

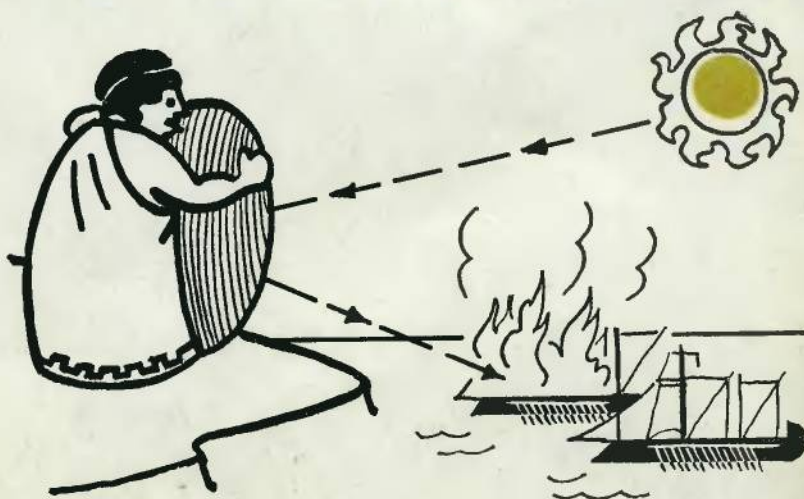
# ПОНИМАЕТЕ

# ЛИ

# ВЫ

# ФИЗИКУ

# ?



**ПОНИМАЕТЕ  
ЛИ ВЫ  
ФИЗИКУ?**

**ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»**

**Москва 1968**



Напечатанные в этом сборнике задачи были составлены мной для студентов Московского физико-технического института, когда в 1947—1949 гг. я там читал курс общей физики. В этот сборник вошли также задачи, которые давались на экзаменах при поступлении в аспирантуру Института физических проблем Академии наук СССР. Эти задачи собрали вместе и подготовили к печати студенты физтеха, недавно окончившие институт, Л. Г. Асламазов и И. Ш. Слободещкий.

При составлении этих задач я преследовал определенную цель, поэтому они были составлены не обычным образом. Чтобы их решение для читателя представляло интерес, следует сделать некоторые разъяснения.

Хорошо известно, какое большое значение имеет решение задач при изучении точных наук, таких, как математика, механика, физика и др. Решение задач дает возможность самому студенту не только проверить свои знания, но и, главное, тренирует его в умении прикладывать теоретические знания к решению практических проблем. Для преподавателя задачи являются одним из наиболее эффективных способов проверять, насколько глубоко понимает студент предмет, не являются ли его знания только накоплением заученного наизусть. Кроме того, при обучении молодежи решением задач можно еще воспитывать и выявлять творческое научное мышление. Необходимость в этом вызвана тем, что физико-технический институт, который был организован 20 лет назад, был специально создан как высшее учебное заведение для отбора и воспитания работников для научных институтов. Хорошо известно, что для плодотворной научной работы требуется не только знание и понимание, но, главное, еще самостоятельное аналитическое и творческое мышление. Как одно из эффективных средств воспитания, выявления и оценки этих качеств при обучении молодежи и были составлены эти задачи.

Я стремился осуществить эту цель, составляя большинство

задач таким образом, что они являются постановкой небольших проблем, и студент должен на основании известных физических законов проанализировать и количественно описать заданное явление природы. Эти явления природы выбраны так, чтобы они имели либо научный, либо практический интерес, и при этом нами учитывалось, что уровень знаний студентов должен быть достаточным, чтобы выполнить задание.

Обычно задачи ставятся так, чтобы подходов к их решению было несколько, с тем чтобы и в выборе решения могла проявиться индивидуальность студента. Например, 3-ю задачу о траектории полета самолета, при которой в кабине была бы невесомость, можно решить стандартным способом, написав уравнение движения самолета в поле тяжести Земли и приравнять нулю равнодействующую сил, действующих на точку, находящуюся в самолете. Другой способ решения более прост: принять, что если самолет следует траектории свободно летящего тела, которая в земном поле близка к параболе, тогда тело, находящееся в самолете, может быть в состоянии невесомости. Более любознательный студент может углубить вопрос и выяснить, что требуется при полете самолета для того, чтобы во всех точках кабины самолета было одновременно состояние невесомости. Далее можно разобрать вопрос, какие навигационные приборы нужны, чтобы пилот мог вести самолет по нужной для осуществления невесомости траектории и т. п. Характерной чертой наших задач является то, что они не имеют определенного законченного ответа, поскольку студент может по мере своих склонностей и способностей неограниченно углубиться в изучение поставленного вопроса. Ответы студента дают возможность оценить склонность и характер его научного мышления, что особо важно при отборе в аспирантуру. Самостоятельное решение такого рода задач дает студенту тренировку в научном мышлении и вырабатывает в нем любовь к научным проблемам.

Кроме проблемного характера этих задач, в большинстве из них есть еще одна особенность: в них не заданы численные величины физических констант и параметров и их представляется выбрать самим решающим. Так, например, в той же 3-й задаче о невесомости в самолете требуется определить время, в продолжение которого она может осуществляться, и при этом говорится, что выбирается современный самолет. Потолок полета этого самолета и его предельную скорость представляется выбрать самому студенту. Это мы делаем потому, что практика преподавания показывает, что обычно у нас мало заботятся о том, чтобы ученый и инженер в процессе своего учения научились конкретно представлять себе масштабы тех физических величин, с которыми им приходится оперировать: ток, скорость, напряжение, прочность, температура и пр.

При решении научных проблем ученому всегда приходится в своем воображении ясно представлять величину и относительную значимость тех физических величин, которые служат для описания изучаемого явления. Это необходимо, чтобы уметь выбирать те из них, которые являются решающими при опытном изучении данного явления природы. Поэтому надо приучать смолоду ученых, чтобы символы в формулах, определяющие физические величины, всегда представляли для них конкретные количественные значения. Для физика, в отличие от математика, как параметры, так и переменные величины в математическом уравнении должны являться конкретными количествами. В наших задачах мы к этому приучаем студентов тем, что они сами должны в литературе отыскивать нужные для решения величины. Студенты физтеха с интересом относятся к этим задачам и часто подвергали их совместному обсуждению. Когда эти задачи давались нами на экзаменах, то необходимым условием при решении — полная свобода в пользовании литературой. Обычно на экзаменах давалось несколько задач (до 5), так чтобы предоставить экзаменуемому по своему вкусу выбрать 2—3 из них. По выбору задач тоже можно было судить о склонностях студента. Для аспирантских экзаменов составлялись новые и более сложные задачи, но здесь разрешалось экзаменуемому не только пользоваться литературой, но и консультацией. Умению пользоваться консультацией ученому также необходимо научиться, как и умению пользоваться литературой. При научной работе советы и беседы с товарищами и руководителями необходимы для успеха работы, и к этому тоже надо приучать с самого начала обучения.

На решение каждой из задач мы обычно давали около часа. Задачи должны быть решены в письменном виде, но способности и характер студента в основном выявляются при устном обсуждении написанного текста. Чем ярче способности молодого ученого, тем скорее можно их выявить. Обычно обсуждение всех этих задач не брало у нас больше часа.

Сейчас общепризнано громадное значение науки для развития культуры и хозяйства в современном государстве. Количество ученых и научных работников у нас в стране неуклонно увеличивается и уже сейчас превышает полмиллиона. Поэтому воспитание и обучение молодых ученых теперь являются большой и самостоятельной государственной задачей. У нас в стране, кроме физико-технического института, имеется еще несколько высших учебных заведений, которые ставят перед собой задачу воспитания научных кадров. Несомненно, преподавание в таких вузах имеет свою специфику и оно отличается от преподавания в вузах, которые готовят кадры для нашей промышленности и народного хозяйства. Мне думается, что при выработке методов преподавания решение

задач-проблем, подобных собранным в этой книге, может быть широко использовано не только при преподавании физики, но и других областей точных наук: математики, механики, химии и др. Перед тем как решить крупную научную проблему, ученым надо уметь их решить в малых формах. Поэтому решение задач, аналогичных приведенным в этом сборнике, является хорошей подготовкой для будущих научных работников.

П. Л. КАПИЦА

## ЗАДАЧИ АКАДЕМИКА П. Л. КАПИЦЫ

1. Астрономические наблюдения показывают, что на планете Венера полная облачность, так что «жители Венеры» лишены возможности наблюдать небесные светила. Опишите, каким методом «жители Венеры» могли бы точно измерить длину своих суток.

2. Тунгусский метеорит ударился о Землю на широте  $60^\circ$ , и вся его энергия обратилась в тепло, так что он испарился. Принимая, что вес метеорита был 10 000 т и его скорость составляла 50 км/сек, подсчитать, какое предельное влияние этот удар мог оказать на период обращения Земли вокруг ее оси. Можно ли обнаружить это изменение вращения современными часами?

3. По какой траектории должен лететь современный самолет для того, чтобы можно было воспроизвести невесомость? Как долго можно воспроизводить невесомость?

4. Определить предел точности измерения интервала времени катодным осциллографом.

5. В древности применяли водяной насос, работающий по следующему принципу: труба, согнутая по винтовой линии, вращается около цент-

ральной оси, наклоненной под углом  $\alpha$  к поверхности воды. Нижний конец трубы находится в воде. Вода поднимается на высоту  $h$ . Найти оптимальное значение угла  $\alpha$ , производительность и к. п. д. насоса.

6. Нейтроны легко проходят через блок свинца, но задерживаются в таком же объеме парафина, воды или другого соединения, в состав которого входят атомы водорода. Чем это объяснить?

7. У автомобиля, участвующего в гонке, лопается шина. С какой скоростью должен ехать автомобиль, чтобы шина не сминалась?

8. Во сколько раз можно увеличить высоту прыжка акробата однократным применением трамплина?



9. Объясните, почему для данного размера лука существует определенный размер стрелы, который будет иметь наибольшую дальность полета?

Оцените этот размер для лука данной конфигурации.

10. С какой скоростью должен лететь теннисный мяч, чтобы он разбил стекло?





11. Объясните, почему человек может бежать по очень тонкому льду и не может стоять на нем не проваливаясь?

12. Оцените порядок скорости, с которой человек должен бежать по воде, чтобы не тонуть,



13. Космический корабль летит от Земли к Марсу. Половина поверхности корабля зачернена и полностью поглощает излучение от Солнца, другая половина — полноразная, металлическая, полностью отражающая излучение от Солнца. Изучить, как будет влиять световое давление на поступательное и вращательное движение корабля. Количественно оценить величину эффекта для корабля-шара весом в 5 т и диаметром 300 см.

14. На дне стакана, стоящего на весах, сидит муха. Муха взлетает. В какой момент весы начнут чувствовать, что муха улетела?

15. Определить искажение поверхности жидкости, производимое силой тяготения шара. Разобрать возможность экспериментального наблюдения этого эффекта для определения постоянной тяготения.

16. Определить минимальный размер предмета, который можно еще различить на фотографии, сделанной со спутника, летящего на высоте 300 км.

17. Космонавту, находящемуся в состоянии невесомости, необходимо вырыть яму. Как он может это сделать?

18. По какой траектории полетит пуля, выпущенная из спутника вперед (назад, в сторону)?

19. Каким образом космонавт сможет вернуться на корабль, если трос, соединяющий его с кораблем, случайно оборвется?



20. Как изменить направление полета спутника на 2°? Вес спутника 100 кг, радиус орбиты 400 км. Опишите принципиально возможные способы, с помощью которых можно осуществить этот маневр.

21. Когда Земля движется по своей эллиптической орбите, скорость ее все время возрастает или убывает. Возможно ли измерить соответствующее ускорение при помощи уровня с жидкостью?

22. Подсчитайте, на сколько изменится температура Земли, если на нее упадет Луна. Принять теплоемкость Луны и Земли равной  $1 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{град}$ .

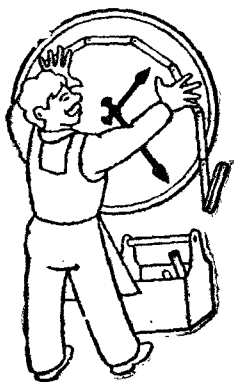
23. Опишите искажения земной орбиты, производимые давлением солнечного света. Оцените эти величины.

24. Каким путем закон, соединяющий длину маятника и период времени, может быть получен без вычислений?

25. Укажите, какие, по вашему мнению, наиболее простые и точные экспериментальные ме-



тоды возможны для того, чтобы по известным физическим постоянным и располагая в качестве эталона длиной (метр) можно было бы воспроизвести единицу времени (секунду), не пользуясь при этом астрономическими наблюдениями и постоянной ускорения силы тяжести (как если бы



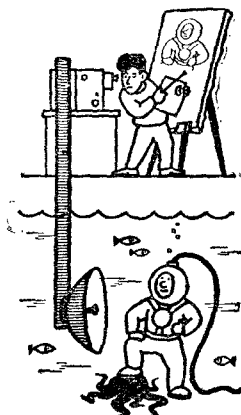
опыт производился в глубинной шахте или на другой планете).

26. Определите предел радиуса слышимости разговора на открытом воздухе.

27. Вечером, плавая на реке, можно обнаружить, что очень хорошо слышен разговор, который ведется далеко от вас. Объясните, почему это возможно?

28. Объясните, почему бывали случаи, когда во время выстрела из артиллерийского орудия целиком отлетал передний конец дула?

29. Разобрать вопрос принципиальной возможности использования ультразвуковых колебаний для создания аппаратуры, позволяющей получать изображение предметов, находящихся в воде.



30. Перечислите и опишите все методы, с помощью которых можно производить звук. Какой из этих методов наиболее экономичен?



31. Объяснить, как мальчик на качелях увеличивает амплитуду качания.

32. Какие движения должен совершать человек, чтобы вертеть на туловище обруч?



33. Определить затухание колебаний маятника в разрезанном гезе.

34. Мотоциклист едет по стенке бочкообразного кольца. Разберитесь, когда это движение устойчиво.



35. В маятнике полая чечевица заполняется вязкой жидкостью. Количественно оцените влияние присутствия жидкости на период и затухание колебаний.

36. Перечислите факторы, которые сказываются на точности хода карманных часов. Оцените относительные значения этих факторов.

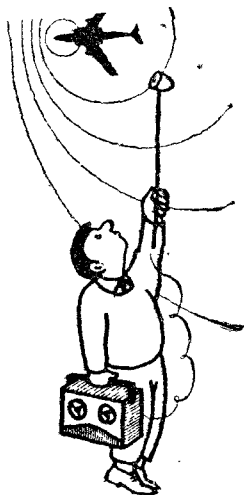
37. а) Покажите, что, сообщив горизонтальные или вертикальные колебания точке подвеса маятника, можно поддерживать его колебания.

б) Найдите фазу и период этих колебаний и оцените их амплитуду, необходимую для поддержания колебаний в обычном маятнике.

в) Исследуйте устойчивость этих процессов.

38. Два одинаковых диска расположены на небольшом расстоянии друг от друга. Верхний диск подвешен на проволоке и может совершать крутильные колебания. Нижний диск совершает вынужденные крутильные колебания с заданной амплитудой и с периодом, равным периоду свободных колебаний верхнего диска. Диски помещены в сосуд, где газ разрежен и свободная длина пробега молекул газа велика по сравнению с линейными размерами сосуда. Определить форму и амплитуду установившихся колебаний верхнего диска по отношению к нижнему и постоянную времени установления конечного состояния.

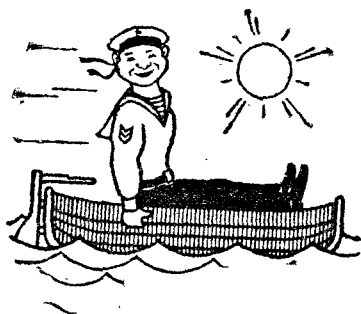
39. На магнитофонную ленту записан звук летящего прямо на вас и затем удаляющегося самолета. Как определить скорость самолета?



40. В бочкообразном открытом резонаторе возбуждаются волны типа «шелчущей галереи». Положим, что резонатор вращается вокруг своей оси. Спрашивается, как повлияет это вращение на распространение волн по вращению и против. Возникнут ли при этом биения и какой частоты?

41. Укажите, какими опытными путями можно было бы определить скорость распространения мирового тяготения? Объясните, какие экспериментальные трудности мешают это осуществить?

42. Поверхность реки образует наклонную плоскость. Может ли тело свободно плыть по реке со скоростью, превышающей максимальную скорость течения?



43. Почему щиты, установленные вдоль дороги, предохраняют дорогу от заносов снега?

44. Объясните, почему, когда камень или капля дождя падают в воду, брызги летят вверх? От чего больше зависит высота полета брызг: от размера камня или от скорости его падения? Какова максимальная высота полета капель?

45. Как затрачивается работа, когда производятся усилия, необходимые, чтобы повернуть гироскоп вокруг оси, перпендикулярной оси маховика?

46. Четыре гироскопа помещены в стороны квадрата. Концы гироскопов соединены между собой шарнирами. Квадрат подвешен за одну из вершин, противоположную вершину можно нагружать (гиропружина Кельвина). Определить момент количества движения гироскопов, чтобы при длине сторон квадрата 30 см и грузе весом 1 кг диагональ квадрата удлинилась на 1 см. Как будет двигаться система без нагрузки, если квадрат сохраняет свою форму?

47. На качелях помещен гироскоп, так что его ось может поворачиваться в плоскости, проходящей через ось качания. Опишите, как человеку на качелях надо поворачивать гироскоп, чтобы раскачать качели? Найдите наиболее эффективный метод раскачивания качелей и выведите выражение для скорости возрастания амплитуды качания качелей со временем.

48. На плоскости вращается волчок с угловой скоростью  $\omega$ , массой  $M$  и моментами инерции  $A$  и  $B$ . В волчок попадает пуля с массой  $m$ , летящая со скоростью  $v$ , и застревает в нем. Опишите, что может произойти с волчком и как можно по этому определить скорость пули.

49. На конце вертикально стоящего на полу стержня длиной 1,5 м помещен быстро вращающийся маховик. Над маховиком находится платформа, на которую может стать человек. Подсчитайте необходимый размер маховика при 3000 об/мин, чтобы стержень стоял устойчиво даже в том случае, если человек на платформе будет делать гимнастические упражнения.

50. Данный объем газа хранится в сферическом металлическом баллоне. Определить, при чии газа вес тары будет наименьший?



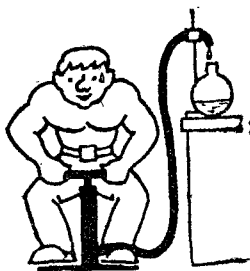
51. Почему жидкий азот можно лить на руку, не боясь «ожога»?

52. Вертикальная стеклянная трубка круглого сечения открыта с обоих концов. В нижнем конце помещается электрическая спираль, по которой идет ток. Благодаря нагреванию воздуха возникает тяга. Считая, что течение воздуха в трубке ламинарное, определить разность температур между воздухом снаружи и внутри трубки в зависимости от длины, радиуса трубки и подводенной электроэнергии (теплоотдачей через стекло пренебречь).

53. Какие нужны начальные и конечные условия, чтобы частично оживить реальный газ при его однократном адиабатическом расширении?



В качестве численного примера разобрать ожигание воздуха.



54. Какие можно придумать эксперименты, чтобы установить абсолютную шкалу температур ниже  $0,5^\circ \text{K}$ ?

55. Оцените, какую толщину должны иметь стены из данного материала, для того чтобы в помещении колебания температуры от средней годичной ее не превышали бы  $3^\circ$ ?

56. Вычислить среднюю температуру поверхности земного шара, считая, что она излучает как черное тело и энергия этого излучения находится в равновесии с получаемой от Солнца. Принять, что при вертикальном освещении на квадратный метр Земли падает  $2 \text{ кВт}$  солнечной энергии.

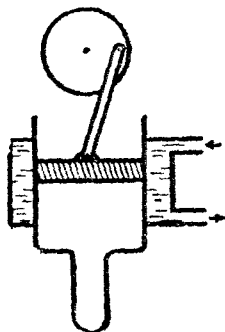
57. Оцените высоту падения, на которой застывает расплавленная свинцовая капля.

58. Оцените время, за которое замерзнет пруд.



59. а) Оценить время, необходимое для образования видимых капель в камере Вильсона.

б) Разберите и оцените факторы, влияющие на толщину следов траекторий частиц в камере Вильсона.



60. До широкого внедрения электричества для небольших мощностей употреблялся простой тепловой воздушный двигатель, состоящий из охлаждаемого водой цилиндра, непрерывно нагреваемого при датка-пальца и поршня, приводящего в действие маховик. Опишите, как и при каких условиях работают такого рода тепловые двигатели.

61. Известно, что при сжигании угля в паровых котлах из каждой калории можно превратить в работу только часть ее, равную  $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$  где  $T_1$  — температура пара, а  $T_2$  — температура окружающей среды. Уходящий из топки котла газ отличается по своему составу от воздуха. Если заставить его смешиваться с воздухом обратимо, то можно получить добавочную работу. Оцените предельные возможности увеличить  $\eta$  и придумайте возможные циклы для осуществления этого процесса.

62. Оцените термодинамический к. п. д. выстрела из артиллерийского орудия и из ружья.

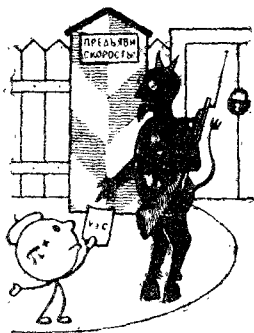
63. В газообразной смеси водорода и йода происходит обратимая реакция образования йодистого водорода. Определить количество образовавшегося йодистого водорода в зависимости от первоначальных количеств водорода и йода, считая константу равновесия известной.

64. Две параллельные пластины находятся на расстоянии, малом по сравнению с их размерами. Между пластинами помещают несколько тонких и хорошо теплопроводящих перегородок-экранов. Определить влияние экранов на теплопроводность между пластинами в двух случаях:

а) когда длина свободного пробега молекул газа, заполняющего пространство между пластинами, мала по сравнению с расстоянием между экранами;

б) когда длина свободного пробега молекул газа велика по сравнению с расстоянием между пластинами.

65. Вдоль длинной горизонтальной трубки осуществляется молекулярный пучок. Вещество поступает в молекулярный пучок при нормальной температуре. На другом конце трубки, в силу того что молекулы, движущиеся с меньшей скоростью, будут больше отклонены силой тяжести, может возникнуть разность температур. Почему это не противоречит второму началу термодинамики?



66. Если пропускать молекулярный пучок через селектор, состоящий из двух вращающихся на общей оси параллельных дисков, на которых имеются смещенные относительно друг друга отверстия, то, как известно, можно осуществить выделение из пучка более скорых молекул и этим как бы осуществлять работу «дьявола Максвелла». Как это согласовать со вторым началом термодинамики?

67. Самолет летит со скоростью, близкой к

звуковой; благодаря трению о воздух фюзеляж нагревается. Оценить предельно возможную температуру нагревания поверхности самолета.

68. В сосуде, в котором нужно поддерживать вакуум  $10^{-5}$  мм ртутного столба, имеется маленькое отверстие диаметром  $10^{-2}$  мм. Определить размер трубки для откачки и мощность вакуумного насоса.

69. Чтобы определить заряд электрона в классических опытах Эренхафта — Милликена, заряженная капельке ртути помещалась между горизонтальными пластинами конденсатора. При этом сила тяжести капельки уравновешивалась электрической силой, и это давало возможность определить заряд электрона. Проанализировать, как влияет броуновское движение частиц на точность этих измерений.

70. Определить предельные размеры плоских круглых дисков из железа и алюминия, поверхность которых плохо смачивается водой (толщины дисков много меньше их диаметров).

71. Два запаянных сообщающихся сосуда цилиндрической формы разных диаметров заполнены водой (ртутью). Как распределится количество воды (ртути) между сосудами в невесомости?

72. Рассчитать время исчезновения мыльного пузыря, соединенного с атмосферой через заданный капилляр.

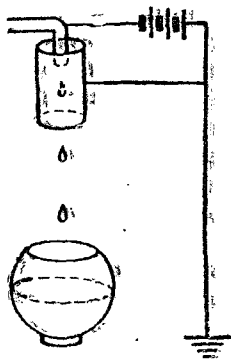
73. Если леска удочки опущена в текучую воду, то кругом наблюдается рисунок из неподвижных капиллярных волн. Объясните, почему такое явление возможно?

74. Определить скорость, с которой распространяется двумерная волна по натянутой мыльной пленке данной толщины. Оцените диапазон этих скоростей.

75. Изолированный медный шарик заданного радиуса, покрытый известным количеством полония, помещен в вакууме. Благодаря вылету частиц он приобретает заряд. Определить нарастание потенциала со временем и его предельное значение.

76. Изолированная сфера заданных размеров из металлического цезия, помещенная в вакууме, освещается с одной стороны дневным светом и заряжается благодаря фотоэффекту. Оценить изменение ее потенциала со временем.

77. На рисунке изображена капельная электростатическая машина. Из трубки в полый изолированный металлический шар падают капли воды, заряженные до определенного потенциала. Определить предельный потенциал, до которого зарядится шар в зависимости от высоты падения капли.



78. Свободный мыльный пузырь, наэлектризован до предельно возможного потенциала, ограниченного пробивной прочностью окружающего воздуха; как и на сколько изменился его радиус?

79. Часы, работающие на радиоактивной энергии, состоят из некоторого количества радиоактивного вещества, помещенного на стержне лепесткового электроскопа. Благодаря радиоактивному излучению и потере заряда электроскоп непрерывно заряжается и лепестки отклоняются. Достигнув некоторого угла, лепестки касаются заземленного контакта и падают в начальное положение. Рассчитать конструкцию таких часов с периодом колебания 1 мин. Оценить возможную точность таких часов.

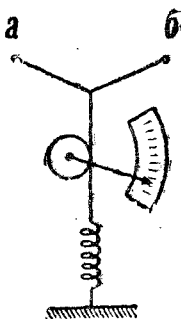
80. Металлический цилиндр заданных размеров совершает продольные механические качания с частотой  $\omega$ . Приняв, что электроны свободно движутся в металле, подсчитать, какие заряды возникнут на концах цилиндра. Также подсчитать, какие заряды возникнут на концах такого же стержня, если он сделан из изолятора, у которого диэлектрическая постоянная равна  $\epsilon$ .

81. Пластина из диэлектрика находится в од-

народном электрическом поле. Определить момент сил, действующих на пластинку.

82. Почему для получения больших мощностей на практике пользуются электромагнитными, а не электрофорными машинами?

83. Чем ограничивается чувствительность струнного электрометра и какова она?



84. Электрические измерительные тепловые приборы часто делают, как показано на схеме. По натянутой тонкой проволоке а—б пропускается измерительный ток. Проволока нагревается и удлиняется и под влиянием пружинки прогибается. Нитка к пружинке переброшена через цилиндр, скрепленный с указателем прибора. Найти связь между отклонением стрелки и силой тока. Оценить условие наибольшей чувствительности такого прибора для данной силы тока.

85. Лампочка накаливания питается переменным током. Как меняется во времени температура ее нити? Оцените зависимость колебаний температуры нити от толщины нити, материала и т. д.

86. Мостик Уитстона работает на постоянном токе и уравновешен. Через одну из его ветвей пропускают переменный ток. Разберите, как это скажется на равновесии мостика, если переменный ток такой силы, что нарушается закон Ома?

87. Электрон в вакууме в магнитном поле описывает круговую орбиту. На некоторой части пути помещены две сетки, имеющие некоторую разность потенциалов, так, чтобы каждый раз, когда электрон проходит между сетками, его скорость

менялась. При каких условиях она будет непрерывно нарастать?

88. Если двигать горизонтальный проводник перпендикулярно его длине, то благодаря существованию земного магнитного поля на концах его возникает разность потенциалов. Вычислите ее и разберите вопрос, нельзя ли на практике использовать это явление для определения скорости движения самолетов, судов и спутников относительно Земли.

89. Спутник движется в земном магнитном поле; какие электромагнитные явления могут при этом происходить?

Опишите и оцените величину этих явлений, считая магнитное поле вокруг Земли таким, как у равномерно намагниченного шара.

90. Опишите, какие электрические явления вызывает земное магнитное поле при течении воды в реках, когда вода имеет электрическую проводимость.

91. Предлагается следующий метод изучения скоростей в текучей жидкости: жидкость делается проводящей при помощи примесей и течение осуществляется в магнитном поле. В точке, где определяется скорость, вставляют зонд из двух проводников и между ними наблюдают разность потенциалов. Разберите вопрос практического осуществления такого метода.

92. Через тонкую проволочку диаметром  $d$  пропускают импульс тока силой  $I$ . Через время  $t$  проволочка разрушится. Вычислить магнитное поле и оценить, какое наибольшее магнитное поле можно получить таким образом и чему равно время  $\tau$  его существования.

93. Громоотвод соединен с землей через круглую медную трубку диаметром 2 см и толщиной стенки 2 мм. После удара молнии трубка превратилась в круглый стержень. Объясните это явление и оцените силу тока грозового разряда.

94. Оцените, какое нужно минимальное сечение медного провода, мощность источника и какую энергию необходимо затратить, чтобы компенсировать электрическим током магнитное поле земного шара?

95. Вычислить эффективность защиты от влияния земного магнитного поля полый сферической брони толщиной  $d$  и радиусом  $R$ . Сравнить ф-

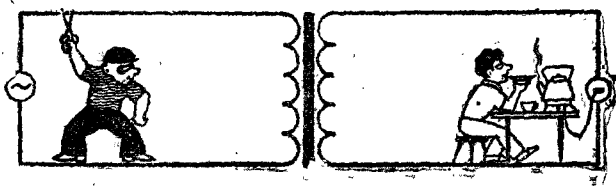
фektivность этой защиты, когда она сделана из железа и из пермеллоя.

96. Разберите, чем точнее можно мерить магнитное поле: баллистическим гальванометром или флюксметром?

97. Определите величину напряженности магнитного поля, возникающего при быстром вращении медного цилиндра. Покажите несостоятельность объяснения этим эффектом земного магнетизма.

98. Длинный тонкостенный медный цилиндр совершает вынужденные колебания около своей главной оси. Благодаря инерционной массе свободных электронов в металле они отстают по фазе от колебаний цилиндра и в нем создается переменное магнитное поле. Вычислить это поле и оценить возможность его измерения на опыте.

99. Почему при разрыве тока в первичной цепи трансформатора во вторичной не получается перенапряжения, в то время как в индукционной спирали оно возникает?



100. К первичным клеммам трансформатора приложен прямоугольный импульс напряжения. Как в зависимости от характеристики трансформатора он будет искажаться на вторичных клеммах?

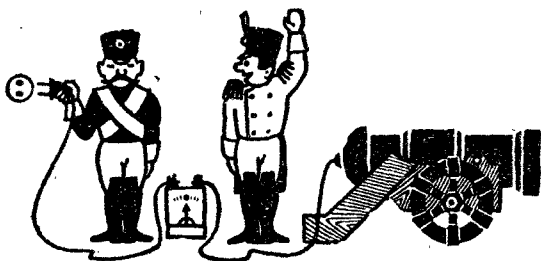
101. Катушка, в которую вставлен постоянный магнит, присоединена к конденсатору. Известны самоиндукция катушки, емкость конденсатора и магнитный поток, создаваемый магнитом. Опишите электрический процесс, происходящий в цепи в случае, когда магнит очень быстро удаляют из катушки, и в случае, когда магнит удаляют очень медленно. Определите в обоих случаях работу, затраченную на удаление магнита.

102. Даны размеры соленоида и ток, его питающий. Если соленоид стоит вертикально, оцените



ните размеры и положение железного сердечника, который будет втягиваться в соленоид сверху с наибольшей силой.

103. Через соленоид, по которому течет ток, пролетает проводящий цилиндр. Определите условия, при которых магнитное поле не позволит цилиндру пролететь через соленоид. Омическими сопротивлениями цилиндра и соленоида можно пренебречь.



104. Предлагается магнитная пушка, работающая на следующем принципе. Недалеко от соленоида, по его оси, помещается цилиндр (снаряд). Внезапно по соленоиду пускают ток. Когда, втягиваясь, цилиндр достигает середины соленоида, ток автоматически выключается. Оцените практически осуществимую в такой пушке начальную скорость снаряда. Оцените необходимую мощность генератора.

105. Найти условия равновесия шарика из сверхпроводника в магнитном поле горизонтального кругового витка с током.

106. В однородное магнитное поле помещен длинный цилиндрический сверхпроводник так, что его ось перпендикулярна направлению магнитного поля. Определите величину и направление магнитного поля на поверхности сверхпроводника.

107. Как от конденсатора заданной емкости и заряженного до определенного потенциала получить максимальную мощность разряда?

108. Какая часть энергии переходит в звук при разряде Лейденской банки?

109. Дан колебательный контур, известны  $L$  и  $C$ . Оценить ту минимальную силу тока, при которой можно обнаружить в нем колебания.

110. На круглый однородный железный сер-

дечник заданных размеров, покрытый ровным слоем изоляции, намотан один слой проволоки квадратного сечения. По проволоке идет постоянный ток. Опишите явления при внезапном разрыве тока и оцените перенапряжение на концах обмотки. Рассчитать габариты такого устройства на перенапряжение 100 000 в.

111. Проводящий цилиндр окружен длинным однослойным соленоидом; между ними небольшой зазор. Покажите, что скорость распространения электрических волн в такой системе приблизительно равна скорости света, помноженной на отношение длины соленоида к длине его обмотки.

112. Если изолированный постоянный магнит зарядить до некоторого потенциала, то кругом него будет одновременно существовать постоянное электрическое  $\vec{E}$  и магнитное  $\vec{H}$  поля, и вектор Пойнтинга  $\vec{S} = \frac{c}{4\pi} [\vec{E} \cdot \vec{H}]$  не будет равен нулю. Какому электромагнитному излучению он соответствует?

113. В запаянной трубке находится воздух при данном давлении и температуре. Один конец трубки помещен в однородное магнитное поле. Благодаря парамагнетизму кислорода произойдет перераспределение концентраций его вдоль трубки.

а) Оценить величину изменений концентраций вдоль трубки;

б) оценить постоянную времени установления процесса;

в) разобрать возможности использования этого процесса для выделения кислорода из воздуха.

114. Цилиндрический сосуд с жидкой смесью кислорода и азота при нормальном давлении помещен в соленоид так, чтобы один конец находился в центре соленоида, а другой снаружи. Определить гидростатическое давление в жидкости при разных концентрациях смеси, если поле внутри соленоида равно 300 кгс.

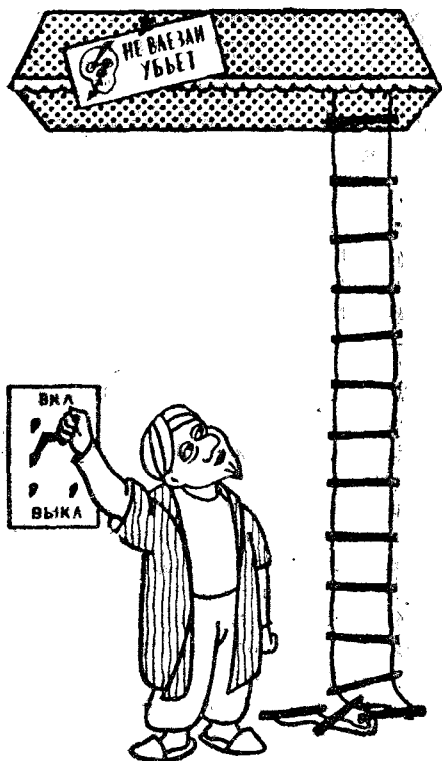
115. Разобрать процесс намагничивания в однородном поле жидкой смеси кислорода и азота определенной концентрации.

а) Определить, как изменяются при адиабатическом намагничивании температура и давление газа.

б) Определить, как изменится при намагничивании температура, если поддерживать постоянное давление?

в) Вычислить эти величины для поля в 30 и 300 кге для чистого кислорода при начальном давлении 1 ата.

116. Хонда нашел экспериментально, что у графита в направлении главной кристаллической оси шестого порядка и в двух направлениях, перпендикулярных к ней, имеется три различных значения магнитной восприимчивости. Покажите, что такой результат возможен только в том случае, если в графите имеются примеси ферромагнитного вещества.



117. Как электрическими, магнитными и другими силами можно осуществить свободно подвешенное тело, которое могло бы быть в устойчивом равновесии с силой тяжести (гроб Магомета)?

118. По исследованиям Аиртон, напряжение на электрической дуге  $E = a + \frac{b}{i}$ , где  $a$  и  $b$  — константы,  $i$  — сила тока. Разобрать вопрос стабильности дуги в зависимости от питающего ее напряжения.

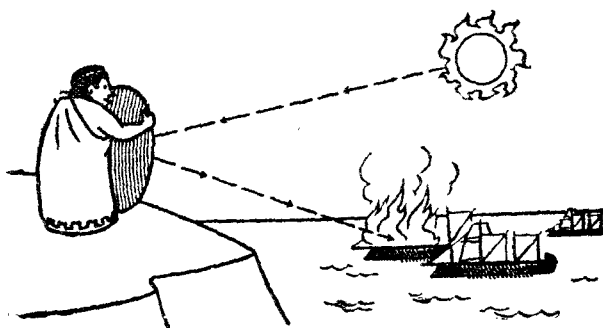
119. Какого цвета будет казаться красная жидкость, если сосуд с ней поместить в сосуд с синей жидкостью?

120. Опишите отражение белого света от боковой стороны мыльного пузыря в зависимости от его размеров и толщины пленки.

121. Продумайте возможность создания оптического прибора, с помощью которого липпмановская фотография могла бы рассматриваться так, чтобы оба глаза видели ее в одинаковых цветах.

122. Какое количество капель воды находится в кубическом сантиметре тумана, если видимость равна 100 м и туман держится около часа?

123. Какую и как можно получить наибольшую температуру в фокусе собирающей линзы или зеркала от солнца? Как эта температура сравнима с температурой Солнца?



124. Оценить, на каком расстоянии от места падения можно болометрически обнаружить снаряд Фау-2, если считать, что он летит со скоростью 1 км/сек, имеет 15 м в длину и диаметр 2 м?

125. Разберите вопрос существования оптимального размера игольного отверстия в фотокамере без объектива.

126. Будет ли разрешающая сила нейтронного микроскопа более, нежели электронного?

Разберите принципиальные трудности осуществления нейтронного микроскопа.

127. Разберите вопрос, как получить от данного предмета и данного источника света наиболее контрастный и резкий силуэт.

128. Нарисуйте интерференционную картину, которая получится на экране от четырех маленьких отверстий, сделанных по углам небольшого квадрата. Считать, что экран находится на значительном расстоянии от отверстий и падающая волна плоская.

129. На плоскости на равных расстояниях расположены параллельно друг другу  $n$  радиоантенн. В заданной точке  $O$ , на расстоянии большем по сравнению с длиной волны  $\lambda$ , нужно получить максимум интенсивности. Какое надо подобрать расстояние между антеннами и соотношение фаз между колебаниями в антеннах, чтобы интенсивность в точке  $O$  была наибольшей? Во сколько раз эта интенсивность будет больше, чем от одной антенны?

130. С каким числом оборотов нужно вращать тело, чтобы при поглощении и испускании света атомами можно было бы наиболее чувствительным оптическим методом обнаружить явление, аналогичное Зеемановскому?



## О ЗАДАЧАХ КАПИЦЫ

Знаменитые «задачи Капицы» воскрешают в памяти студенческие годы и тот энтузиазм, с которым мы, молодежь, учились у Петра Леонидовича постигать физику. Самое главное то, что эти задачи доставляют самое настоящее эстетическое наслаждение. Хотя различными издательствами выпущено много отличных задачников по физике, но до сих пор не существует столь блестящей подборки, какую дал Капица. Эти задачи — огромный мир физики, науки, вызывающей сильнейшую жажду мыслить и побеждать.

В последовательности задач нет видимой системы, каждая следующая возникает как бы сама собой и независимо от предыдущей. В то же время в подборке ничего нельзя убавить или изменить — в ней все стоит на своем месте, как стоят на месте руны Калевалы, имеющие самостоятельное значение и слабо связанные между собой сюжетной линией.

Вероятно, будет полезно сказать несколько слов о том методе, которого придерживается Капица в обучении физике и который привел его к созданию специального цикла задач и вопросов.

Петр Леонидович читал у нас на физико-техническом факультете МГУ (ныне МФТИ) курс общей физики с экспериментальным уклоном. Параллельный курс с теоретическим уклоном читал академик Ландау.

Разумеется, лекции Капицы были событием, и на них являлись не только все студенты, хотя посещение занятий было у нас не обязательным, но и масса посторонних людей. Знаменитый ученый тщательно готовился к каждой встрече со студентами — это было ясно по той четкости, с которой производились на глазах у пораженной аудитории оригинальные и сложные опыты. Никто из нас не забудет, как ассистент стрелял из лука, демонстрируя технику изготовления кварцевых нитей, как заряжали добровольцев электричеством, как двигались на длинном столе шары, делая для нас наглядными строгие законы механики. Но теперь, через 17 лет, когда вспо-

минаешь о лекциях Капицы, то прежде всего возникает в памяти даже не феерия блестящих экспериментов, а небольшие «лирические отступления» лектора от основной темы — короткие рассказы Капицы о физиках и физике. В этих, как бы возникающих по случайной ассоциации, вставках было основное: суть той школы, которую стремился сформировать Петр Леонидович.

Всякий выдающийся ученый создает школу, и в этом, вероятно, его главная заслуга. Школу не заменят никакие учебники. Ученый передает своим последователям не только знания, но и нечто гораздо более ценное: метод мышления, отношение к работе и к самому себе, свое индивидуальное представление о цели науки. Самое усиленное штудирование книг и статей не может оставить в душе того следа, который оставляет живое слово учителя, окруженного в глазах молодежи ореолом мудрости и авторитета.

Капица прививал нам бескорыстную любовь к физике и бескомпромиссную научную честность. Он рассказывал про удивительного человека по имени Кавендиш, который сделал замечательные открытия и не опубликовал их, ибо не стремился к славе, а работал из чистой любознательности. Он внес для нас полную четкость в запутанный тогда вопрос о приоритете в открытии, объяснив, что приоритет принадлежит не тому, кто первый упомянул о чем-то, а тому, кто первый оценил важность этого и поставил восклицательный знак. Он добавлял все новые штрихи к портрету великого Резерфорда — своего учителя. Слушая Капицу, мы начинали понимать, что физика не промежуточное звено между математикой и техникой, не синтез философии и опытных знаний, а ни на что не похожая, совершенно особая и прекрасная наука. И из студентов мы незаметно для самих себя становились физиками.

Секрет воздействия Капицы состоит в том, что он учит углубленному проникновению в механизм процесса и открывает тем самым для ученика новый мир. Он призывает не к формальному знанию, а к пониманию явления, заставляет ученика стать не свидетелем, а как бы участником физического явления. Именно для этого Капица широко использует свое любимое средство — задачи.

Я хорошо помню свой первый в жизни университетский экзамен по физике. Первый курс, зимняя сессия. Экзаменатор — заведующий кафедрой академик Капица.

Получив билет с вопросами, я начал сосредоточенно готовиться и исписал несколько листов бумаги. С бьющимся сердцем сел за стол перед Петром Леонидовичем. Каково же было мое удивление, когда он сразу отодвинул в сторону все мои труды, положил передо мной чистый лист бумаги и спросил:

— При ударе бильярдного шара в борт угол падения равен углу отражения или нет?

Так начался самый интересный в моей жизни экзамен. Необычные задачи сыпались на меня одна за другой и каждая требовала догадки и творческого напряжения. Это был не опрос, выяснявший, какой оценки заслужила моя работа в течение семестра, это был урок, давший мне больше пользы, чем любая лекция.

Когда я вышел с экзамена, ребята интересовались: трудные задачи дает Капица? Я не смог ответить на этот вопрос. Задачи были разные: одни я не мог решить, другие мог, но все они одинаково нравились мне и никакая из них не вызывала трепета, который возникает у студента перед каверзными вопросами экзаменатора.

Петр Леонидович рассказывал на лекции, что один известный английский профессор давал своим ученикам такие задачи, которые сам не мог решить. «Если не решат — не надо, а решат — науке польза будет», — говорил великий физик. Один раз дал — никто не решил, другой раз дал — снова никто не решил, а третий раз дал — один из студентов решил. Этот студент был Максвелл. «Нам тоже нужны Максвеллы», — добавлял Петр Леонидович.

— Ну и как же с Максвеллами? — может спросить читатель. — Есть они среди тех, кто почти двадцать лет тому назад прослушал свою первую университетскую лекцию? Сбылись надежды их воспитателя — академика Капицы?

На этот вопрос можно ответить так: подождем еще немного. Чем больше проходит времени, тем бесспорнее все становится на свои места. Но ясно одно: задачи Петра Леонидовича, составленные, чтобы заинтересовать молодежь физикой, «сработали». Они продолжают работать и сейчас. Доказательство тому — то чувство любопытства и заинтересованности, с которым вы держите в руках эту книжку.

*В. Тростников*

---



## ОЛИМПИАДНЫЕ ЗАДАЧИ

Помещенные ниже задачи предназначены в основном для школьников. Чтобы решить их, достаточно знаний, не выходящих за рамки обычной школьной программы. Это, однако, не простые задачи. Они «олимпиадного» типа и требуют ясного понимания основных законов физики, умения применять их для объяснения физических явлений и, наконец, просто сообразительности. Конечно, недостаточное знание школьниками физики и математики сильно сужает круг возможных задач. Тем не менее, опыт физических олимпиад показывает, что предлагаемые там задачи могут быть интересными для школьников и помогают находить среди них будущих физиков.

Проведение таких олимпиад уже стало традиционным и сложилось в схему Всесоюзной физической олимпиады. Эта олимпиада проводится в несколько туров. Первый тур — школьный, затем районный, областной (республиканский) и, наконец, заключительный. Кроме того, через газету «Комсомольская правда» и местную печать проводится заочная олимпиада, победители которой приглашаются сразу на областную тур. Проведением олимпиады во всей восточной части страны руководит Сибирское отделение АН СССР. Заключительный тур проводится в Москве. Задачи для этого тура отбираются специальным жюри, в состав которого входят крупные ученые. Председателем оргкомитета первой Всероссийской физической олимпиады, состоявшейся в 1965 году, был академик П. Л. Капица, последующих — академик И. К. Кикоин. Большинство задач, предлагавшихся на заключительных турах, включено в настоящий сборник. Кроме того, сюда помещены задачи, которые были рекомендованы жюри олимпиады для областных туров, а также некоторые задачи московских олимпиад.

Расположены задачи в обычном порядке: механика, теплота, электричество и оптика, хотя для многих задач их разме-

шение в том или ином разделе весьма условно. Внутри разделов расположение задач по возможности тоже систематическое. Большинство задач снабжено решениями или указаниями. Это сделано для того, чтобы сборник был удобным в работе при подготовке к олимпиадам, а также в школьных кружках.

*Л. Асламазов*

*И. Слободецкий*

---

## МЕХАНИКА

1. Почему контактный провод трамвайной линии всегда идет зигзагом, а не параллельно рельсам?

2. Два одинаковых удава начинают одновременно заглатывать друг друга с хвоста и продолжают это делать с одинаковой скоростью, пока не проглотят туловище друг друга полностью, но без головы. Покажите на схематическом цветном рисунке (в разрезе), чем все это кончится.



Рис. 1

3. В разрезанном поперек цилиндрическом пироге видно  $n$  изюминок. Сколько всего изюминок в пироге, если его длина  $l$ , а диаметр изюминки  $d$ ?

Тесто хорошо перемешено.

4. Два корабля идут пересекающимися курсами с заданными скоростями. На какое наименьшее расстояние они сблизятся?

5. Может ли спортсмен на водных лыжах двигаться быстрее катера? Может ли катер двигаться быстрее лыжника?

6. Рабочие, поднимающие груз, тянут за канаты с одинаковыми скоростями, равными  $v$  (рис. 2). Какую скорость имеет груз в тот момент, когда угол между канатами, к которым он прикреплен, равен  $2\alpha$ ?

7. Человек бежит вниз по эскалатору. В первый раз он насчитал 50 ступенек, во второй раз, двигаясь в ту же сторону со скоростью втрое большей, он насчитал 75 ступенек. Сколько ступенек он насчитает на неподвижном эскалаторе? В какую сторону движется эскалатор?

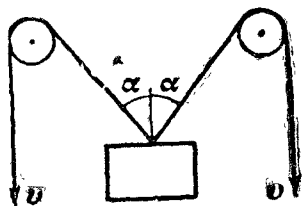


Рис. 2

8. Шарик, брошенный со скоростью  $v$  из точки, находящейся между двумя вертикальными параллельными плоскостями, возвращается в эту же точку, испытав по одному упругому отражению от каждой плоскости. Расстояние между плоскостями равно  $l_2$ .

Определить угол бросания.

9. С какой минимальной скоростью должен бросить мяч волейболист, чтобы мяч перелетел через сетку, высота которой  $h$ , находящуюся на расстоянии  $l$  от волейболиста?

Волейболист ударяет по мячу в падении у поверхности земли.

10. Тринадцать одинаковых шестеренок, оси которых закреплены, сцеплены друг с другом, образуя кольцо. На какой наибольший угол можно повернуть одну из шестеренок, если каждую из них при неподвижной соседней можно повернуть за счет неточного сцепления на угол  $\alpha$ ?

11. Как изменится количество дней в году, если изменить направление вращения Земли вокруг собственной оси или вокруг Солнца на обратное?

12. Космонавты, находясь вблизи одной из звезд некоторого звездного скопления, видят, что все другие звезды скопления удаляются от них со скоростями, пропорциональными расстояниям до этих звезд. Какую картину движения звезд будут наблюдать космонавты, оказавшись вблизи какой-нибудь другой из звезд этого скопления?

13. Спутник пролетает над Новосибирском в 12.00, а над Москвой — в 15.00. Где он будет в 18.00, в 19.30?

Время всюду московское.

14. Через неподвижный блок, массой которого можно пренебречь, перекинута замкнутая веревка массы  $M$ . За вертикальный участок веревки хватает обезьяна, пытаясь взобраться по ней вверх. С каким ускорением движется веревка, если обезьяна все время остается на одной и той же высоте от пола?

Масса обезьяны равна  $m$ . Трением в блоке пренебречь.

Через какое время обезьяна перестанет справляться со своей затеей, если она может развивать мощность не более  $P_{\max}$ ?

15. Как можно на спутнике определить массу тела с помощью рычажных весов и гирь?

16. Найти ускорение поршней перевернутого гидравлического пресса (рис. 3). Массы поршней и размеры цилиндров указаны на рисунке. Весом жидкости, находящейся между поршнями, трением поршней о стенки цилиндров, а также вязкостью жидкости пренебречь.

17. Тяжелая веревка подвешена за конец. В петле в ней вставлен невесомый обруч (рис. 4). С каким ускорением он будет падать? Трением пренебречь.

18. В бруске, лежащем на гладком горизонтальном столе, сделана лунка радиусом  $R$ , в которой лежит шар того же радиуса. Какой груз  $m_1$

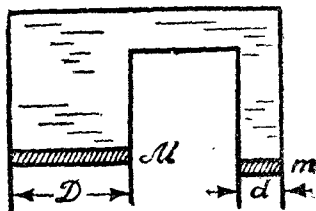


Рис. 3



Рис. 4

нужно подвесить к нити, привязанной к бруску и перекинутую через блок, укрепленный на краю стола, чтобы шарик при движении выкатился из лунки, если масса шарика  $m$ , масса бруска  $M$  и глубина лунки  $h$ ?

19. Для того чтобы оторвать змею от добычи, ее нужно тянуть за хвост с силой  $F$ . За какое наименьшее время эта змея, не отпуская добычи, может завязать узел посередине тела? Масса змеи  $M$ , ее диаметр  $d$ . Как известно, змеи скользкие.

20. На весах уравновешена банка с водой. Описать поведение весов после того, как из образовавшегося в банке отверстия у дна начала вытекать вода. Вода остается на чашке весов.

21. В большом корыте с водой плавает кастрюля. В кастрюле у дна имеется отверстие, закрытое сахарной пробкой. Как будет двигаться кастрюля, когда пробка растворится?

22. Лестница, на которой находится клоун, уравновешена противосилом на веревке, перекинутой через блок. Масса клоуна равна массе лестницы, а масса блока и трение пренебрежимо малы. Клоун, находящийся вначале на высоте  $h$  от пола, поднимается по лестнице на  $n$  ступенек. На какой высоте от пола он окажется после этого, если расстояние между ступеньками равно  $d$ ?

23. На конце соломинки, лежащей на гладком столе, сидит кузнечик. С какой наименьшей скоростью он должен прыгнуть, чтобы попасть на другой конец соломинки? Трение между столом и соломинкой отсутствует. Масса соломинки  $M$ , ее длина  $l$ . Масса кузнечика  $m$ .

24. Шарик, которому сообщена горизонтальная скорость  $u$ , падает с высоты  $h$  на горизонтальную плиту. Происходит удар, при котором теряется  $n$ -я часть энергии шарика. Определить, на каком расстоянии  $l$  от места бросания прыжки прекратятся. Считать, что трение отсутствует, так что горизонтальная составляющая скорости шарика не меняется.

25. Цилиндрический сосуд закрыт сверху поршнем, имеющим площадь  $S$  и массу  $M$ . На поршне без потери энергии подпрыгивает  $n$  шариков массы каждый ( $m \ll M$ ). Найти давление газа под поршнем. Атмосферное давление равно  $P_0$ .

26. С какой силой давит на землю кобра, когда она, готовясь к прыжку, поднимается вертикально равномерно со скоростью  $v$ ? Масса змеи  $m$ , ее длина  $l$ .

Вначале змея образовывала клубок.

27. Отклоните стул, стоящий на достаточно гладком полу, на небольшой угол и отпустите. Объясните наблюдаемое движение стула.

28. Две одинаковые легкие тележки, на которых сидят два одинаковых дворника, катятся по инерции параллельно друг другу с одинаковыми скоростями по очень скользкому льду. Начинает падать снег. Дворник, сидящий на одной из тележек, сбрасывает падающий снег с тележки в стороны, а дворник на второй тележке спит. Какая из тележек быстрее проедет одно и то же расстояние? Тележки не могут двигаться в направлении, перпендикулярном полозьям.

29. Оценить время упругого соударения двух одинаковых металлических шаров.

30. Почему пуля, вылетевшая из ружья, не может отворить дверь, но

пробивает в ней отверстие, тогда как давлением пальца дверь отворить легко, но проделать отверстие невозможно?

31. Почему входное отверстие, пробиваемое пулей от воздушного ружья в пустом стакане, меньше выходного?

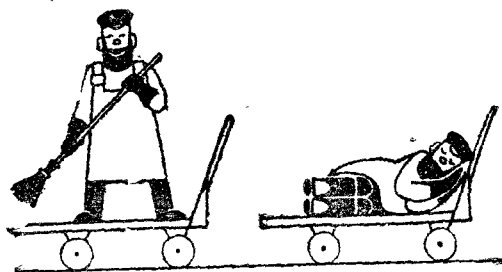


Рис. 5

32. Почему пуля пробивает в пустом тонкостенном стакане лишь два маленьких отверстия, а стакан, наполненный водой, разбивается при попадании пули вдребезги?

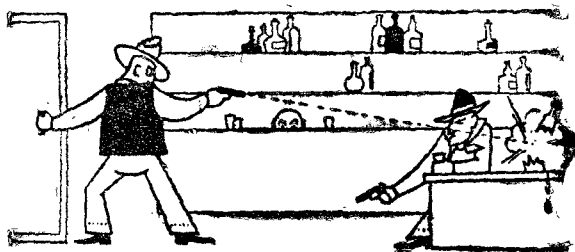


Рис. 6

33. Почему футболистам было бы тяжело играть слабо надутым или «перекачанным» мячом?

34. На гладком столе лежат три гладких одинаковых шара радиуса  $r$  так, как показано на рисунке. По краям стола имеется бортик высотой  $h$  ( $h < R$ ). Какую скорость нужно сообщить шару 1 для того, чтобы шары 2 и 3 перелетели через бортик?

35. Под каким углом разлетятся два одинаковых упругих шара после центрального удара, если один из них до удара покоился?

36. На шар, лежащий на гладкой горизонтальной поверхности, налетает другой шар такого же радиуса. Между шарами происходит упругий центральный удар. Нарисуйте график зависимости переданной энергии от отношения масс шаров.

37. Два одинаковых абсолютно упругих шарика связаны нерастяжи-

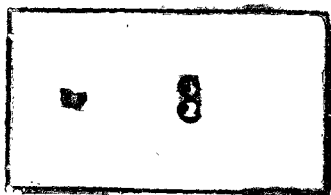


Рис. 7

шой нитью длины  $l$ . Первый шарик отпускается. Когда нить натягивается, отпускают второй. Какое расстояние пролетят шарики до  $n$ -го соударения?

38. Шарик массы  $m_0$  налетает со скоростью  $v$  на шарик массы  $m$ , скрепленный легкой пружиной жесткости  $k$  с точно таким же шариком. Определить скорость движения центра тяжести и амплитуду колебаний шариков, скрепленных пружиной. Удар упругий. За время удара пружина не деформируется. Центры шаров находятся на одной прямой, их радиусы одинаковы.



Рис. 8

39. Две одинаковые гантели летят навстречу друг другу (рис. 8). Как они будут двигаться после столкновения? Считать, что размеры масс, укрепленных на концах гантелей, малы по сравнению с размером гантелей.

Удар считать абсолютно упругим.

40. Почему обычно  $\gamma$ -кванты, излученные ядрами радиоактивного вещества, не могут поглотиться подобными же ядрами?

Известно, что внутренняя энергия ядра может иметь только определенные значения.

41. В цилиндр, установленный на тележке, как показано на рисунке, и свободно вращающийся вокруг своей оси, попадает пуля. В трех разных опытах пуля попала в точки  $A$ ,  $B$  и  $C$ . В каком случае кинетическая энергия системы оказалась большей? Что можно сказать о скоростях тележки в этих трех случаях? Рассмотреть случаи упругого и неупругого удара. Массой пули пренебречь по сравнению с массой цилиндра.

42. Два одинаковых бруска соскальзывают из одной точки в другую, двигаясь один по выпуклой, а другой — по вогнутой сферическим поверхностям, имеющим одинаковые радиусы. Скорость какого из брусков анзу больше?

Коэффициенты трения на обеих поверхностях одинаковы.

43. В каком случае пуля, пробивающая подряд две одинаковые коробки, в одной из которых находится вода, а в другой мед, пролетит дальше: если она сначала попадает в коробку с водой, или если она сначала попадает в коробку с медом?

Рассмотрите случай, когда сопротивление движению пули пропорционально ее скорости.

44. Цилиндр скатывается с наклонной плоскости и, прокатившись по горизонтальному полу, вкатывается на другую наклонную плоскость (рис. 10). Как изменится высота вкатывания, если путем смазки устранить трение скольжения: а) на участке  $AB$ , б) на участке  $CP$ , в) на участке  $MK$ , г) на всех трех участках?

Переходы между наклонными плоскостями и полом плавные. Трение достаточно для того, чтобы проскальзывания не было. Трением качения пренебречь.

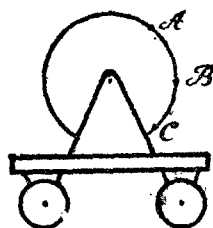


Рис. 9

45. Почему тяжело идти по топкому болотистому месту или по песчаному пляжу?

46. Автомобили, снабженные двигателями мощностью  $P_1$  и  $P_2$ , развивают скорости  $V_1$  и  $V_2$  соответственно. Какова будет скорость автомобилей, если их соединить тросом?

47. Дети состязаются в скорости езды на трехколесных велосипедах. У одних велосипедов педали жестко скреплены с передним колесом, у других же имеется цепная передача, причем ведущая шестерня больше ведомой.

Дорожка идет под уклон. Кому выгоднее, чтобы старт был наверху, а кому, чтобы старт был внизу?

Все педали и колеса одинакового размера.

48. Два шкива соединены ременной передачей. Ведомый шкив, вращаясь, поднимает груз, совершая при этом некоторую работу. Энергия передается от ведущего шкива к ведомому через ремень в виде потенциальной энергии упругой деформации растянутого ремня. Однако, как видно на рис. 11, растянутые части ремня, несущие энергию, движутся не от ведущего шкива к ведомому, а наоборот.

Объясните, как происходит передача энергии от ведущего шкива к ведомому?



Рис. 10

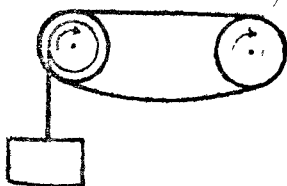


Рис. 11



Рис. 12

49. Тело находится на наклонной плоскости. Нарисуйте график зависимости силы трения, действующей на тело, от угла наклона этой плоскости к горизонту.

50. На наклонной плоскости лежит моиета. Как она будет двигаться, если ей сообщить горизонтальный импульс, параллельный ребру наклонной плоскости?

51. График зависимости силы сухого трения от скорости изображен на рис. 12. Используя график, объяснить, почему скрипичная струна при равномерном движении смычка.

52. В стеклянную цилиндрическую пробирку, расположенную вертикально, вдвинул снизу ерш для мытья пробирок. Что произойдет с ершом, если трубку слегка покачивать в вертикальной плоскости?



53. Почему при резком торможении автомобиль теряет управление (машину заносит)?

54. При астрономических наблюдениях планеты Сатурн удалось установить, что внутренний край кольца Сатурна вращается быстрее внешнего. Можно ли, зная это, установить, является ли кольцо Сатурна сплошным или состоит из отдельных частей?

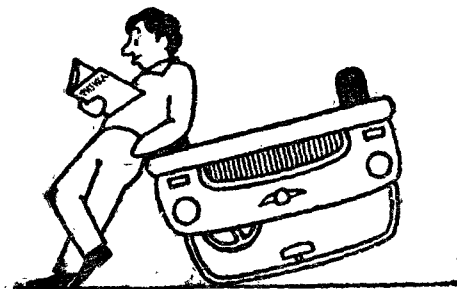


Рис. 13

55. Спортсмен посылает молот на расстояние 70 м по траектории, обеспечивающей максимальную дальность броска при данной начальной скорости. Какая сила действует на спортсмена при ускорении молота? Ядро молота весит 5 кг. Разгон ведется по окружности радиуса 2 м. Сопротивление воздуха не учитывать.

56. На краю стола высоты  $h$  лежит шар радиуса  $r$ . На шар падает пылинка, и он начинает соскальзывать со стола без трения. На каком расстоянии от стола упадет шар? ( $r \ll h$ ).

57. Железная дорога идет так, как показано на рисунке. Какой участок пути подвергается наибольшему разрушению при движении поездов?

58. Грузик, подвешенный на нити, отводят в сторону так, что нить принимает горизонтальное положение, и отпускают. При движении грузика вертикальная составляющая его скорости сначала возрастает, затем убывает. Какой угол с вертикалью образует нить в тот момент, когда вертикальная составляющая скорости грузика наибольшая?

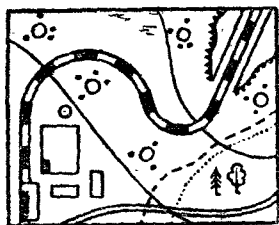


Рис. 14

59. Почему вращающимся картонным диском можно резать деревянную палочку?

60. В какую сторону наклоняются при повороте самолет, теплоход, подводная лодка? Почему?

61. Как по изменению периода колебаний односекундного маятника, помещенного вблизи рудничного месторождения, оценить объем месторождения, если известна плотность руды  $\rho_1 = 8 \text{ г/см}^3$  и средняя плотность Земли  $\rho = 5,6 \text{ г/см}^3$  (рис. 15).

62. Известно, что на Юпитере атмосферное давление значительно больше, чем на Земле, а его атмосфера богата легкими элементами. Предлагается способ их добычи: соединим Землю с Юпитером трубопроводом. Тогда, поскольку давления на концах трубопровода различны, газ пойдет самотеком на Землю. Будет ли работать такая система?

63. На орбиту вокруг Земли выведена сферическая цистерна с жидким топливом. В ней — кусочек металла. Как он будет двигаться?

Что будет, если в цистерне имеется пузырек воздуха?

64. Как изменилась бы продолжительность Земного года, если бы масса Земли увеличилась и сделалась бы равной массе Солнца, а расстояние между ними осталось бы без изменений? Влиянием других планет пренебречь.

65. Спутник вращается вокруг Земли по круговой орбите радиуса  $R$ . В результате кратковременного действия тормозного устройства скорость спутника изменяется так, что он переходит на эллиптическую орбиту, касающуюся поверхности Земли. Определить время спуска спутника. Радиус Земли равен  $R_3$ .

66. На боковой стене вагона электрички, идущей из Москвы в г. Долгопрудный и обратно со всеми остановками, висят маятниковые часы. В момент отправления из Москвы часы в вагоне и часы на здании вокзала показывали одно и то же время. Как будут отличаться показания часов, когда электричка вернется в Москву?

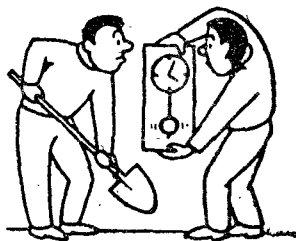


Рис. 15

67. Из сосуда, подвешенного на длинной нити, вытекает вода из бокового отверстия (рис. 16). Будут ли гармоническими колебания конца струи жидкости при падении на поверхность  $AB$ , если сам маятник совершает гармонические колебания в плоскости струи?

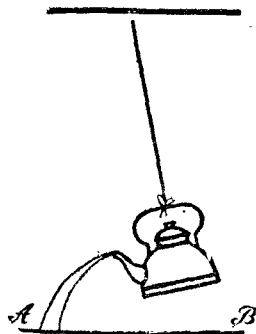


Рис. 16

68. Тяжелая тележка, движущаяся со скоростью  $v$ , подъезжает к наклонной плоскости с углом  $\alpha$ . На тележке на нити длины  $l$  висит шарик. Определить амплитуду его колебаний, когда тележка въедет на наклонную плоскость.

69. Через неподвижный блок перекинута невесомая нить, к одному из концов которой прикреплена масса  $m_1$ , а к другому — невесомая пружина с массой  $m_2$ . Коэффициент упругости пружины  $k$ , длина ее в нерастянутом состоянии  $e$ . Найти амплитуду колебаний массы  $m_2$ , когда нить

отпустят. Качаний поперек нити нет.

70. Колонна одинаковых грузовых автомобилей подъезжает к складу, забирает груз и движется дальше с той же скоростью. После того как колонна прошла, профиль дороги принял вид, указанный на рисунке 17. В каком направлении двигались автомобили?

71. Почему гром гремит дольше, чем видна молния?

72. Почему половую щетку значительно легче удерживать на пальце, чем палку той же длины?

73. Почему можно управлять движением велосипеда при езде «без рук»?

74. Кофемолка представляет собой закрытый цилиндр с электромотором. Как определить, не разбирая кофемолки, направление вращения ее мотора?

75. Точка подвеса жесткого маятника длиной  $l$  совершает горизонтальные колебания — такие, что ее смещение  $x = a \cos \omega t$  ( $t$  — время). Считая колебания малыми, найти амплитуду и фазу вынужденных колебаний маятника.



Рис. 17

76. Почему конькобежцы, разгоняясь, размахивают руками?

77. Почему по скользкому льду люди ходят маленькими шагами?

78. На каком расстоянии под закромом с зерном нужно расположить круглую площадку радиуса  $R$ , чтобы зерно не высыпалось из закрома, если коэффициент трения зерна о зерно равен  $k$ , а радиус отверстия в закроме  $r_0$ ?

79. Машина, служащая для укатки дороги (каток), опирается на цилиндрические шины-катки. Спереди пять катков, а сзади семь. Как сделать так, чтобы давление всех шин-катков на грунт было одинаковым вне зависимости от профиля дороги и накачки шин?

80. Почему сосиски при варке лопаются обычно вдоль, а не поперек?



Рис. 18

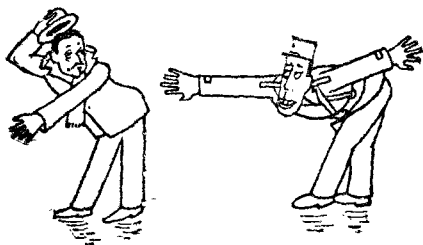


Рис. 19

81. Почему продукты легче резать не просто надавливая на нож, а надавливая и двигая нож назад-вперед?

82. Цилиндр без дна, имеющий радиус  $R$ , стоит на горизонтальном столе. В цилиндре лежат два одинаковых шара, радиус каждого из них равен  $r$ , причем  $\frac{R}{r} < r < R$ . При каком минимальном отношении  $\frac{m}{M}$  ( $M$  — массе цилиндра,  $m$  — масса каждого шара) цилиндр перевернется? Трение отсутствует.

83. На земле лежат вплотную два одинаковых бревна. Сверху кладут такое же бревно. При каком коэффициенте трения между бревнами они не раскатятся? (По земле бревна не скользят).

84. В цилиндрический стакан наливают воду. При каком уровне воды центр тяжести стакана с водой занимает наименьшее положение?

85. К двум точкам прикреплены цепочка длиной  $l$  и концы двух стержней, сумма длин которых тоже  $l$ , а свободные концы шарнирно связаны. Какой из центров тяжести будет ниже — цепочки или стержней?

86. Имеется подвеска, состоящая из однородных стержней, соединенных шарнирно. Вес системы  $P$ . Определить натяжение нити  $OM$  (рис. 20).

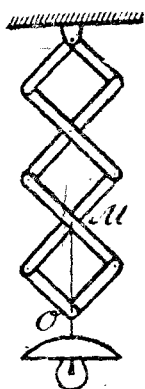


Рис. 20

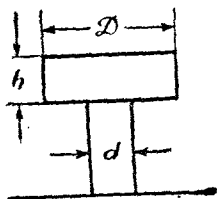


Рис. 21

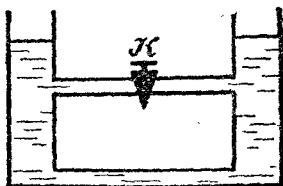


Рис. 22

88. Герметически закрытый бак заполнен водой полностью, только на дне его имеется пузырек воздуха. Высота бака равна  $h$ . Каким будет давление на дно, если бак перевернуть и пузырек окажется под крышкой бака?

89. В сообщающихся сосудах (рис. 22) находится жидкость при различных температурах. Кран  $K$  закрыт. Что произойдет, если его открыть?

Вода очень быстро принимает температуру того сосуда, в котором она находится.

90. Для чего фабричные трубы строят высокими и какие трубы лучше — железные или кирпичные?

91. Два ртутных барометра расположены один выше другого и соединены двумя трубками, заполненными ртутью. Одна трубка горизонтальная, а другая соединяет точки с равными отметками давления. Трубки перекрыты кранами. Что произойдет, если открыть один из этих кранов?

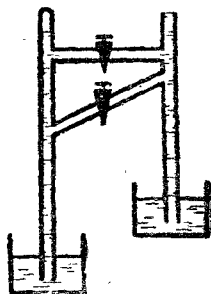


Рис. 23

92. На весах уравнивается банка с водой, в которой плавает водяная крыса. От штанги, укрепленной на другой чашке весов, свешивается веревка, доставая до воды. Крыса начинает взбираться по веревке. Сохранится ли равновесие?

93. Тело плавает в воде так, что под водой находится  $1/3$  часть его объема. Какая часть объема тела будет погружена в воду, если сосуд с водой, в котором плавает тело, будет двигаться вверх (вниз) с ускорением, равным  $a$ ?

94. В сообщающиеся сосуды диаметрами  $D_1$  и  $D_2$  налита вода. Уровень ее  $h_0$ . На сколько изменятся уровни воды в сосудах, если положить кусок дерева массы  $m$  в 1-й сосуд? Во 2-й? Плотность воды  $\rho$ .

95. Две цилиндрические трубки одинаковы всюду, кроме небольшого отрезка далеко от краев, где первая из них имеет расширение, а вторая — перетяжку. В трубках с помощью насоса создается поток воды, заполняющий каждую из них целиком и такой, что скорость воды в начале обеих труб одна и та же. В некоторый момент времени в поток воды у входа каждой трубки подмешали краску. В какой из труб краска быстрее подойдет к концу? Считать, что при течении воды в обеих трубках вихри не образуются. Зависит ли время прохождения краски по трубке от положения вздутия (или перетяжки)?



Рис. 24

96. Под открытым водопроводным краном стоит наполняющаяся водой ванночка. В ванночку под струю воды помещают легкий шарик. Останется ли шарик под струей?

97. Почему «кочуют» дюны и песчаные отмели?

98. Тело брошено под углом к горизонту. Что займет больше времени: подъем или спуск? Учесть сопротивление воздуха.

99. Капля дождя, падая с большой высоты, испаряется. Как это влияет на ее движение?

100. Парашютист, опускаясь, подтягивает передние стропы. Куда он полетит?

101. При испытании реактивного снаряда, установленного в хвосте самолета для защиты его от нападения сзади, был обнаружен удивительный факт: при пуске снаряд разворачивался и догонял самолет. Как можно объяснить это явление?

## ТЕРМОДИНАМИКА

102. Почему измерение температуры медицинским термометром продолжается долго, а «стряхнуть» его можно практически сразу же после измерения температуры?

103. Игрушка «курильщик» устроена следующим образом: в несквозное отверстие у рта сплошной фигурки вставляется «сигарета», состоящая из пластмассового прутика, обернутого слоем бумаги. Если эту «сигарету» поджечь, то дым от нее идет не непрерывно, а порциями. Почему?

104. Назовите назначение колпачка авторучки.

Для чего у колпачков часто просверливают тонкие отверстия?

105. График зависимости объема тела от температуры при температурах от  $0^\circ$  до  $T$  является параболой, переходящей при  $T=T_1$  в прямую, не касающуюся параболы (рис. 25). Опишите, как зависит коэффициент теплового расширения тела от температуры.

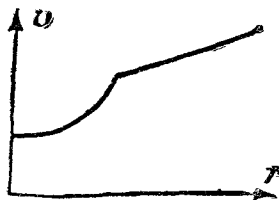


Рис. 25

106. На монете начерчена мелом прямая линия. Останется ли она прямой, если монету нагреть?

107. Свинцовый лист, покрывавший южную часть крыши Бристольского собора, сполз вниз по крыше на 50 см в течение двух лет. Сползание листа началось сразу же после того, как им была покрыта крыша. Попытка остановить сползание листа вколачиванием гвоздей в стропила не удалась, потому что сползающий лист вырывал гвозди. Крыша была не крутая, и свинцовый лист мог бы оставаться на ней, не скользя под действием силы тяжести вниз. Почему же сполз лист?

108. В комнате установлены два вогнутых зеркала. В фокусе одного из них помещен термометр. Если в фокус другого зеркала внести охлажденное тело, то термометр покажет уменьшение температуры. Объяснить, почему это происходит.

109. От чего зависит показание термометра, прикрепленного снаружи к спутнику с его теневой стороны?

110. Почему металлические предметы, находящиеся в комнате, на ощупь кажутся холоднее, чем деревянные?

111. Почему опытные хозяйки предпочитают жарить на чугунных, а не на алюминиевых сковородах?

112. Почему тонкая медная проволока плавится в пламени газовой печи, в то время как медный гвоздь даже не раскаляется докрасна?

113. Где выше температура нити электрической лампочки, у поверхности или в центре нити? Почему?

114. Параллельно соединенные неоновая лампочка и лампа накаливания, наполненная водородом, подключаются к источнику тока. При этом горит только неоновая лампочка. При опускании обеих лампочек в жидкий гелий неоновая лампочка гаснет, а лампа накаливания начинает светиться. Почему?

115. В ветреную погоду у людей отмерзают носы. Между тем приходится читать о том, что метеориты раскаляются от трения о воздух. Почему не нагревается нос?

116. Почему почти одним и тем же движением губ, выдыхая воздух, можно согреть руку и остудить чай?



• ЯНУС АБУАНКИМ •

Рис. 26



Рис. 27

117. Вода нагревается на электрической плитке постоянной мощности. На что требуется больше времени — чтобы нагреть ее от 10 до 20° или от 80 до 90°?

118. Каким кипятильником можно вскипятить воду в кастрюле с меньшей затратой энергии: шестисотваттным или киловаттным?

119. Двое в столовой взяли на третье чай. Первый сразу растворил в стакане сахар, второй сначала съел первое и второе, потом положил в стакан сахар и растворил его. Кто будет пить более горячий чай?

При растворении сахара поглощается тепло.

120. На бруске льда надета проволочная петля, к нижней части которой подвешен груз. Проволока начинает сравнительно быстро разрезать лед, так как он плавится под проволокой и вновь смерзается над ней. Это явление происходит оттого, что при повышении давления температура плавления льда понижается и лед под проволокой оказывается при температуре выше, чем температура плавления льда при повышении давления. Однако если петлю сделать из капроновой нити того же диаметра, то лед практически не режется. Почему?

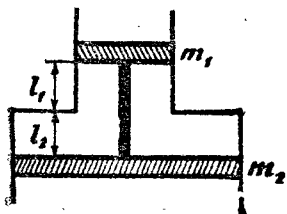


Рис. 28

121. Почему при слабом морозе снежок слепить легко, а при сильном это сделать невозможно?

122. К ручке цилиндрического ведра привязали камень. Затем ведро опустили вверх дном в озеро. К вечеру температура понизилась, а давление осталось неизменным. Как изменилось положение дна ведерка и уровня воды под ним? Изменение давления шаров воды не учитывать.

123. В аквариум с водой погружают два одинаковых по объему сосуда, опрокинутых вверх дном. Один из них широкий и короткий, другой узкий и длинный. Заключенный в сосудах воздух сжимается при их погружении давлением воды. При погружении какого сосуда до соприкосновения с дном аквариума требуется совершить большую работу?

124. Закупоренный цилиндрический сосуд объема  $v$  заполнен газом с молекулярным весом  $\mu$  при температуре  $T^\circ\text{K}$ . При свободном падении из сосуда давление газа на дно равно  $P$ . Найти разницу сил давления на дно и крышку, когда сосуд покоится.

125. В двух вертикально соединенных друг с другом цилиндрах, из которых верхний имеет меньший диаметр (рис. 28), находятся связанные между собой поршни. Площади поршней  $s_2=2s_1=2s$ , их массы  $m_1$  и  $m_2$ . Начальные расстояния поршней от места соединения цилиндров  $l_1=l_2=l$ , начальное давление в пространстве между поршнями равно атмосферному давлению.

Найти условие равновесия поршней, если поршни соединены а) жестким невесомым стержнем; б) гибкой упругой невесомой нитью.

126. На гладком столе лежит цилиндрический невесомый герметичный сосуд длины  $l$ , который может перемещаться по столу без трения. Сосуд разделен герметичной перегородкой на две равные части, в одной из которых находится под некоторым давлением азот, а в другой — углекислый газ под давлением вдвое большим. В некоторый момент перегородка теряет свою герметичность. На сколько и в каком направлении окажется

Смещенным этот сосуд после того, как газы окончательно перемешаются. Температуры газов до перемешивания одинаковы.

127. Нагревается или охлаждается идеальный газ, если он расширяется по закону  $P = bV^{-n}$ , где  $b$  — постоянная величина, а  $n < 1$ ?

128. Как меняется объем газа при нагревании, если изменение его давления с температурой графически изображено на рис. 29.

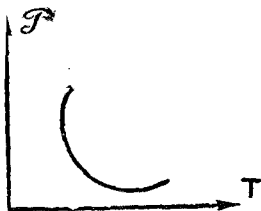


Рис. 29



Рис. 30

129. На весах установлено два одинаковых сосуда. Один заполнен сухим воздухом, другой — влажным при одинаковых давлениях и температурах.

Какой из сосудов тяжелее? Объясните почему.

130. Внутри большой кастрюли, наполненной водой и стоящей на плите, поставлена маленькая кастрюля с водой. Можно ли таким образом вскипятить воду в маленькой кастрюле?

131. Почему пар обжигает сильнее воды той же температуры?

132. Было обнаружено, что в запаянной U-образной трубке уровни воды в обоих коленях трубки находятся на одной высоте и в положении 1 и в положении 2 (рис. 31). Объясните это явление.

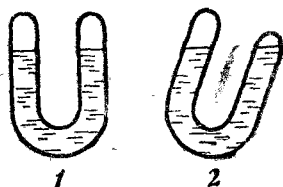


Рис. 31

133. стакан с массой  $m$  опускают вверх дном в воду. На сколько поднимается дно стакана, если воду нагреть до  $100^\circ\text{C}$  и поддерживать при той же температуре? Площадь дна стакана  $s$ . Давление насыщенного водяного пара при температуре, которую имела вода вначале, много меньше атмосферного давления.

134. Какое количество энергии необходимо для образования пузырька пара массы  $m$  и радиуса  $r$  на дне сосуда, наполненного водой до высоты  $h$ ?

135. На улице целый день моросит холодный осенний дождь. В кухне развесили много выстиранного белья. Быстрее ли высохнет белье, если открыть форточку?

136. В два одинаковых сосуда налиты разные количества воды при одинаковой температуре. Воздух из сосудов удален, и сосуды между со-



бой соединены вверх резиновой трубкой. Сосуды стоят на чашках весов, весы уравновешены. Как нарушится равновесие весов с течением времени?

137. Под стеклянным колпаком, из которого выкачан воздух, находится кювета с водой. В ней вертикально установлена капиллярная трубка. Известно, что давление насыщенных паров над вогнутой поверхностью жидкости несколько меньше, чем над плоской поверхностью. Поэтому можно предположить, что жидкость в трубке будет испаряться и конденсироваться на поверхности воды в кювете. Образовавшийся поток пара можно использовать для приведения в движение вертушки. Все ли верно в приведенном рассуждении?

138. Можно ли в космосе писать обыкновенной авторучкой?



Рис. 32

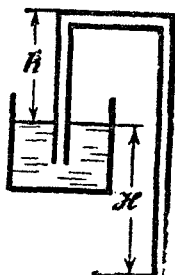


Рис. 33

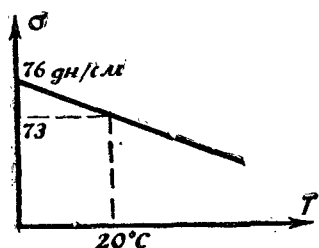


Рис. 34

139. В сосуд с водой опускают Г-образный стеклянный капилляр радиуса  $r$  (рис. 33). Температурный ход коэффициента поверхностного натяжения показан на рисунке 34. В каком диапазоне температур вода вытечет из сосуда?

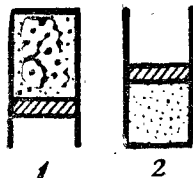


Рис. 35

140. Капля воды, имеющая радиус  $r$ , падает с высоты  $h$  и разбивается на  $n$  равных капель. Какое количество тепла выделяется при этом? Коэффициент поверхностного натяжения воды  $\sigma$ .

141. На поверхности воды плавают две спички, которые предварительно до половины были опущены в парафин. Оказалось, что как чистые, так и покрытые парафином концы спичек притягиваются между собой, а «разноименные» концы отталкиваются. Почему?

142. Почему брезентовая палатка хорошо защищает от дождя, но если ее время дождя к потолку палатки дотронуться рукой, потолок начинает «протекать»?

143. В каком случае для нагревания металлического шара до одной и той же температуры потребуются больше энергии: если шар висит на нити или если он стоит на подставке? Считать, что подставка и нить энергии не поглощают.

144. В цилиндре, снабженном поршнем, находится некоторая масса газа. В каком случае для нагревания этого газа до температуры  $T$  потребуются больше тепла: если цилиндр находится в положении 1 или в поло-

145. Может ли теплоемкость газа быть отрицательной?

146. При неправильной регулировке двигателя внутреннего сгорания иногда вместо сравнительно медленного сгорания горючей смеси начинается так называемая детонация, при которой смесь сгорает быстро, со взрывом. Почему при этом падает КПД двигателя?

## ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

147. Составить схему сигнализации, при которой во время пожара в охраняемом помещении на щите диспетчера зажигается сигнальная лампочка.

148. Изобразить графически как меняется величина напряженности и потенциала поля вдоль радиуса заряженного шара, окруженного толстой металлической сферой.

149. Изобразить графически, как меняется величина напряженности и потенциала поля вдоль линии, соединяющей центры двух одинаковых шаров, имеющих одинаковые заряды.

150. Четыре электрона помещены в вершинах квадрата со стороной  $a$ . Затем они предоставлены самим себе. Определить предельное значение скорости  $v$  каждого электрона.

151. При какой минимальной относительной скорости протоны, находящиеся на расстоянии 5 см, могут сблизиться друг с другом до расстояния  $10^{-4}$  см?

152. На гладком горизонтальном столе лежит металлический стержень длиной  $l$  и весом  $P$ . К одному из концов этого стержня прикреплена непроводящая нить, перекинутая через блок, укрепленный на краю стола. На другом конце нити висит точно такой же стержень, так что система находится в движении. Найти разности потенциалов, которые возникают между концами каждого из стержней. Трением нити о блок, а также весом нити и блока пренебречь.

153. Тонкостенная трубка приводится в быстрое вращение. Какое максимальное поле может возникнуть внутри кольца, если кольцо разрывается при механическом напряжении  $50 \text{ кг/мм}^2$ ? Радиус кольца — 1 м, толщина — 2 см.

154. Проводник  $A$  заряжается от источника э. д. с. через промежуточное проводящее тело  $B$  с помощью ключа  $K$ . При подключении тела  $B$  к источнику на нем оказался заряд  $q_0$ . После первого переключения ключа заряд проводника  $A$  стал равен  $q_1$ . Найти, какой заряд окажется на проводнике  $A$  после очень большого числа переключений ключа. Взаимным влиянием проводников  $A$  и  $B$  пренебречь (рис. 37).

155. Плоский конденсатор состоит из двух металлических пластин, пространство между которыми заполнено диэлектриком с диэлектрической постоянной  $\epsilon$ . Как изменится емкость конденсатора, если его поместить в

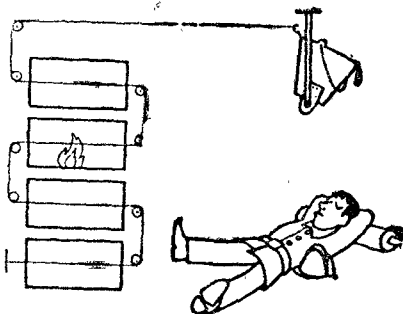


Рис. 36

изолированную коробку, стенки которой будут на расстоянии от пластин вдвое меньше, чем расстояние между пластинками? Искажением поля у краев конденсатора пренебречь.

156. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено средой с диэлектрической постоянной  $\epsilon$  и удельным сопротивлением  $\rho$ . Чему равно сопротивление такого конденсатора, если его емкость равна  $C$ ? Найти силу электростатического взаимодействия между пластинами, если через среду пропускается постоянный ток силой  $I$ . Расстояние между пластинами  $d$ .

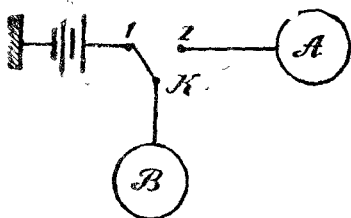


Рис. 37

157. Три последовательно соединенных конденсатора зарядили до напряжения  $U$  и отключили от источника. После этого средний конденсатор отсоединяют от схемы, и, повернув его на  $180^\circ$ , вновь включают на прежнее место. Какова будет новая разность потенциалов на зажимах батарей?

158. Между соединенными проводником обкладками конденсатора помещена металлическая пластина. Какой величины заряд протечет по проводнику, если на внутреннюю пластину поместить заряд  $Q$ ? (рис. 38).

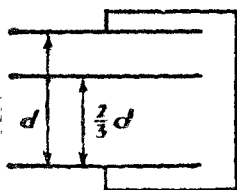


Рис. 38

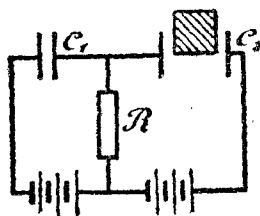


Рис. 39

159. Какой заряд проходит через сопротивление  $R$  (рис. 39) при вдвигании в конденсатор слюдяной пластины (диэлектрическая постоянная  $\epsilon$ )?

160. В электрическом поле потенциал точки  $A$  выше потенциала точки  $B$ . Однако если поместить в это поле проводник  $AB$ , то ток по нему идти не будет. Почему?

161. Можно провести аналогию между потоком жидкости и электрическим током в проводнике. Например, сила тока подобна расходу жидкости (количеству жидкости, проходящей через поперечное сечение потока в единицу времени).

На реке построена плотина. Какая электрическая цепь аналогична этому участку реки?

162. Для каждой из трех схем включения реостата (рис. 40) нарисовать графики зависимости общего сопротивления цепи от сопротивления левой части реостата (до движка).

163. Между каждой парой из  $N$  данных точек включен конденсатор емкостью  $C$ . Чему будет равна емкость между двумя произвольными точками?

164. Сложная электрическая цепь составлена из большого числа одинаковых конденсаторов емкости  $C$  каждый. Для определения неизвест-

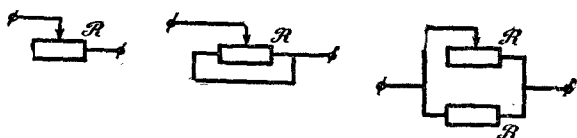


Рис. 40

ной емкости  $C_{\text{общ}}$  этой схемы собрали точно такую же цепь, только каждый конденсатор заменили проводником с сопротивлением  $R$ . Сопротивление цепи оказалось равным  $R_{\text{общ}}$ . Найти  $C_{\text{общ}}$ .

165. Какой ток будет идти через амперметр в схеме, изображенной на рисунке 41? Внутренним сопротивлением амперметра пренебречь.

166.  $n$  батарей с одинаковыми э. д. с.  $E$  и внутренними сопротивлениями  $r$  соединены последовательно. Что покажет вольтметр, измеряющий напряжение на  $k$  батарее? Сопротивлением подводящих проводов пренебречь.

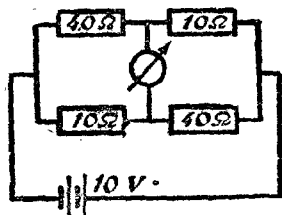


Рис. 41

167. Как измерить величину неизвестного сопротивления, имея вольтметр и амперметр с неизвестными внутренними сопротивлениями?

168. На рис. 42 изображены схемы для измерения сопротивления с помощью амперметра и вольтметра. По какой схеме выгоднее включить приборы, чтобы измерить сопротивление более точно?

169. Какую наибольшую разность потенциалов вы смогли бы получить, имея батарейку с э. д. с., равной  $E$ , и два одинаковых конденсатора?

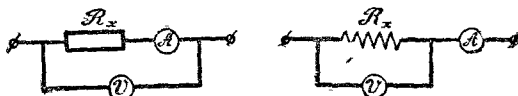


Рис. 42

170. Дана батарея с электродвижущей силой  $E$  и внутренним сопротивлением  $r$ . Ее замыкают на конденсатор емкостью  $C$ , соединенной последовательно с баллистическим гальванометром. При этом стрелка гальванометра отклоняется вправо на угол  $\alpha$ . Затем к зажимам батареи подключают сопротивление  $R$ . На какой угол  $\beta$  и в какую сторону отклонится стрелка гальванометра? Гальванометр устроен так, что отклонение стрелки пропорционально прошедшему через него заряду.

171. Для определения небольших емкостей иногда пользуются мостиком Кельвина, изображенным на рис. 43. Язычок колеблется с частотой  $f$ ,  $C$  — емкость конденсатора, если величина переменного сопротивления равна  $R$ , а постоянных —  $R_1$  и  $R_2$ . Стрелка гальванометра не отклоняется.

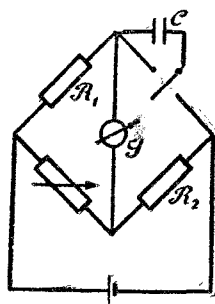


Рис. 43

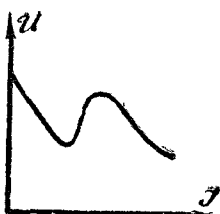


Рис. 44

173. Источник электроэнергии  $\Gamma$  имеет вольтамперную характеристику, показанную на рис. 44. ( $u$  — напряжение на источнике,  $I$  — ток, текущий через него). Нарисовать график зависимости напряжения на сопротивлении, на которое замкнут этот источник от величины сопротивления.

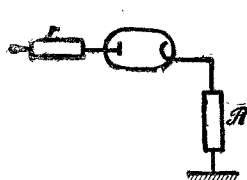


Рис. 45

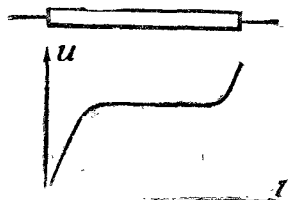
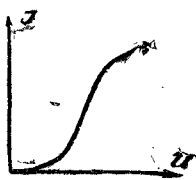


Рис. 46

174. Для получения мощных световых импульсов через газоразрядную лампу разряжают батарею конденсаторов большой емкости, заряженную до разности потенциалов  $u$ . Почему для этой же цели обычно не используется батарея гальванических элементов с э. д. с., равной  $u$ ?

175. Если через электролит, в который опущены два электрода, идет ток, на катоде выделяется, как известно, металл в количестве, определяемом только количеством прошедшего электричества. Можно ли при разрядке конденсатора с накопленным на нем зарядом через сколь угодно большое число последовательно соединенных электрических ванн выделить любое заданное количество металла?

176. Дiode подключен к источнику э. д. с. через сопротивление. Найти ток в цепи, если зависимость тока через диод от напряжения на нем (вольтамперная характеристика) показана на рис. 45.

177. На рис. 46 представлено распределение потенциала в трубке, в которой происходит тлеющий разряд. В какой области между электродами напряженность поля наиболее велика? Где она равна нулю?

178. Из однородной проволоки сделано кольцо. Напряжение источника постоянно. При каком положении движка (рис. 47) в кольце будет выделяться минимальное количество тепле?

179. Имеется пять электрических лампочек на 110 в мощностью 40, 40, 40, 60 и 60 вт. Как следует включить их в сеть с напряжением 220 в, чтобы все они горели полным накалом?

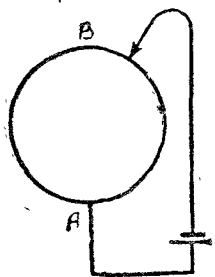


Рис. 47

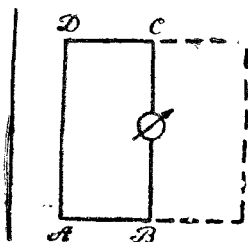


Рис. 48

180. Почему лампочка накаливания обычно сгорает при включении?

181. К середине проволоки, натянутой между двумя опорами, подвешивается груз. Почему при подключении концов проволоки к источнику напряжения груз начинает колебаться и эти колебания не затухают до тех пор, пока проволока замкнута на источник?

182. Зачем нужен постоянный магнит в телефонном наушнике? Как изменить схему телефонной линии для того, чтобы можно было обойтись без этого магнита?

183. Прямоугольная рамка расположена в плоскости бесконечного прямолинейного проводника с током, причем стержни  $AD$  и  $BC$  параллельны проводнику (рис. 48). В середину стороны  $BC$  включен прибор, измеряющий протекший заряд. Рамку можно перевести в новое положение, отмеченное на рисунке пунктиром двумя способами: 1) перемещая ее параллельно самой себе; 2) вращая вокруг  $BC$  на  $180^\circ$ . В каком случае заряд, протекший через прибор, больше?

184. Однородное кольцо помещено в переменное магнитное поле, перпендикулярное плоскости кольца. Выберем на кольце две произвольные точки, делящие кольцо на дуги  $a$  и  $b$ . Так как разности потенциалов на концах дуг  $a$  и  $b$  равны по величине и противоположны по знаку и ток на любом участке кольца одинаков, то из закона Ома, примененного к участкам  $a$  и  $b$ , следует, что  $R_a = R_b$ , т. е. сопротивление не зависит от длины проводника. Найти ошибку в рассуждениях.

185. Проволочный квадрат помещается в переменное магнитное поле  $B = B_0 t$ , перпендикулярное плоскости квадрата. Как изменится ток, идущий через лампочку, если из квадрата сделать два квадрата (рис. 49). Провод покрыт изоляцией.

186. Сверхпроводящее кольцо, по которому течет ток, изгибается в две окружности в виде восьмерки и затем складывается вдвое. Как меняется ток в кольце?

187. На оси постоянного магнита, расположенного вертикально, на некотором расстоянии от него находится легкое проволочное кольцо, плоскость которого перпендикулярна оси магнита. В некоторый момент вре-

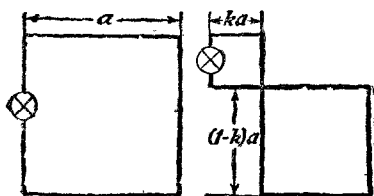


Рис. 49

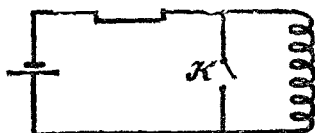


Рис. 50

мени кольцо начинает падать так, что плоскость его остается во время падения горизонтальной. Какая разница будет в поведении кольца с конечным сопротивлением и кольца из сверхпроводника? В начальный момент ток в кольце отсутствует.

188. Как зависит от времени ток через сверхпроводящий соленоид (рис. 50), если язычок колеблется с некоторой частотой?

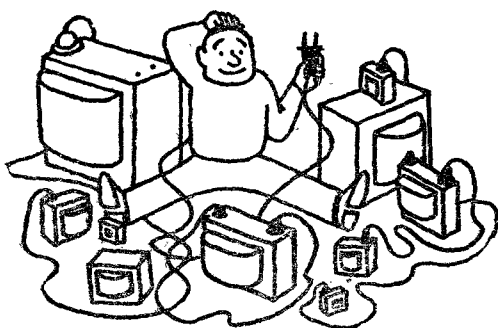


Рис. 51

189. Покажите, что индуктивность катушки пропорциональна квадрату числа витков.

190. Ток в катушке нарастает пропорционально времени. Каков характер зависимости тока от времени в другой катушке, индуктивно связанной с первой и замкнутой на некоторое сопротивление?

191. Проволочный соленоид подключен к батарее. Нарисуйте, как будет меняться ток в цепи при быстром распрямлении проволоки?

192. Почему трансформатор выходит из строя в том случае, если хотя бы один виток обмотки замкнется накоротко?

193. Имеются два одинаковых идеальных трансформатора с коэффициентом трансформации 1 : 3. Первичная обмотка одного из них последовательно соединена со вторичной обмоткой второго и свободные концы этих обмоток включены в сеть переменного тока с напряжением 100 в. Вторичная обмотка первого трансформатора последовательно соединена

с первичной обмоткой второго. Определить амплитуду переменного напряжения между свободными концами этих обмоток.

194. Докажите, что если из двух машин постоянного тока одинакового типа одна работает в качестве двигателя, а другая — в качестве генератора и при этом токи в якорях и магнитных обмотках обеих машин имеют одинаковое направление, то якоря машин будут вращаться в противоположные стороны.

195. Имеется электрическая машина постоянного тока с постоянным магнитом. Ее якорь снабжен двумя совершенно одинаковыми обмотками, соединенными с отдельными коллекторами. Одна из этих обмоток присоединена к источнику постоянного тока, и машина работает как двигатель. При этом вторая обмотка якоря может служить источником тока. Определить, как зависит ток в обмотках от сопротивления нагрузки, на которую замкнута вторая обмотка якоря.

## ОПТИКА

196. Что вы увидите, если будете смотреть в два зеркала, поставленные под прямым углом друг к другу?

197. Объясните, почему в ясную лунную ночь на поверхности водоема видна лунная дорожка? От чего зависит длина лунной дорожки?

198. Почему киноэкран нельзя делать зеркальным?

199. Цветное стекло растерто в тонкий порошок так, что он кажется совершенно белым. Как узнать, какой был цвет стекла?

200. Если чертежи покрыть матовым стеклом, приложив его матовой стороной к чертежу, то линии чертежа видны хорошо. Если же приложить стекло матовой стороной вверх, то чертеж не виден или виден очень размыто и не конкретно. Почему?

201. Почему с моста лучше видно рыбу, плавающую в реке, чем с низкого берега? (рис. 53).

202. Блестящая точка движется по оси вогнутого сферического зеркала, приближаясь к нему. Показать, что существуют три положения блестящей точки, при которых расстояние от точки изображения равно  $\frac{3}{4}R$ , именно когда расстояние от точки до зеркала равно  $\frac{2}{3}R$ ,  $\frac{3}{4}R$ ,  $\frac{1}{4}R$ .

203. Возле самой поверхности стеклянного шара находится глаз. Часть поверхности, наиболее удаленная от глаза, посеребрена. Показать, что изображение глаза будет равно  $\frac{3}{5}$  его настоящей величины. Где будет находиться изображение глаза?

204. Пусть солнечные лучи, падая на большое выпуклое стекло, собираются в фокусе, который мы видим благодаря летающим в воздухе пылинкам. Если поместить экран не в самом фокусе, а несколько ближе к

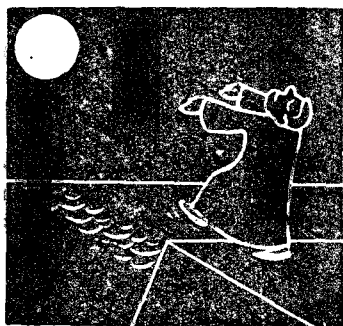


Рис. 52



стеклу или несколько дальше от него, то мы увидим небольшой белый кружок, ограниченный узкой каемкой, в первом случае синей, а во втором красной. Объяснить это явление.

205. Как зависит величина изображения предмета от расстояния предмета до зеркала? Нарисуйте график.

206. Всегда ли двояковыпуклая линза рассеивающая, а двояковыпуклая собирающая?

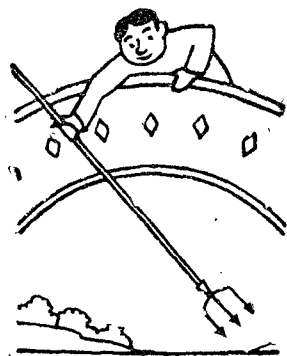


Рис. 53

207. На какой угол повернется изображение предмета, рассматриваемого через трубу Галилея, если труба, дрогнув в руке наблюдателя, повернется на угол  $\alpha$ ? То же для трубы Кеплера.

Угловое увеличение трубы равно  $\Gamma$  (рис. 54).

208. Что увидит наблюдатель, который смотрит в трубу Галилея, если он закроет половину объектива? Как изменится изображение предмета, если половину объектива закрыть в трубе Кеплера?

209. Как изменится освещенность изображения планеты, рассматриваемой в телескоп с объективом, имеющим диаметр  $D=80$  мм и фокусное расстояние  $F_1=800$  мм при замене окуляра с фокусным расстоянием, равным  $F_2=50$  мм на окуляр с фокусным расстоянием 100 мм или 25 мм?

210. Описать качественно зависимость давления света на линзу от расстояния до источника света, находящегося на оптической оси линзы. Отражение и поглощение света не учитывать.



Рис. 54

211. Объяснить, почему для того, чтобы получить четкое изображение предмета, близорукий обычно щурит глаза.

212. Крупинка металла совмещена с изображением «точечного» источника света, даваемым собирающей линзой. Когда источник находится на расстоянии  $a_1$  от линзы, крупинка нагревается на  $t_1^\circ$  за секунду. На

сколько градусов  $t_2$  нагревается за секунду эта крупинка, вновь совмещенная с изображением того же источника, если последний удалили на расстояние  $a_2$  (оба расстояния  $a_1$  и  $a_2$  считать большими по сравнению с удвоенным фокусным расстоянием линзы и по сравнению с диаметром объектива)?

213. Картину фотографируют сначала целиком с большого расстояния, затем отдельные ее детали в натуральную величину. Каково должно быть время экспозиции при съемке деталей, если при съемке картины оно равно

$$\frac{1}{100} \text{ сек?}$$

214. Для чего лампу закрывают матовым колпаком?

215. Почему в цехах с рассеянным освещением рабочим трудно работать?

216. Почему цепочка фонарей кажется одинаково яркой вдоль ее длины?

217. Почему днем окна домов кажутся темными?

218. В полый сфере проделано отверстие, через которое проникает луч света. Внутренняя поверхность сферы отражает свет во все стороны одинаково (диффузно) и не поглощает его. Как будут отличаться освещенности точки диаметрально противоположной отверстию от освещенности остальных точек сферы?

219. Известно, что заря красная, а небо синее. На основании этого объяснить, какие лучи — красные или синие — сильнее рассеиваются в атмосфере.



## ОТВЕТЫ, УКАЗАНИЯ, РЕШЕНИЯ

### МЕХАНИКА

1. Для того чтобы трамвайный бугель (дуга) изнашивался равномерно по всей длине.

3. Пусть в пироге  $N$  изюминок. Тогда в единице объема находится  $k = \frac{N}{sl}$  изюминок ( $s$  — площадь сечения пирога). Очевидно,  $n = ksd$ , т. е.  $n = \frac{Nd}{l}$ , откуда  $N = \frac{nl}{d}$ .

4. Задача легко решается в системе координат, связанной с одним из кораблей.

5. Может. Указание: проекция скоростей катера и лыжника на направление каната должны быть одинаковыми.

$$6. \frac{V}{\cos \alpha}.$$

7. Пусть  $u$  — скорость человека относительно эскалатора,  $v$  — скорость эскалатора,  $l$  — длина эскалатора,  $N$  — число ступенек на нем. Будем считать, что человек бежит вниз. Тогда время пребывания человека на эскалаторе равно  $\frac{l}{v+u}$ , путь, пройденный по эскалатору,  $u \frac{l}{v+u}$ , а число ступенек, которое он насчитал,  $N = \frac{ul}{v+u} \cdot \frac{N}{l}$ . Число ступенек, которые он насчитал во втором случае, будет:

$$N_2 = \frac{3ul}{3u+v} \cdot \frac{N}{l}.$$

Для определения  $N$ :

$$\begin{cases} \frac{ul}{v+u} \cdot \frac{N}{l} = 50, \\ \frac{3ul}{3u+v} \cdot \frac{N}{l} = 75, \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{cases} 1 + \frac{v}{u} = \frac{N}{50}, \\ 1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{v}{u} = \frac{N}{75}. \end{cases}$$

Откуда находим  $N=100$  и  $\frac{v}{u}=1$ .

Так как  $\frac{v}{u}>0$ , то наше предположение, что человек движется в ту же сторону, что и эскалатор, верно.

$$8. \alpha = \frac{1}{2} \arcsin \frac{2gl}{v^2}.$$

9. Имеется бесконечное число траекторий мяча, касающихся сетки. Причем траектории мяча определяется однозначно, если задать один из ее параметров: начальную скорость мяча или угол бросания или максимальную высоту подъема мяча и т. д. Для того чтобы определить минимальную скорость, которая должна быть сообщена мячу, нужно найти, как начальная скорость зависит от выбранного параметра, при каком значении параметра эта скорость минимальна и чему она в этом случае равна. В качестве параметра, определяющего траекторию, оказывается удобным выбрать время  $t_0$  движения мяча до сетки.

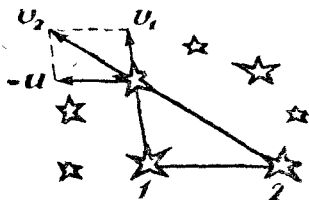


Рис. 55

Пусть скорость мяча равна  $v$ , а угол бросания  $\alpha$ . Запишем кинематические уравнения движения мяча:

$$x = v \cos \alpha \cdot t \text{ — по горизонтали;}$$

$$y = v \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2} \text{ — по вертикали. При } t=t_0, y=h \text{ и } x=l. \text{ Подставив}$$

эти данные в уравнение движения, получим

$$l = v \cos \alpha \cdot t_0 \text{ и } h = v \sin \alpha \cdot t_0 - \frac{gt_0^2}{2}. \quad (1)$$

Исключая из этих уравнений  $\alpha$ , найдем

$$v^2 = g^2 t_0^2 + 4 \frac{h^2 + l^2}{t_0^2} + 4gh. \quad (2)$$

Так как  $g^2 t_0^2 + 4 \frac{h^2 + l^2}{t_0^2} \geq 2 \sqrt{g^2 t_0^2 \cdot 4 \frac{h^2 + l^2}{t_0^2}}$ , причем равенство имеет

место, когда  $g^2 t_0^2 = 4 \frac{h^2 + l^2}{t_0^2}$ , то начальная скорость мяча минимальна при

$$t_0^2 = \sqrt{4 \frac{h^2 + l^2}{g^2}}. \text{ В этом случае она равна } v_{\min} = \sqrt{4gh + 4g \sqrt{h^2 + l^2}}.$$

Подставив эти значения  $t_0$  и  $v_{\min}$  в одно из уравнений (1), легко определить и угол бросания мяча.

10. 6,5  $\alpha$ .

11. Вращаясь вокруг Солнца, Земля совершает еще один оборот вокруг своей оси. Поэтому при изменении направления вращения Земли число дней в году изменится на два.

12. Скорость  $\vec{v}_2$  любой из звезд в системе отсчета, связанной со звездой 2, равна

$$\vec{v}_2 = \vec{v}_1 - \vec{u},$$

где  $\vec{v}_1$  — скорость этой звезды в системе отсчета, связанной со звездой 1, а  $\vec{u}$  — скорость второй звезды относительно первой (рис. 55). Так как эти скорости пропорциональны соответствующим радиусам-векторам, т. е.  $\vec{v}_1 = \omega_1 \vec{r}_1$  и  $\vec{u} = \omega_{12} \vec{r}_{12}$ , то  $\vec{v}_2 = \omega_{12} \vec{r}_{12} - \omega_{12} \vec{r}_{12} = \omega_2 \vec{r}_2$ . Это означает, что оказавшись вблизи звезды 2 космонавты увидят такую же картину движения звезд, что и вблизи звезды 1, — что все звезды удаляются со скоростями, пропорциональными расстояниям до этих звезд.

13. Москва и Новосибирск находятся на одной широте, а по долготе различаются на  $45^\circ$ . Москва находится на долготе  $38^\circ$  восточной долготы, а Новосибирск —  $83^\circ$ .

В 15.00 Москва находится там же (по отношению к Солнцу), где был Новосибирск в 12.00. Это означает, что за 3 часа спутник делает целое число оборотов вокруг Земли. Так как период обращения спутника не может быть меньше, чем

$$T_{\text{мин}} = \frac{2\pi}{\omega_{\text{мин}}} = 2\pi \sqrt{\frac{R_3}{g}} \approx 1,4 \text{ часа,}$$

то он равен или 1,5 часа или 3 часам.

В обоих случаях в 18.00 спутник будет пролетать над пунктом с координатами  $55^\circ$  северной широты и  $7^\circ$  западной долготы.

Если спутник совершает один оборот вокруг Земли за 1,5 часа, то в 19.30 он окажется на  $55^\circ$  северной широты и  $30^\circ$  западной долготы, а если период спутника 3 часа, то в 19.30 спутник пройдет над  $55^\circ$  южной широты и  $154^\circ$  восточной долготы.

14.  $a = \frac{m}{M} g$ . В момент времени  $t$  скорость веревки равна  $V = at = \frac{m}{M} gt$ . Мощность, развиваемая обезьяной  $P = mg \cdot V = \frac{m^2 g^2 t}{M}$ , поэтому обезьяна перестанет справляться со своей затеей через время  $t_0 = \frac{P_{\text{макс}} M}{m^2 g^2}$ .

15. Нужно потянуть за середину коромысла весов. При этом, если массы тела и гирь различные, то коромысло весов будет вращаться. Если же массы тела и гирь равны, то равновесие весов не нарушится.

16. Пусть  $p$  — давление воды в сосуде. Тогда уравнения движения поршней имеют вид

$$ma_1 = mg + ps - p_0 s; \quad (1)$$

$$Ma_2 = Mg + pS + p_0 S, \quad (2)$$

где  $a_1$  и  $a_2$  — ускорения поршней, а  $s$  и  $S$  — их площади.

Перемещение легкого поршня  $x$  связано с перемещением тяжелого поршня  $y$  соотношением  $Sy = sx$ , поэтому  $Sa_2 = sa_1$ . (3)

Решая совместно уравнения (1), (2), (3), находим

$$P = P_0 - g \frac{S - s}{\frac{S^2}{M} - \frac{s^2}{m}}$$

$$a_1 = g \left( 1 - \frac{s}{m} \cdot \frac{S - s}{\frac{S^2}{M} - \frac{s^2}{m}} \right); a_2 = g \left( 1 - \frac{S}{M} \cdot \frac{S - s}{\frac{S^2}{M} - \frac{s^2}{m}} \right).$$

указанное решение, очевидно, справедливо при  $p \geq 0$

$$g \frac{S - s}{\frac{S^2}{M} - \frac{s^2}{m}} < P_0.$$

При других значениях параметров поршни двигаются независимо и их ускорения соответственно равны

$$a_1 = \frac{mg - P_0 S}{m};$$

$$a_2 = \frac{Mg - P_0 S}{M}.$$

17. Пусть обруч опустили на высоту  $h$ . Тогда кинетическая энергия петли складывается из энергии поступательного движения  $\frac{mv^2}{2}$  ( $m$  — масса петли и  $v$  — скорость ее центра) и энергии вращательного движения вокруг ее центра, равной тоже  $\frac{mv^2}{2}$ . Из закона сохранения энергии  $\frac{mv^2}{2} + \frac{mv^2}{2} = mgh$ . Отсюда  $v = \sqrt{gh}$ . Но это означает, что петля движется ускоренно с ускорением  $a = \frac{g}{2}$ .

18.  $m_1 > \frac{(M + m) \sqrt{h(2R - h)}}{R - h - \sqrt{h(2R - h)}}$ . Причем если  $h > \frac{R}{2 + \sqrt{2}}$ , то шар

выкатится из лунки при сколь угодно большом отношении  $\frac{m_1}{M + m}$ .

19. Время завязывания узла минимально, если змея перемещает при завязывании минимальную массу, т. е. в том случае, когда змея завязывает узел на хвосте и затем перемещает его к середине тела. Масса узла  $\frac{M}{l \cdot 2}$

( $l$  — длина змеи). Его ускорение  $a = \frac{F \cdot l}{2\pi d \cdot M}$  и время перемещения узла к середине тела  $t = \sqrt{\frac{l}{a}} = \sqrt{\frac{2M}{F} \pi d}$ .

20. Чашка весов вместе с банкой вначале поднимется вверх. После того как вода вытечет, равновесие весов восстановится.

21. В тот момент, когда пробка растает, кастрюля начнет двигаться в ту сторону, с которой у нее отверстие. Затем остановится.

$$22. H = h + \frac{3}{4} dn.$$

23. Скорость кузнечика минимальна, когда она направлена под углом  $45^\circ$  к горизонту.

Из закона сохранения импульса легко найти, что соломинка при прыжке приобретает скорость  $u = \frac{m}{M} \frac{v}{\sqrt{2}}$ . Поэтому горизонтальная составляющая скорости кузнечика относительно соломинки равна  $v' = \frac{v}{\sqrt{2}} \left(1 + \frac{m}{M}\right)$ .

Время движения кузнечика  $t = \frac{v \sqrt{2}}{g}$ . За это время он пролетает расстояние  $l$  относительно соломинки. Т. е.

$$\frac{v}{\sqrt{2}} \left(1 + \frac{m}{M}\right) \frac{v \sqrt{2}}{g} = l,$$

откуда

$$v = \sqrt{\frac{M}{M+m} g l}.$$

24. Вертикальная составляющая скорости шарика после  $n$ -го удара о плиту равна  $v_n = \sqrt{1-k} v_{n-1} = (1-k)^{\frac{n}{2}} v_1 = \sqrt{2(1-k)^n g h}$ .

Время движения шарика между  $n$  и  $n+1$  ударами равно  $t_n = \frac{2v_n}{g} = 2\sqrt{\frac{2(1-k)^n h}{g}}$ , а время полета до первого удара о плиту  $t_0 = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ , поэтому полное время движения шарика

$$t = t_0 + t_1 + \dots + t_n \dots = \sqrt{\frac{2h}{g}} + 2\sqrt{\frac{2h}{g}} [(1-k)^{1/2} + (1-k) + \dots + (1-k)^{n/2} + \dots] = \sqrt{\frac{2h}{g}} \left(1 + \frac{2(1-k)^{1/2}}{1 - (1-k)^{1/2}}\right).$$

За это время шарик пролетит расстояние  $l = u \sqrt{\frac{2h}{g} \frac{1 + (1-k)^{1/2}}{1 - (1-k)^{1/2}}}$ .

25. Скорость шарика в момент его падения на поршень обозначим  $v$ . Тогда период его движения равен  $t = \frac{2v}{g}$ . При ударе о поршень скорость шарика меняется на противоположную, а импульс на  $2mv$ . Средняя сила, действующая на поршень за период движения шарика,  $F = \frac{2mv}{t} = mg$ , для  $n$  шариков  $= F = nmg$ .

Поэтому движение газа под поршнем должно быть равно  $p = p_0 + \frac{(nm + M)g}{s}$ .

26. За время  $\Delta t$  в движение вовлекается отрезок змеи длиной  $\Delta l = v \Delta t$ , которому сообщается импульс  $\frac{M}{l} v \Delta t \cdot v$ . Поэтому сила давления змеи на землю больше ее веса на величину  $F = \frac{M}{l} \cdot v^2$ .

27. При движении стула до момента соприкосновения передних ножек с полом его центр тяжести опишет дугу окружности с центром, лежащим на прямой, проходящей через задние ножки стула. В момент удара о пол скорость центра тяжести будет иметь как вертикальную, так и горизонтальную составляющие. Удар о пол является неупругим и вертикальная составляющая скорости центра тяжести стула гасится. Для того чтобы отбросилась в нуль горизонтальная составляющая скорости центра тяжести, нужно, чтобы сила трения действовала некоторое время ( $F_{тр} t = m v_{гор}$ ), а за это время стул сдвинется на некоторое расстояние вперед.

28. Та, с которой снег не счищается. Падающий снег, попадая на тележку, изменяет ее импульс тем меньше, чем больше ее масса. Сбрасывание снега в стороны не меняет импульса тележки.

29. Для оценки будем считать, что столкновение шаров происходит следующим образом: при столкновении соприкасающиеся участки шаров деформируются и в шарах возникают бегущие волны сжатия, распространяющиеся со скоростью звука. Волны отражаются от границ шаров и возвращаются назад. Шары «расталкиваются». Время упругого столкновения шаров, очевидно, равно  $\tau = \frac{2R}{c}$ , где  $R$  — радиус шаров,  $c$  — скорость звука в материале шара.

Для стальных шаров ( $c = 6 \cdot 10^3$  м/сек), радиус которых равен 5 см,  $\tau \approx 3,3 \cdot 10^{-5}$  сек.

30. Время столкновения пули с дверью очень мало. За это время деформация, вызываемая давлением пули, не успевает распространиться на большие расстояния. Поэтому импульс, теряемый пулей, передается сравнительно небольшому участку двери, и пуля пробивает в ней небольшое отверстие.

31. Скорость пули при выходе из стакана меньше, чем при входе. Поэтому деформация, вызываемая давлением пули, успевает распространиться на больший участок стенки стакана.

32. За время входа пули в стакан уровень воды в стакане не успевает измениться. Поэтому в месте входа пули вода сжимается и возникает область высокого давления, которая, расширяясь со скоростью звука, достигает через некоторое время стенок стакана. Стакан разлетается вдребезги.

33. Перейдем в систему отсчета, связанную с ногой футболиста. В этой системе отсчета покоящийся относительно земли мяч налетает на ногу с некоторой скоростью.

Если при ударе не происходит потери энергии, то мяч отлетает с той же скоростью и, следовательно, его скорость относительно земли равна удвоенной скорости ноги. Потери энергии приводят к тому, что скорость



мяча будет меньше. В случае абсолютно неупругого удара скорость мяча равна скорости ноги, и тогда дальность полета мяча примерно в 4 раза больше дальности его полета при абсолютно упругом ударе.

Рассмотрим, чем определяются потери энергии. При ударе деформации ботинка и мяча являются упругими (если только мяч накачан не слишком слабо), так как после удара и ботинок и мяч восстанавливают свою форму. Однако восстанавливать свою форму мяч и ботинок могут не одновременно, и тогда мяч отскочит, не получив всей запасенной при ударе потенциальной энергии деформации. При ударе и деформации соприкасающихся частей ботинка и мяча в них возникают бегущие волны сжатия. Если эти волны возвращаются назад одновременно, то их энергия почти полностью переходит в кинетическую энергию мяча. Если мяч недостаточно накачан или «перекачан», одна из волн приходит раньше и мяч отскакивает, не получив всей энергии упругой деформации.

34. Из закона сохранения энергии следует, что шарик перекатится через бортик, когда составляющая его скорости, перпендикулярная бортику, будет больше, чем  $\sqrt{2gh}$ . Если скорость шара  $1$  до удара равна  $v$ , то после удара его скорость будет равна  $\frac{1}{5}v$  и направлена в сторону, противоположную направлению первоначального движения, а шары  $2$  и  $3$  будут разлетаться под углом  $60^\circ$  с одинаковыми скоростями  $u = v \frac{2\sqrt{3}}{5}$ . Поэтому они

перекатятся через борт, если  $v > 5 \sqrt{\frac{2}{3}gh}$ .

Занесения импульса и энергии имеем

$$\vec{v}_1 + \vec{v}_2 = \vec{v};$$

$$v_1^2 + v_2^2 = v^2,$$

где  $\vec{v}_1$  и  $\vec{v}_2$  — скорости шаров после столкновения, а  $\vec{v}$  — скорость налетающего шара до столкновения.

Из первого уравнения следует, что векторы  $\vec{v}_1$ ,  $\vec{v}_2$  и  $\vec{v}$  составляют треугольник, а из второго — что он прямоугольный (теорема Пифагора).

36. Из законов сохранения энергии и импульса следует, что энергия, переданная первоначально покоящемуся шару, равна  $E_1 = \frac{4\alpha}{(1+\alpha)^2} E_0$ , где  $E_0$  — полная энергия шаров и  $\alpha$  — отношение массы налетающего шара к массе первоначально покоящегося шара.  $E_1$  максимальна, когда минимально выражение  $\frac{(1+\alpha)^2}{\alpha} = \frac{1}{\alpha} + \alpha + 2$ . Но  $\frac{1}{\alpha} + \alpha \geq 2$  (среднее геометрическое чисел  $\alpha$  и  $\frac{1}{\alpha}$  равно 1), причем  $\frac{1}{\alpha} + \alpha = 2$ , если  $\frac{1}{\alpha} = \alpha$ , т. е.  $\alpha = 1$  ( $\alpha > 0$ ). Поэтому  $E_1$  максимальна при  $\alpha = 1$ . При этом  $E_1 = E_0$ .

37. К моменту первого натяжения нити центр масс системы двух шаров опустится на расстояние  $\frac{l}{2}$  и будет иметь скорость, равную половине

скорости нижнего шара.  $v_0 = \frac{1}{2} \sqrt{2gh}$ . Начиная с этого момента центр масс будет двигаться вниз с ускорением  $g$ . Шарики же в моменты натяжения нити и в моменты соударений будут обмениваться скоростями.

Пройденный центром масс системы путь равен

$$S = \frac{l}{2} + v_0 t + \frac{gt^2}{2},$$

где  $t$  — время, отсчитываемое от момента первого натяжения нити.

С этого момента до первого соударения шаров пройдет время  $\frac{l}{v_0}$ .

Промежутки времени между последующими соударениями равны  $2 \frac{l}{v_0}$ .

Таким образом, до  $n$ -го соударения от момента первого натяжения нити пройдет время

$$t = \frac{l}{v_0} + \frac{2l}{v_0} (n-1) = \frac{l}{v_0} (2n-1).$$

Подставляя это выражение в формулу пути, получим

$$S = l \left( n^2 + \frac{1}{4} \right).$$

38. При соударении шарик  $m_2$  приобретает скорость  $v_2 = \frac{2m_0 m}{m_0 m + m_0^2} v$ ,

а центр масс системы — скорость  $u = \frac{v_2}{2} = \frac{m_0 m}{m_0 m + m_0^2} v$ . При движении системы шарики колеблются около их центра масс. Амплитуду колебаний найдем из условия, что в тот момент, когда деформация пружины максимальна, в системе координат, связанной с центром масс системы, шарики покоятся. Запишем закон сохранения энергии:

$$\frac{m u^2}{2} + \frac{m (v - u)^2}{2} = \frac{k (2x)^2}{2},$$

$x$  — амплитуда колебаний шариков.

Отсюда  $x = \sqrt{\frac{m}{2k} \frac{m_0 m}{m_0 m + m_0^2}} v$ .

39. Рассмотрим движение гантелек в системе координат, связанной с их общим центром масс. В этой системе координат гантельки летят навстречу друг другу с одинаковыми скоростями. В момент соударения шарики 1 и 3 обмениваются скоростями и гантельки начинают вращаться вокруг собственных центров масс. Затем происходит соударение шаров 2 и 4, при котором они обмениваются скоростями. После этого гантельки будут двигаться в ту же сторону, в которую они двигались до столкновения с теми же скоростями (рис. 56).

40. При излучении  $\gamma$ -кванта его энергия меньше разности внутренних энергий ядра на величину энергии движения самого ядра из-за отдачи.

Для того чтобы  $\gamma$ -квант мог поглотиться ядром, его энергия должна быть больше, чем разность внутренних энергий ядра на величину кинетической энергии, которую атом приобретает после поглощения.

Если атом является узлом кристаллической решетки, то отдача может восприниматься всем кристаллом в целом, и так как его масса много больше массы одного атома, энергия отдачи мала. В этом случае  $\gamma$ -квант, излученный ядром атома, может поглотиться ядром атома такого же кристалла (эффект Мессбауэра).

41. Рассмотрим случай неупругого удара. В опыте, когда пуля попадет в точку  $B$ , цилиндр вращаться не будет, а при попадании в точки  $A$  и  $C$

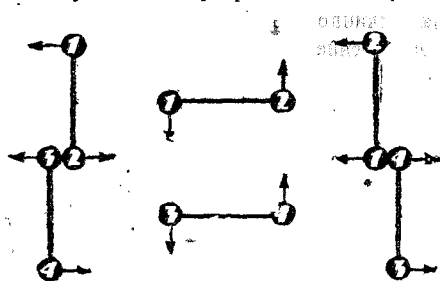


Рис. 56

будет вращаться с одинаковой угловой скоростью, но в разных направлениях. Из закона сохранения количества движения следует, что скорость тележки во всех трех случаях будет одинаковой, так как количество движения вращающегося цилиндра равно нулю. Кинетическая энергия системы будет наименьшей при попадании в точку  $B$ .

В двух других случаях к энергии поступательного движения добавляется одинаковая энергия вращательного движения цилиндра (она не зависит от направления вращения). Закон сохранения энергии здесь, конечно, не нарушается, так как удар является неупругим и часть энергии переходит в тепло.

В случае упругого удара скорость пули можно разложить на тангенциальную и нормальную составляющие. Тангенциальная составляющая после удара не изменяется (трения нет), и на цилиндр в этом направлении сила во время удара не действует. Что касается нормальной составляющей силы, то момент ее равен нулю. Поэтому цилиндр не будет вращаться во всех случаях.

42. Большую скорость в нижней точке имеет брусок, соскальзывающий по выпуклой поверхности. Давление этого бруска на поверхность меньше, чем давление второго бруска на поверхность, когда он находится на той же высоте, а значит, потери энергии при движении этого бруска меньше.

43. При прохождении пули через коробку с водой  $F_{\text{сопр.}} = a_1 \cdot v$ , а при прохождении через коробку с медом  $F_{\text{сопр.}} = a_2 v$ . Пусть пуля попадает сначала в коробку с водой. При прохождении пули через тонкий слой воды силу сопротивления можно считать постоянной и равной ее среднему значению. Разбивая траекторию движения пули на маленькие участки, имеем, что при прохождении  $n$ -го участка импульс пули уменьшится на величину

$$\Delta(mv)_n = F_{\text{сопр.}} \cdot \Delta t = a_1 \frac{v_0 + v_{n-1}}{2} \cdot \frac{\Delta x_n}{v_n + v_{n-1}} = a_1 \Delta x_n.$$

$\Delta x_n$  — длина участка.

При прохождении через всю коробку импульс пули изменится на величину  $\Delta(mv)_s = \sum \alpha_1 \Delta x_n = \alpha_1 \cdot l$ , где  $l$  — длина коробки.

Аналогично найдем, что при прохождении пули через коробку с медом ее импульс уменьшится на величину  $\Delta(mv)_m = \alpha_2 l$ . Полное изменение импульса пули равно  $(\alpha_1 + \alpha_2)l$ . Оно не зависит от порядка расположения коробок. Значит, и дальность полета пули не зависит от расположения коробок.

44. Если на участке  $AB$  трение скольжения отсутствует, то в точке  $B$  угловая скорость вращения цилиндра будет такой же, как и в точке  $A$ , а линейная скорость центра масс цилиндра больше, чем в точке  $A$ . Когда цилиндр попадает на участок, на котором трение не устранено, возникает проскальзывание цилиндра относительно плоскости (для того, чтобы не было проскальзывания, между угловой скоростью вращения цилиндра и линейной скоростью его центра масс должно сохраняться соотношение  $V = \omega R$ , где  $R$  — радиус цилиндра) и часть механической энергии цилиндра перейдет во внутреннюю. Высота вкатывания цилиндра станет меньше.

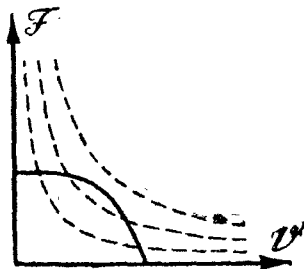


Рис. 57

Аналогично высота вкатывания цилиндра станет меньше, если устранить трение на участке  $MK$ . В этом случае угловая скорость вращения цилиндра в точке  $H$  будет такой же, как и в точке  $M$ , а линейная скорость центра масс — меньше.

При движении без трения по участку  $CP$  не меняется ни угловая скорость вращения цилиндра, ни линейная скорость его центра масс. Проскальзывание не возникает и высота вкатывания остается прежней.

При устранении трения на всех трех участках высота вкатывания цилиндра становится меньше.

45. Часть энергии, затрачиваемой человеком, уходит на деформацию почвы, когда он идет по тонкому месту, и на перемещение песка, когда он идет по пляжу.

46. Силы сопротивления движению обозначим  $F_1$  и  $F_2$ . Имеем:  $P_1 = F_1 V_1$  и  $P_2 = F_2 V_2$ . Для машин, соединенных тросом,

$$P_1 + P_2 = (F_1 + F_2) v = \left( \frac{P_1}{v_1} + \frac{P_2}{v_2} \right) \cdot v,$$

Отсюда

$$v = \frac{(P_1 + P_2) v_1 \cdot v_2}{P_1 \cdot v_1 + P_2 \cdot v_2}.$$

47. При каждой данной скорости вращения педалей  $V$  существует максимальная сила  $F$ , с которой велосипедист может нажимать на педали. График этой зависимости показан на рисунке. Пунктиром изображены линии равной мощности (гиперболы  $FV = \text{const}$ ). Чем меньше мощность, соот-

ответствующая гиперболе, тем сильнее кривая прижимается \* осям координат. На рисунке видно, что при малых скоростях (начальный участок кривой) мощность, которую может развивать велосипедист, тем больше, чем меньше скорость вращения педалей, а при больших скоростях (конечный участок кривой) — наоборот. Если велосипедисты едут в гору, то скорости велосипедов, а следовательно, и скорости вращения педалей невелики и движение описывается начальным участком кривой. Поэтому в гору выгоднее ехать тем велосипедистам, у которых при данной скорости движения велосипедов педали вращаются быстрее (велосипед без передачи), так как они смогут развивать большую мощность.

При движении под гору скорости движения велосипедов велики, так что большую мощность будут развивать велосипедисты, машины которых снабжены передачей. Они и придут к финишу первыми.

48. Рассмотрите процессы, происходящие при увеличении скорости вращения ведущего шкива.

$$F_{\text{тр}} = mg \sin \alpha, \quad \text{если } 0 \leq \alpha < \arctg k \text{ и}$$

$$F_{\text{оп}} = mg \cos \alpha, \quad \text{если } \arctg k < \alpha < \frac{\pi}{2}.$$

$k$  — коэффициент трения.

50. Монета будет скользить по наклонной плоскости, приближаясь к ее ребру. Сила трения, действующая на монету, направлена в каждый момент времени в сторону, противоположную скорости монеты. Поэтому скорость монеты не может быть горизонтальна. Действительно, в этом случае составляющая силы веса монеты, перпендикулярная ребру наклонной плоскости, не уравновешивалась бы силой трения и монета должна была бы скользить вниз.

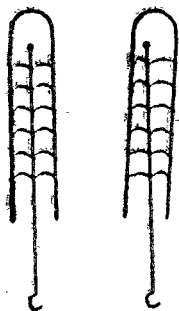


Рис. 58

51. При движении смычка струна благодаря трению увлекается смычком и натягивается. Когда величина силы трения становится равной некоторой максимальной, струна начинает проскальзывать относительно смычка. Так как при этом величина силы трения уменьшается, струна начинает двигаться к положению равновесия. Таким образом возбуждаются колебания струны.

Эти колебания будут незатухающими, так как работа силы трения за период положительна. Действительно, скорость струны относительно смычка меньше в те полпериода, когда смычок и струна двигаются в одну сторону и, следовательно, на струну в это время действует большая сила трения.

52. У ерша, вдвинутого снизу в вертикальную трубку, щетинки изогнуты как показано на рис. 58. При наклоне трубки давление щетинок на стенку трубки с одной стороны ослабевает и при некотором наклоне щетинки начинают скользить вверх по трубке до тех пор, пока из-за изменения кривизны щетинки сила давления на стенку, а с него и сила трения скольжения не возрастет настолько, что щетинка остановится. При выпрямлении трубки обратного скольжения не произойдет, так как сила трения пока

больше силы трения скольжения. Таким образом, ерш будет шагами продвигаться вверх по трубке, «расклиниваясь» в трубке за счет сил трения покоя и проскальзывая за счет уменьшения трения при скольжении.

53. При движении автомобиля участок колеса, соприкасающегося с дорогой, неподвижен относительно дороги. При резком же торможении колеса скользят по дороге. Так как сила трения, действующая на автомобиль, должна быть направлена противоположно скорости его движения, то величина силы трения, препятствующая в этом случае движению автомобиля вбок, пропорциональна боковой составляющей скорости автомобиля («жидкое трение»). Следовательно, любая сила может сообщить автомобилю скорость вбок, и уже при небольшом наклоне дороги (например, из-за ямы или выбоины) машину «заносит».

56. Обозначим  $\alpha$  угол между радиусом шара, проведенным в точку касания шара со столом, и вертикалью. Соскальзывая со стола, шар движется по окружности; в соответствии со вторым законом Ньютона,

$$\frac{mg \cos \alpha - N}{m} = \frac{v^2}{r}$$

здесь  $N$  — сила реакции стола,  $v$  — скорость шара. В момент отрыва шара от стола  $N=0$ , поэтому  $g \cos \alpha = \frac{v^2}{r}$ .

Из закона сохранения энергии находим, что в момент отрыва шара  $v^2 = 2gr(1 - \cos \alpha)$ . А значит,  $\cos \alpha = \frac{2}{3}$  и  $v = \sqrt{\frac{2}{3}gr}$ . Горизонтальная составляющая скорости шара в этот момент равна  $\frac{2}{3}\sqrt{\frac{2}{3}gr}$ . Она не меняется при дальнейшем движении. Время падения шара  $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ . Шар упадет на расстоянии  $\frac{4}{9}\sqrt{3rgh}$  от стола.

Для решения существенно условие  $h \gg r$  — мы пренебрегаем начальной скоростью по вертикали.

57. Наибольшему разрушению подвергается сопряжение дуг, образуемых дорогой. В этом месте центростремительное ускорение, сообщаемое вагону равнодействующей приложенных к нему сил, испытывает екачок, равный  $v^2 \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$ . Из-за зазора между щеками колес и рельсами происходит удар. Несколько менее сильный удар происходит и в местах сопряжения прямых участков дороги с дугами.

Сопряжения различных участков, а также повороты дороги из-за этого никогда не делаются с помощью дуг окружностей. Они устраиваются так, чтобы радиус кривизны менялся плавно.

58. Вертикальная составляющая скорости будет возрастать до тех пор, пока вертикальная составляющая силы натяжения нити не станет равной весу грузика  $T \cos \alpha = mg$ , (1)

$\alpha$  — угол отклонения нити от вертикали.

Из закона сохранения энергии следует, что

$$\frac{mv^2}{2} = mgR \cos \alpha. \quad (2)$$

Запишем еще условие движения шарика по окружности:

$$\frac{mv^2}{2} = mg R \cos \alpha. \quad (3)$$

Из этих уравнений найдем, что  $\cos \alpha = \frac{\sqrt{3}}{3}$ .

59. Для того чтобы смять край диска, на него должна действовать сила  $F = m\omega^2 R$ , где  $R$  — радиус диска,  $\omega$  — угловая скорость вращения и  $m$  — масса сминаемого участка.

60. На летящий самолет в плоскости, перпендикулярной направлению его полета, действуют две силы: вес и аэродинамическая подъемная сила. Их равнодействующая при повороте самолета должна быть направлена к центру окружности, по которой движется самолет. Это возможно, если корпус самолета наклонен в сторону поворота (рис. 59).

Такой наклон самолета получается благодаря тому, что при повороте киля (рули) из-за давления воздуха на киль самолет начинает поворачиваться вокруг вертикальной оси, проходящей через его центр тяжести. Одно из крыльев самолета тогда движется быстрее другого. На это крыло действует большая аэродинамическая подъемная сила и самолет поворачивается вокруг горизонтальной оси. При этом подъемная сила, действующая на это крыло, уменьшается, а на другое крыло возрастает.

При повороте теплохода на его внешний борт действует избыточное давление, сообщаемое теплоходу центростремительное ускорение. Это давление появляется благодаря тому, что при повороте руля теплоход поворачивается вокруг вертикальной оси. При этом он продолжает двигаться по инерции бортом вперед. Точка приложения равнодействующей сил добавочного гидродинамического давления лежит на середине погруженной части теплохода. Поэтому если центр тяжести теплохода лежит ниже середины части его, находящейся в воде, то теплоход наклоняется в сторону поворота. Если центр тяжести теплохода лежит выше середины части, погруженной в воду, то теплоход при повороте наклоняется в сторону, противоположную повороту. Угол наклона теплохода определяется условием равенства нулю суммарного момента сил гидростатического давления (подъемной силы), равнодействующая которых приложена к центру тяжести вытесненного объема жидкости, и сил добавочного гидродинамического давления на внешний борт теплохода.

Теплоход может плавать устойчиво даже в том случае, когда его центр тяжести лежит выше центра тяжести вытесненного объема воды, т. е. выше точки приложения «выталкивающей» силы. Для этого необходимо, чтобы

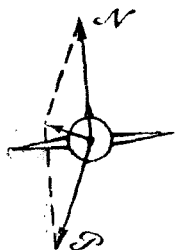


Рис. 59

благодаря форме корпуса теплохода при его наклоне центр тяжести вытесненного объема смещался в сторону наклона.

Поворот подводной лодки происходит так же, как и поворот теплохода, благодаря добавочному гидродинамическому давлению на внешний борт. Но центр тяжести подводной лодки находится ниже ее середины, так как он должен лежать ниже точки приложения равнодействующей сил гидростатического давления, находящейся примерно в середине сечения подводной лодки (иначе подводная лодка перевернулась бы). Поэтому, при повороте подводная лодка наклоняется в сторону поворота.

61. Для оценки будем считать, что месторождение имеет форму шара и лежит у поверхности Земли. Тогда его добавочное тяготение эквивалентно тяготению шара плотности  $\rho = (8 - 5,6) \text{ г/см}^3 = 2,4 \text{ г/см}^3$ . Шар плотностью,  $\rho$  радиуса  $r$  сообщает телам, находящимся на его поверхности, ускорение

$$a = \gamma \frac{4\pi r^2 \rho}{3}, \text{ Без месторождения период колебаний маятника } T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Месторождение дает  $T' = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g+a}}$ . Легко найти относительное изменение периода колебаний

$$\frac{T - T'}{T} \approx \frac{a}{2g} = \frac{2\pi r^2 \rho}{3g}, \text{ Тогда } r = \frac{(T - T') 3g}{2\pi r^2 T}$$

Отсюда объем месторождений есть  $\frac{1}{\pi^2} \left(\frac{T - T'}{T}\right)^3 \left(\frac{g}{\gamma\rho}\right)^3$ .

Подставив  $T = 1 \text{ сек}$ ,  $\rho = 2,42 \text{ см}^3$ ,  $g = 10^3 \text{ см/сек}$ , имеем объем месторождения  $v = 8 \cdot 10^{29} (T - T')^3 \text{ см}^3$ .

63. На кусочек металла действуют силы гравитационного притяжения к окружающей массе жидкости и силы давления со стороны жидкости. Если бы объем, занимаемый кусочком металла, занимала жидкость, то она находилась бы в равновесии, т. е. равнодействующая сил гравитационного притяжения к остальной массе жидкости была бы равна равнодействующей сил гидростатического давления. Если же вместо этого объема жидкости мы помещаем кусочек металла, то равнодействующая сил давления не меняется, а равнодействующая сил гравитационного притяжения увеличится. Причем равнодействующая гравитационных сил направлена к центру корабля, так как тело, находящееся внутри шарового слоя, не испытывает его притяжения. Равнодействующая всех сил, действующих на кусочек металла, направлена к центру корабля и равна

$$F = \gamma \frac{4}{3} \pi r^2 \rho_0 v (\rho - \rho_0), \text{ } (\rho_0 \text{ — плотность жидкости, } \rho \text{ — плотность металла,}$$

$v$  — его объем,  $r$  — расстояние до центра корабля), т. е. она пропорциональна смещению кусочка металла относительно центра сферы. Отсюда следует, что если трение отсутствует, то кусочек металла будет совершать гармонические колебания. Из-за трения эти колебания будут затухающими.

Если в цистерне имеется пузырек воздуха, то он будет двигаться к оболочке корабля, так как для него  $\rho < \rho_0$  и поэтому равнодействующая всех сил направлена от центра корабля.

64. Земля вращается вокруг центра масс системы Солнце — Земля. Так как масса Солнца во много раз превышает массу Земли, то можно считать, что центр масс системы совпадает с центром Солнца. Если бы мас-



са Земли увеличилась и сделалась равной массе Солнца, то в этом случае центр масс системы Солнце — Земля находился бы на середине расстояния между Солнцем и Землей, т. е. радиус земной орбиты уменьшился вдвое.

Если обозначить период обращения Земли в первом случае  $T_1$ , а во втором случае  $T_2$  то, пользуясь законом Кеплера, можно получить

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{R^3}{\left(\frac{R}{2}\right)^3}.$$

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

т. е. продолжительность земного года уменьшилась бы в  $2\sqrt{2}$  раза.

65. Согласно второму закону Кеплера периоды обращения всех небесных тел, эллиптические орбиты которых имеют одинаковые большие оси, равны. Поэтому период обращения спутника по эллиптической орбите будет таким же, как если бы спутник вращался по круговой орбите, радиус которой равен  $\frac{R + R_3}{2}$ . Найдем этот период.

На спутник, вращающийся вокруг Земли по круговой орбите, имеющей радиус  $\frac{R + R_3}{2}$ , действует сила тяготения  $\gamma \frac{mM}{\left(\frac{R + R_3}{2}\right)^2}$  ( $m$  — масса

спутника,  $M$  — масса Земли), сообщающая спутнику центростремительное ускорение  $a = \omega^2 \frac{R + R_3}{2}$ . В соответствии со вторым законом Ньютона

$$\gamma \frac{4mM}{(R + R_3)^2} = \omega^2 \cdot \frac{R + R_3}{2}.$$

Откуда, учитывая, что  $\gamma \frac{M}{R_3^2} = g$  ( $g$  — ускорение свободного падения тел вблизи поверхности Земли), получаем

$$\omega = \frac{2R_3}{R + R_3} \sqrt{\frac{2g}{R + R_3}}.$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{\pi(R + R_3)}{R_3} \sqrt{\frac{R + R_3}{2g}}.$$

Время спуска спутника составляет половину периода обращения спутника по орбите.

66. Часы в электричке уйдут вперед. При замедлении и ускорении хода электрички период колебаний маятника часов будет меньше, чем при равномерном движении.

$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{\sqrt{g^2 + a^2}}}$ , где  $a$  — ускорение вагона.

67. Колебание конца струн не будет гармоническим.

68. У маятника, находящегося в тележке, свободно катящейся по наклонной плоскости, положение равновесия находится на прямой, перпендикулярной наклонной плоскости и проходящей через точку подвеса нити. Угловая амплитуда  $\beta$  колебаний маятника относительно этого нового положения равновесия находится из условия  $\frac{mv^2}{2} + mgl(1 - \cos \alpha) = mgl(1 - \cos \beta)$ .

69. При установившемся движении грузов (без колебаний) натяжение каната  $T = T' = \frac{2m_1 m_2}{m_1 + m_2} g$ . Таким же оно будет и в момент прохождения грузом  $m_2$  положения равновесия. В начальный момент  $T = T_0 = m_2 g$ . Поэтому амплитуда силы при гармонических колебаниях груза  $m_2$  равна  $T' - T_0$ , а амплитуда колебаний  $a = \frac{T' - T_0}{k}$ .

70. Период выбоин  $\lambda \sim \frac{v}{\omega}$ , где  $v$  — скорость машины,  $\omega$  — частота колебаний на рессорах: кузова для дороги, по которой идет машина без груза, и колес для дороги, по которой идет груженная машина. Частота колебаний колес больше частоты колебаний кузова. Это означает, что машины ехали слева направо.

71. Размеры молнии велики, поэтому звук, приходящий из разных мест молний, звучит долго.

72. Для того чтобы щетка удерживалась в равновесии, нужно в случае ее отклонения от положения равновесия, т. е. поворота на некоторый угол, успеть подвинуть палец так, чтобы щетка вновь оказалась в положении равновесия. Щетка будет отклоняться медленнее, чем палка той же длины, так как центр тяжести щетки лежит выше центра тяжести палки. (Для того чтобы убедиться в этом, рассмотрите, как зависит время падения легкого стержня с укрепленным на его конце тяжелым шаром от длины стержня).

Поэтому щетку удерживать в равновесии легче, чем палку.

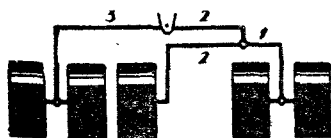


Рис. 60

73. Для того чтобы сохранять равновесие при езде на велосипеде, нужно, теряя равновесие, т. е. наклоняясь в какую-нибудь сторону, всегда поворачивать руль в ту же сторону, в которую падаешь. При езде «без рук» это автоматически происходит благодаря тому, что ось переднего колеса, а след-

ствие этого и центр масс вилки и колеса велосипеда, не проходит через ось руля, а лежит несколько впереди нее.

Наоборот, чтобы повернуть, надо согнуться так, чтобы наклонить велосипед в сторону поворота.

74. Можно, например, повесить кофемолку на нити. Корпус кофемолки будет вращаться в сторону, противоположную направлению вращения мотора,

75. Рассмотрим математический маятник длины  $L$  такой, что круговая частота его малых колебаний равна  $\omega$ , а амплитуда колебаний  $a' = a \frac{\omega^2}{|\omega^2 - g|}$ . Для малых колебаний можно считать, что траектории движения каждой из точек маятника являются прямыми линиями. Смещение точки  $A$  маятника, лежащей на расстоянии  $|L - l| = \left| \frac{\omega^2}{g} - l \right|$  от точки подвеса (или продолжения маятника вверх от точки подвеса, если  $\frac{\omega^2}{g} = L < l$ ), зависит от времени следующим образом:

$$x = a' \frac{L - l}{L} \cos \omega t = a \cos \omega t, \text{ если } L > l, \text{ или}$$

$$x = a \cos \left( \frac{\pi}{2} + \omega t \right), \text{ если } L < l,$$

Колебания маятника, очевидно, не изменятся, если мы выберем теперь за точку подвеса маятника точку  $A$  и будем поддерживать ее колебания такими, чтобы ее смещения остались прежними в каждый момент времени. Отсюда следует, что данный в задаче маятник будет совершать колебания, фаза которых равна  $\omega t$ , если  $\frac{\omega^2}{2} > l$  и  $\omega t + \frac{\pi}{2}$ , если  $\frac{\omega^2}{g} < l$ , амплитуда равна  $a \frac{L}{|L - l|} = a \frac{\omega^2}{|\omega^2 - g|}$  и угловая частота равна  $\omega$ .

76. В то время, когда конькобежец набирает скорость, его ноги движутся в двух разных параллельных плоскостях, находящихся на некотором расстоянии друг от друга. Резкие движения ног вызывают появление момента сил, стремящихся повернуть корпус человека вокруг вертикальной оси.

Поэтому конькобежец в такт движению ног размахивает руками, так чтобы движение соответствующих рук и ног было противофазно. При таком движении рук возникает момент сил, противодействующий моменту сил, обусловленным движением ног и компенсирующий его.

77. Моменты сил реакции, действующих на ноги, из-за которых ноги разбегаются при маленьком шате меньше, чем при большом.

78. Зерно не будет высыпаться, если угол наклона образуемой им горы, таков, что  $\operatorname{tg} \alpha = k$ .

79. Подвеска передних колес может быть, например, такой, как показано на рис. 60.

80. Если избыточное давление внутри сосиски равно  $P$ , то на единицу длины поперек сосиски приходится сила  $F_1 = \frac{P S_{\text{торца}}}{2\pi R} = \frac{P \cdot R}{2}$ , где  $R$  — радиус сечения сосиски. Вдоль же сосиски сила  $F_2 = \frac{P l 2R}{2l + 4R} \approx PR$ .  $F_2$  в 2 раза больше, чем  $F_1$ .

81. При движении ножа его «режущим сечением» является не сечение, перпендикулярное режущей кромке, как в том случае, когда мы просто надавливаем на нож, а сечение, составляющее с линией острия некоторый

угол, тем меньший, чем больше скорость ножа. Угол при вершине этого сечения меньше, чем угол при вершине сечения, перпендикулярного режущей кромке, и, следовательно, такое сечение является более острым.

82.  $\frac{M}{m} = \frac{2(R-r)}{R}$ . Рассмотрите равновесие каждого из шаров в цилиндра.

$$83. k \geq \frac{1}{1 + \sqrt{3}}$$

84. Центр тяжести стакана с водой находится в наименьшем положении, когда он совпадает с уровнем воды в стакане. Действительно, если уровень воды ниже центра тяжести системы, то, доливая воду, мы прибавляем к системе массу, центр тяжести которой лежит ниже центра тяжести системы. При этом центр тяжести системы опускается. Аналогично центр тяжести системы будет опускаться, если он расположен ниже уровня воды, а мы выливаем из стакана воду, находящуюся выше центра тяжести.

85. Потянув за одно из звеньев цепочки, ее можно привести в такое же положение, как и занимаемое стержнями. Затраченная при этом работа пойдет на увеличение потенциальной энергии цепочки, т. е. на подъем ее центра тяжести.

Это означает, что центр тяжести свободно висющей цепочки находится ниже центра тяжести стержней.

86. При уменьшении длины нити на  $\Delta l$  центр тяжести системы поднимется на  $1,5 \Delta l$ . Работа по сокращению нити есть работа по подъему системы в целом, откуда

$$1,5 \Delta l P = \Delta l \cdot F_{\text{нат}};$$

$$F_{\text{нат}} = 1,5 P.$$

88. Давление в пузырьке равно давлению на дно сосуда, т. е.  $\rho gh$ . Таким же оно останется, когда бак перевернут, так как объем пузырька не изменится. Давление на поверхность воды станет после переворачивания бака равным, таким образом,  $\rho gh$ , а, значит, давление на дно сосуда —  $2\rho gh$ .

89. Давление на дно в обоих сосудах одинаково (в противном случае жидкость не находилась бы в равновесии), поэтому, так как температуры, а следовательно, и плотности жидкостей различны, то уровень жидкости в сосуде с большей температурой и соответственно с меньшей плотностью жидкости выше, чем во втором сосуде. Нарисуем график зависимости давления в каждом из сосудов от высоты.  $P_{\text{атм}}$  — атмосферное давление. На той высоте, на которой находится верхняя трубка, давления в сосудах будут соответственно равны  $P_1$  и  $P_2$ . И так как  $P_1 > P_2$ , то при открывании краиа жидкость будет переливаться по верхней трубке из сосуда с большей температурой в сосуд с меньшей температурой. Но уровень воды в каждом из сосудов должен оставаться неизменным, так как только в этом случае давления на дно обоих сосудов будут одинаковы. А значит, по нижней трубке, соединяющей сосуда, жидкость будет перетекать из сосуда с меньшей температурой в сосуд с большей температурой (рис. 61).

90. Для того чтобы была больше «тяга» газа. Выгодно, чтобы разность температур газа в трубе и воздуха снаружи была больше; поэтому кирпичные трубы лучше железных.

91. В обоих случаях ртуть будет вытекать по трубке из барометра, расположенного выше. Уровень ртути в трубках изменяться при этом не будет. Ртуть будет перетекать из кюветы одного барометра в кювету другого.

92. Если крыса тянет за веревку с силой  $F$ , то сила, действующая на правое плечо коромысла весов, увеличивается на величину, равную этой силе. При этом чашка весов отклоняется от вертикали так, чтобы равнодействующая веса гири и силы проходила через точку чашки к коромыслу весов. Сила же, приложенная к правому плечу коромысла, равна равнодействующей веса стакана с водой и силы  $Q$ ; которая по величине равна выталкивающей силе, действующей на крысу; но направлена в другую сторону. По мере того как крыса будет вылезать из воды, эта сила будет уменьшаться. Равновесие весов нарушится.

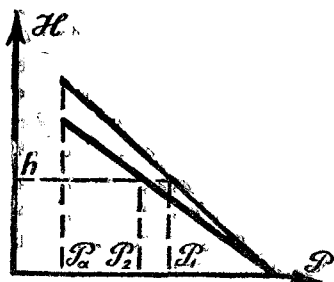


Рис. 61

93. При движении сосуда вверх с ускорением  $a$  второй закон Ньютона для плавающего тела запишется так:  $F_{\text{выт}} - mg = ma$ , или  $\rho_{\text{в}}(g+a)V' = \rho V(g+a)$ , где  $\rho_{\text{в}}$  — плотность воды,  $\rho$  — плотность вещества плавающего тела,  $V$  — объем тела,  $V'$  — объем его погруженной части.

$$\text{Отсюда } V' = \frac{\rho}{\rho_{\text{в}}} V.$$

$$\text{В неподвижном сосуде } \rho V g = \rho_{\text{в}} \frac{1}{3} V g, \text{ откуда } \frac{\rho}{\rho_{\text{в}}} = \frac{1}{3};$$

А значит,  $V' = \frac{1}{3} V$ , т. е. глубина погружения тела при движении сосуда вверх с ускорением не изменится. То же имеет место при движении вниз:

$$94. \text{ Уровень воды в обоих сосудах поднимется на } \Delta h = \frac{4m}{\rho(D_1^2 + D_2^2)\pi}.$$

95. В первой трубе (со вздутием) краска придет позже. Время от положения вздутия не зависит.

96. Пусть центр шарика слегка сместился относительно оси струи. На шарик под струей воды действуют со стороны струи две силы: сила давления, направленная к центру шарика и стремящаяся вытолкнуть шарик из-под струи, и сила трения, направленная по касательной и стремящаяся вращать шарик. Так как шарик частично погружен в воду, между шариком и водой действуют силы вязкости, вращение шарика вызовет его качение в сторону струи. При достаточно больших отклонениях центра шарика от оси струи горизонтальная составляющая силы давления уменьшается,

а, действие трения увеличивается. Поэтому шарик будет возвращаться под струю. Таким образом, шарик будет колебаться под струей. При слабой струе возвращающие силы будут слабы, колебания шарика будут происходить медленнее и с большей амплитудой. Если амплитуда колебаний превысит радиус, то он выскочит из-под струи.

97. Из-за вихрей, образующихся при обтекании дюн ветром, с наветренной стороны дюн образуется спокойная зона с пониженным давлением. В этой зоне выпадает песок, захваченный ветром с подветренной стороны.

Так же объясняется перемещение песчаных отмелей.

98. Траектория тела, брошенного под углом к горизонту, в среде с сопротивлением является некоторой кривой, отличной от параболы, но точная форма кривой нас не интересует.

Рассмотрим силы, действующие на тело на восходящем и нисходящем участках траекторий.

Вертикальная составляющая силы сопротивления  $F_c$  на восходящем участке траектории складывается с силой тяжести  $mg$ , а на нисходящем участке вычитается. Значит, в любой точке восходящего участка вертикальная сила по величине больше силы тяжести, а на нисходящем меньше. Следовательно, вертикальная составляющая ускорения тела на любой высоте на восходящем участке больше, чем вертикальная составляющая ускорения на той же высоте на нисходящем участке. Так как в верхней точке подъема вертикальная составляющая скорости равна 0, то она на любой высоте на восходящем участке больше, чем на нисходящем, а потому время подъема будет меньше времени спуска.

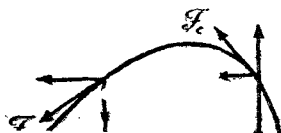


Рис. 62

99. При испарении капли ее радиус  $r$  уменьшается. При этом сила сопротивления воздуха, пропорциональная  $r^2$ , уменьшается медленнее, чем вес капли, пропорциональный  $r^3$ . (Их отношение, обратно пропорциональное  $r$ , увеличивается с уменьшением радиуса), Поэтому скорость движения капли с течением времени становится меньше.

100. Вперед.

101. В начале движения реактивного снаряда его скорость относительно самолета в течение некоторого промежутка времени меньше скорости самолета. Поэтому относительно воздуха снаряд движется в том же направлении, что и самолет, т. е. стабилизаторами вперед. Стабилизаторы разворачивают снаряд в направлении движения самолета так, чтобы его сопротивление набегающему потоку воздуха было минимальным; затем за счет реактивной тяги скорость снаряда увеличивается, и он догоняет самолет.

## ТЕРМОДИНАМИКА

102. При измерении температуры термометр должен нагреться от комнатной температуры до температуры тела, т. е. на  $15-17^\circ \text{C}$ , «Страхнуть»

же термометр можно уже тогда, когда его температура понизится на  $2-3^{\circ}\text{C}$ , так как шкала термометра начинается с  $34^{\circ}\text{C}$ . Необходимо учесть еще то, что при нагревании и остывании тел скорость изменения их температуры пропорциональна разности температур тела и среды и поэтому зависимость температуры термометра от времени имеет вид, изображенный на рисунке 63. Это приводит к тому, что время остывания термометра до температуры, при которой его можно «страхнуть», намного меньше времени измерения температуры.

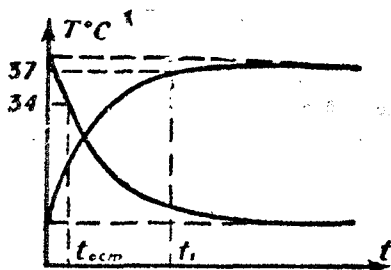


Рис. 63

103. Бумага горит значительно медленнее пластмассы, поэтому, частично сгорев, пластмассовый пруток гаснет, из-за недостатка кислорода и воспламеняется вновь, когда бумага до него догорит.

105. При  $0 < T < T_1$  коэффициент теплового расширения растет при увеличении температуры. При  $T = T_1$  он скачком уменьшается и дальше уже не зависит от температуры.

106. Останется.

107. На солнце свинцовый лист нагревается и от этого расширяется. Так как при этом сила тяжести способствует движению вниз по крыше, то верхний край листа поднимается вверх на несколько меньшее расстояние, чем то, на которое перемещается вниз нижний край. При охлаждении листа ночью верхний край опускается вниз несколько больше, чем нижний край поднимается вверх и в целом лист опять сползает вниз.

108. Два тела, имеющие различную температуру, обмениваются между собой теплом посредством теплового излучения. При этом более нагретое тело больше излучает тепла, чем менее нагретое. Соответственно менее нагретое тело больше поглощает тепла, чем излучает. В конце концов температура тел выравнивается и наступает тепловое равновесие.

109. См. предыдущую задачу.

110. Когда мы прикасаемся к деревянным предметам, имеющим плохую теплопроводность, нагревается только небольшой участок предмета под пальцем. Металл же, обладающий хорошей теплопроводностью, нагревается весь. Это приводит к большому теплоотводу от пальца и его охлаждению.

111. Теплопроводность чугуна меньше, чем теплопроводность алюминия. Поэтому температура внутренней поверхности чугунной сковороды меньше, чем алюминиевой, и продукты при жарке не подгорают.

112. Количество тепла, передаваемого стержню, находящемуся в пламени, пропорционально площади его боковой поверхности. Теплоотвод же вдоль стержня пропорционален площади поперечного сечения стержня. Поэтому повышение температуры находится в прямой зависимости от отношения площади боковой поверхности к площади поперечного сечения. Это отношение обратно пропорционально радиусу стержня.

Поэтому тепловое равновесие толстого стержня наступает при значительно меньшей температуре, чем тонкой проволоки.

113. Теплоотвод происходит с поверхности нити. Поэтому температура внутри нити должна быть выше, чем на поверхности, так как должен существовать подвод тепла к поверхности.

114. В первом случае лампочка накаливания не горит, так как тепло от нити отводится через водород, находящийся в колбе. После погружения лампочек в гелий водород вымерзает и лампочка накаливания загорается. В неоновой лампочке неон тоже замерзает, и разряд гаснет.

115. Мала скорость ветра. Охлаждение носа за счет теплообмена значительно превышает его нагревание за счет трения о воздух.

116. Когда воздух выдувают тонкой струей, его скорость велика. Поэтому давление в струе меньше атмосферного, отчего струей захватывается окружающий холодный воздух, не насыщенный водяными парами.

В другом случае выдыхается теплый, насыщенный парами воздух, скорость которого мала. Он-то и попадает на руку.

117. Количество тепла, отдаваемое нагретым телом окружающей среде в единицу времени пропорционально разности температур тела и среды. Поэтому для нагревания воды во втором случае потребуется больше тепла, так как большее количество тепла будет отдано окружающему воздуху.

118. Киловаттным, так как при этом вода нагреется быстрее и, следовательно, меньше тепла будет отдано окружающему воздуху.

119. При растворении сахара температура чая уменьшается. Кроме того, чай остывает за счет теплообмена с воздухом. При этом если сахар растворить сразу же, то воздуху будет отдано меньше тепла (см. №№ 117 и 102) и, следовательно, первый человек будет пить более горячий чай.

120. При повышении давления температура плавления льда действительно понижается. Однако при плавлении льда поглощается теплота плавления и температура льда под проволокой начинает падать. Это происходит до тех пор, пока температура льда в области повышенного давления не упадет до температуры плавления при этом давлении. Дальнейшее плавление льда будет определяться теплом, которое вследствие теплопроводности будет приходить к области пониженной температуры. При использовании проволоки это тепло будет проводиться за счет хорошей теплопроводности металла от замерзающей сверху воды, и процесс разрезания льда будет быстрым. При использовании капроновой нити, обладающей малой теплопроводностью, тепло будет проводиться главным образом за счет охлаждения всего бруска льда в целом, и процесс разрезания пойдет очень медленно.

122. Давление воздуха под ведром определяется весом груза и остается неизменным. Поэтому при уменьшении температуры объем воздуха под ведром также уменьшается. Поскольку величина атмосферного давления не меняется, разность уровней воды в водоеме и внутри ведра также не меняется. Это означает, что при понижении температуры ведро углубится в воду.

123. При погружении широкого сосуда.

124. Масса газа в сосуде находится из уравнения Клайперона-Менделеева  $PV = \frac{m}{\mu} RT$ , где  $P = \frac{mg}{s}$ . Разница сил давления на дно и крышку равно весу газа  $mg$ .



125. Равновесие возможно только тогда, когда поршни соединены стержнем и  $\frac{P_0 S}{(m_1 + m_2) g} > 2$ . При этом поршни сместятся вниз на расстояние  $x = \frac{P_0 S}{(m_1 + m_2) g} - 1$ .

126. Массы газов находятся из уравнения Клайперона-Менделеева:  $m_1 = \mu_1 \frac{PV}{2RT}$ ;  $m_2 = \mu_2 \frac{PV}{RT}$ , где  $\mu_1$ ,  $\frac{P}{2}$ ,  $V$  и  $T$  — молекулярный вес, давление, объем и температура азота,  $\mu_2$ ,  $P$ ,  $V$  и  $T$  — соответствующие величины для углекислого газа.

Центр тяжести системы до перемешивания смещен относительно центра сосуда в сторону газа с большей массой на расстояние  $x$ , которое находится из условия

$$m_1 g \left( \frac{l}{2} + x \right) = m_2 g \left( \frac{l}{2} - x \right).$$

Откуда  $x = \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1} \frac{l}{4}$ . После подстановки выражений для масс и сокращений имеем  $x = \frac{2\mu_2 - \mu_1}{2\mu_2 + \mu_1} \frac{l}{4}$ .

После того как перегородка потеряла свою герметичность и газы перемещаются, центр тяжести смеси газов будет посередине сосуда. Так как на сосуд не действуют никакие внешние силы, положение центра тяжести системы не может измениться. Это означает, что сосуд сместится на расстояние  $x$ .

Подставляя значения молекулярных весов, находим, что сосуд смещается на расстояние  $\frac{15}{116} l$  в сторону углекислого газа.

127. Из объединенного газового закона  $\frac{PV}{T} = \text{const}$  имеем, что  $T = \frac{PV}{\text{const}}$ . Подставляя сюда  $P = \frac{b}{V^n}$ , находим  $T = \frac{\text{const}}{V^{n-1}}$ . Так как  $n < 1$ , то при расширении газ нагревается.

128. Указание. Начертить в плоскости  $P, T$  изохоры (прямые  $P = \text{const} \left( \frac{T}{V} \right)$ ).

129. Известно, что при данных давлении и температуре в равных объемах содержится одинаковое количество молекул любого газа. Поэтому в обоих сосудах общее число молекул будет одинаковым. Но молекулярный вес у воздуха больше, чем у воды. Поэтому сосуд с влажным воздухом будет более легким.

130. Нет. Когда температура воды в маленькой кастрюле достигнет  $100^\circ \text{C}$ , к ней перестанет подводиться тепло. А без подвода тепла на парообразование кипение невозможно.

131. При конденсации пара выделяется тепло.

132. В обоих коленах трубки над поверхностью воды находятся только насыщающие пары воды, давление которых, как известно, не зависит от объема.

133. Давление внутри стакана при обеих температурах одинаково и определяется из условия равновесия стакана:

$$mg = (p - p_0) \cdot s.$$

При начальной температуре давление внутри стакана = это давление воздуха. После нагрева до  $100^\circ$  давление насыщающего водяного пара в стакане становится равным атмосферному  $P_0$ . На столько же должно уменьшиться давление воздуха за счет его расширения.

К находящемуся в стакане воздуху можно применить уравнение газового состояния.

$$\frac{PV_1}{T_1} = \frac{(P - P_0) V_2}{T_2},$$

Поскольку

$$P = P_0 + \rho gh;$$

$$V_1 = sh;$$

$$V_2 = s(h + \Delta h),$$

получаем

$$\frac{(P_0 + \rho gh) hs}{T_1} = \frac{\rho gh (h + \Delta h) s}{T_2}.$$

Учитывая, что  $mg = \rho ghs$ , приходим к уравнению

$$\frac{P_0 + g \frac{m}{s}}{T_1} = \frac{\rho g \left( \frac{m}{\rho s} + \Delta h \right)}{T_2}.$$

Отсюда

$$\Delta h = \frac{1}{\rho g} \left[ \left( p_0 + \frac{mg}{s} \right) \frac{T_2}{T_1} - \frac{mg}{s} \right].$$

134. Указание. Учесть работу, совершаемую при поднятии центра тяжести всей воды в стакане и против сил атмосферного давления.

135. Пар на улице является насыщающим. В помещении при закрытой форточке вследствие испарения воды из белья пар также стал бы насыщающим и белье бы перестало высыхать. Однако температура на улице ниже, чем в помещении, значит, плотность пара на улице меньше, чем в помещении. Поэтому через открытую форточку часть пара из помещения будет переходить на улицу и пар в помещении будет оставаться ненасыщающим. Белье при этом будет сохнуть.

136. Уровни воды в сосудах находятся на разной высоте. Поэтому давление пара над поверхностью воды в сосудах будет различным. Дав-

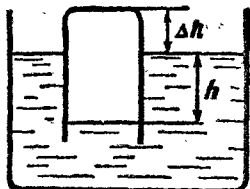


Рис. 64

жене пара над водой в сосуде с меньшим количеством жидкости будет больше на величину веса столба пара высоты  $h$  с площадью основания  $1 \text{ см}^2$  (рис. 65). Следовательно, пар будет всегда испаряться с поверхности воды, расположенной на более высоком уровне, и конденсироваться у поверхности воды, расположенной на более низком уровне.

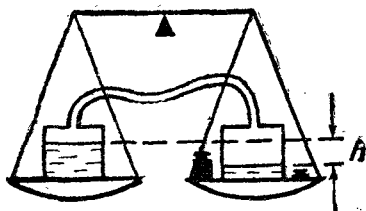


Рис. 65

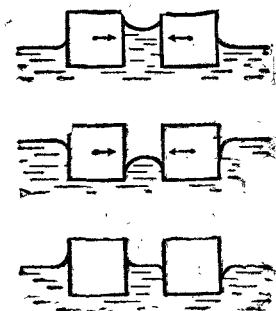


Рис. 66

137. Давление пара над поверхностью воды в кювете и в капилляре не одинаковое (см. предыдущую задачу). Поэтому пар и над кюветой и в капилляре может быть насыщающим и никакого потока пара не будет.

138. Можно. Из-за смачивания чернила растекутся по стенкам баллона авторучки и будут подаваться к перу по капилляру.

139. Будем обозначать через  $l$  высоту поднятия жидкости в капилляре:  $l = \frac{2\sigma}{\rho g r}$ . Чтобы вода могла подняться по трубке, нужно, чтобы  $l > h$ , а для того чтобы она начала вытекать через нижний конец,  $H > l$ . Тогда получаем, что жидкость будет вытекать, если  $\frac{g\rho \cdot 2h}{2} < \sigma < \frac{g\rho 2H}{2}$ . Подставляя данные задачи, получим  $69,3 \text{ дн/см} < \sigma < 73,5 \text{ дн/см}$ . Отсюда диапазон температур  $17^\circ \text{C} < T < 45^\circ \text{C}$ .

$$140. Q = mgh - 2\pi r^2 Q \left( \sqrt[3]{n} - 1 \right),$$

141. Рассмотрим взаимодействие чистых концов спичек. В этом случае поверхность воды принимает вид, изображенный на рис. 66. На высоте  $h$  справа от пластины давление воды  $p = p_0 = \rho gh$ , а слева давление воздуха равно атмосферному  $p_0$ . Поэтому сила, действующая, например, на левую спичку, со стороны жидкости будет меньше силы, действующей со стороны воздуха, и спички будут притягиваться. Когда концы обеих спичек покрыты парафином, то поверхность воды здесь принимает вид, изображенный на рис. 66, и рассмотрение, аналогичное проведенному выше, приводит к тому же результату. Поверхность воды в случае «разноимейных» концов изображена на рис. 66, и рассмотрев силы, действующие на конец спички слева и справа, мы придем к выводу, что концы спичек отталкиваются.

142. Нити брезента, из которого сделана палатка, не смачиваются водой. Поэтому на потолке палатки удерживаются капли воды, радиус которых равен половине размера  $a$  ячейки, образуемой нитями. Эти капли

будут орываться, если слой воды, покрывающий крышу палатки, больше,

$$\text{чем } h = \frac{2\sigma}{\rho g \frac{a}{2}}.$$

Если прикоснуться к мокрой ткани рукой, то несколько капель сливаются в одну значительно большего радиуса. Эта капля уже не удерживается капиллярными силами (сила поверхностного натяжения, удерживающая каплю, при увеличении радиуса капли растет пропорционально радиусу, а вес капли — пропорционально квадрату радиуса капли, т. е. значительно быстрее). Потолок палатки начинает протекать.

143. Для нагревания шара, стоящего на подставке, потребуется больше тепла, так как при расширении от нагревания его центр тяжести повышается и необходимо затратить часть тепла на увеличение потенциальной энергии шара. У висящего шара центр тяжести понижается.

144. При нагревании газа при постоянном давлении он расширяется. Если цилиндр находится в положении 2, то газ при расширении совершает работу, затрачиваемую на поднятие поршня, т. е. на увеличение потенциальной энергии поршня и на увеличение потенциальной энергии самого газа, так как при расширении газа в цилиндре центр тяжести газа поднимается. Эта работа совершается за счет подводимого к газу тепла. Если же цилиндр находится в положении 1, то поршень опускается. Работа по уменьшению потенциальной энергии газа и потенциальной энергии поршня совершается силой тяжести. Таким образом, из закона сохранения энергии следует, что в этом случае для нагревания газа до температуры  $T$  требуется меньше тепла, чем когда цилиндр находится в положении 2.

145. Может. Если совершаемая газом работа больше подводимого к газу тепла, то газ будет охлаждаться, а значит, его теплоемкость будет отрицательной.

146. При взрыве давление газа в цилиндре возрастает скачком и велико. Из-за инерции поршня и шатуна они не могут быстро набрать скорость и поэтому сильно деформируются. На это уходит часть энергии. При правильной регулировке двигателя смесь сгорает сравнительно медленно и давление в цилиндре все время примерно одно и то же.

Кроме того, при взрыве газа его температура больше температуры смеси при медленном сгорании. Поэтому возрастают потери энергии из-за теплоотдачи.

## ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

148. См. рис. 67,

150. Воспользоваться законом сохранения энергии  $\varphi e = \left( 2 \frac{e}{a} + \frac{e}{a\sqrt{2}} \right) =$   
 $= \frac{m\varphi^2}{2}$ , где  $e$  — заряд,  $m$  — масса электрона,  $\varphi$  — потенциал поля, создаваемого зарядами, находящимися в трех вершинах квадрата, в его четвертой вершине.

151. Указание. Удобно перейти в систему отсчета, связанную с центром масс электронов.

152. Ускорения стержней одинаковы и равны  $\frac{g}{2}$ . Для того чтоб сообщить электрону внутри стержня это ускорение, мы должны приложить к нему силу  $\frac{mg}{2}$ , где  $m$  — масса электрона, поэтому в стержнях происходит перераспределение электронов, такое, чтобы внутри стержней существовало электрическое поле, направленное вдоль движения. Обозна-

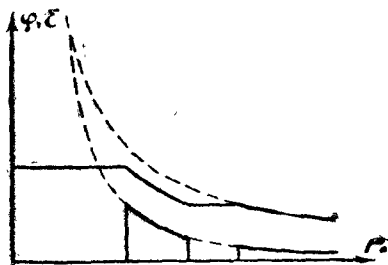


Рис. 67

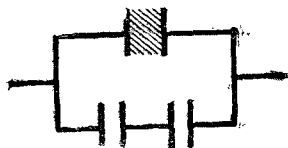


Рис. 68

чая через  $E_1$  и  $E_2$  напряженности этого поля для горизонтально и вертикально движущихся стержней, соответственно имеем

$$\frac{mg}{2} = eE_1;$$

$$\frac{mg}{2} = mg - eE_2.$$

Откуда  $E_1 = E_2 = \frac{mg}{2e}$ . Поскольку все электроны движутся с одинаковым ускорением, поле в стержне постоянно по всей длине, т. е. однородно.

Поэтому для искомой разности потенциалов имеем  $\Delta\varphi_1 = \Delta\varphi_2 = \frac{mgl}{2e}$ .

154. При подключении тела  $B$  к источнику оно оказывается заряженным до потенциала, равного разности потенциалов между зажимами источника, которую мы обозначим через  $\varphi$ . Так как заряд тела  $B$  оказывается при этом равным  $q_0$ , то электрическая емкость тела  $B$  есть  $C_B = \frac{q_0}{\varphi}$ .

После переключения ключа в положение II потенциалы тел  $A$  и  $B$  уравниваются, причем после первого переключения имеем

$$\frac{q_0 - q_1}{C_B} = \frac{q_1}{C_A}.$$

Откуда  $C_A = \frac{q_0 q_1}{(q_0 - q_1)\varphi}$ .

После очень большого числа переключений ключа  $K$  проводник  $A$  зарядится до потенциала  $\varphi$ . Поэтому на нем будет заряд

$$Q = C_A \varphi = \frac{q_0 q_1}{q_0 - q_1}.$$

155. Увеличится вдвое. Эквивалентная схема показана на рис. 68.

156. Сопротивление конденсатора  $R = \rho \frac{l}{s} \frac{\epsilon_p}{4\pi C}$ . Разность потенциалов  $U$  между обкладками конденсатора по закону Ома равна  $RI$ . Напряженность поля внутри конденсатора  $E_0 = \frac{RI}{d}$ ;

Сила электростатического взаимодействия между электродами — это сила, действующая на заряд  $Q$ , находящийся на одном из электродов, в поле напряженностью  $E$ , создаваемом зарядом  $Q$  на другом электроде

$$\vec{F} = QE.$$

Поэтому, используя, что  $Q = C \cdot U$  и  $E = \frac{E_0}{2}$ , имеем

$$F = \frac{1}{2dc} \left( \frac{\epsilon pl}{4\pi} \right)^2.$$

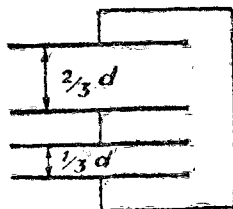


Рис. 69

158. Схема эквивалентна двум параллельно включенным конденсаторам (рис. 69). Так как разности потенциалов между их обкладками одинаковы,

$$\text{то } \frac{q_1}{q_2} = \frac{C_{I-II}}{C_{II-III}}.$$

Кроме того, очевидно,  $q_1 + q_2 = Q$ .

159. В начальном состоянии заряд  $q$  на обкладках конденсатора  $C_2$  определяется формулой  $q = C_2 E_2$  (падение напряжения на сопротивлении  $R$  равно нулю, так как в цепи не идет ток). В конечном состоянии после вдвигания пластины и установления равновесия заряд на обкладке конденсатора  $C_2$  станет равным  $q' = \epsilon C_2 E_2$ . Поэтому заряд  $Q - q' = q(\epsilon - 1) C_2 E_2$  должен перетечь с одной пластины конденсатора  $C_2$  на другую. Часть заряда  $q$  может при этом перетечь через сопротивление  $R$ , часть через посредство конденсатора  $C_1$ , который во время процесса может заряжаться или разряжаться.

Однако поскольку заряд на обкладке конденсатора  $C_1$  после установления равновесия должен стать таким же, каким он был до вдвигания пластины, то через сопротивление  $R$  за все время процесса пройдет весь заряд  $Q$ .

160. После внесения проводника потенциалы точек  $A$  и  $B$  становятся одинаковыми.

$$162. \quad R_1 = r; \quad R_2 = \frac{R}{1 + \frac{R}{r}}; \quad R_3 = \frac{rR - r^2}{R}. \quad \text{См. рис. 70.}$$

163. Из симметрии очевидно, что при измерении емкости цепочки между точками 1 и 2, разность потенциалов между двумя любыми другими точками: 3, 4, 5, 6 ... равна нулю. Это означает, что включенные между этими точками конденсаторы не заряжены и поэтому они не дают вклада в емкость системы. Тогда данная цепочка эквивалентна схеме, приведенной на рис. 71.

Емкость цепи равна поэтому  $\frac{nC}{2}$ .

164. При включении цепи с конденсаторами в сеть переменного тока каждый из конденсаторов будет вести себя как сопротивление, обратно пропорциональное его емкости. Общее сопротивление такой цепочки будет

пропорционально  $\frac{1}{C_{\text{общ}}}$ . Очевидно,  $\frac{\frac{1}{c}}{\frac{1}{C_{\text{общ}}}} = \frac{R}{R_{\text{общ}}}$ , откуда  $C_{\text{общ}} = \frac{Rc}{R_{\text{общ}}}$ .

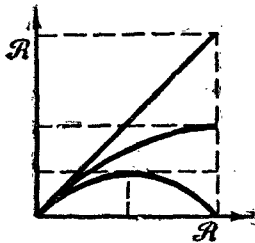


Рис. 70

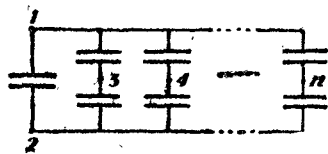


Рис. 71

165. Сопротивление цепи 16 ом. Поэтому ток через батарею будет равен  $\frac{5}{8}$  а. Потенциалы точек, к которым подключен гальваниметр, равны (падением напряжения на гальванометре пренебрегаем). Поэтому этот ток распределяется между сопротивлениями 40 и 10 ом, как при их параллельном соединении, т. е. обратно пропорционально величинам этих сопротивлений. Легко видеть, что в данной схеме токи через одинаковые сопротивления должны быть одинаковыми. Разность величин этих токов и есть ток, текущий через гальваниметр.

166. Напряжение на  $k$ -батареях  $u = kE - krl$ , где  $I$  — ток в цепи.

По закону Ома  $I = \frac{nE}{nr} = \frac{E}{r}$ . Поэтому  $u = 0$ .

167. Достаточно сделать два измерения (рис. 72). Первое позволяет определить внутреннее сопротивление амперметра,  $r_a = \frac{I_1}{I_1}$ , а второе — величину неизвестного сопротивления.  $R_{ID} = \frac{I_2}{I_2} = R_x + r_a$ , откуда  $R_x =$

$$= \frac{I_2}{I_2} - r_a.$$

Третье измерение позволяет определить величину внутреннего сопротивления вольтметра:  $r_v = \frac{I_3}{I_3}$ .

168. Ответ зависит от того, какой из приборов лучше. Если мы измеряем сопротивление  $R_x$  по первой схеме, то мы знаем напряжение  $u$  на этом сопротивлении, а ток, идущий через него, точно неизвестен. Неточность

В измерении тока  $\Delta i$  при известном напряжении приводит к неточности  $\Delta R_x$  в определении  $R_x$ , которая легко находится из закона Ома:

$$iR_x = u; \quad i\Delta R_x + R_x\Delta i = 0.$$

Обозначая через  $R_B$  внутреннее сопротивление вольтметра, имеем  $\Delta iR_B = iR_x$ .

Поэтому  $\Delta R_x = R_x \frac{\Delta i}{i} = \frac{R_x^2}{R_B}$ . Для второй схемы аналогично получаем  $\Delta R_x^1 = R_a$ , где  $R_a$  — внутреннее сопротивление амперметра. Таким образом, если  $\frac{R_x}{R_B} < \frac{R_a}{R_x}$ , то выгоднее пользоваться первой схемой, и наоборот.

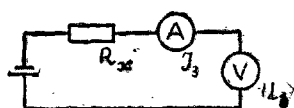
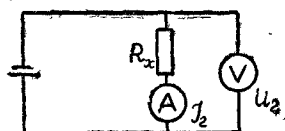
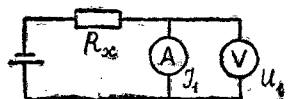


Рис. 72

169. Зарядив оба конденсатора от источника до разности потенциалов  $E$ , составим цепь, изображенную на рис. 73. При этом заряды на конденсаторах перераспределяются,

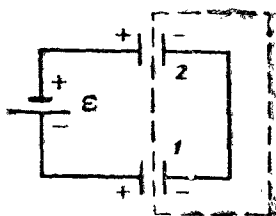


Рис. 73

Обозначая заряды на конденсаторах после перераспределения через  $q_1$  и  $q_2$ , а напряжения через  $U_1$  и  $U_2$ , имеем

$$E + U_1 - U_2 = 0;$$

$$q_1 + q_2 = 2CE.$$

Откуда  $U_1 = \frac{E}{2}$ ;  $U_2 = \frac{3}{2}E$ . Снова зарядив теперь конденсатор 1 до разности потенциалов  $E$ , соберем ту же схему. Теперь  $U_2$  станет равным  $\frac{7}{4}E$ . Повторяя эту операцию много раз, можно зарядить конденсатор 2 до разности потенциалов, сколь угодно близкой к  $2E$ . Соединив теперь последовательно источник, конденсатор 1, заряженный до напряжения  $E$  и конденсатор 2, можно получить на концах цепи напряжение, сколь угодно близкое к  $4E$ .

170. При замыкании батареи на конденсатор он полностью зарядится. При этом через гальванометр пройдет заряд  $Q = CE$ . Отклонение стрелки гальванометра пропорционально прошедшему через гальванометр заряду  $a = kCE$ .



После подключения сопротивления через батарею потечет ток  $I$  и разность потенциалов на ее зажимах  $U$  уменьшится,  $U = E - Ir$ , где  $I = \frac{E}{R+r}$ .

Заряд конденсатора станет равным  $Q_2 = CU = CE \frac{R}{R+r}$ .

При этом через гальванометр пройдет заряд, равный

$$Q_1 - Q_2 = cE \frac{r}{R+r}$$

Стрелка гальванометра отклонится влево на угол

$$\beta = k \cdot C \cdot E \cdot \frac{r}{R+r} = a \frac{r}{R+r}$$

171. Когда язычок подключен к источнику, конденсатор заряжается до некоторого напряжения  $u$ . При этом на его обкладках появляются заряды  $Q = Cu$ . При переключении язычка происходит разрядка конденсатора. Таким образом, через плечо мостика, в которое включен конденсатор, течет средний ток  $i = Cuf$  при напряжении на нем  $U$ . Следовательно, эффективное сопротивление этого плеча равно  $\frac{1}{Cf}$ . Записав условие баланса моста

$$\frac{R_1}{R_0} = \frac{\frac{1}{Cf}}{R_2}, \text{ найдем } C = \frac{R}{R_1 R_2} \cdot \frac{1}{f}$$

172. У старой батареи большое внутреннее сопротивление. Из закона Ома для полной цепи легко видеть, что увеличение внутреннего сопротивления батареи приводит к уменьшению тока в цепи.

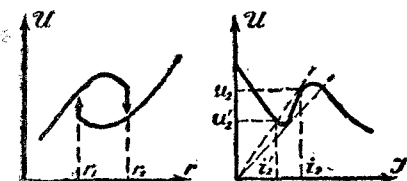


Рис. 74

173. Если в цепи течет ток  $I$ , то падение напряжения на сопротивлении  $r$  будет  $Ir$ . Поэтому при заданном значении сопротивления ток в цепи и напряжение на сопротивлении графически находятся как координаты точки пересечения прямой  $U = Ir$  с вольтампер-

ной характеристикой источника (рис. 74).

При увеличении сопротивления реостата угол наклона этой прямой к осью  $I$  будет расти. При этом будет увеличиваться напряжение на сопротивлении. Сопротивление, соответствующее положению 1 прямой, будем обозначать через  $r_1$ . Начиная с этого значения сопротивления ток в цепи может иметь три значения. Однако вплоть до сопротивления  $r_2$  ток будет непрерывно изменяться. Положение 2 соответствует неустойчивости в системе. Небольшое уменьшение тока приводит к его скачкообразному ослаблению до величины  $i'_2$  (рис. 74). При этом напряжение на сопротивлении тоже уменьшается скачком. При дальнейшем увеличении сопротивления реостата напряжение на нем будет непрерывно возрастать. При выводе реостата неустойчивость возникает при сопротивлении  $r_1$ .

174. Батарея гальванических элементов имеет конечное внутреннее сопротивление. Поэтому напряжение на лампе меньше э. д. с. батареи на

величину падения напряжения на внутреннем сопротивлении. Если разрядить через лампу конденсатор, то все напряжение падает на лампу. По мере разрядки конденсатора напряжение на лампе уменьшается, но если взять конденсатор большой емкости, то заряд, накопленный в нем, будет большим и в течение достаточного промежутка времени разность потенциалов между обкладками конденсатора (а следовательно, и напряжение на лампе) будет практически постоянным.

175. При протекании электрического тока через электролит электроды поляризуются. Возникает э. д. с. поляризации, направленная против приложенной э. д. с. Через некоторый промежуток времени разность потенциалов между обкладками конденсатора сравнивается с э. д. с. поляризации и через электролит перестает течь ток, т. е. не весь заряд проходит через электролит. При последовательном соединении ванн э. д. с. поляризации складываются. Чем больше ванн соединено последовательно, тем меньший заряд проходит через них.

176. Легко видеть, что  $E = U(I) + IR$ , где  $U(I)$  — напряжение на диоде. Ток  $I$  в цепи находится, как координата точки пересечения вольтамперной характеристики диода  $U(I)$  с прямой  $E - IR$ .

177. Количество тепла, которое выделяется в цепи при постоянном напряжении источника, обратно пропорционально сопротивлению цепи, т. е. тем больше, чем меньше сопротивление цепи. Сопротивление данной цепи, очевидно, максимально, а значит, в ней будет выделяться минимальное количество тепла, если движок находится в точке, диаметрально противоположной точке  $A$ . Действительно, пусть сопротивление половинки кольца равно  $r$ . Тогда сопротивление цепи, когда движок находится в точке  $B$ ,

равно  $R = \frac{rr}{r+r} = \frac{r}{2}$ . При смещении движка из точки  $B$  сопротивление одной половинки кольца увеличивается, а другой — уменьшается на некоторую величину, которую обозначим  $x$ . Сопротивление цепи в этом случае будет равно  $R_1 = \frac{(r+x)(r-x)}{r+x+r-x} = \frac{r}{2} - \frac{x^2}{2r}$ .

Очевидно,  $R_1$  всегда меньше  $R = \frac{r}{2}$ .

179. Лампочки одинаковой мощности соединяются параллельно между собой и последовательно с лампочками другой мощности.

180. Нить лампочки нагревается не сразу. Так как сопротивление ненагретой нити мало, то некоторое время после включения лампочки в сеть через нее течет большой ток. Сопротивление тонких участков нити больше сопротивления таких же по длине других, более толстых участков. Поэтому на тонких участках выделяется больше тепла. Теплопровод же, пропорциональный площади поверхности участка, меньше, чем в случае толстого участка. Это приводит к тому, что тонкие участки нагреваются значительно быстрее всей нити. Причем при нагревании сопротивление тонкого участка возрастает, что приводит к еще большему выделению тепла и нагреванию. Увеличение сопротивления тонкого участка мало влияет на сопротивление всей нити и через нить все еще идет большой ток. Все это приводит к перегреву тонкого участка и его сгоранию.

Если диаметр тонкого участка мало отличается от диаметра нити, то

вся нить успевает нагреться, а значит, ток через нее уменьшится до безопасной величины.

181. При подключении концов проволоки к источнику напряжения через нее потечет ток. Проволока будет нагреваться. При этом она удлинится и ее сопротивление увеличивается. Это приведет к уменьшению тока, а следовательно, и количества выделяющегося в проволоке тепла. Длина проволоки уменьшится и т. д.

182. Если бы постоянный магнит отсутствовал, частота колебаний мембраны наушника была бы в 2 раза больше частоты тока, питающего наушник, так как мембрана притягивается к катушке вне зависимости от напряжения тока в катушке.

Для того чтобы обойтись без постоянного магнита, можно, например, последовательно или параллельно с цепью питания магнита включить источник постоянного тока, сила которого превышает амплитудное значение силы тока сигнала.

183. Во втором случае через прибор пройдет больший заряд,

$$\Delta q = \frac{\varepsilon}{R} \Delta t \approx \frac{\Delta \Phi}{R}.$$

В обоих случаях магнитный поток через контур уменьшается, но в первом случае поток изменяется от одного положительного значения до другого (меньшего), а во втором — от того же начального значения до нуля и дальше.

185. Если проволоки, образующие квадраты, не пересекаются, то

$$\frac{I}{I_0} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{\varepsilon_0} = 2k(k-1) + 1,$$

Если же они пересекаются, то  $\frac{I}{I_0} = 2k - 1$ .

186. Указание. Так как в сверхпроводящем контуре не может действовать э. д. с. (по закону Ома ток в контуре при этом должен быть бесконечным), то магнитный поток через сверхпроводящий контур всегда остается неизменным.

187. Если кольцо сверхпроводящее, то при его движении ток в кольце будет нарастать так, чтобы общий поток магнитной индукции через кольцо не менялся (см. предыдущую задачу). В какой-то момент времени сила, действующая на кольцо со стороны магнита, уравнивает вес кольца, но поскольку кольцо будет иметь в этот момент какую-то скорость, то оно проскочит положение равновесия и будет двигаться дальше до тех пор, пока возросшая сила взаимодействия с магнитом не обратит его скорость в нуль и не заставит двигаться назад. При этом при прохождении через положение равновесия кольцо будет иметь скорость, направленную вверх. Кольцо опять пройдет через положение равновесия и т. д. Так как при прохождении по сверхпроводнику тока тепло не выделяется, то возникнут незатухающие колебания относительно положения равновесия.

Если кольцо несверхпроводящее, то величина тока будет определяться э. д. с. в данный момент, т. е. скоростью движения. Она будет обращаться

в нуль — при обращении скорости в нуль. Поэтому в этом случае кольцо будет падать, но не свободно, а как если бы оно двигалось в вязкой жидкости.

188. Когда язычок замыкает цепь, образуется сверхпроводящий контур, магнитный поток через который не может измениться. Поэтому не меняется и ток через соленоид.

189. Магнитное поле внутри катушки пропорционально числу витков. Так как каждая силовая линия этого поля пронизывает контур катушки столько раз, сколько витков в катушке, то поток индукции через катушку, а следовательно, и ее индуктивность пропорциональны квадрату числа витков.

190. Через катушку будет течь постоянный ток.

191. Вначале ток увеличится, потом станет равным начальному.

192. Через короткозамкнутый виток потечет большой ток и он расплавится.

193. Магнитный поток в ядре первого трансформатора пропорционален числу  $n$  витков в его первичной обмотке, а в ядре второго пропорционален соответственно  $3n$ . Так как каждая силовая линия пронизывает контур обмотки столько раз, сколько витков в обмотке, то э. д. с. самоиндукции, возникающая в обмотке, пропорциональна квадрату числа витков. Сумма э. д. с. самоиндукции в первичной обмотке первого и вторичной обмотке второго в пренебрежении падением напряжения на этих обмотках должна равняться 100 в:

$$an^2 + 9an^2 = 100,$$

где  $a$  — коэффициент пропорциональности.

С другой стороны, для искомого напряжения  $U$  имеем

$$I = 3ann + 3an n.$$

Определив  $an^2$  из первого уравнения, находим, что  $U = 60$  в.

195. По закону Ленца вращающий момент, с которым магнитное поле статора действует на генераторную обмотку якоря, противоположен по направлению вращающему моменту обмотки якоря, работающей в режиме двигателя. По величине же оба момента должны быть одинаковы (в предположении, что якорь вращается равномерно). Это означает, что силы токов в обеих обмотках якоря также равны между собой. Понятно, что одинаковы и э. д. с. индукции  $E$ .

Поэтому

$$I = \frac{U - \varepsilon}{R}, \quad I = \frac{\varepsilon}{R + r}.$$

Исключив  $E$ , получаем:

$$I = \frac{U}{2R + r}.$$

196. Свое изображение, перевернутое по сравнению с изображением в обычном зеркале.

197. Дорожка образуется из-за отражения лунного света мелкими волнами. Длина дорожки определяется размером волн и высотой Луны.

199. Погрузить этот порошок в глицерин, показатель преломления которого близок к показателю преломления стекла.

200. Матовая поверхность равномерно рассеивает падающие на нее лучи во все стороны.

Если стекло положено матовой стороной вниз, освещенность этой поверхности не равномерна. Поэтому интенсивность света, рассеянного различными участками этой поверхности, различна.

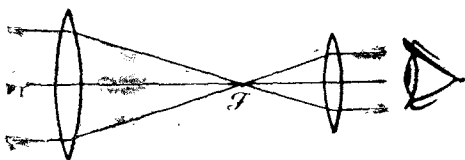


Рис. 75

Если стекло положено матовой стороной вверх, то пучки света, отраженные от различных участков чертежа, перекрываются на матовой поверхности. Матовая поверхность освещена почти равномерно и поэтому из-за рассеяния ею света чертежи разобрать нельзя.

201. Когда рыба рассматривается с моста, лучи от нее, идущие в глаз, падают на поверхность воды под малым углом и поэтому их отражение от поверхности является велико по сравнению с тем случаем, когда рыба рассматривается с высокого берега.

Кроме этих лучей, в глаз попадают лучи от Солнца, которые создают общий слепящий фон. Если наблюдатель стоит на мосту, в его глаза попадают солнечные лучи, падающие под меньшим углом, чем в том случае, когда он стоит на берегу. Поэтому эти лучи меньше отражаются от поверхности воды и фон в этом случае менее яркий.

204. Положение фокусов линзы для света с разной длины волны несколько отличается друг от друга.

206. Нет. Если линза находится в среде, показатель преломления которой больше показателя преломления материала линзы, то двояковыпуклая линза — рассеивающая и двояковогнутая — собирающая.

207. Труба Галилея дает изображение источника с той же стороны от оси трубы, с которой находится источник, а труба Кеплера — с противоположной. Поэтому изображение предмета повернется на угол  $(\Gamma - 1)\alpha$  в случае трубы Галилея и на угол  $(\Gamma + 1)\alpha$  в случае трубы Кеплера.

209. При рассматривании планеты в телескоп глаз аккомодируя на бесконечность и фокусирует на сетчатке параллельные пучки лучей.

Диаметр светового пучка, выходящего из окуляра телескопа (рис. 75)

$$d = \frac{F_2}{F_1} \cdot d_0$$

в каждом из случаев равен

$F_1$ (мм)	50	25	100
$d$ (мм)	5	2,5	10

Так как диаметр зрачка глаза  $d_0$  равен примерно 5 мм, то в первом и во втором случае на сетчатку глаза будет попадать весь световой поток, поступающий в объектив, а в третьем случае — только  $k = \frac{d_0^2}{d^2} = \frac{1}{4}$  части светового потока.

Угол зрения, под которым рассматривается изображение планеты, данное объективом, обратно пропорционален фокусному расстоянию окуляра, а значит, площадь изображения на сетчатке обратно пропорциональна  $F_2$ .

Площадь изображения планеты при  $F_2 = 10$  мм в 4 раза меньше, чем площадь в том случае, когда  $F_2 = 5$  мм. Если же  $F_2 = 2,5$  мм, то площадь изображения в 4 раза больше.

Поэтому при  $F_2 = 25$  мм освещенность изображения на сетчатке в 4 раза меньше, чем при  $F_2 = 50$  мм, а при  $F_2 = 100$  мм освещенность изображения на сетчатке останется такой же, как при  $F_2 = 50$  мм.

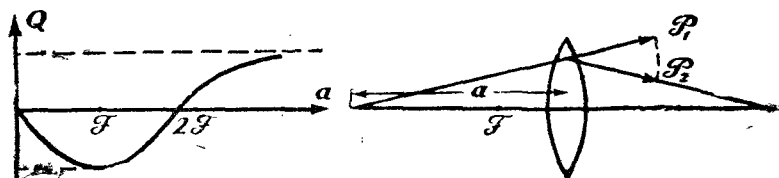


Рис. 76

210. При прохождении линзы импульс света меняется. Если источник находится на оптической оси линзы, то полное изменение импульса света, падающего на линзу, в плоскости, перпендикулярной оптической оси, равно нулю. Поэтому на линзу действует сила, параллельная оптической оси.

В случае собирающей линзы, если  $0 < a < 2F$ , то проекция импульса света до прохождения линзы на оптическую ось меньше проекции импульса света, прошедшего через линзу (рис. 76), поэтому сила, действующая на линзу, направлена к источнику.

Если  $a > 2F$ , то эта сила направлена от источника. Примерный график зависимости силы  $Q$ , действующей на линзу, изображен на рис. 76.

211. При этом уменьшается диаметр зрачка глаза, что приводит к увеличению глубины резкости.

212. Если поглощение энергии линзой отсутствует, то на крупинку попадает вся энергия  $E$ , падающая от источника на линзу. Но эта энергия пропорциональна телесному углу, под которым видна линза из точки, в которой находится источник. Телесный же угол обратно пропорционален

квадрату расстояния от источника до линзы. Поэтому  $\frac{E_1}{E_2} = \frac{a_2^2}{a_1^2}$  и значит,

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{a_2^2}{a_1^2}, \text{ т. е. } t_2 = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^2 t_1.$$

213.  $\frac{1}{25}$  сек.

214. Матовый колпак равномерно рассеивает свет от лампы. Поэтому, хотя яркость нити накаливания лампочки очень велика, яркость матового колпака (т. е. световой поток, излучаемый с единицы поверхности колпака) мала. Сравнительно невелика и яркость изображения колпака на сетчатке глаза.

215. О форме блестящих предметов мы судим обычно по бликам на их поверхности.

При рассеянном же освещении блики отсутствуют.

216. Площадь изображения фонаря, даваемого хрусталиком, обратно пропорциональна квадрату расстояния до источника, но и световой поток, падающий на зрачок, тоже обратно пропорционален квадрату расстояния до источника, поэтому освещенность изображения не зависит от расстояния до фонаря.

217. Прозрачные окна отражают меньше света, чем стены домов.

218. Так как внутренняя поверхность сферы света не поглощает, то рано или поздно установится равновесие между попадающей в сферу световой энергией и выходящей из нее, т. е. сфера будет являться идеальным отражателем света.

Каждый элемент полости сферы должен излучать на всю сферу столько же световой энергии, сколько и получает.

Но поток энергии, излучаемой всей сферой на отверстие, равен падающему потоку. Отсюда следует, что освещенность всех точек полости сферы будет такой же, какой была бы освещенность плоского экрана, установленного у отверстия в сфере.

Точка же, диаметрально противоположная отверстию, облучается двумя способами: первичным пучком и всей сферой, оба потока при равновесии равны, следовательно, она будет в 2 раза более сильно освещена, чем все другие точки сферы.

219. Сние,



Редактор *И. Б. Шустова*  
Обложка *Н. А. Перовой*  
Художественный редактор *Т. И. Добровольнова*  
Технический редактор *А. С. Ковалевская*  
Корректор *Е. Э. Ковалевская*

А 12742. Сдано в набор 10/XI 1967 г. Подписано к печати 11/XII 1967 г.  
Формат бумаги 60×90/16. Бумага типографская № 2. Бум. л. 3,0.  
Печ. л. 6,0. Уч.-изд. л. 5,43. Тираж 322 000 экз. (2-й завод 22 001—172 000 экз.).  
Издательство «Знание», Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4. Заказ 2677.  
Набрано в Московской тип. № 8 Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР, Хохловский пер., 7. Отпечатано в тип. изд-ва «Знание», Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.  
Зак. тип. 2008.  
Цена 18 коп.