** На ракете массой  $5 \text{ т}$ , летящей в глубоком космосе со скоростью  $6 \text{ км/с}$ , для совершения поворота включают боковой реактивный двигатель. Скорость газов в реактивной струе  $2 \text{ км/с}$ , расход топлива  $10 \text{ кг/с}$ . По окружности какого радиуса (в  $\text{км}$ ) происходит поворот? (9000)

**57.** При посадке на планету, лишенную атмосферы, космический корабль сначала облетает ее на малой высоте с выключенными двигателями. Затем он уменьшает скорость на  $20\%$ , и при новом режиме облета расход реактивного топлива составляет  $3 \text{ кг/с}$ . Каким будет расход топлива при уменьшении скорости облета еще вдвое? Скорость выброса газов постоянна. (7)

**58.** Струя воды ударяется о вертикальную стену, расположенную перпендикулярно к струе. После удара вода стекает вниз по стене. Найдите силу, с которой струя действует на стену, если площадь сечения струи  $5 \text{ см}^2$ , а ее скорость  $8 \text{ м/с}$ . (32)

**59.** Готовясь к прыжку, змея поднимает голову со скоростью  $10 \text{ см/с}$ . Считая массу змеи  $2 \text{ кг}$  равномерно распределенной по ее длине, равной  $80 \text{ см}$ , найдите, на сколько миллиньютонов возрастает при этом сила давления змеи на землю. (25)

**60.** Тонкую мягкую цепочку массой  $200 \text{ г}$  удерживают за один конец так, что другой ее конец касается стола. Цепочку отпускают, и она падает на стол. Считая, что все элементы цепочки, находящиеся в воздухе, падают свободно, найдите силу давления на стол в тот момент, когда в воздухе находится половина цепочки. (3)

**61.** В ящик с песком массой  $12 \text{ кг}$ , соскальзывающий с гладкой наклонной плоскости, с высоты  $3,2 \text{ м}$  падает груз

массой 4 кг и застревает в нем. Найдите скорость ящика сразу после попадания груза, если непосредственно перед попаданием скорость ящика равнялась 8 м/с. Угол наклона плоскости к горизонту  $30^\circ$ . (7)

**62.** Лягушка массой 100 г сидит на конце доски массой 900 г и длиной 50 см, которая лежит на гладкой горизонтальной поверхности. Лягушка прыгает под углом  $15^\circ$  вдоль доски. Какова должна быть начальная скорость лягушки, чтобы она приземлилась на другом конце доски? (3)

**63.** Тележка длиной 5 м стоит на гладких рельсах, на противоположных концах тележки стоят два мальчика (рис.7). Масса тележки 75 кг, массы мальчиков 45 кг и 30 кг. Мальчики меняются местами. На сколько сантиметров переместится при этом тележка? (50)

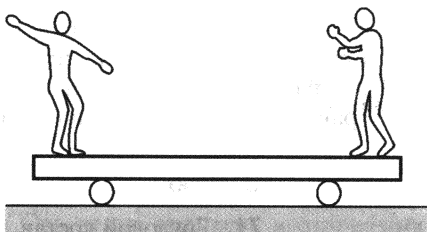


Рис. 7

**64.** Человек захотел спуститься по веревочной лестнице из свободно висящего аэростата массой 400 кг. Какой минимальной длины веревочную лестницу он должен привязать к гондоле аэростата, чтобы, ступая на последнюю ступеньку, он коснулся земли? Масса человека 80 кг. Расстояние от земли до аэростата в начальный момент времени 10 м. (12)

**65.** На стол поставили в вертикальном положении тонкую палочку длиной 80 см и отпустили. На сколько сантиметров сместится нижний конец палочки к тому моменту, когда она будет составлять с поверхностью стола угол  $60^\circ$ ? Трением пренебречь. (20)

**66.** На гладкой поверхности удерживают в состоянии неустойчивого равновесия куб, стоящий на ребре (рис.8). Куб отпускают, и он падает плашмя на одну из граней. На сколько сантиметров сместится к этому моменту ребро, на котором он стоял, если сторона куба 32 см? (16)

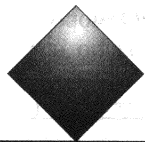


Рис. 8

**67.** Вербку длиной 80 см и массой 200 г положили на гладкую горизонтальную поверхность и раскрутили вокруг одного из концов с угловой скоростью  $10 \text{ с}^{-1}$ . Чему равна сила натяжения веревки в середине ее длины? (6)

**68.** Тонкую пластинку массой 500 г, имеющую форму квадрата со стороной 75 см, раскрутили с угловой скоростью  $8 \text{ с}^{-1}$  вокруг вертикальной оси, совпадающей с одной из сторон квадрата. С какой силой действует пластинка на ось вращения? (13)

**69.** Тонкий однородный стержень массой 0,5 кг и длиной 1 м вращается в вертикальной плоскости вокруг горизонтальной оси, проходящей через один из его концов. В нижнем положении скорость другого конца стержня равна 4 м/с. С какой силой действует стержень в этот момент на ось вращения? (9)

**70.** Два шарика массой 250 г каждый, соединенные нитью длиной 1 м, движутся по гладкой горизонтальной поверхности. В некоторый момент один из шариков неподвижен, а скорость другого равна 4 м/с и направлена перпендикулярно нити. Чему равна сила натяжения нити? (2)

## Энергия

**71.** Грузовой состав движется по ровному участку дороги со скоростью 60 км/ч, электровоз при этом развивает полезную мощность 100 кВт. С какой скоростью (в км/ч) надо подниматься по участку с уклоном 1 м на 200 м пути, чтобы развиваемая мощность равнялась 120 кВт? Сила сопротивления равна 0,01 от силы тяжести состава. (48)

**72.** Камень массой 200 г брошен с горизонтальной поверхности под углом к горизонту и упал на нее на расстоянии 40 м через 4 с. Чему равна работа, затраченная на этот бросок? (50)

**73.** Под каким углом (в градусах) к горизонту надо направить воду из брандспойта, чтобы она падала на расстоянии 5 м от него? Площадь отверстия  $10 \text{ см}^2$ , мощность мотора 1 кВт, его КПД 50%. Высоту отверстия над землей считать равной нулю. (15)

**74.** Однородный стержень длиной 2 м, двигаясь вдоль своей длины по шероховатой горизонтальной поверхности, начинает пересекать границу, за которой поверхность становится гладкой (рис.9). Скорость стержня в этот момент равна 1,6 м/с. Какое расстояние (в см) пройдет стержень от этого момента до остановки, если коэффициент трения о шероховатую поверхность равен 0,2? (80)

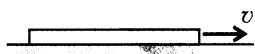


Рис. 9

**75.** Легкий стержень длиной 150 см с закрепленными на его

концах одинаковыми грузами может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси. Ось проходит через точку стержня, которая делит его в отношении 1:2. Какую минимальную угловую скорость надо сообщить стержню в положении равновесия, чтобы он сделал полный оборот? (4)

**76.** Небольшой груз массой 100 г прикреплен к веревке длиной 72 см и массой 300 г, лежащей на гладком горизонтальном столе. Под тяжестью груза веревка начинает соскальзывать без начальной скорости в небольшое отверстие с гладкими краями, которое проделано в столе. Какой будет скорость веревки в тот момент, когда ее свободный конец соскользнет со стола? (3)

**77.** Груз массой 1,6 кг подвешен к потолку на упругом резиновом шнуре жесткостью 250 Н/м. Грузу резким толчком сообщают начальную скорость 1 м/с, направленную вертикально вверх. На какую максимальную высоту (в мм, считывая от начальной точки) поднимется груз? (82)

**78.** Невесомый стержень, на концах которого закреплены два груза массой 0,5 кг каждый, может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси. Ось делит стержень в отношении 1:3. Стержень приводят в горизонтальное положение и отпускают. С какой силой он действует на ось в вертикальном положении? (14)

**79.** Невесомый стержень, на конце которого закреплен груз массой 3 кг, а в середине – груз массой 4 кг, может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через его свободный конец (рис.10). Стержень приводят в верхнее положение и отпускают. С какой силой будет он действовать на ось в момент прохождения нижнего положения? (320)

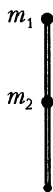


Рис. 10

**80.** Нить длиной 54 см с привязанным к ней шариком отклонили на  $90^\circ$  от вертикали и отпустили. Проходя вертикальное положение, нить зацепляется о гвоздь, вбитый на расстоянии 27 см под точкой подвеса. На какую максимальную высоту (в см, считывая от нижней точки) поднимется шарик после этого? (50)

**81.** Один шар налетает на другой, большей массы, первоначально покоившийся. После центрального упругого удара шары разлетаются так, что величина скорости меньшего шара в 2,5 раза больше величины скорости большего шара. Найдите отношение масс шаров. (6)

**82.** Два одинаковых по размеру шара висят на тонких нитях, касаясь друг друга. Первый шар отводят в сторону и

отпускают. После упругого удара шары поднимаются на одну и ту же высоту. Найдите массу (в г) первого шара, если масса второго 0,6 кг. (200)

**83.** Шар массой 3 кг, движущийся со скоростью  $v$ , налетает на покоящийся шар и после абсолютно упругого столкновения отскакивает от него под углом  $90^\circ$  к первоначальному направлению своего движения со скоростью  $v/2$ . Определите массу второго шара. Поверхности шаров гладкие. (5)

**84.** На гладкой горизонтальной плоскости лежат два бруска массами 300 г и 600 г, соединенные недеформированной пружиной жесткостью 500 Н/м (рис.11). В первый брусок попадает шарик массой 100 г, летевший горизонтально вдоль оси пружины со скоростью 12 м/с. Найдите мак-

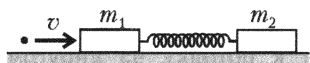


Рис. 11

симальную деформацию (в см) пружины в процессе дальнейшего движения. Удар шарика о брусок абсолютно упругий. (12)

**85.** Брусок стоит на гладкой горизонтальной плоскости. На бруске закреплен штатив, к которому на легкой нити подвешен груз массой 0,1 кг. Масса бруска вместе со штативом равна массе груза. Вначале нить с грузом удерживают в горизонтальном положении, затем отпускают. Найдите силу натяжения груза в момент, когда груз находится в нижней точке. (5)

**86.** Демонстрационная установка состоит из наклонной плоскости, плавно переходящей в «мертвую петлю» радиусом  $R$  (рис.12). Установка закреплена на тележке, стоящей на горизонтальной плоскости. Груз массой 0,2 кг съезжает с высоты  $3R$ , отсчитанной от нижней точки петли. Чему равна сила давления груза на поверхность в верхней точке петли? Трением пренебечь. Масса установки вместе с тележкой в 4 раза больше массы груза. (3)

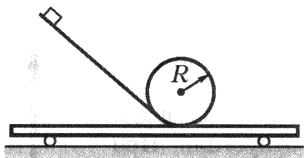


Рис. 12

**87.** Санки соскальзывают с высоты 15 м по горе с углом наклона  $45^\circ$  к горизонту. Пройдя расстояние 24 м по горизонтали, санки поднимаются на другую гору с таким же углом наклона. Определите, на какую высоту поднимутся санки по второй горе, если коэффициент трения на всем пути 0,2. (6)

**88.** Тело массой 3 кг, лежащее на горизонтальной плоскости, соединено с вертикальной стеной недеформированной пружиной. Ось пружины горизонтальна, ее жесткость 54 Н/м, коэффициент трения между телом и плоскостью 0,3. Какую

минимальную скорость надо сообщить телу вдоль оси пружины, чтобы оно вернулось в начальную точку? (2)

**89.** Брусек массой  $0,5 \text{ кг}$  лежит на наклонной плоскости, образующей с горизонтом угол  $\alpha$  ( $\sin \alpha = 0,6$ ). Брусек соединен с вершиной наклонной плоскости недеформированной пружиной жесткостью  $64 \text{ Н/м}$ . Какую скорость (в  $\text{см/с}$ ) надо сообщить бруску вверх вдоль плоскости, чтобы он вернулся и остановился в начальной точке? Коэффициент трения бруска о плоскость  $0,8$ . (40)

**90.** Два одинаковых тела массами по  $5 \text{ кг}$  соединены недеформированной пружиной жесткостью  $15 \text{ Н/м}$  и лежат на горизонтальном полу (рис.13). Какую минимальную скорость, направленную вдоль оси пружины, надо сообщить одному из тел, чтобы оно сдвинуло другое тело? Коэффициент трения для каждого тела  $0,1$ . (1)

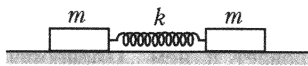


Рис. 13

**91.** Два бруска массами  $3 \text{ кг}$  и  $2 \text{ кг}$ , лежащие на полу, соединены пружиной жесткостью  $200 \text{ Н/м}$ . Бруски удерживают так, что пружина находится в сжатом состоянии. Сначала отпускают первый брусок, а в тот момент, когда пружина не деформирована, отпускают и второй. При какой минимальной начальной деформации (в  $\text{см}$ ) второй брусок сдвинется с места? Коэффициент трения первого бруска о пол  $0,2$ , а второго бруска  $0,3$ . (9)

**92.** Груз массой  $2 \text{ кг}$  подвешен к потолку на упругом резиновом шнуре. На груз дважды действовали постоянной силой, направленной вертикально вверх и равной в первом случае  $15 \text{ Н}$ , а во втором случае  $5 \text{ Н}$ . Во сколько раз максимальная высота подъема груза (отсчитанная от начальной точки) в первом случае больше, чем во втором? (4)

**93.** Ящик массой  $50 \text{ кг}$  за веревку, направленную вдоль наклонного помоста, медленно втащили вверх. При этом была совершена работа  $10,5 \text{ кДж}$ . В верхней точке помоста веревка обрывается, и ящик начинает скользить вниз. В нижней точке помоста его скорость составляет  $10 \text{ м/с}$ . Найдите высоту помоста. (13)

**94.** Цилиндрический колодец площадью сечения  $0,4 \text{ м}^2$  и глубиной  $3 \text{ м}$  заполнен водой на две трети. Насос выкачивает воду и подает ее на поверхность земли через трубу площадью поперечного сечения  $0,8 \text{ см}^2$ . Какую работу (в  $\text{кДж}$ ) совершит насос, если выкачает всю воду из колодца за  $1000 \text{ с}$ ? Потери энергии на трение не учитывать. (56)

**95.** Брусок массой 490 г лежит на горизонтальном полу и соединен с вертикальной стеной недеформированной пружиной. Ось пружины горизонтальна, жесткость пружины 180 Н/м. В брусок застревает пуля массой 10 г, скорость которой параллельна оси пружины, в результате чего пружина сжимается на 10 см. Чему равна начальная скорость пули? Коэффициент трения между бруском и полом 0,2. (100)

**96.** В шар массой 250 г, висящий на нити длиной 50 см, попадает и застревает в нем горизонтально летящая пуля массой 10 г. При какой минимальной скорости пули шар после этого совершит полный оборот в вертикальной плоскости? (130)

**97.** Небольшое тело массой 0,99 кг лежит на вершине гладкой полусферы радиусом 1 м. В тело попадает пуля массой 0,01 кг, летящая горизонтально со скоростью 200 м/с, и застревает в нем. Пренебрегая смещением тела за время удара, определите высоту (в см), на которой оно оторвется от поверхности полусферы. (80)

**98.** Диск массой 3 кг висит на упругом шнуре жесткостью 200 Н/м, прикрепленном к центру диска. Вдоль шнура с высоты 35 см на диск плашмя падает шайба (с отверстием в центре) массой 1 кг. Удар шайбы о диск абсолютно неупругий. Найдите максимальную скорость (в см/с) диска с шайбой после удара. (75)

**99.** В брусок массой 10 г, лежащий на гладком столе, попадает пуля массой 2 г, летящая со скоростью 60 м/с. На сколько миллиметров углубится пуля в брусок, если сила сопротивления движению пули в бруске 250 Н? (12)

**100.** Доска массой 1 кг движется равномерно по гладкой горизонтальной поверхности со скоростью 3 м/с. Сверху на доску осторожно кладут кирпич массой 0,5 кг. Какое расстояние пройдет кирпич относительно доски за время проскальзывания? Коэффициент трения между доской и кирпичом 0,1. (3)

**101.** На гладкой горизонтальной плоскости лежит доска длиной 1 м, на одном конце которой закреплен вертикальный упор (рис.14). Какую минимальную скорость надо сообщить маленькому бруску, лежащему на другом конце доски, чтобы после абсолютно упругого удара об упор брусок вернулся назад и упал с доски? Масса доски в 8 раз больше, чем масса бруска, коэффициент трения между ними 0,2. (3)

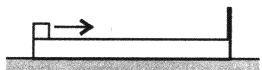


Рис. 14

**102.** На гладком полу находится доска массой 1,5 кг, на которой лежит брусок массой 490 г. В брусок попадает и

застревает в нем пуля массой 10 г, летящая вдоль доски горизонтально со скоростью 100 м/с. На какое расстояние (в см) сместится брусок вдоль доски, если коэффициент трения между ними 0,5? (30)

**103.** В шар массой 480 г попадает пуля массой 20 г, летящая со скоростью 100 м/с по линии, проходящей через центр шара. Считая, что сила сопротивления движению пули в материале шара постоянна и равна 1650 Н, найдите конечную скорость пули. Диаметр шара 5 см. (40)

**104.** Спортсмен катится на роликовых коньках с ядром в руках, на ходу толкает его и в результате толчка сразу останавливается. Какую работу совершил спортсмен, если его масса 70 кг, масса ядра 10 кг, а скорость ядра равна 8 м/с и направлена под углом  $30^\circ$  к горизонту? (290)

**105.** Граната массой 1,2 кг, летевшая горизонтально со скоростью 20 м/с, разорвалась на две части. Скорость одного осколка массой 800 г равна 30 м/с и направлена под углом  $60^\circ$  к горизонту. Какая энергия выделилась при разрыве снаряда? (840)

### Статика

**106.** На горизонтальной поверхности лежит груз массой 10 кг. К нему приложена горизонтальная сила 12 Н. Какую минимальную горизонтальную силу надо дополнительно приложить в перпендикулярном направлении, чтобы сдвинуть груз с места? Коэффициент трения 0,2. (16)

**107.** На наклонной плоскости высотой 3 м и длиной 9 м лежит тело массой 6 кг. Какую минимальную горизонтальную силу, направленную вдоль плоскости, надо приложить к телу, чтобы сдвинуть его с места? Коэффициент трения 0,5. (20)

**108.** При взвешивании на неравноплечных рычажных весах вес тела на одной чашке получился равным 16 Н, на другой 25 Н. Определите массу тела. (2)

**109.** Стержень массой 300 г согнули под прямым углом в точке, которая делит его в отношении 1:2, и подвесили на нити, привязанной к точке сгиба. Грузик какой массы (в г) надо прикрепить к концу короткой стороны угла, чтобы концы стержня находились на одном уровне? (350)

**110.** Три человека несут однородную пластину массой 70 кг, имеющую форму равностороннего треугольника со стороной  $2\sqrt{3}$  м. Один держит середину основания пластины, а двое других – противоположную вершину. На каком расстоянии (в

см) от этой вершины надо положить на пластину груз массой 100 кг, чтобы при горизонтальном положении пластины нагрузка была распределена поровну между всеми несущими? (30)

**111.** Нижние концы лестницы-стремянки соединены веревкой. Найдите силу ее натяжения в тот момент, когда человек массой 80 кг поднялся по стремянке до половины ее высоты. Массой лестницы и трением о пол пренебречь. Каждая сторона лестницы составляет с полом угол  $45^\circ$ . (200)

**112.** Два одинаковых шара радиусом 10 см и массой 600 г каждый положили в вертикальный открытый с обеих сторон тонкостенный цилиндр радиусом 15 см, стоящий на горизонтальной плоскости (рис.15). Пренебрегая трением, найдите, при какой минимальной массе (в г) цилиндра шары его не опрокидывают. (400)

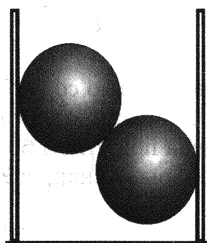


Рис. 15

**113.** Однородная тонкая пластина имеет форму треугольника со сторонами 13 см, 14 см и 15 см. На каком расстоянии (в см) от второй стороны находится центр тяжести пластины? (4)

**114.** В вершинах треугольника  $ABC$  находятся массы 4 г, 6 г и 10 г соответственно. Стороны треугольника равны  $AB = 50$  см,  $BC = 40$  см и  $CA = 30$  см. На каком расстоянии (в см) от стороны  $BC$  находится центр тяжести системы? (6)

**115.** Две стороны проволоочной рамки, имеющей форму равностороннего треугольника со стороной 1 м, сделаны из алюминиевой проволоки, а третья – из медной такого же диаметра. На каком расстоянии (в см) от середины медной проволоки находится центр тяжести системы? Плотность меди в 3 раза больше плотности алюминия. Принять  $\sqrt{3} = 1,7$ . (17)

## Гидростатика

**116.** Вертикальная труба с поршнем, плотно прилегающим к ее внутренним стенкам, опущена нижним концом в воду. Вначале поршень находился в самом нижнем положении, на уровне воды, а затем его медленно поднимают на высоту 20 м. Пренебрегая трением, найдите совершенную при этом работу (в кДж). Площадь поршня  $100 \text{ см}^2$ . Атмосферное давление 100 кПа. (15)

**117.** В сообщающихся сосудах площадью сечения  $100 \text{ см}^2$  находится ртуть. В один из сосудов наливают воду массой 2 кг

и опускают в нее деревянный брусок массой 0,72 кг. На сколько миллиметров поднимется ртуть в другом сосуде? Плотность ртути  $13600 \text{ кг/м}^3$ . (10)

**118.** Решите задачу Архимеда – найдите массу золота (в г) в короне, изготовленной из сплава золота с серебром. Вес короны в воздухе 25,4 Н, в воде 23,4 Н. Плотность золота  $19,3 \text{ г/см}^3$ , серебра  $10,5 \text{ г/см}^3$ . (965)

**119.** Стекланный шарик объемом  $1 \text{ см}^3$  равномерно падает в воде. При перемещении шарика на 10 м выделяется 0,17 Дж тепла. Найдите плотность стекла. (2700)

**120.** В цилиндрическом сосуде с водой плавает льдинка, притянутая нитью ко дну (рис.16). Когда льдинка растаяла, уровень воды понизился на 1 см. Какой была сила натяжения нити? Площадь дна сосуда равна  $100 \text{ см}^2$ . (1)

**121.** На дне цилиндрического сосуда с водой площадью  $400 \text{ см}^2$  стоит цилиндр высотой 40 см и площадью основания  $100 \text{ см}^2$ , сделанный из материала плотностью  $2500 \text{ кг/м}^3$ . Какую работу надо совершить, чтобы вытащить цилиндр из воды, если начальная толщина слоя воды 60 см? Цилиндр поднимают в вертикальном положении. (36)

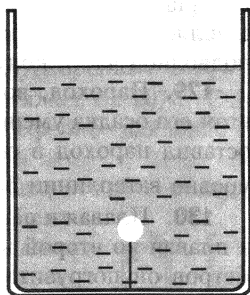


Рис. 16

**122.** Тонкая однородная палочка шарнирно укреплена за верхний конец. Нижняя часть палочки погружена в воду, причем равновесие наступает тогда, когда палочка расположена наклонно к поверхности воды и в воде находится половина палочки. Какова плотность материала, из которого сделана палочка? (750)

**123.** В гладкий стакан высотой 8 см и радиусом 3 см поставили однородную палочку длиной 12 см и массой 100 г. Стакан доверху наполнили жидкостью, плотность которой в два раза меньше плотности материала палочки. С какой силой (в мН) давит палочка на край стакана? (235)

**124.** Лыдина площадью  $1 \text{ м}^2$  и толщиной 0,4 м плавает в воде. Какую минимальную работу надо совершить, чтобы полностью погрузить лыдину в воду? Плотность льда  $900 \text{ кг м}^3$ . (8)

**125.** В высоком цилиндрическом сосуде с водой площадью  $150 \text{ см}^2$  плавает в вертикальном положении цилиндр высотой

30 см и площадью основания  $50 \text{ см}^2$ . Какую работу (в мДж) надо совершить, чтобы полностью погрузить цилиндр в воду, если он сделан из материала плотностью  $400 \text{ кг/м}^3$ ? (540)

**126.** В цилиндрический сосуд на поверхность воды пустили плавать коробочку из цинка, в результате чего уровень воды поднялся на 14 мм. На сколько миллиметров опустится уровень, если коробочка зачерпнет воды и утонет? Плотность цинка  $7000 \text{ кг/м}^3$ . (12)

**127.** В цилиндрическом сосуде площадью сечения  $100 \text{ см}^2$  плавает в воде кусок льда, в который вморожен грузик из цинка массой 35 г. На сколько миллиметров понизится уровень воды, когда лед растает? Плотность цинка  $7000 \text{ кг/м}^3$ . (3)

**128.** Конус плавает в жидкости так, что его ось вертикальна и вершина обращена вверх. Плотность материала конуса составляет  $7/8$  плотности жидкости. Во сколько раз высота подводной части конуса меньше всей его высоты? (2)

**129.** Пароход, войдя в гавань, выгрузил часть груза. При этом его осадка уменьшилась на 0,6 м. Какую массу груза (в т) оставил пароход в гавани, если площадь сечения парохода на уровне ватерлинии  $5400 \text{ м}^2$ ? (3240)

**130.** Плавая в первой жидкости, куб погружается на 40 мм, а плавая во второй жидкости – на 60 мм. На сколько миллиметров он погрузится в третьей жидкости, плотность которой равна среднему арифметическому плотностей двух первых жидкостей? (48)

**131.** Цилиндрическую цистерну, стоящую на платформе, заполнили жидкостью почти доверху и закрыли. Платформа стала разгоняться с ускорением  $2 \text{ м/с}^2$ . Во сколько раз сила давления на заднюю стенку цистерны больше, чем на переднюю? Диаметр цистерны 2 м, ее длина 10 м. Атмосферное давление не учитывать. (3)

**132.** К потолку цистерны, целиком заполненной водой, которая движется с горизонтальным ускорением  $2,25 \text{ м/с}^2$ , подвешен на нити шар массой 5 кг. Найдите натяжение нити после того как она займет устойчивое наклонное положение. Плотность материала шара  $5000 \text{ кг/м}^3$ . (41)

### Газовые законы

**133.** Газ находится в вертикальном цилиндре под поршнем массой 5 кг. Какой массы груз надо положить на поршень, чтобы он остался в прежнем положении, когда абсо-

лотная температура газа будет увеличена вдвое? Атмосферное давление 100 кПа, площадь поршня  $0,001 \text{ м}^2$ . (15)

**134.** Давление воздуха внутри плотно закупоренной бутылки при температуре  $7^\circ\text{С}$  равно 150 кПа. До какой температуры (по шкале Цельсия) надо нагреть бутылку, чтобы из нее вылетела пробка, если известно, что для вытаскивания пробки до нагревания бутылки требовалась минимальная сила 45 Н? Площадь поперечного сечения пробки  $4 \text{ см}^2$ . (217)

**135.** Газ находится в высоком цилиндре под тяжелым поршнем, который может перемещаться без трения. Площадь поршня  $30 \text{ см}^2$ . Когда цилиндр перевернули открытым концом вниз, объем газа увеличился в 3 раза. Чему равна масса поршня? Атмосферное давление 100 кПа. (15)

**136.** Воздух находится в вертикальном цилиндре под поршнем массой 20,2 кг и сечением  $20 \text{ см}^2$ . После того как цилиндр стали перемещать вертикально вверх с ускорением  $5 \text{ м/с}^2$ , высота столба воздуха в цилиндре уменьшилась на 20%. Считая температуру постоянной, найдите атмосферное давление (в кПа). (101)

**137.** В трубке, закрытой с одного конца, столбик воздуха заперт столбиком ртути длиной 19 см. Если трубку повернуть открытым концом вниз, длина столбика воздуха будет 10 см, а если открытым концом вверх, то 6 см (рис.17). Найдите атмосферное давление (в мм рт. ст.). (760)

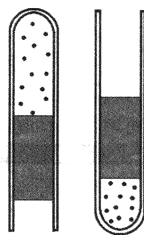


Рис. 17

**138.** В длинной горизонтальной трубке, открытой с одного конца, столбик воздуха длиной 16 см заперт столбиком ртути длиной 20 см. Трубку приводят во вращение вокруг вертикальной оси, проходящей через ее закрытый конец. При какой угловой скорости столбик ртути сместится на 4 см? Атмосферное давление 750 мм рт.ст. (5)

**139.** Тонкостенный стакан массой 50 г ставят вверх дном на поверхность воды и медленно погружают так, что он все время остается в вертикальном положении. Высота стакана 10 см, площадь дна  $20 \text{ см}^2$ . На какую минимальную глубину надо опустить стакан, чтобы он утонул? Атмосферное давление 100 кПа. Глубина отсчитывается от поверхности воды до уровня воды в стакане на искомой глубине. Температура у поверхности и на глубине одинакова. Массой воздуха в стакане пренебречь. (30)

**140.** Теплоизолирующий поршень делит горизонтальный сосуд на две равные части, содержащие газ при температуре  $5^{\circ}\text{C}$ . Длина каждой части 144 мм. Одну часть сосуда нагрели на  $18^{\circ}\text{C}$ , а другую – на  $2^{\circ}\text{C}$ . На какое расстояние (в мм) сместится поршень? (4)

**141.** В сообщающихся сосудах одинакового сечения находится ртуть. Один из сосудов закрывают и увеличивают температуру воздуха в нем от 300 К до 400 К. Найдите образовавшуюся разность уровней (в см) ртути, если начальная высота столба воздуха в запертом сосуде была 10 см. Атмосферное давление 750 мм рт.ст. (5)

**142.** Сферическая оболочка аэростата сделана из материала, квадратный метр которого имеет массу 900 г. Шар наполнен водородом при температуре  $27^{\circ}\text{C}$  и давлении 100 кПа, равными температуре и давлению окружающего воздуха. При каком минимальном радиусе (в см) шар поднимет сам себя? Молярная масса воздуха 29 кг/кмоль, водорода 2 кг/кмоль.<sup>4</sup> (249)

**143.** Вертикальный цилиндр делится на две части тяжелым поршнем, который может перемещаться без трения. Под поршнем находится в три раза больше газа, чем над поршнем. При температуре 300 К поршень делит сосуд пополам (рис. 18). Во сколько раз объем газа под поршнем будет больше, чем над поршнем, при температуре 800 К? (2)

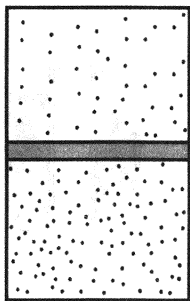


Рис. 18

**144.** Чему равна плотность смеси 1,5 моль водорода и 2,5 моль кислорода при температуре  $27^{\circ}\text{C}$  и давлении 240 кПа? Молярная масса водорода 2 кг/кмоль, кислорода 32 кг/кмоль. (2)

**145.** Три одинаковых сосуда, соединенные тонкими трубками, заполнены газообразным гелием при температуре 40 К. Затем один из сосудов нагрели до 100 К, другой – до 400 К, а температура третьего сосуда осталась неизменной. Во сколько раз увеличилось давление в системе? (2)

**146.** В сосуде находится озон  $\text{O}_3$  при температуре  $727^{\circ}\text{C}$ . Через некоторое время температура газа понизилась до  $127^{\circ}\text{C}$ , а весь озон превратился в кислород  $\text{O}_2$ . На сколько процентов понизилось давление в сосуде? (40)

<sup>4</sup> Здесь и далее универсальную газовую постоянную считать равной 8300 Дж/(кмоль · К).

**147.** При повышении температуры азота, заключенного в закрытый сосуд, от  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $1407\text{ }^{\circ}\text{C}$  третья часть молекул азота распалась на атомы. Во сколько раз при этом возросло давление газа? (8)

### Термодинамика

**148.** Генератор излучает импульсы сверхвысокой частоты с энергией в каждом импульсе  $6\text{ Дж}$ . Частота повторения импульсов  $700\text{ Гц}$ . КПД генератора  $60\%$ . Сколько литров воды в час надо пропускать через охлаждающую систему генератора, чтобы вода нагрелась не выше чем на  $10\text{ К}$ ? Удельная теплоемкость воды  $4200\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ . (240)

**149.** На какую высоту можно было бы поднять груз массой  $100\text{ кг}$ , если бы удалось полностью превратить в работу энергию, выделяющуюся при охлаждении стакана воды от  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ? Масса воды в стакане  $250\text{ г}$ , удельная теплоемкость воды  $4200\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ , теплоемкость стакана не учитывать. (84)

**150.** Два одинаковых шарика, сделанных из вещества с удельной теплоемкостью  $450\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ , движутся навстречу друг другу со скоростями  $40\text{ м/с}$  и  $20\text{ м/с}$ . Определите, на сколько градусов они нагреются в результате неупругого столкновения. (1)

**151.** В литр воды при температуре  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  брошен ком снега массой  $250\text{ г}$ , частично уже растаявший, т.е. содержащий некоторое количество воды при  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температура воды в сосуде при достижении теплового равновесия оказалась равна  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Определите количество воды (в г) в коме снега. Удельная теплота плавления льда  $330\text{ кДж/кг}$ , удельная теплоемкость воды  $4200\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ . (75)

**152.** В сосуде имеется некоторое количество воды и такое же количество льда в состоянии теплового равновесия. Через сосуд пропускают водяной пар при температуре  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Найдите установившуюся температуру воды в сосуде, если масса пропущенного пара равна первоначальной массе воды. Удельная теплоемкость воды  $4200\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ , удельная теплота парообразования воды  $2,3\text{ МДж/кг}$ , удельная теплота плавления льда  $330\text{ кДж/кг}$ . (100)

**153.** Идеальный одноатомный газ в количестве  $1\text{ моль}$  нагрели сначала изобарно, а затем изохорно. В результате как давление, так и объем газа увеличились в два раза. Какое количество теплоты получил газ в этих двух процессах, если его начальная температура была  $100\text{ К}$ ? (4565)

**154.** Давление одного моля идеального одноатомного газа увеличивается прямо пропорционально объему. Какое количество теплоты подвели к газу при увеличении его температуры на 20 К? (332)

**155.** Идеальный одноатомный газ в количестве 2 моль находится при температуре 300 К. Объем газа увеличивают в 1,5 раза так, что давление линейно зависит от объема и возрастает на 20%. Какое количество теплоты получил газ? (8715)

**156.** Идеальный одноатомный газ в количестве 2 моль находится при температуре 350 К. Объем газа изобарно увеличивают в 2 раза, а затем газ сжимают до прежнего объема так, что давление линейно зависит от объема. Какое количество теплоты получил газ в двух процессах, если конечное давление на 10% больше начального? (581)

**157.** Два теплоизолированных сосуда одинакового объема соединены тонкой трубкой с краном. В одном сосуде находится гелий при температуре 200 К, а в другом – гелий при температуре 400 К и при давлении в 3 раза большем, чем в первом сосуде. Какой станет температура газа после открывания крана и установления теплового равновесия? (320)

**158.** Горизонтальный теплоизолированный цилиндр объемом 4 л делится на две части теплонепроницаемым поршнем, по разные стороны от которого находится идеальный одноатомный газ под давлением 50 кПа. Одной из этих порций газа сообщают 30 Дж тепла. Каким станет давление (в кПа) в сосуде? (55)

**159.** В высоком теплоизолированном цилиндре под поршнем находится гелий. Поршню толчком сообщают скорость 2 м/с. На сколько выше (в см) начального положения окажется поршень после прихода системы в равновесие? Над поршнем газа нет. (8)

**160.** В вертикальном теплоизолированном цилиндре под поршнем находится некоторое количество гелия при температуре 240 К. На поршне лежит груз массой, равной половине массы поршня. Груз мгновенно убирают и ждут прихода системы к равновесию. Чему станет равна температура (в кельвинах) газа? Над поршнем газа нет. (208)

**161.** В теплоизолированном цилиндре под невесомым поршнем находится идеальный одноатомный газ при температуре 300 К. Вначале поршень закреплен и соединен с дном цилиндра недеформированной пружиной. После того как поршень освободили и система пришла в равновесие, объем газа оказался в 1,5 раза больше начального. Найдите конечную темпе-

ратуру газа (по шкале Кельвина). Над поршнем газа нет. (270)

**162.** В теплоизолированном цилиндре под невесомым поршнем находится идеальный одноатомный газ. Вначале поршень закреплен и соединен с дном цилиндра недеформированной пружиной. После того как поршень освободили и система пришла в равновесие, объем газа увеличился в 4 раза. Во сколько раз при этом уменьшилось давление? Над поршнем газа нет. (5)

**163.** Идеальный одноатомный газ совершает замкнутый цикл, состоящий из двух изохорных и двух изобарных процессов. При изохорном нагревании давление увеличивается в 2 раза, а при изобарном нагревании объем увеличивается на 70%. Найдите КПД (в процентах) цикла. (14)

**164.** Идеальный одноатомный газ совершает циклический процесс, состоящий из изохорного охлаждения, при котором давление газа уменьшается в 4 раза, затем изобарного сжатия и, наконец, возвращения в исходное состояние в процессе, в котором давление изменяется прямо пропорционально объему. Найдите КПД (в процентах) цикла. (15)

**165.** Давление идеального одноатомного газа изохорно увеличивают в 4 раза, затем объем газа увеличивают в 2,5 раза так, что давление линейно зависит от объема и возрастает в 2 раза, после чего газ возвращают в исходное состояние в процессе, в котором давление линейно зависит от объема. Найдите КПД (в процентах) такого цикла. (6)

**166.** Идеальная холодильная машина, работающая по обратному циклу Карно, использует в качестве холодильника тающий лед при температуре  $0^{\circ}\text{C}$ , а в качестве нагревателя – кипящую воду при  $100^{\circ}\text{C}$ . Какая масса (в г) льда образуется при получении от сети энергии 25 кДж? Удельная теплота плавления льда  $3,25 \cdot 10^5$  Дж/кг. (210)

**167.** Идеальная холодильная машина, работающая по обратному циклу Карно, используется для замораживания воды при  $0^{\circ}\text{C}$ . Тепло отдается окружающему воздуху, температура которого  $27^{\circ}\text{C}$ . Сколько минут потребуется для превращения в лед 420 г воды, если холодильная машина потребляет от сети мощность 25 Вт? Удельная теплота плавления льда  $3,25 \cdot 10^5$  Дж/кг. (9)

**168.** В сосуде при температуре  $100^{\circ}\text{C}$  находится влажный воздух под давлением 1 атм. После изотермического уменьшения объема в 4 раза давление увеличилось в 3,8 раз. Чему была равна относительная влажность (в процентах) в начальном

состоянии? Объемом сконденсировавшейся воды пренебречь. (30)

**169.** В сосуде при температуре  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  находится влажный воздух с относительной влажностью  $90\%$  под давлением  $1\text{ атм}$ . Объем сосуда изотермически уменьшили в  $2$  раза. На сколько процентов надо вместо этого увеличить абсолютную температуру, чтобы получить такое же конечное давление? Объемом сконденсировавшейся воды пренебречь. (20)

**170.** На электрической плитке стоит чайник с кипящей водой. Из носика чайника с отверстием площадью  $3,73\text{ см}^2$  выходит пар со скоростью  $0,83\text{ м/с}$ . Удельная теплота парообразования воды при  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  равна  $2,2\text{ МДж/кг}$ . Найдите полезную мощность плитки, считая, что весь образующийся пар выходит через носик чайника. Атмосферное давление  $100\text{ кПа}$ , молярная масса воды  $18\text{ кг/кмоль}$ . (396)

### Электростатика

**171.** Несколько одинаково заряженных шариков одного размера и одной и той же массы подвешены на нитях одинаковой длины, закрепленных в одной точке. Опуская шарики в жидкий диэлектрик, заметили, что угол отклонения нитей от вертикали в воздухе и в диэлектрике остается одним и тем же. Найдите диэлектрическую проницаемость диэлектрика, если его плотность в  $1,25$  раза меньше плотности материала шариков. (5)

**172.** Два одинаковых маленьких шарика массой  $80\text{ г}$  каждый подвешены к одной точке на нитях длиной  $30\text{ см}$ . Какой заряд (в мкКл) надо сообщить каждому шарiku, чтобы нити разошлись под прямым углом друг к другу?<sup>5</sup> (4)

**173.** Небольшой заряженный шарик, подвешенный на непроводящей нити, вращается в горизонтальной плоскости с угловой скоростью  $3\text{ с}^{-1}$ , причем в центре описываемой им окружности расположен точно такой же заряд, как и у шарика. Если вращающийся шарик зарядить зарядом противоположного знака (но такой же абсолютной величины), то при том же радиусе вращения угловая скорость станет  $4\text{ с}^{-1}$ . Найдите расстояние (в см) от точки подвеса шарика до плоскости его вращения. (80)

**174.** Незаряженная пылинка массой  $5\text{ мг}$  падает в воздухе с постоянной скоростью  $15\text{ см/с}$ . С какой установившейся ско-

---

<sup>5</sup> Здесь и далее коэффициент в законе Кулона считать равным  $k = 9 \cdot 10^9\text{ м/Ф}$ .

ростью (в см/с) будет двигаться пылинка, если ее поместить в горизонтальное электрическое поле с напряженностью 3 кВ/м и сообщить ей заряд 40 нКл? Сила сопротивления воздуха прямо пропорциональна скорости. (39)

**175.** В двух вершинах правильного треугольника со стороной 20 см находятся точечные заряды по 14 пКл каждый, а в третью вершину помещен точечный заряд  $-2$  пКл (рис.19). Найдите напряженность поля в середине стороны, соединяющей разноименные заряды. (15)

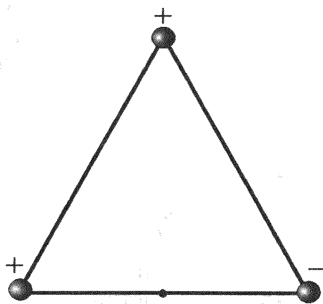


Рис. 19

**176.** Электроны, получившие свою скорость в результате прохождения разности потенциалов 5 кВ, влетают в середину между пластинами плоского конденсатора (параллельно пластинам). Какое наименьшее напряжение должно быть приложено к конденсатору, чтобы электроны не вылетали из него? Длина конденсатора 5 см, расстояние между пластинами 1 см. (400)

**177.** В плоский конденсатор длиной 10 см и с расстоянием между обкладками 1 см влетает электрон с энергией  $8 \cdot 10^{-15}$  Дж под углом  $15^\circ$  к пластинам. Чему равно напряжение между пластинами, при котором электрон на выходе из конденсатора будет двигаться параллельно им? Заряд электрона  $1,6 \cdot 10^{-9}$  Кл. (2500)

**178.** Шарик массой 5 г с зарядом 2 мКл подвешен на нити длиной 1 м в горизонтальном электрическом поле с напряженностью 20 В/м (рис.20). Шарик сначала удерживают в нижнем положении, а затем отпускают. Найдите натяжение нити (в мН) в тот момент, когда шарик поднимется на 20 см выше начального положения. (92)

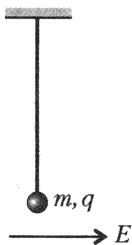


Рис. 20

**179.** Шарик массой 10 г, имеющий заряд 100 мКл, подвешен на нити длиной 50 см. Он находится в однородном электрическом поле с напряженностью 100 В/м, силовые линии которого горизонтальны и направлены слева направо. Шарик отвели влево так, что он оказался на 30 см ниже точки подвеса нити, и отпустили. Найдите силу натяжения (в мН) нити в тот момент, когда она проходит вертикальное положение. (196)

**180.** В трех вершинах равнобедренного прямоугольного треугольника закреплены одинаковые точечные заряды по 20 нКл каждый. Посередине гипотенузы помещают заряженную частицу массой 3 мг и зарядом 40 нКл и отпускают. Какую скорость приобретет частица на большом расстоянии от зарядов? Гипотенуза треугольника 5 см. (24)

**181.** В двух вершинах равностороннего треугольника стороной 12 см закреплены точечные заряды по 6 нКл каждый, а в третьей вершине находится частица массой 6 мг, несущая заряд  $-30$  нКл. Частицу отпускают, и она приходит в движение. Чему равна скорость частицы в тот момент, когда она находится точно между зарядами? (3)

**182.** По тонкому закрепленному кольцу радиусом 6 см распределен заряд 40 нКл. В центр кольца помещают частицу с зарядом 12 нКл и массой 9 мг и отпускают. Чему будет равна скорость частицы на большом расстоянии от кольца? (4)

**183.** Две частицы массой 2 мг и с зарядом 10 нКл каждая находятся на расстоянии 5 см друг от друга, а посередине между ними закреплен точечный заряд 60 нКл. Частицы одновременно отпускают. Чему будет равна скорость частиц после их разлета на большое расстояние? (15)

**184.** В вершинах острых углов ромба закреплены заряды 7 нКл, а в вершинах тупых углов находятся две частицы массой 2 мг и зарядом 2 нКл каждая. Частицы одновременно отпускают, и они приходят в движение. Чему будет равна скорость частиц после их разлета на большое расстояние? Сторона ромба 3 см, а его острый угол  $60^\circ$ . (3)

**185.** Четыре одинаковые частицы массой 4 мг и зарядом 0,2 мкКл каждая удерживаются в вершинах тетраэдра со стороной 30 см. Частицы одновременно освобождают. Чему будут равны скорости частиц при разлете на большое расстояние? (30)

**186.** Два небольших тела массой 5 г и зарядом 10 мкКл каждое находятся на горизонтальной плоскости на расстоянии 10 м друг от друга. Коэффициент трения тел о плоскость 0,5. Какую минимальную начальную скорость надо сообщить одному из тел, чтобы сдвинуть с места второе тело? (8)

**187.** Два небольших тела массой 100 г каждое, несущие заряды 10 мкКл, удерживают на горизонтальной плоскости на расстоянии 1 м друг от друга. Коэффициент трения тел о плоскость 0,1. Тела одновременно освобождают. Найдите максимальную скорость тел в процессе движения. (2)

**188.** Два маленьких шарика соединены недеформированной

пружиной длиной 20 см с жесткостью 200 Н/м. После сообщения шарикам зарядов одного знака длина пружины стала вдвое больше. Какую работу надо совершить для возвращения пружины в прежнее состояние? (12)

**189.** Два маленьких шарика массой 150 г, лежащие на гладкой горизонтальной плоскости, соединены недеформированной пружиной длиной 40 см и жесткостью 10 Н/м. После сообщения шарикам зарядов одного знака длина пружины стала вдвое больше. Какие минимальные одинаковые скорости надо сообщить шарикам навстречу друг другу, чтобы они сблизились до прежнего расстояния? (4)

**190.** В поле тяжести закреплен точечный заряд  $-10$  мкКл, а под ним на расстоянии 5 м находится частица массой 9 г с зарядом 4 мкКл. Какую минимальную вертикальную скорость надо сообщить частице, чтобы она долетела до закрепленного заряда? (6)

**191.** На высоте 3 м над землей закреплен заряд  $-4$  мкКл, а под ним на высоте 2,2 м находится частица массой 0,9 г с зарядом 1 мкКл. Какую минимальную скорость надо сообщить частице вертикально вниз, чтобы она достигла поверхности земли? (6)

**192.** На расстоянии 1 м от закрепленного заряда  $-100$  нКл расположена частица массой 0,1 г с зарядом 2 мкКл. Заряды находятся в однородном внешнем поле, напряженность которого равна 100 В/м и направлена от отрицательного заряда к положительному. Какую минимальную скорость надо сообщить частице в направлении силовых линий, чтобы она улетела на бесконечность? Силу тяжести не учитывать. (4)

**193.** Две частицы, имеющие массы 2 г и 3 г и одинаковые заряды 6 мкКл, приближаются друг к другу. В некоторый момент они находятся на расстоянии 30 м и имеют одинаковые скорости 3 м/с. Найдите наименьшее расстояние между частицами в процессе движения. (10)

**194.** Две частицы имеют массу 1 г каждая и заряды 1 мкКл и  $-1$  мкКл. В начальный момент расстояние между частицами 3,2 м, одна из частиц покоится, а другая удаляется от нее со скоростью 3 м/с. Найдите максимальное расстояние между частицами в процессе движения. (16)

**195.** Две частицы имеют массы 4 г и 5 г и заряды 1 мкКл и  $-1$  мкКл. В начальный момент расстояние между частицами 10 см, первая частица неподвижна, а вторая удаляется от нее со скоростью  $v$ . При каком минимальном значении  $v$  эта частица не столкнется с первой частицей? (9)

**196.** Два диэлектрических шара равномерно заряжены одинаковыми зарядами 3 мкКл. Масса первого шара 6 г, масса второго 12 г, радиус каждого шара 1 см. Вначале шары удерживают так, что они касаются друг друга, а затем отпускают. Найдите конечную скорость первого шара. (30)

**197.** Два диэлектрических шара равномерно заряжены по объему – первый зарядом 1 мкКл, второй зарядом 0,6 мкКл. Масса первого шара 6 г, второго 4 г, радиус каждого шара 1 см. Вначале первый шар покоится, а второй издалека приближается к нему со скоростью  $v$ . При каком минимальном значении  $v$  шары коснутся друг друга? (15)

**198.** Два диэлектрических шара радиусом 1 см каждый равномерно заряжены одинаковыми зарядами 0,4 мкКл. В начальный момент один шар массой 16 г покоится, а второй шар массой 8 г издалека приближается к нему со скоростью 6 м/с. Найдите скорость первоначально покоившегося шара сразу после их соударения, считая его абсолютно упругим. (3)

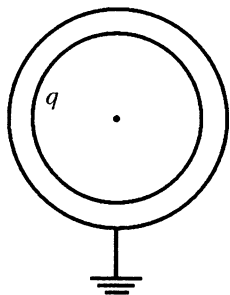


Рис. 21

**199.** Две concentric проводящие сферы имеют радиусы 19 см и 20 см (рис.21). Внутренняя сфера заряжена, заряд внешней равен нулю. Во сколько раз уменьшится потенциал внутренней сферы, если внешнюю сферу заземлить? (20)

**200.** Две concentric проводящие сферы имеют радиусы 8 см и 10 см. Внешняя сфера заряжена, а внутренняя – электронейтральна. Внутреннюю сферу заземляют с помощью тонкой проволоки, проходящей через маленькое отверстие во внешней сфере. Во сколько раз уменьшится при этом потенциал внешней сферы? (5)

**201.** Две concentric проводящие сферы имеют радиусы 2 см и 12 см. Внутренняя сфера заряжена, заряд внешней равен нулю. Во сколько раз уменьшится потенциал внутренней сферы, если ее соединить с внешней сферой тонкой проводящей проволокой? (6)

**202.** Какой заряд (в мкКл) появится на заземленной проводящей сфере радиусом 3 см, если на расстоянии 10 см от ее центра поместить точечный заряд  $-20$  мкКл? (6)

**203.** Уединенная проводящая сфера радиусом 2 см заряжена зарядом 10 нКл. Во сколько раз уменьшится ее потенциал, если на расстоянии 3 см от ее центра поместить точечный заряд  $-12$  нКл? (5)

**204.** Одну пластину незаряженного конденсатора, обладающего емкостью  $1 \text{ нФ}$ , заземляют, а другую присоединяют длинным тонким проводом к удаленному проводящему шару радиусом  $20 \text{ см}$ , имеющему заряд  $92 \text{ мкКл}$  (рис.22). Какой заряд (в  $\text{мкКл}$ ) останется на шаре? (2)

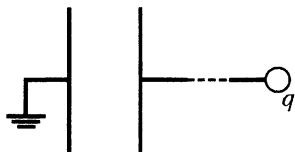


Рис. 22

**205.** Обкладки плоского конденсатора имеют вид круглых пластин радиусом  $5 \text{ см}$ , расположенных на расстоянии  $0,5 \text{ мм}$  друг от друга. Вначале конденсатор не заряжен, а затем его обкладки с помощью тонких проволок соединяют с удаленными проводящими шарами: первую – с шаром радиусом  $50 \text{ см}$ , заряженным до потенциала  $150 \text{ В}$ , вторую – с шаром радиусом  $125 \text{ см}$ , заряженным до потенциала  $60 \text{ В}$ . Какое напряжение установится на конденсаторе? (20)

**206.** Два одинаковых воздушных конденсатора соединены последовательно и присоединены к источнику постоянного напряжения. У одного из них втрое увеличивают расстояние между пластинами. Во сколько раз уменьшится напряженность поля в этом конденсаторе? (2)

**207.** Два одинаковых воздушных конденсатора соединены параллельно, заряжены и отсоединены от источника. У одного из них втрое уменьшают расстояние между пластинами, а у другого – втрое увеличивают. Во сколько раз уменьшится напряженность поля во втором конденсаторе? (5)

**208.** Конденсатор емкостью  $1,2 \text{ мкФ}$  заряжен до напряжения  $135 \text{ В}$ . Его соединяют параллельно с конденсатором емкости  $0,8 \text{ мкФ}$ , напряжение на котором  $110 \text{ В}$ . Какой заряд (в  $\text{мкКл}$ ) пройдет по соединительным проводам? (12)

**209.** Два конденсатора, емкость одного из которых в 4 раза больше, чем емкость другого, соединили последовательно и подключили к источнику напряжения с ЭДС  $75 \text{ В}$ . Затем заряженные конденсаторы отключили от источника и друг от друга и соединили параллельно. Каким будет после этого напряжение на конденсаторах? (24)

**210.** Конденсатор емкостью  $14 \text{ мкФ}$ , заряженный до напряжения  $3 \text{ кВ}$ , разрядили через сопротивление, погруженное в сосуд с водой. На сколько увеличится температура (в  $\text{мК}$ ) воды, если ее масса  $100 \text{ г}$ ? Удельная теплоемкость воды  $4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ , теплоемкостями сопротивления и сосуда пренебречь. (150)

**211.** Обкладки конденсатора емкостью 30 мкФ, заряженного до напряжения 200 В, соединяют с противоположно заряженными обкладками конденсатора емкостью 10 мкФ, заряженного до напряжения 400 В. Какое количество теплоты (в мДж) выделилось при этом? (1350)

**212.** Плоский конденсатор содержит стеклянную пластину, полностью заполняющую пространство между обкладками. Его заряжают до напряжения 100 В и отключают от источника. Затем одну из обкладок медленно отодвигают, вдвое увеличивая расстояние между обкладками. Какую при этом совершают работу (в мДж)? Начальная емкость конденсатора 8 мкФ, диэлектрическая проницаемость стекла 1,5. (120)

**213.** Плоский конденсатор, подключенный к источнику с ЭДС 200 В, содержит стеклянную пластину, полностью заполняющую все пространство между обкладками. Конденсатор отключают от источника, а затем наполовину извлекают пластину из конденсатора. Какую работу (в мДж) при этом совершают? Начальная емкость конденсатора 3 мкФ, диэлектрическая проницаемость стекла 1,5. (12)

### Постоянный ток

**214.** В двухэлектродной лампе с плоскими электродами напряжение составляет 22 кВ. Электроны ударяют об анод с общей силой 1 мкН. Какой силы ток (в мА) течет через лампу? Отношение заряда электрона к его массе  $1,76 \cdot 10^{11}$  Кл/кг. (2)

**215.** Проволоку длиной 1 м растянули так, что ее длина стала 110 см. На сколько процентов увеличилось при этом ее сопротивление? (21)

**216.** Из 80 одинаковых сопротивлений сделали составное двумя способами: один раз соединили последовательно 16 одинаковых групп по 5 параллельно соединенных сопротивлений в каждой группе, второй раз соединили параллельно 20 одинаковых групп по 4 последовательно соединенных сопротивления в каждой группе. Во сколько раз сопротивление во втором случае меньше, чем в первом? (16)

**217.** В каждое из ребер куба включено сопротивление 6 Ом. Чему равно сопротивление получившейся системы при подключении ее вершинами, находящимися на концах большой диагонали куба? (5)

**218.** В каждое из ребер куба включено сопротивление 12 Ом. Чему равно сопротивление получившейся системы при подключении ее соседними вершинами? (7)

**219.** В каждое из ребер куба включено сопротивление 4 Ом. Чему равно сопротивление получившейся системы при подключении ее вершинами, принадлежащими одной из граней и лежащими на концах ее диагонали? (3)

**220.** В каждое из ребер тетраэдра включено сопротивление 20 Ом. Чему равно сопротивление получившейся системы при подключении ее двумя вершинами? (10)

**221.** В каждую из сторон правильного шестиугольника включено сопротивление 5 Ом. Кроме того, каждая из вершин соединена с центром шестиугольника таким же сопротивлением. Чему равно сопротивление получившейся системы при подключении противоположными вершинами? (4)

**222.** В каждую из сторон правильного шестиугольника включено сопротивление 20 Ом. Кроме того, каждая из вершин соединена с центром шестиугольника таким же сопротивлением. Чему равно сопротивление получившейся системы при подключении соседними вершинами? (11)

**223.** В каждое ребро бесконечной сетки с квадратными ячейками включено сопротивление 20 Ом. Чему равно сопротивление сетки при подключении ее соседними узлами? (10)

**224.** В каждое ребро бесконечной сетки с треугольными ячейками включено сопротивление 12 Ом. Чему равно сопротивление сетки при подключении ее соседними узлами? (4)

**225.** При подключении добавочного сопротивлений предел измерения напряжения увеличился в 5 раз. Во сколько раз надо увеличить добавочное сопротивление, чтобы повысить предел измерений еще в 5 раз? (6)

**226.** После присоединения шунта предел измерений силы тока увеличился в 10 раз. Во сколько раз надо уменьшить сопротивление шунта, чтобы повысить предел измерений еще в 10 раз? (11)

**227.** В цепь, состоящую из аккумулятора и сопротивления 20 Ом, подключают вольтметр — сначала последовательно, а потом параллельно сопротивлению (рис.23). Показания вольтметра в обоих случаях одинаковы. Каково сопротивление вольтметра, если внутреннее сопротивление аккумулятора 0,1 Ом? (4000)

**228.** Три одинаковые батареи с внутренним сопротивлением 6 Ом каждая замкнули, один раз соединив параллель-

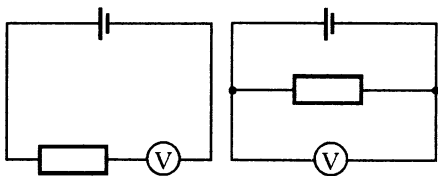


Рис. 23

но, а другой – последовательно, на некоторое сопротивление. При этом сила тока во внешней цепи была в обоих случаях одна и та же. Чему равно внешнее сопротивление? (6)

**229.** Два источника тока, первый с ЭДС 2 В и внутренним сопротивлением 1 Ом, а второй с ЭДС 5 В и внутренним сопротивлением 0,5 Ом, соединяют одноименными полюсами, образуя замкнутую цепь. Чему равна разность потенциалов между положительным и отрицательным полюсами каждого источника? (4)

**230.** Два источника тока, первый с ЭДС 5 В и внутренним сопротивлением 1 Ом, а второй с ЭДС 3 В и внутренним сопротивлением 3 Ом, соединяют последовательно и замыкают на внешнее сопротивление 12 Ом. Во сколько раз разность потенциалов на первом источнике больше, чем на втором? (3)

**231.** Две электролампы, на которых указаны их мощности 100 Вт и 150 Вт, включены последовательно в сеть с постоянным напряжением, соответствующим номинальному напряжению ламп. Какая суммарная мощность будет выделяться на лампах? Сопротивления ламп не зависят от условий работы. (60)

**232.** Два заполненных водой электрических чайника, имеющие номинальные мощности 800 Вт и 400 Вт, при параллельном включении в сеть закипают за одинаковое время 16 минут. При последовательном включении тех же чайников времена их закипания оказываются различными. Найдите большее из этих времен (в минутах). Сопротивления чайников не зависят от условий работы. (144)

**233.** В плоском конденсаторе диэлектрик между пластинами промок и стал пропускать ток. При плотности тока  $0,02 \text{ А/м}^2$  в диэлектрике каждую секунду выделялось  $10 \text{ Дж/м}^3$  тепла (в расчете на единицу объема). Чему равна напряженность электрического поля в конденсаторе? (500)

**234.** Две проволоки из одного и того же материала диаметрами 0,2 мм и 0,8 мм служат нагревателями и включаются в сеть параллельно. При длительной работе температуры проволок оказываются одинаковыми. Найдите длину (в см) более толстой проволоки, если длина более тонкой 55 см, а количество теплоты, отдаваемое за 1 с в окружающую среду, пропорционально площади поверхности (при такой же температуре). (110)

**235.** Тонкая проволока не плавится при пропускании по ней тока силой до 5 А. Каким будет критический ток для проволоки из такого же материала, но в 4 раза большего диаметра?

Количество теплоты, отдаваемое за 1 с в окружающую среду, пропорционально площади поверхности (при такой же температуре). (40)

**236.** Незаряженный конденсатор емкостью 4 мкФ присоединили к зажимам источника тока с ЭДС 200 В. Сколько тепла (в мДж) выделилось в процессе зарядки конденсатора? (80)

**237.** Конденсатор емкостью 8 мкФ, заряженный до напряжения 100 В, подсоединили для подзарядки к источнику с ЭДС 200 В. Сколько тепла (в мДж) выделилось при подзарядке? (40)

**238.** Конденсатор емкостью 8 мкФ, заряженный до напряжения 100 В, подсоединили для подзарядки к источнику тока с ЭДС 200 В, но перепутали обкладки: положительную обкладку подключили к отрицательному зажиму, а отрицательную – к положительному. Сколько тепла (в мДж) выделилось при перезарядке? (360)

**239.** Конденсаторы емкостями 3 мкФ и 1 мкФ соединены последовательно и подключены к источнику тока с ЭДС 200 В. Сколько тепла (в мДж) выделится при пробое конденсатора меньшей емкости? (45)

**240.** Батарея конденсаторов, состоящая из двух параллельно соединенных конденсаторов с емкостями  $C_1 = 5$  мкФ и  $C_2 = 15$  мкФ и присоединенного к ним последовательно конденсатора емкостью  $C_3 = 30$  мкФ, подключена к источнику с ЭДС 100 В (рис. 24). Сколько тепла (в мДж) выделится при пробое конденсатора емкостью  $C_1$ ? (90)

**241.** Плоский конденсатор, подключенный к источнику с ЭДС 100 В, содержит стеклянную пластину, полностью заполняющую все пространство между обкладками. Одну из обкладок медленно отодвигают, вдвое увеличивая расстояние между обкладками. Какую при этом совершают работу (в мДж)? Начальная емкость конденсатора 8 мкФ, диэлектрическая проницаемость стекла 1,5. (30)

**242.** Плоский конденсатор, подключенный к источнику с ЭДС 100 В, содержит стеклянную пластину, полностью заполняющую все пространство между обкладками. Какую работу (в мДж) надо совершить, чтобы наполовину извлечь пластину из конденсатора? Емкость конденсатора без пластины 8 мкФ, диэлектрическая проницаемость стекла 1,5. (10)

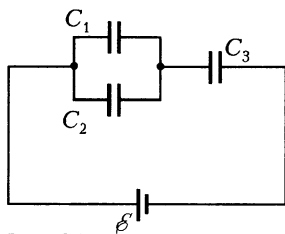


Рис. 24

**243.** Два одинаковых плоских воздушных конденсатора емкостью  $12 \text{ мкФ}$  каждый соединены последовательно и присоединены к источнику с ЭДС  $200 \text{ В}$ . Какую надо совершить работу (в мДж), чтобы у одного из них вдвое увеличить расстояние между обкладками? (40)

**244.** При силе тока в цепи  $2 \text{ А}$  полезная мощность батареи  $10 \text{ Вт}$ , а при силе тока  $4 \text{ А}$  ее полезная мощность  $16 \text{ Вт}$ . Какую наибольшую полезную мощность может дать эта батарея? (18)

**245.** Электродвигатель трамвайного вагона работает при силе тока  $100 \text{ А}$  и напряжении  $500 \text{ В}$ . При силе тяги двигателя  $4 \text{ кН}$  скорость вагона  $18 \text{ км/ч}$ . Чему равно сопротивление обмотки двигателя? (3)

**246.** Электромотор поднимает груз массой  $50 \text{ кг}$  со скоростью  $2 \text{ м/с}$ . При каком напряжении работает мотор, если по его обмотке сопротивлением  $12 \text{ Ом}$  течет ток силой  $10 \text{ А}$ ? (220)

**247.** Для того чтобы наполнить водородом воздушный шар, электролиз подкисленной воды проводился  $1000$  часов. Сила тока при электролизе была  $500 \text{ А}$ . Чему равна подъемная сила (выталкивающая сила минус сила тяжести газа, заполняющего шар) наполненного воздушного шара? Электрохимический эквивалент водорода  $10^{-8} \text{ кг/Кл}$ , молярные массы водорода и воздуха  $2 \text{ кг/кмоль}$  и  $29 \text{ кг/кмоль}$ . Водород и окружающий шар воздух имеют одинаковые давления и температуры. (2430)

### Магнетизм

**248.** Проводник длиной  $110 \text{ см}$  согнули под углом  $60^\circ$  так, что одна из сторон угла равна  $30 \text{ см}$ , и поместили в однородное магнитное поле с индукцией  $2 \text{ мТл}$  обеими сторонами перпендикулярно линиям индукции. Какая сила (в мН) будет действовать на этот проводник, если по нему пропустить ток силой  $10 \text{ А}$ ? (14)

**249.** Проволочная квадратная рамка массой  $10 \text{ г}$  со стороной  $10 \text{ см}$  может вращаться вокруг горизонтальной оси, совпадающей с одной из ее сторон (рис.25). Рамка находится в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией  $0,1 \text{ Тл}$ . При какой силе тока в рамке она будет неподвижна и наклонена к горизонту под углом  $45^\circ$ ? (5)

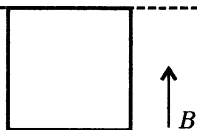


Рис. 25

**250.** Прямоугольный контур площадью  $150 \text{ см}^2$  с током силой  $4 \text{ А}$ , на который действует только однородное магнитное поле с индукцией  $0,1 \text{ Тл}$ , занял положение устойчиво-

го равновесия. Какую после этого надо совершить работу (в мДж), чтобы медленно повернуть его на  $90^\circ$  вокруг оси, проходящей через середины противоположных сторон? (6)

**251.** Протон влетает со скоростью  $60 \text{ км/с}$  в пространство с электрическим и магнитным полями, линии которых совпадают по направлению, перпендикулярно к этим линиям. Определите напряженность электрического поля (в  $\text{кВ/м}$ ), если индукция магнитного поля  $0,1 \text{ Тл}$ , а начальное ускорение протона, вызванное действием этих полей,  $10^{12} \text{ м/с}^2$ . Отношение заряда протона к его массе  $10^8 \text{ Кл/кг}$ . (8)

**252.** Электронно-лучевую трубку с отключенной управляющей системой помещают в однородное магнитное поле, перпендикулярное скорости движения электронов. При этом след пучка электронов на экране, удаленном на  $14 \text{ см}$  от места вылета электронов, смещается на  $2 \text{ см}$ . Какова скорость (в  $\text{км/с}$ ) электронов, если индукция поля  $25 \text{ мкТл}$ , а удельный заряд электрона  $1,8 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$ ? (2250)

**253.** Два иона влетели в однородное магнитное поле. Первый начал двигаться по окружности радиусом  $5 \text{ см}$ , второй – по окружности радиусом  $2,5 \text{ см}$ . Заряд второго иона в два раза больше, чем заряд первого. Во сколько раз масса первого иона больше, чем второго, если известно, что они прошли одинаковые разности потенциалов? (2)

**254.** Пучок протонов влетает в однородное магнитное поле с индукцией  $0,1 \text{ Тл}$  перпендикулярно линиям индукции. Протоны движутся в магнитном поле по дуге окружности радиусом  $20 \text{ см}$  и попадают на заземленную мишень. Найдите тепловую мощность, выделяющуюся в мишени, если сила тока в пучке  $0,1 \text{ мА}$ . Отношение заряда протона к его массе  $10^8 \text{ Кл/кг}$ . (2)

**255.** На шарик массой  $5 \text{ г}$  нанесли заряд  $2 \text{ мКл}$ , подвесили его на нити длиной  $10 \text{ м}$  в горизонтальном магнитном поле с индукцией  $2 \text{ Тл}$ , отклонили на некоторый угол в плоскости, перпендикулярной полю, и отпустили. На сколько сантиметров крайнее положение шарика выше нижнего, если при прохождении им нижней точки сила натяжения нити равна  $0,17 \text{ Н}$ ? (720)

**256.** Положительно заряженный грузик массой  $2 \text{ г}$  подвешен на нити длиной  $10 \text{ см}$  в горизонтальном магнитном поле с индукцией  $0,5 \text{ Тл}$ . Нить с грузиком приводят в горизонтальное положение в плоскости, перпендикулярной полю, и отпускают. Чему равен заряд (в  $\text{мКл}$ ) грузика, если сила натяжения нити в нижней точке  $51,8 \text{ мН}$ ? (10)

**257.** Замкнутый провод изогнут в виде восьмерки и помещен в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции (рис.26). Считая петли восьмерки окружностями радиусами 3 см и 7 см, найдите силу тока (в мкА), который будет протекать по проводу при убывании магнитного поля со скоростью 3 мТл/с. Сопротивление единицы длины провода 2 Ом/м. (30)

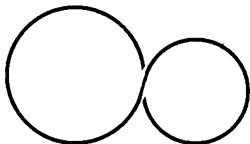


Рис. 26

**258.** В однородном магнитном поле находится обмотка, состоящая из 1000 витков квадратной формы. Направление линий поля перпендикулярно плоскости витков. Ин-

дукция поля равномерно изменяется на  $2 \cdot 10^{-2}$  Тл за 0,1 с, в результате чего в обмотке выделяется 0,1 Дж тепла. Площадь поперечного сечения проводов обмотки  $1 \text{ м}^2$ , их удельное сопротивление  $10^{-8}$  Ом · м. Определите сторону (в см) квадрата. (10)

**259.** Квадрат из проволоки сопротивлением 5 Ом поместили в однородное магнитное поле с индукцией 0,2 Тл перпендикулярно линиям индукции, затем, не вынимая проволоку из поля и не меняя ее ориентации, деформировали ее в прямоугольник с отношением сторон 1:3. При этом по контуру прошел заряд 4 мкКл. Какова длина (в см) проволоки? (8)

**260.** Медное кольцо радиусом 5 см помещают в однородное магнитное поле с индукцией 8 мТл перпендикулярно линиям индукции. Какой заряд (в мКл) пройдет по кольцу, если его повернуть на  $180^\circ$  вокруг оси, совпадающей с его диаметром? Сопротивление единицы длины кольца 2 мОм/м. (200)

**261.** В однородном магнитном поле с индукцией 0,2 Тл расположен проволоочный виток таким образом, что его плоскость перпендикулярна линиям магнитной индукции. Виток замкнут на гальванометр. Полный заряд, прошедший через гальванометр при повороте витка на некоторый угол, равен 0,08 Кл. На какой угол (в градусах) повернули виток, если его площадь  $4000 \text{ см}^2$ , а сопротивление витка вместе с гальванометром 1,5 Ом? (120)

**262.** С какой угловой скоростью надо вращать прямой проводник вокруг оси, проходящей через его конец, в плоскости, перпендикулярной линиям однородного магнитного поля с индукцией 0,2 Тл, чтобы в проводнике возникла ЭДС индукции 0,3 В? Длина проводника 20 см. (75)

**263.** Сторона прямоугольного каркаса, имеющая длину 10 см, скользит со скоростью 1 м/с по двум другим сторонам, оставаясь с ними в электрическом контакте. Плоскость прямоугольника перпендикулярна линиям индукции однородного магнитного поля 0,01 Тл. Найдите силу тока (в мкА) в прямоугольнике через 0,9 с после начала движения. Сопротивление единицы длины провода 1 Ом/м. В начальный момент площадь прямоугольника равна нулю. (500)

**264.** Из проволоки, сопротивление единицы длины которой 0,1 Ом/м, сделали квадрат и поместили его в однородное магнитное поле с индукцией 4 мТл перпендикулярно линиям поля. По двум противоположным сторонам квадрата скользит со скоростью 0,3 м/с перемычка из такой же проволоки, оставаясь параллельной двум другим сторонам. Чему равен ток (в мА) через перемычку в тот момент, когда она делит квадрат пополам? (6)

**265.** Из проволоки, сопротивление единицы длины которой 0,1 Ом/м, сделали правильный треугольник и поместили его в однородное магнитное поле с индукцией 7 мТл перпендикулярно линиям поля. По треугольнику со скоростью 0,5 м/с скользит перемычка из такой же проволоки, оставаясь параллельной его стороне. Чему равен ток (в мА) через перемычку в тот момент, когда она проходит через середины сторон треугольника? (15)

**266.** Из проволоки, сопротивление единицы длины которой 0,01 Ом/м, сделали окружность радиусом 17 см и поместили ее в однородное магнитное поле с индукцией 7 мТл перпендикулярно линиям поля. По контуру скользит со скоростью 0,3 м/с перемычка из такой же проволоки. Чему равна тепловая мощность (в мкВт), выделяющаяся в системе, в тот момент, когда перемычка делит окружность пополам? (84)

**267.** По П-образной рамке, наклоненной под углом  $30^\circ$  к горизонту и помещенной в однородное вертикальное магнитное поле, начинает соскальзывать без трения перемычка массой 30 г. Длина перемычки 10 см, ее сопротивление 1 мОм, индукция поля 0,1 Тл. Найдите установившуюся скорость движения перемычки. Сопротивлением рамки пренебречь. (2)

**268.** По П-образной рамке, наклоненной к горизонту под углом, синус которого 0,8, и помещенной в однородное вертикальное магнитное поле, соскальзывает перемычка массой 20 г. Длина перемычки 10 см, ее сопротивление 1,2 мОм, индукция поля 0,1 Тл, коэффициент трения между перемычкой и рамкой 0,5. Найдите установившуюся скорость движения пере-

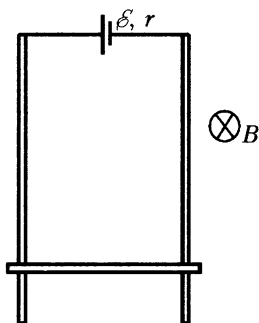


Рис. 27

мычки. Сопротивлением рамки пренебречь. (2)

**269.** Замкнутый контур образован двумя вертикальными рейками, между верхними концами которых включен источник тока с ЭДС 60 мВ и внутренним сопротивлением 1 мОм, а нижние концы замкнуты перемычкой длиной 10 см и массой 10 г (рис.27). Контур находится в перпендикулярном его плоскости однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл. Когда перемычку освобождают, она начинает подниматься.

Пренебрегая сопротивлениями реек и перемычки, а также трением, найдите установившуюся скорость перемычки. (5)

**270.** По П-образной рамке, наклоненной под углом  $30^\circ$  к горизонту и помещенной в однородное вертикальное магнитное поле, соскальзывает без трения перемычка. В короткую сторону рамки включен конденсатор емкостью 4 мФ. Масса перемычки 2 г, ее длина 25 см, индукция поля 4 Тл. Пренебрегая сопротивлениями всех элементов цепи, найдите ускорение перемычки. (2)

**271.** Замкнутый виток площадью  $20 \text{ см}^2$  с индуктивностью 0,1 мГн помещают в однородное магнитное поле с индукцией 2 мТл перпендикулярно линиям индукции, затем охлаждают его до сверхпроводящего состояния и выключают поле. Какой будет после этого сила тока (в мА) в контуре? (40)

**272.** Катушку с индуктивностью 2 Гн, содержащую 200 витков площадью  $50 \text{ см}^2$ , помещают в однородное магнитное поле с индукцией 60 мТл, параллельной оси катушки. Обмотку катушки охлаждают до сверхпроводящего состояния, а затем поворачивают катушку на  $60^\circ$ . Какой силы ток (в мА) возникнет в катушке? (15)

### Колебания

**273.** На тележку кладут кирпич и начинают катать ее по полу так, что ее координата изменяется по закону  $x = A \cos \omega t$ , где  $A = 10 \text{ см}$ . При какой максимальной циклической частоте  $\omega$  кирпич не будет смещаться относительно тележки? Коэффициент трения между кирпичом и тележкой 0,5, ускорение свободного падения  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ . (7)

**274.** Горизонтальная подставка, на которой лежит брусок, начинает двигаться в вертикальном направлении так, что ее

координата меняется по закону  $y = A \sin \omega t$ , где  $A = 20$  см (рис. 28). При какой максимальной циклической частоте  $\omega$  брусок не будет отрываться от подставки? Принять  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ . (7)



Рис. 28

**275.** Магнит массой 200 г лежит на горизонтальной металлической плите. Чтобы оторвать магнит от плиты, надо потянуть его вверх с силой 16 Н. Вместо этого плиту заставляют колебаться в вертикальном направлении по закону  $y = A \sin \omega t$ , где  $A = 5$  см. При какой минимальной циклической частоте  $\omega$  магнит оторвется от плиты? (40)

**276.** В маятниковых часах используется математический маятник с периодом колебаний 1 с. Часы помещают в ракету, которая начинает подниматься с постоянным ускорением. Чему равно это ускорение, если за 7 с подъема маятник часов совершил 8 полных колебаний? Принять  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ . (3)

**277.** Шарик массой 0,1 кг, подвешенный на нити, совершает гармонические колебания. Во сколько раз увеличится частота колебаний, если шарiku сообщить заряд 200 мкКл и поместить в однородное электрическое поле с напряженностью 40 кВ/м, направленное вертикально вниз? (3)

**278.** В шарик массой 499 г, висающий на нити длиной 20 м, попадает горизонтально летящая пуля массой 1 г и застревает в нем. Чему была равна скорость пульки, если в результате удара шарик отклонился на 4 см? Принять  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ . (14)

**279.** На двух параллельных нитях подвешены одинаковые упругие шарики так, что они соприкасаются друг с другом и их центры находятся на одном уровне. Нить первого шарика длиной 40 см отводят на небольшой угол и отпускают. Через какое время (в мс) после этого произойдет второе столкновение шариков, если длина нити второго шарика 10 см? (628)

**280.** На поверхности воды плавает в вертикальном положении цилиндр массой 120 г с площадью основания  $75 \text{ см}^2$ . С какой циклической частотой будут происходить вертикальные гармонические колебания цилиндра, если его слегка сместить из положения равновесия? (25)

**281.** Железный цилиндр высотой 5 см подвесили в вертикальном положении на пружине и частично погрузили в воду. Чему равна циклическая частота малых вертикальных колебаний такого цилиндра, если до погружения в воду циклическая частота колебаний на пружине была  $12 \text{ с}^{-1}$ ? Трением пренебречь. Плотность железа  $8000 \text{ кг/м}^3$ . (13)

**282.** Однородный цилиндр подвесили в вертикальном положении на пружине жесткостью  $140 \text{ Н/м}$ . На сколько процентов увеличится частота малых вертикальных колебаний цилиндра, если его частично погрузить в воду? Трением пренебречь. Площадь сечения цилиндра  $30 \text{ см}^2$ . Принять  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ . (10)

**283.** Стержень длиной  $40 \text{ см}$  изогнули по дуге окружности в виде полукольца и с помощью невесомых спиц прикрепили к горизонтальной оси, проходящей через центр окружности. Найдите циклическую частоту малых колебаний полукольца около положения равновесия, если ось вращения перпендикулярна его плоскости. Принять  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ . (7)

**284.** Стержень длиной  $20 \text{ см}$  изогнули в форме дуги, составляющей  $1/6$  длины окружности, и с помощью невесомых спиц прикрепили к горизонтальной оси, проходящей через центр окружности перпендикулярно ее плоскости. Найдите циклическую частоту малых колебаний такой системы около положения равновесия. Принять  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ . (7)

**285.** В U-образную трубку сечением  $10 \text{ см}^2$  налили  $400 \text{ г}$  воды. Пренебрегая трением, найдите циклическую частоту вертикальных колебаний жидкости в трубке. Принять  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ . (7)

**286.** Тонкое колесо массой  $400 \text{ г}$  с невесомыми спицами может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси. На колесе закрепили маленький груз массой  $100 \text{ г}$ . Найдите циклическую частоту малых колебаний такой системы около положения равновесия. Радиус колеса  $50 \text{ см}$ . (2)

**287.** Невесомый стержень изогнули в виде дуги, составляющей  $1/3$  длины окружности радиусом  $5 \text{ см}$ , и с помощью невесомых спиц прикрепили к горизонтальной оси, проходящей через центр окружности перпендикулярно ее плоскости. К концам стержня прикрепили два одинаковых грузика. Найдите циклическую частоту малых колебаний такой системы около положения равновесия. (10)

**288.** Невесомый стержень длиной  $2,5 \text{ м}$  согнули посередине под углом  $120^\circ$ , прикрепили к его концам одинаковые грузики и повесили местом сгиба на тонкий гвоздь, вбитый в стену. Пренебрегая трением, найдите циклическую частоту малых колебаний такой системы около положения равновесия. (2)

**289.** Стержень массой  $20 \text{ г}$  и длиной  $118 \text{ см}$  изогнули в форме полукольца и с помощью невесомых спиц прикрепили к горизонтальной оси, проходящей через центр кольца перпендикулярно его плоскости. К середине стержня прикрепили грузик

массой 100 г. Найдите циклическую частоту малых колебаний такой системы около положения равновесия. (5)

**290.** Невесомый стержень длиной 20 см может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через его середину. К концам стержня прикрепили два грузика массами  $m$  и  $3m$ . Найдите циклическую частоту малых колебаний такой системы около положения равновесия. Принять  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ . (7)

**291.** Невесомый стержень длиной 3,5 м может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через один из его концов. К свободному концу стержня прикрепили груз массой  $m$ , а к середине стержня – груз массой  $3m$ . Найдите циклическую частоту малых колебаний такой системы около положения равновесия. Принять  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ . (2)

**292.** Стержень длиной 5 см, скользящий по гладкой горизонтальной поверхности, наезжает на шероховатый участок и останавливается, заехав на него частью своей длины. Какое время (в мс) длилось торможение, если коэффициент трения между стержнем и шероховатой поверхностью 0,5? (157)

**293.** Тонкую цепочку длиной 45 см удерживают за верхний конец на гладкой наклонной плоскости, составляющей угол  $30^\circ$  с горизонтом. Через какое время (в мс) после освобождения цепочки она полностью покинет наклонную плоскость, если вначале ее нижний конец находился у края наклонной плоскости? (471)

**294.** Длинную трубку согнули под прямым углом и установили так, что одно из колен смотрит вертикально вверх. В вертикальном колене удерживают веревку длиной 90 см так, что она доходит до места сгиба. Через какое время (в мс) после того, как веревку отпустят, она наполовину соскользнет в горизонтальное колено? Трением пренебречь. (314)

**295.** Цепочка длиной 45 см, скользящая по горизонтальной плоскости со скоростью 1 м/с, начинает въезжать на наклонную плоскость перпендикулярно ее нижней границе. Через какое время (в мс) скорость цепочки уменьшится вдвое? Угол наклона плоскости  $30^\circ$ . Трением пренебречь. (314)

**296.** Два когерентных источника звука колеблются в одинаковых фазах. В точке, отстоящей от первого источника на 2,1 м, а от второго на 2,27 м, звук не слышен. Найдите минимальную частоту колебаний (в кГц), при которой это возможно. Скорость звука 340 м/с. (1)

**297.** Неоновая лампа зажигается в тот момент, когда напряжение на ее электродах достигает определенного значения  $U^*$ .

Определите время (в мс), в течение которого горит лампа в каждый полупериод, если она включена в сеть, действующее значение напряжения в которой  $U^*$ . Напряжение в сети меняется с частотой 50 Гц. Считать, что неоновая лампа зажигается и гаснет при одном и том же напряжении. (5)

**298.** При включении первичной обмотки трансформатора в сеть переменного тока во вторичной обмотке возникает напряжение 30 В. При включении в эту же сеть вторичной обмотки на клеммах первичной возникает напряжение 120 В. Во сколько раз число витков первичной обмотки трансформатора больше числа витков вторичной обмотки? (2)

**299.** Первичная обмотка силового трансформатора для накала радиолампы имеет 2200 витков и включена в сеть с напряжением 220 В. Какое количество витков должна иметь вторичная обмотка, если ее активное сопротивление 0,5 Ом, а напряжение накала лампы 3,5 В при силе тока накала 1 А? (40)

### Оптика

**300.** Человек стоит перед плоским зеркалом, укрепленным на вертикальной стене (рис.29). Какова должна быть минимальная высота (в см) зеркала, чтобы человек мог видеть себя в полный рост? Рост человека 180 см. (90)

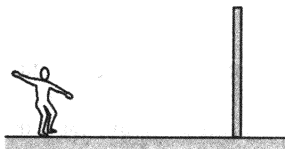


Рис. 29

**301.** Плоское зеркало движется по направлению к точечному источнику света со скоростью 10 см/с. С какой скоростью (в см/с) движется изображение? Направление скорости перпендикулярно плоскости зеркала. (20)

**302.** Луч света падает на прозрачную пластинку толщиной 2 см под углом, синус которого 0,8. На сколько миллиметров сместится луч при прохождении пластинки? Показатель преломления вещества пластинки  $4/3$ . (7)

**303.** Широкий непрозрачный сосуд доверху наполнен жидкостью с показателем преломления 1,25. Поверхность жидкости закрыли тонкой непрозрачной пластиной, в которой имеется отверстие радиусом 2 см. Определите диаметр (в см) светлого пятна на дне сосуда, если он освещается рассеянным светом облачного неба, идущим со всех направлений. Толщина слоя жидкости 6 см. (20)

**304.** В стекле с показателем преломления 1,5 имеется сфе-

рическая полость радиусом 9 см, заполненная водой с показателем преломления  $4/3$ . На полость падают параллельные лучи света. Определите радиус (в см) светового пучка, который проникает в полость. (8)

**305.** Угол падения луча света из воздуха на слой воды толщиной 40 см равен углу полного внутреннего отражения для воды. Вычислите смещение (в см) луча в результате прохождения этого слоя воды. Показатель преломления воды  $4/3$ . (12)

**306.** Глубина водоема равна 2 м. Определите кажущуюся глубину водоема (в см), если его дно рассматривают, склонившись над водой и глядя вертикально вниз. Показатель преломления воды  $4/3$ . Углы считать малыми, т.е.  $\operatorname{tg} \alpha = \sin \alpha$ . (150)

**307.** Между точечным источником света и наблюдателем поместили стеклянную пластину толщиной 24 мм. На сколько миллиметров сместится видимое положение источника? Показатель преломления стекла 1,5. Пластина перпендикулярна линии наблюдения, углы считать малыми, т.е.  $\operatorname{tg} \alpha = \sin \alpha$ . (8)

**308.** Пловец, нырнувший с открытыми глазами, рассматривает из-под воды светящийся предмет, находящийся над его головой на высоте 75 см над поверхностью воды. Какова будет видимая высота (в см) предмета над поверхностью воды? Показатель преломления воды  $4/3$ . Углы считать малыми, т.е.  $\operatorname{tg} \alpha = \sin \alpha$ . (100)

**309.** На поверхность стеклянного шара радиусом 5 см нанесли черное пятнышко. Пятнышко разглядывают с диаметрально противоположной стороны шара. На каком расстоянии (в см) от ближайшей поверхности стекла окажется его видимое положение? Показатель преломления стекла 1,5. (20)

**310.** Аквариум из тонкого стекла имеет форму шара радиусом 3 м. Аквариум заполнили водой и запустили туда маленькую рыбку. В какой-то момент рыбка оказалась между глазом наблюдателя и центром шара на расстоянии 1 м от центра. На сколько сантиметров кажущееся положение рыбки будет ближе реального? (20)

**311.** В отверстие на экране вставлена рассеивающая линза с фокусным расстоянием 10 см, на которую падает параллельный пучок лучей. На расстоянии 30 см от линзы параллельно ее плоскости расположен экран. При замене рассеивающей линзы собирающей такого же диаметра радиус светлого пятна на экране не изменился. Чему равно фокусное расстояние (в см) собирающей линзы? (6)

**312.** Расстояние между светящейся точкой и экраном 3,75 м.

Четкое изображение точки на экране получается при двух положениях собирающей линзы, расстояние между которыми 0,75 м. Найдите фокусное расстояние (в см) линзы. (90)

**313.** Точечный источник света находится на расстоянии 9 см от собирающей линзы с фокусным расстоянием 6 см. Позади этой линзы на расстоянии 6 см от нее находится другая точно такая же линза. На каком расстоянии (в см) от второй линзы находится изображение источника, сформированное системой линз? (4)

**314.** Точечный источник света находится на расстоянии 12 см от собирающей линзы с фокусным расстоянием 10 см (рис.30). За линзой на расстоянии 10 см установлено плоское зеркало, перпендикулярное главной оптической оси линзы. На каком расстоянии (в см) от линзы находится изображение, образованное лучами, прошедшими через линзу после отражения от зеркала? (8)

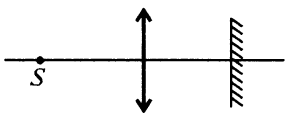


Рис. 30

**315.** Светящаяся точка находится на расстоянии 6 см от собирающей линзы с фокусным расстоянием 5 см. На какое расстояние (в см) сместится изображение точки, если между ней и линзой поставить стеклянную плоскопараллельную пластину? Пластина установлена перпендикулярно оптической оси линзы, толщина пластины 4,5 см, показатель преломления стекла 1,5. (75)

**316.** Собирающая линза дает изображение некоторого предмета на экране. Высота изображения 9 см. Оставляя неподвижными экран и предмет, линзу передвинули к экрану и получили второе четкое изображение высотой 4 см. Найдите высоту (в см) предмета. (6)

**317.** Тонкий стержень расположен вдоль главной оптической оси собирающей линзы. Каково продольное увеличение стержня, если объект, расположенный у одного конца стержня, изображается с увеличением 4, а у другого конца – с увеличением 2,75? Оба конца стержня располагаются от линзы на расстоянии больше фокусного. (11)

**318.** Точечный источник света движется со скоростью 2 мм/с вдоль главной оптической оси собирающей линзы с фокусным расстоянием 8 см. С какой скоростью (в мм/с) движется изображение источника в тот момент, когда источник находится от линзы на расстоянии 10 см? (32)

**319.** Собирающую линзу с фокусным расстоянием 10 см перемещают со скоростью 3 мм/с в направлении точечного

источника света, находящегося на ее главной оптической оси. С какой скоростью (в мм/с) движется изображение в тот момент, когда расстояние между линзой и источником 12 см? (72)

### **Квантовая физика.**

#### **Физика атома и атомного ядра**

**320.** Рентгеновская трубка, работающая под напряжением 66 кВ при силе тока 15 мА, излучает каждую секунду  $10^{16}$  фотонов. Считая длину волны излучения равной  $10^{-10}$  м, определите КПД (в процентах) установки.<sup>6</sup> (2)

**321.** Лазер излучает в импульсе  $2 \cdot 10^{19}$  световых квантов с длиной волны  $6,6 \cdot 10^{-5}$  см. Чему равна мощность вспышки лазера, если ее длительность 2 мс? (3000)

**322.** Световая отдача лампочки накаливания, потребляющей мощность 132 Вт, равна 6%, а средняя частота излучения лампы  $6 \cdot 10^{14}$  Гц. Сколько миллиардов фотонов от этой лампы попадает за одну секунду в зрачок глаза человека, стоящего в 100 м от лампы? Зрачок считать плоским кругом радиусом 2 мм. (2)

**323.** Пары некоторого металла в разрядной трубке начинают излучать свет при напряжении на электродах 9,9 В. Во сколько раз длина волны возникающего излучения меньше одного микрометра? Заряд электрона  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл. (8)

**324.** Солнечная батарея космической станции площадью  $50 \text{ м}^2$  ориентирована перпендикулярно направлению на Солнце. Она отражает половину падающего на нее солнечного излучения. Чему равна сила давления (в мкН) излучения на батарею, если мощность излучения, падающего на  $1 \text{ м}^2$  поверхности, равна 1,4 кВт? (350)

**325.** Излучение лазера мощностью 600 Вт продолжалось 20 мс. Излученный свет попал в кусочек идеально отражающей фольги массой 2 мг, расположенный перпендикулярно направлению его распространения. Какую скорость (в см/с) приобрел кусочек фольги? (4)

**326.** Во сколько раз увеличилась кинетическая энергия электрона в атоме водорода при переходе из одного стационарного состояния в другое, если угловая скорость вращения по орбите увеличилась в 8 раз? (4)

**327.** Во сколько раз увеличивается угловая скорость вращения электрона в атоме водорода, если при переходе атома из

---

<sup>6</sup> Здесь и далее постоянную Планка принять равной  $6,6 \cdot 10^{-34}$  Дж·с.

одного стационарного состояния в другое радиус орбиты электрона уменьшается в 4 раза? (8)

**328.** Переход атомов водорода из состояния с номером 2 в нормальное состояние сопровождается ультрафиолетовым излучением с некоторой длиной волны. Каков номер возбужденного состояния, в которое переходят атомы водорода из состояния с номером 2 при поглощении кванта с длиной волны в 4 раза большей? (4)

**329.** При переходе атомов водорода из состояния с номером 6 в состояние с номером 2 излучается видимый свет. Во сколько раз длина волны этого света больше, чем длина волны ультрафиолетового излучения, при поглощении которого атомы водорода переходят из нормального состояния в состояние с номером 3? (4)

**330.** В цепочке радиоактивных превращений после 5 бета-распадов и нескольких альфа-распадов ядро тяжелого элемента превращается в ядро устойчивого атома, порядковый номер которого на 13 меньше первоначального. На сколько меньше первоначального становится массовое число ядра? (36)

**331.** В цепочке радиоактивных превращений  ${}_{92}^{235}\text{U}$  в  ${}_{82}^{207}\text{Pb}$  содержится несколько альфа- и бета-распадов. Сколько всего распадов в этой цепочке? (11)

**332.** В цепочке радиоактивных превращений после нескольких альфа- и бета-распадов ядро некоторого тяжелого атома превращается в ядро устойчивого атома, у которого число нейтронов на 27 меньше, чем у первоначального ядра. Известно, что число альфа-распадов равно числу бета-распадов. Чему равно общее число распадов? (18)

## СОДЕРЖАНИЕ

---

Предисловие	3
I олимпиада	5
II олимпиада	8
III олимпиада	10
IV олимпиада	12
V олимпиада	14
VI олимпиада	16
VII олимпиада	20
VIII олимпиада	23
IX олимпиада	26
X олимпиада	29
XI олимпиада	33
XII олимпиада	36
XIII олимпиада	40
XIV олимпиада	44
Ответы, указания, решения	48
Тренировочные задачи	97

## **Олимпиады «Интеллектуальный марафон».**

### **ФИЗИКА**

**Составители *В.В.Альминдеров, А.И.Черноуцан***

Библиотечка «Квант». Выпуск 96

Приложение к журналу «Квант» №4/2006

Редактор *В.А.Тихомирова*

Обложка *А.Е.Пацхверия*

Макет и компьютерная верстка *Е.В.Морозова*

Компьютерная группа *Е.А.Митченко, Л.В.Калиничева*

ИБ № 81

Формат 84×108 1/32. Бум. офсетная. Гарнитура кудряшевская.

Печать офсетная. Объем 4,5 печ.л. Тираж 3800 экз.

Заказ № 2176.

119296 Москва, Ленинский пр., 64-А, «Квант»

Тел.: (495)930-56-48, e-mail: admin@kvant.info

Отпечатано в ОАО Ордена Трудового Красного Знамени  
«Чеховский полиграфический комбинат»

142300 г.Чехов Московской области

Тел./факс: (501)443-92-17, (272)6-25-36,

e-mail: marketing@chpk.ru

Индекс 70465

45=



# Библиотечка КВАНТ

## ОЛИМПИАДЫ



*«Интеллектуальный марафон»*

ВЫПУСК

# 96