

УДК 534

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Национальный исследовательский технологический университет
«МИСиС»

С. М. КУРАШЕВ

ФИЗИКА ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Задачи для семинарских и практических занятий.

Москва 2011

Часть 1.

Пропедевтическая физика

Раздел 1. Основы классической физики

Первый и второй компоненты компетентности

Раздел содержит 130 (250) задач и вопросов, охватывающих традиционные проблемы механики и молекулярной физики, области курса физики, которые мы отнесли к первому и второму компоненту компетентности, и предусмотренные программой курса физики для средней школы (как профильной, так и общеобразовательной). В виду достаточно слабой физико-математической подготовки выпускников современной средней школы в преподавании Общей физики вообще, и «Физики волновых процессов» как раздела Общей физики (так же, как и спецкурса), в частности, возникают порой непреодолимые проблемы. Мы видим решение стоящей задачи в «мягком» вхождении в образ. В данном случае последнее означает изучение физической проблематики без отягчающих понимание математических изысков. Концентрируя внимание обучаемого контингента, прежде всего на физической сути изучаемого явления, мы приобретаем положительный импульс поступательного продвижения в процессе понимания достаточно сложных физических задач и явлений. Назовем подобный пропедевтический подход – олимпиадным. Основной целью олимпиадного подхода, принятого в МИСиС в настоящее время, является подготовка студентов и (как начальный элемент) абитуриентов к проблеме углублённого изучения физики и математики (основательная физико-математическая подготовка), умеющих мыслить самостоятельно и нетрадиционно.

Задачи подобраны так, чтобы превратить процесс решения в увлекательную творческую работу, позволяющую глубже понять физические законы и явления, воспитать элементы физической интуиции. В разделе 1 задачи снабжены ответами, в ряде случаев приведены указания к решениям. Задачи последующих разделов носят специальный характер в рамках тематики изучаемого предмета «Физики волновых процессов» и предназначены для самостоятельной подготовки к семинарским занятиям. Ввиду последнего замечания ответы к ним предлагается определять изучающим предмет студентам.

Раздел «Основы классической физики» можно рекомендовать при самостоятельной подготовке к олимпиадам абитуриентов, а также при подготовке к ЕГЭ и вступительным экзаменам в Высшие учебные заведения.

Глава 1.1. МЕХАНИКА

1.1. 1. Кинематика. Сложение скоростей

1. Два тела движутся по прямым, которые пересекаются под углом $\alpha = 60^\circ$. Скорости тел одинаковы и равны $V = 10$ м/с. В начальный момент времени тела находились на расстоянии $l = 20$ м в точках O_1 и O_2 (рис. 1). Определить промежуток времени, через который расстояние между телами будет наименьшим и найти это расстояние.

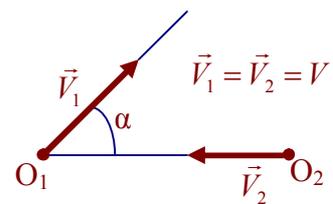


Рис. 1

2. По гладкому горизонтальному столу со скоростью V движется чёрная доска. Какой формы след оставит на ней мел, брошенный горизонтально со скоростью U перпендикулярно направлению движения доски?
3. Во время дождя по дороге движется автомобиль со скоростью U . Определить отношение количества воды, которое попадёт в его кузов, к количеству, попавшей в кузов неподвижного автомобиля за тот же промежуток времени. Капли дождя падают вертикально.
4. Самолёт летит по прямой из города M в город N и обратно. Найти отношение полных времён полёта в случаях, когда от M к N дует ветер, скорость которого равна U , и когда ветер той же силы дует перпендикулярно линии MN . Скорость самолёта относительно воздуха в том и другом случае равна C .
5. Источник света находится на расстоянии l от плоского экрана. В начальный момент времени плоский предмет высоты h начинает равномерно двигаться со скоростью V от источника к экрану, оставаясь при этом параллельным ему. Найти зависимость скорости края тени на экране от времени.
6. Вычислить путь, пройденный телом за восемь секунд, если его скорость выражается формулой: $V = 3t + 5$ (м/с). Ответ выразить в единицах СИ.
7. Самолёт, пробежав расстояние 750 м за 15 с при равноускоренном движении, взлетел в воздух. Определить скорость самолёта при взлёте.
8. Два тела свободно падают с одной и той же высоты с интервалом времени 2 с. Через сколько секунд удвоится расстояние, разделявшее тела к моменту начала движения второго тела?
9. Из вертолёт, равномерно поднимающегося вверх со скоростью 6 м/с, на высоте 200 м брошен предмет со скоростью 12 м/с относительно вертолёт. Определить, через какое время и на какой высоте предмет вновь окажется в вертолёт и какую скорость будет при этом иметь предмет относительно земли и относительно вертолёт.

10. На учебных стрельбах необходимо было поразить в минимальное время снаряд, выпущенный вертикально вверх со скоростью 1000 м/с, вторым снарядом, скорость которого на 10% меньше. Выстрелы производятся с одного и того же места. Через сколько секунд после первого должен быть произведён второй выстрел? Сопротивление воздуха не учитывать.
11. Камень, брошенный горизонтально, упал на землю через 0,5 с на расстоянии 5 м по горизонтали от места бросания. С какой высоты и, с какой скоростью был брошен камень?
12. Какую горизонтальную скорость имел самолёт при сбрасывании бомбы с высоты 500 м, если бомба упала на расстоянии 400 м от места бросания?
13. Камень бросают со скоростью V_0 под углом α к горизонту. Через какое время вектор скорости будет составлять угол β ($\beta < \alpha$) с горизонтом?
14. Наибольшая высота подъёма тела, брошенного под углом к горизонту, 1,0 м, а радиус кривизны траектории в точке наивысшего подъёма 3,0 м. Определить начальную скорость тела.
15. Цель, находящаяся на вершине холма, видна под углом α к горизонту с того места, где находится орудие. Как должен быть направлен ствол орудия к горизонту, чтобы попадание было точным, если начальная скорость снаряда V_0 , а высота холма h .
16. Пушка установлена на расстоянии L от вертикального обрыва высотой H . Насколько близко к основанию обрыва смогут падать снаряды, если их начальная скорость V_0 ?
17. Из пушки делают две серии выстрелов, наклонив ствол под углами 30° и 40° к горизонту. В каком случае попадания снарядов будут более кучными, если разброс вызван неточным прицеливанием, а не разбросом начальных скоростей снарядов. Сопротивлением воздуха пренебречь.

1.1.2. Динамика прямолинейного движения

18. Тело массой m движется с ускорением a под действием двух сил F_1 и F_2 . Найти угол между направлениями действующих сил. Какому условию должны удовлетворять параметры m , a , F_1 , F_2 , чтобы задача имела решение?
19. Два груза массами 0,2 кг (m) и 4 кг (M) связаны нитью и лежат на горизонтальном гладком столе. К первому грузу приложена сила $F_1 = 0,2\text{Н}$, ко второму в противоположном направлении – сила $F_2 = 0,5\text{Н}$. С каким ускорением будут

двигаться грузы и какова сила натяжения соединяющей их нити? Решить задачу в общем виде и сделать вывод о силе натяжения нити в случае, когда $m \ll M$.

20. Гладкая доска массы m может двигаться без трения по наклонной плоскости с углом наклона α к горизонту. С каким ускорением должен бежать по доске муравей массы M , чтобы доска не соскользнула с наклонной плоскости?

21. На горизонтально расположенном дне прямоугольного желоба лежат брусок массы M и соприкасающийся с ним клин массы m , который может скользить по бруску (рис.2, вид сверху). Правая вертикальная часть бруска скошена под углом α . Брусок может перемещаться вдоль желоба, боковые стенки которого служат направляющими. Нормально к левой вертикальной грани бруска прикладывается сила F . С каким ускорением начнёт двигаться брусок? Трением между всеми соприкасающимися поверхностями пренебречь.

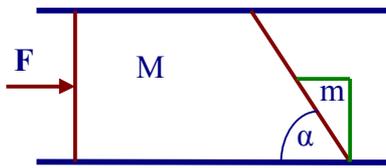


Рис.2

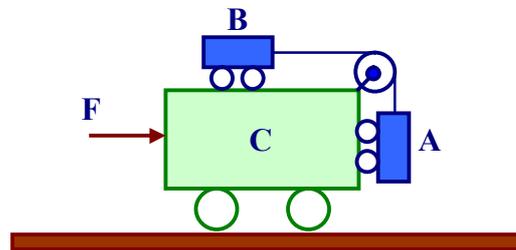


Рис.3

22. Система тел, представленная на рис.3, образована тремя тележками А, В, С, массы которых соответственно $m_1 = 300\text{г}$, $m_2 = 200\text{г}$, $m_3 = 1500\text{г}$. На тело С действует горизонтальная сила F такой величины, что тела А и В находятся в состоянии покоя относительно тележки С. Определить натяжение нерастяжимой нити, соединяющей тележки А и В и величину силы F .

23. В системе, показанной на рис.4, даны массы M и m . Какой величины должна быть масса m_x , чтобы груз массой m был неподвижен относительно точки А подвеса всей системы? Трение не учитывать, блоки и нить невесомы.

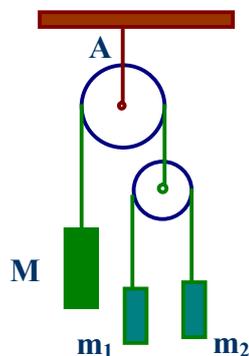


Рис. 4

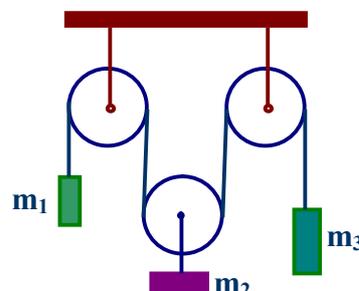


Рис. 5

24. Система состоит из двух блоков с неподвижными осями и одного подвижного (рис.5). Через блоки перекинута нить, на концах которой подвешены грузы с массами m_1 и m_3 , а к оси подвижного блока подвешен груз массой m_2 . Участки

- нити, не лежащие на блоках, вертикальны. Определить ускорение каждого из грузов. Массами блоков и трением пренебречь.
25. Нарисовать график зависимости силы трения, действующей на брусок, находящийся на наклонной плоскости, от угла наклона плоскости к горизонту.
 26. Нарисовать график зависимости силы трения, действующей на брусок, находящийся на горизонтальной поверхности, от угла, который составляет приложенная к бруску сила с горизонтом. Приложенная сила по величине меньше веса бруска, а угол меняется от 0° до 180° .
 27. Тело скользит равномерно по наклонной плоскости с углом наклона α к горизонту. Определить коэффициент трения.
 28. По деревянным сходням, образующий угол α к горизонту, втягивают за верёвку ящик. Коэффициент трения ящика о сходни составляет μ . Под каким углом к горизонту следует направить верёвку, чтобы с наименьшим усилием втягивать ящик: а) равномерно; б) с заданным ускорением a ?
 29. При скоростном спуске лыжник шёл по склону $\varphi = 45^\circ$, не отталкиваясь палками. Коэффициент трения лыж о снег $k=0.1$. Сопротивление воздуха пропорционально квадрату скорости: $F_c = \alpha \cdot V^2$, где $\alpha = 0.7 \text{ Н/м/с}^2$. Какую максимальную скорость может развить лыжник, если его масса $m = 90 \text{ кг}$?
 30. По обледенелой дороге обычно идут, делая маленькие шаги. С какой шириной шага должен идти человек, чтобы не упасть, если длина его ног равна 1 метру, а коэффициент трения подошв обуви о дорогу равен 0.1?
 31. Тонкостенный цилиндр катится по горизонтальной поверхности с ускорением a . Брусок, размерами которого можно пренебречь, скользит по внутренней поверхности цилиндра так, что угол между радиус-векторов, проведённым к нему из центра цилиндра перпендикулярно его к оси, и вертикалью остаётся постоянным. Найти этот угол, если коэффициент трения бруска о поверхность цилиндра равен k .

1.1.3. Импульс. Изменение импульса. Соударения тел

32. На две частицы – одну массой m , летящую со скоростью V , другую массой $2m$, летящей со скоростью $2V$, направленной перпендикулярно скорости первой, в течение некоторого времени действуют одинаковые по величине и направлению силы. К моменту прекращения действия силы частица массы m поворачивается и начинает двигаться в обратном направлении со скоростью $2V$. С какой скоростью стала двигаться вторая частица?
33. Два шарика падают в облаке пыли. Во сколько раз отличаются скорости шариков, если диаметр одного из них в два раза больше диаметра другого? Соударения частичек пыли с шариками считать упругими.
34. Кубик из пенопласта массой $M = 100\text{г}$ лежит на горизонтальной подставке. Высота кубика $a = 10\text{см}$. Снизу кубик пробивает вертикально летящая пуля массой $m = 10\text{г}$.

Скорость пули при входе в кубик $V_1 = 100$ м/с, а при выходе $V_2 = 95$ м/с.
Подпрыгнет ли кубик?

35. Железнодорожный состав идёт с постоянной скоростью $V = 72$ км/ч по горизонтальному участку пути. На сколько должна измениться мощность, развиваемая локомотивом, чтобы состав с той же скоростью продолжал двигаться во время сильного вертикального дождя? Считать, что каждую секунду на состав падает $m = 100$ кг воды, которая затем стекает на землю по стенкам вагонов. Изменением силы трения пренебречь.

36. U – образная трубка движется с постоянной скоростью V параллельно поверхности жидкости (рис.6). Сечение нижней части трубки, опущенной в воду, равно S_1 , а верхней, находящейся над водой – S_2 . Какая сила приложена к трубке? Плотность жидкости ρ . Трением и образованием волн на поверхности жидкости пренебречь.

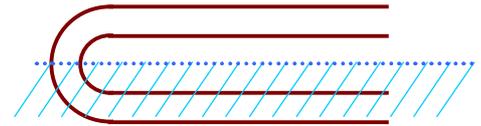


Рис. 6

37. Лёгкий шарик, летящий горизонтально со скоростью V , упруго сталкивается с тяжёлой плитой, движущейся навстречу со скоростью U . Плита вертикальна. Найти скорость шарика после соударения.
38. Шарик массой m_1 , движущийся со скоростью V , налетает на покоящийся шарик массы m_2 . Происходит абсолютно упругий центральный удар. Найти, при каком соотношении масс m_1 и m_2 шарики разлетятся после удара в противоположные стороны с равными по величине скоростями?
39. Частица массы m , движущаяся со скоростью V , налетает на покоящуюся частицу массы $m/2$ и после упругого удара отскакивает под углом 30° к направлению первоначального движения. С какой скоростью начнёт двигаться вторая частица?
40. Ядро массы m , летящее со скоростью V , распадается на две части одинаковой массы, причём один из осколков деления летит со скоростью U под углом α к направлению полёта ядра до распада. Найти скорость и направление полёта второго осколка.

41. Маленький кубик массы m налетает со скоростью V на тело массы M , стоящее на гладкой горизонтальной поверхности, и скользит по стенке тела без трения. Стенка имеет форму цилиндрической поверхности радиуса R (рис.7). Кубик достигает точки А. Найти скорости кубика и тела в этот момент.

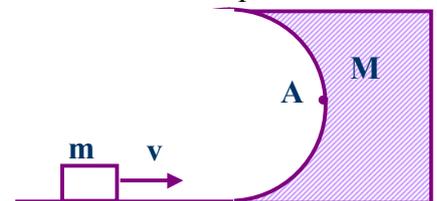


Рис. 7

42. Имеется очень маленькая неподвижная наклонная плоскость с углом при основании α . На неё налетают горизонтально два шарика: сначала первый, который отскакивает упруго, а затем второй, отскакивающий неупруго. При каком значении угла α шарики улетят на одинаковое расстояние?

1.1.4. Статика

43. Найти и обосновать положение центра тяжести в произвольном однородном треугольнике.
44. Однородная балка лежит на платформе так, что один её конец, составляющий четверть длины, свешивается с платформы. К этому концу балки приложена сила, направленная вертикально вниз. Когда величина силы достигнет 3000Н, противоположный конец балки начинает приподниматься. Определить вес балки.
45. Труба массы m лежит на земле. Какое минимальное вертикальное усилие надо приложить для того, чтобы приподнять её за один из концов?
46. Шар радиуса R и массы m стоит перед ступенькой высоты h . Какую минимальную силу надо приложить к центру шара, чтобы он приподнялся на ступеньку (рис.8)?

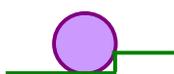


Рис. 8

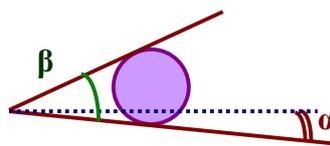


Рис. 9

47. Шар массы m опирается на две гладкие плоскости, образующие двугранный угол. Нижняя плоскость наклонена к горизонту под углом α , а верхняя – под углом β к нижней. Определить силы, с которыми шарик давит на плоскости.
48. Фонарь весом 200Н подвешен на тросе над серединой улицы, ширина которой 10м. Трос разрывается под действием силы 1000Н. На какой высоте нужно укрепить концы троса, чтобы он не разорвался, если фонарь находится на высоте 6м?
49. Шарик массой 400г подвешен в точке А на нити длиной $l = 15$ см и лежит на поверхности сферы радиуса $R = 40$ см (рис.10). Расстояние от точки А до поверхности сферы $a = 8$ см. Определить натяжение нити.

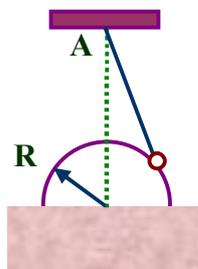


Рис. 10

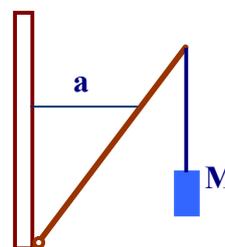


Рис. 11

50. Подъемное устройство, изображённое на рис.11, состоит из однородного стержня длиной L и массой m . Устройство своим нижним концом шарнирно связано со стенкой (может свободно вращаться). Стержень образует с вертикалью постоянный угол благодаря горизонтально натянутому тросу, который соединён со стержнем на

расстоянии l от шарнира. Длина троса a . Груз массой M подвешен к верхней точке стержня. Найти натяжение троса.

51. Палочка массы m одним концом упирается в угол между стеной и полом. В стене на высоте, равной длине палочки, просверлено гладкое отверстие, через которое проходит нить, привязанная к верхнему концу палочки. Другой конец нити перекинут через блок, и на нём висит некоторый груз (рис. 12). Какова должна быть величина груза, чтобы палочка из любого начального положения всегда прижималась к стене?

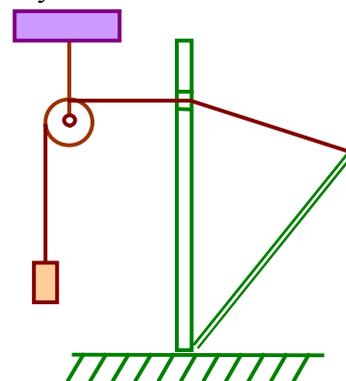


Рис. 12

1.1.5 Работа, мощность, энергия

52. Найти КПД наклонной плоскости с коэффициентом трения k . Угол наклона плоскости к горизонту α .
53. С горы высотой h скатываются санки с грузом, общей массой m . Какую работу необходимо совершить, чтобы поднять санки обратно на гору от места остановки, двигаясь назад по траектории спуска?
54. Определить мощность, развиваемую лошадью, когда она тянет в гору с постоянной скоростью V сани массой m с коэффициентом трения полозьев о снег k . Угол наклона горы α .
55. В вагоне,двигающемся с горизонтальным ускорением a , с потолка упал небольшой предмет массы m . Считая удар предмета о пол абсолютно неупругим, определить количество выделившейся теплоты. Высота вагона h .
56. Доска массы m и длины l лежит на горизонтальном полу. Коэффициент трения доски о пол k . Какую работу надо совершить, чтобы повернуть доску в горизонтальной плоскости на малый угол α вокруг одного из концов?
57. Грузовики, снабжённые мощностями N_1 и N_2 , развивают скорости соответственно V_1 и V_2 . Какова будет скорость грузовиков, если их соединить тросом?
58. Маленький свинцовый шарик объёмом $V = 0.02 \text{ см}^3$ равномерно падает в воде. Какое количество тепла выделится при перемещении шарика вниз на 6м ? Плотность свинца $\rho = 11.3 \text{ г/см}^3$.
59. Шарик радиусом $r = 15\text{мм}$ и массой $m = 5\text{г}$ погружён в воду на глубину $h = 30\text{см}$. Когда шарик отпустили, он выпрыгнул из воды на высоту $h_1 = 10\text{см}$. Какая часть механической энергии шарика перешла в тепло из-за трения шарика о воду?

1.1.6. Законы сохранения

60. На мячик с высоты 1 м падает кубик, подскакивающий затем почти на 1 м. На какую высоту подскакивает мячик?
61. Рабочий забивает железный гвоздь массой 50 г в доску и ударяет 20 раз молотком, масса которого 0.5 кг и конечная скорость 10 м/с. На сколько градусов нагревается гвоздь, если предположить, что половина выделившейся при ударе теплоты идёт на его нагревание? Считать, что после удара молоток неподвижен.
62. Две горизонтальные полуплоскости, расположенные на высоте h одна над другой, плавно переходя друг в друга. По верхней полуплоскости под углом α к направлению движения на спуск движется со скоростью V небольшой брусок. Как (под каким углом) он будет двигаться по нижней полуплоскости? Считать, что брусок не подпрыгивает.
63. Два одинаковых шарика соединены невесомым стержнем длины l_0 . Система расположена на горизонтальной плоскости и приводится во вращение. Начальная скорость каждого из шариков V_0 , коэффициент трения о плоскость k . Сколько оборотов сделает система до остановки?
64. Два одинаковых шарика связаны нитью. Найти высоту подъёма этой системы, если один из шариков бросили вверх со скоростью V .
65. Из духового ружья стреляют в спичечный коробок, лежащий на расстоянии $l = 30$ см от края стола. Пуля массы $m = 1$ г, летящая со скоростью $V_0 = 150$ м/с, пробивает коробок и вылетает из него со скоростью $V = V_0/2$. Масса коробка $M = 50$ г. При каких значениях коэффициента трения между коробком и столом коробок упадёт со стола?
66. В покоящийся шар массы M , подвешенный шарнирно на несжимаемом стержне, попадает пуля массой m , летевшая со скоростью V под углом α к стержню. Какое количество теплоты Q при этом выделится и на какую высоту h поднимется шар, если пуля в нём застревает?
67. Математический маятник длиной l и массой m раскачивают следующим образом. Каждый раз, когда маятник проходит положение равновесия, на него в течение короткого промежутка времени действует сила F , направленная параллельно скорости. Через сколько колебаний маятник отклонится на 90° .
68. Подставку, на которой лежит тело, подвешенное на пружине, начинают опускать с ускорением a . В начальный момент пружина не растянута. Через какое время тело оторвётся от подставки? Масса тела M , жёсткость пружины k .
69. Два тела массами m и $m - M$, связанные идеальной пружиной жёсткости k , находятся на гладкой горизонтальной поверхности. В теле массой $m - M$ застревает горизонтально летящая по линии, соединяющей центры масс тел, пуля массы M . Скорость пули при подлёте V . Найти минимальное расстояние между телами, если

в начальном положении расстояние было l , и при этом пружина не была напряжена.

70. Самолёт садится на палубу авианосца, имея скорость 108 км/ч . Зацепившись за канат торможения, он пробегает путь $S = 30 \text{ м}$ до полной остановки. Определить перегрузку, испытываемую пилотом массы $m = 70 \text{ кг}$ при посадке, считая, что коэффициент упругости каната не меняется при его растяжении.
71. Брусок весом P удерживается в воздухе N струями воды, бьющими вертикально вверх из отверстия сечением S каждое. Скорость воды при выходе из отверстия равна V . Отталкиваясь от бруска, вода разлетается в горизонтальной плоскости. На какой высоте над отверстиями удерживается брусок? Плотность воды ρ .

1.1.7. Динамика криволинейного движения

72. Точечное тело массой m подвешено на нерастяжимой нити длиной l . Какую минимальную скорость нужно сообщить телу, чтобы оно вращалось в вертикальной плоскости? Как изменится ответ, если заменить нить жёстким невесомым стержнем той же длины?
73. Малый тяжёлый шарик на нити вращается в вертикальной плоскости. Показать, что шарик не может вращаться, если нить не в состоянии выдержать натяжение T , превышающее вес шарика в 6 раз.
74. Однородный стержень массы m и длины l вращается с угловой скоростью ω в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси, проходящей через его конец. Определить натяжение T в стержне в сечении, находящемся на расстоянии a от оси вращения.
75. Груз массы m прикреплен к стержню длины l . Другой конец стержня шарнирно прикреплен к вертикальной оси. Нарисовать примерный график зависимости угла α , образуемого стержнем с вертикалью, от угловой скорости вращения оси.
76. Замкнутая металлическая цепочка соединена нитью с осью центробежной машины и вращается с угловой скоростью ω в горизонтальной плоскости. При этом нить составляет угол α с вертикалью. Найти расстояние от центра тяжести цепочки до оси вращения.
77. Двойной маятник вращается вокруг вертикальной оси так, что обе нити лежат в плоскости с осью, при этом нити составляют постоянные углы: β – нижняя, α – верхняя. Длины нитей одинаковы и равны l . Найти угловую скорость вращения маятника.
78. На горизонтальной поверхности находится абсолютно гладкая полусфера радиуса $R = 180 \text{ см}$. В верхней её точке без начальной скорости соскальзывает малое тело. В некоторой точке оно оторвется от полусферы и полетит свободно. Определить время t свободного падения.
79. По выпуклому мосту с радиусом кривизны R движется мотоциклист массы m со скоростью V . Определить силу, с которой мотоциклист давит на поверхность моста

в точке, направление на которую из центра кривизны моста составляет угол α по отношению к вертикали.

80. Конькобежец на ледяной дорожке старается пройти вираж как можно ближе к внутренней бровке. Велосипедист на велотреке проходит вираж, отклоняясь от бровки. Как объяснить это различие в движении конькобежца и велосипедиста?

81. Определить силу, действующую на вертикальную стенку со стороны падающей гантели в момент, когда ось гантели составляет угол α с горизонтом (рис.13). Гантель начинает своё движение без начальной скорости. Вес каждого шара гантели P , расстояние между центрами шаров значительно превышает их радиусы, трением пренебречь.

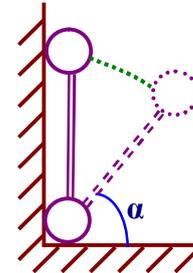


Рис. 13

82. Спортивный молот – это ядро на тросике, которое бросают, раскрутив вокруг себя с достаточной скоростью. Найти максимальное расстояние, которое может пролететь молот, если удерживающее усилие спортсмена перед броском в n раз превышает вес молота. Расстояние от оси вращения до ядра вдоль тросика l . Соппротивлением воздуха и ростом спортсмена пренебречь.

1.1.8. Закон всемирного тяготения. Спутники.

83. Космонавт массой 100кг находится вне космического корабля массой 5т на фале длиной 64м. Найти натяжение фала, если корабль находится между космонавтом и Землёй на линии, соединяющей их центры тяжести. Считать, что корабль движется по круговой орбите, высота которой пренебрежительно мала по сравнению с радиусом Земли ($R_3 = 6400\text{км}$).

84. Две звезды вращаются вокруг общего центра масс с постоянными по абсолютной величине скоростями V_1 и V_2 с периодом T . Найти массы звёзд и расстояние между ними.

85. На высоте $h = 200\text{км}$ плотность атмосферы равна $\rho = 1,6 \cdot 10^{-10} \text{ кг/м}^3$. Оценить силу сопротивления, испытываемую спутником с поперечным сечением $S = 0,5\text{м}^2$ и массой $m = 10\text{кг}$, летящем на этой высоте. Насколько изменяется радиус орбиты за один полный оборот спутника?

86. Космический корабль движется к Луне под влиянием её притяжения. На большом расстоянии от Луны скорость корабля относительно Луны была нулевой. Ускорение силы тяжести на поверхности Луны в $n = 6$ раз меньше, чем на Земле ($g_{\text{л}} = g/6$). Радиус Луны – около 1700км. На какой высоте h должен быть включён тормозной двигатель для осуществления мягкой посадки, если считать, что двигатели создают 5-кратную перегрузку ($5g$). Изменением массы корабля при торможении за счёт сгорания топлива и зависимостью силы притяжения Луны от расстояния на этапе торможения можно пренебречь ($h \ll R$).

1.1.9. Гидростатика. Сообщающиеся сосуды

87. Тело в жидкости с плотностью $\rho_{ж}$ весит в k раз меньше, чем в воздухе. Определить плотность ρ тела.
88. Дубовый шар лежит в сосуде с водой так, что половина его находится в воде и давит на дно сосуда. Определить силу давления, если вес шара в воздухе 6 Н ? Плотность дуба 0.8 г/см^3 .
89. Мяч радиуса R плавает в воде так, что его центр выше поверхности воды на h ($R > h$). Какую работу необходимо совершить, чтобы полностью погрузить мяч в воду?
90. На поверхности воды плавает деревянный брусок квадратного сечения. Какое из двух положений равновесия, показанных на рис. 14, будем устойчивым? Плотность материала бруска в два раза плотности воды.



Рис. 14

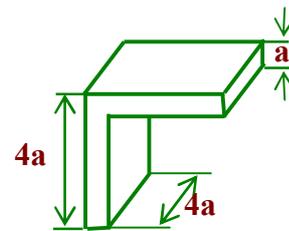


Рис. 15

91. На дне сосуда с жидкостью, плотность которой ρ , стоит Г-образное тело с размерами, указанными на рис. 15. Жидкость под нижнюю грань тела не подтекает. Плотность материала тела $\rho_0 = 2\rho$. При какой высоте h уровня жидкости в сосуде равновесие тела нарушится ($h > 4a$)?
92. Сосуд с жидкостью плотности ρ падает с ускорением a . Определить давление жидкости на глубине h и силу давления жидкости на дно сосуда. Высота уровня жидкости в сосуде H , площадь дна S .
93. Два вертикальных цилиндрических сообщающихся сосуда заполнены жидкостью и закрыты поршнями массы $M_1 = 2\text{ кг}$ и $M_2 = 3\text{ кг}$ (рис. 16). Когда на первый поршень положили гирию массы $m = 1\text{ кг}$, то в положении равновесия он установился на $h = 10\text{ см}$ ниже второго поршня. Когда эту гирию переставили на второй поршень, то он оказался на 10 см ниже первого. Как расположатся поршни в отсутствие гири?

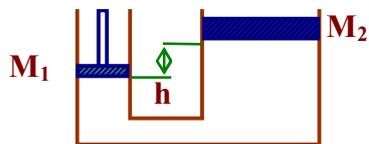


Рис. 16

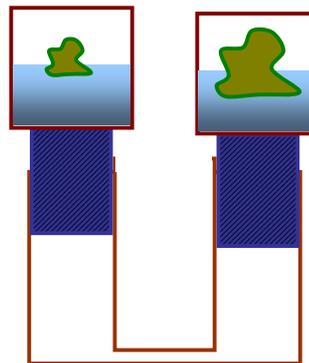


Рис. 17

94. Два одинаковых цилиндра с поршнями соединены трубкой. В цилиндрах находится вода. Сверху на поршни ставят одинаковые цилиндрические стаканы с равными количествами воды. Затем в один из стаканов опускают тело массы m , в другой – массы M , которые не тонут. На каких расстояниях друг от друга будут находиться концы поршней и уровни воды в стаканах, когда система придёт в равновесие? Площади дна стаканов S_1 , поршней – S_2 .

95. В двух вертикально расположенных цилиндрах, площади сечения которых равны S_1 и S_2 , находятся два невесомых поршня, соединённых тонкой невесомой нитью длины l (рис.18). Пространство между поршнями заполнено водой. Найти натяжение нити, если оба сосуда открыты в атмосферу. Плотность воды ρ .

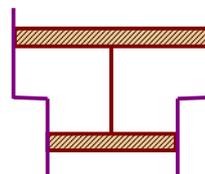


Рис. 18

Глава 1.2. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

1.2.1.Молекулярная физика. Теплота

96. В баллоне находится газ при температуре 10°C . Во сколько раз уменьшится давление газа, если 30% его выйдет из баллона, а температура понизится на 8°C ?
97. В сосуде находится смесь 20г азота и 30г кислорода. Найти плотность этой смеси при температуре 27°C и давлении 2 Па.
98. В вертикально расположенный цилиндрический сосуд с площадью основания S помещён плотно прилегающий к стенкам цилиндра скользящий поршень массы M , делящий сосуд на два равных отсека. В верхнем отсеке цилиндра находится азот, в нижнем – гелий. Температуры и массы газов одинаковы. Считая массы газов много меньшими по сравнению с массой поршня, найти давление газа в каждом отсеке. Трением поршня о стенки пренебречь.
99. Внутри трубы, заполненной воздухом и закрытой с обоих концов, может скользить без трения поршень массой $m = 4\text{кг}$, плотно прилегающий к стенкам трубы. Площадь поршня $S = 200\text{ см}^2$. Определить отношение объёмов воздуха в трубе по обе стороны от поршня при соскальзывании трубы по наклонной плоскости, образующей с горизонтом угол $\alpha = 60^\circ$. Коэффициент трения между трубой и

наклонной плоскостью $k = 0.25$. Известно, что в горизонтально лежащей трубе поршень занимает среднее положение, при этом давление воздуха в трубе $P = 1.25 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$. Температура воздуха в трубе постоянна.

100. Цилиндрический сосуд закрыт сверху поршнем с площадью S и массой M . На нём без потери энергии подпрыгивают N шариков массы m каждый ($M = m$). Найти давление газа под поршнем.
101. В сосуде объёма $1,1 \text{ л}$ находится 100 г адсорбента и водород при температуре $t = -193^\circ\text{С}$ и давлении $P = 0.2 \text{ атм}$. Адсорбент при этой температуре поглотил водород в количестве, равном $1/50$ веса самого адсорбента. Определить давление в сосуде, если его нагрели до температуры 31°С , когда все молекулы водорода покинули адсорбент. Плотность адсорбента 1 г/см^3 .
102. В стальном баллоне содержится 0.2 г водорода и 3.2 г кислорода при температуре 27°С . Водород соединяется с кислородом, и после того, как реакция закончилась, давление внутри баллона увеличилось в 3 раза. Какова будет при этом температура внутри баллона?
103. В сосуде находится смесь азота и водорода. При температуре T , когда азот полностью распался на атомы, а водород находится ещё в молекулярном состоянии, давление равно P . При температуре $2T$, когда оба газа полностью распались на атомы, давление в сосуде равно $3P$. Каково отношение числа грамм-атома азота и водорода в смеси?
104. Идеальный одноатомный газ (например, гелий) совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар (рис.19). Определить КПД цикла, воспользовавшись термодинамическими параметрами газа, приведёнными на рис.19.

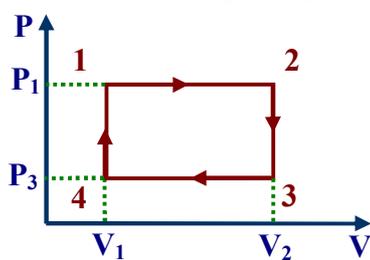


Рис. 19

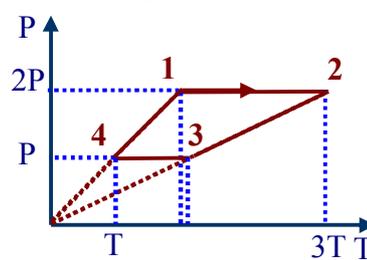


Рис. 20

105. Моль идеального газа участвует в процессе, изображенном в координатах $P - T$ на рис. 20. Найти работу, совершаемую газом за цикл.
106. В баллоне содержится очищенный газ, неизвестно какой. Чтобы поднять температуру 1 кг этого газа на 1 градус при постоянном давлении, требуется $958,4 \text{ Дж}$, а при постоянном объёме – $704,6 \text{ Дж}$. Что это за газ?
107. Над одной грамм-молекулой идеального газа совершают цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар (рис.21). Температуры газов в точках 1 и 3 равны T_1 и T_3 соответственно. Определить работу, совершаемую газом за цикл, если известно, что точки 2 и 4 лежат на одной изотерме.

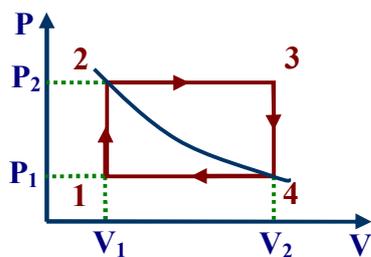


Рис. 21

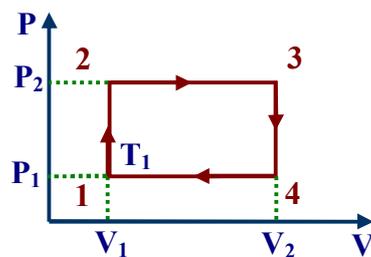


Рис. 22

108. Один моль азота является рабочим веществом в замкнутом цикле $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$ (рис.22). Известно, что $p_1 = 2$ ат., $V_1 = 10$ л, $T_1 = 244$ К, $p_2 = 4$ ат., $V_2 = 20$ л; известны также удельные теплоёмкости: $C_v = 0.179$ кал/г·град и $C_p = 0.25$ кал/г·град. Какое количество тепла и на каких участках поступило в систему?
109. В камеру сгорания ракетного реактивного двигателя поступает в секунду масса m водорода и необходимое для полного сгорания количество водорода. Выходное сечение сопла S . Давление в этом сечении P , абсолютная температура T . Определить силу тяги двигателя.
110. Маленькая капля воды падает в воздухе с постоянной скоростью благодаря тому, что на неё со стороны воздуха действует сила трения, вызванная столкновениями молекул воздуха с каплей. Как изменится скорость падения капли при увеличении температуры воздуха? Испарением капли пренебречь.
111. Закрытый сосуд объёмом $V = 0.5$ м³, содержащий воду массы $m = 0.5$ кг, нагрели до температуры $T = 420$ К. На какую величину ΔV следует изменить объём сосуда, чтобы в нём содержался только насыщенный пар? Давление насыщенного пара при температуре $T = 420$ К, $p_0 = 0.47$ МПа.
112. Чему равна относительная влажность воздуха при температуре $t_1 = 10^\circ\text{C}$, если конденсация влаги из этого воздуха, нагретого предварительно до $t_2 = 30^\circ\text{C}$, началась при давлении в 10 атмосфер? Начальное давление воздуха равно 1 атм.
113. Найти скорость испарения с единицы поверхности воды в вакуум при температуре 20°C . Давление насыщенных водяных паров при этой температуре 17.5 мм рт. ст.
114. За какое время испарится в комнате вода, налитая доверху в обычное чайное блюдце? Испарение небольшого количества воды практически не изменяет в комнате влажность воздуха, равную 70%. Считать, что диаметр блюдца 10 см и в него входит 100 г воды, температура воздуха 17°C .
115. Смесь, состоящую из 5 кг льда и 15 кг воды, нужно нагреть до температуры 80°C с пропусканием стоградусного водяного пара. Определить необходимое количество пара. Удельная теплоёмкость воды 4190 Дж/кг·град, удельная теплота парообразования воды $2,26 \cdot 10^6$ Дж/кг·град, удельная теплота плавления льда $3,3 \cdot 10^5$ Дж/кг.
116. До какой температуры надо нагреть алюминиевый куб, чтобы он, будучи положен на лёд, полностью в него погрузился? Температура льда 0°C , удельная теплоёмкость алюминия $C = 836$ Дж/кг·град, плотность льда $\rho_{\text{л}} = 920$ кг/м³, плотность алюминия $\rho_{\text{ал}} = 2,7 \cdot 10^3$ кг/м³.

117. Длинная кирпичная труба заполнена чугуном. Один из концов трубы поддерживают при температуре T_1 , которая выше температуры плавления $T_{пл}$, второй конец – при температуре $T_2 < T_{пл}$. Теплопроводность твёрдой фазы в k раз превышает теплопроводность жидкой фазы. Какая часть объёма трубы заполнена жидким металлом?

Глава 1.2. КОЛЕБАНИЯ

1.3.1. Механические колебания

118. Определить отношение периодов горизонтальных гармонических колебаний для систем, изображённых на рис. 23 а) и б).

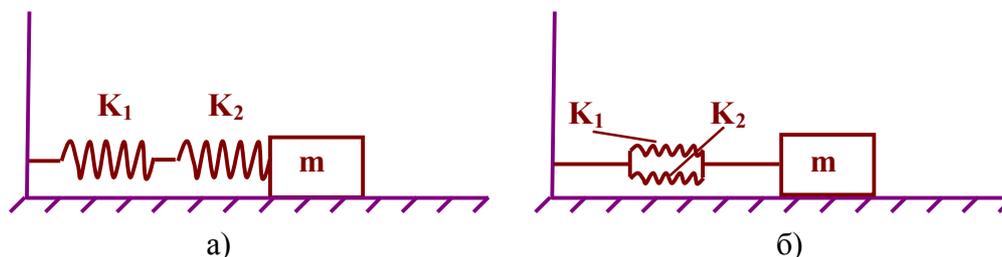


Рис. 23

119. Кусок пластилина массы m падает с высоты h и прилипает к брусу массой M , подвешенному на пружине жёсткости k . Найти амплитуду механических колебаний, возникших в системе после падения пластилина (рис. 24).

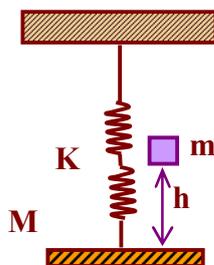


Рис. 24

120. Тело массы m совершает гармонические колебания на пружине неизвестной жёсткости. Наибольшее значение скорости равно V , амплитуда колебаний равна A . Определить жёсткость пружины.

121. На горизонтальной плоскости лежат два шарика с массами m_1 и m_2 , скреплённые между собой пружинкой жёсткости k . Плоскость гладкая. Шарик сдвигают, сжимая пружину, затем отпускают одновременно. Определить период возникших колебаний шариков.

122. Тело находится в точке A внутри неподвижной полусферы (рис. 25). В каком случае тело быстрее достигнет нижней точки B сферы: если оно будет скользить по поверхности сферы; если оно будет скользить вдоль прямой AB ? Трением в обоих случаях пренебречь, $AB \ll R$, начальная скорость равна нулю.

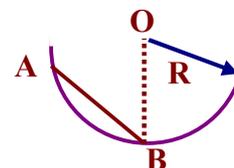


Рис. 25

123. Шарик, имеющий массу m и заряд q , подвешен на изолирующей нити длиной l . На расстоянии h под ним находится бесконечная проводящая плоскость. Найти период свободных колебаний маятника при малых углах отклонения нити от вертикали.

124. К маятнику AB с шариком массой M подвешен маятник BC с шариком массой m (рис. 26). Точка A совершает колебания в горизонтальном направлении с периодом T . Найти длину нити BC , если известно, что нить AB всё время отстает в вертикальном положении.

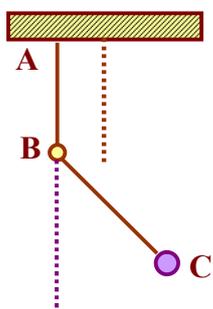


Рис. 26

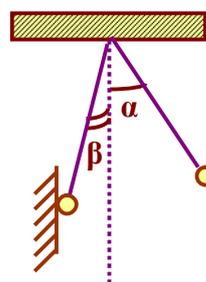


Рис. 27

125. Тонкий абсолютно жёсткий невесомый стержень, на конце которого закреплён точечный шарик, отклонили на небольшой угол α от положения равновесия и отпустили. В момент, когда стержень составлял угол $\beta < \alpha$ с вертикалью, произошло абсолютно упругое соударение шарика с наклонной стенкой (рис. 27). Определить соотношение T_1/T периода колебания такого маятника к периоду математического маятника той же длины.

126. Тяжёлое круглое бревно подвесили за концы на двух канатах так, что расстояние между точками подвеса каждой верёвки равно диаметру бревна. Длина каждого вертикального участка канатов равна l . Определить период T малых колебаний системы в вертикальной плоскости, перпендикулярной бревну.

127. Из некоторой точки A на поверхности некоторой планеты прорыто в разных направлениях несколько тоннелей. В каждый из тоннелей одновременно бросают по одному телу. Определить геометрическое место точек, в которых окажутся тела

через некоторое время τ . Предполагается, что за время τ ни одно из тел не достигнет противоположного конца тоннеля.

128. В U-образную трубку налита ртуть. Найти период собственных колебаний ртути, если площадь поперечного сечения трубки S , масса ртути m и её плотность ρ . Трение отсутствует.
129. Одна верёвка качелей закреплена выше другой на величину b . Расстояние между столбами качелей равно a . Длины верёвок равны l_1 и l_2 , причём l_1^2 и $l_2^2 = a^2 + b^2$ (рис. 28). Найти период T малых качаний на таких качелях. Размерами человека пренебречь по сравнению со всеми указанными выше длинами.

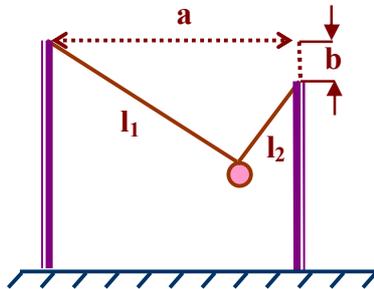


Рис. 28

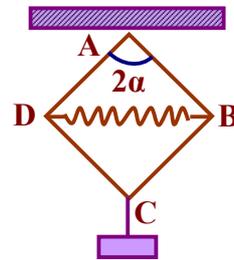


Рис. 29

130. Четыре невесомых стержня длины l каждый соединены шарнирно и образуют ромб (рис. 29). Шарнир A закреплён, а к шарниру D подвешен груз. Шарниры B и D соединены невесомой пружиной, имеющей в недеформированном состоянии длину $1,5 L$. В положении равновесия стержни образуют с вертикалью углы $\alpha_0 = 30^\circ$. Найти период T малых колебаний груза.
131. Тело соскальзывает без начальной скорости с вершины наклонной плоскости, образующей угол α с горизонтом. Коэффициент трения μ между телом и наклонной плоскостью изменяется с увеличением расстояния L от вершины наклонной плоскости по закону $\mu = bL$. Тело останавливается, не дойдя до конца наклонной плоскости. Найти время t , прошедшее с начала движения.

Ответы и указания к задачам Раздела 1.

1. Механика

1.1 Кинематика. Сложение скоростей

1. Прямая, составляющая угол с направлением движения доски $\alpha = \operatorname{arctg} \frac{u}{v}$.
2. $\Delta t = 6l/15v = 0,8c$.
3. 1.
4. $\frac{c}{\sqrt{c^2 - u^2}}$.
5. $u = \frac{lh}{vt^2}$.
6. 136 м.
7. 100 м/с.
8. Через 3 с после начала падения первого тела.
- 9.
- 10.
11. $h = 1,25\text{ м}; v_0 = 10\text{ м/с}$.
12. 40 м/с.
13. $\tau = \frac{v_0 \cos \alpha}{g} (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta)$.
14. 7 м/с.
15. $\operatorname{tg} \beta = \frac{v_0^2}{gh} \operatorname{tg} \alpha \pm \left\{ \left(\frac{v_0^4}{g^2 h^2} \operatorname{tg}^2 \alpha - 1 \right)^2 - 2 \right\}^{1/2}$.
- 16.
17. При стрельбе под углом 30° разброс больше.

1.2 Динамика прямолинейного движения

- 18.
19. $a = 0,12 \frac{M}{c^2}; T = 0,22H; T = \frac{F_1 M + F_2 m}{M + m} \approx F_1 (m \ll M)$.
20. Вниз с ускорением $a = g \sin \alpha (1 + m/M)$.
21. $a = \frac{F}{M + \sin^2 \alpha}$.
22. $T = m_2 g \approx 2H; F = m_2 (m_1 + m_2 + m_3) / m_1 \approx 13,2H$.
23. $m_x = \frac{Mm}{3M - 4m}$.
24. $a_1 = \frac{4m_1 m_3 - 3m_2 m_3 + m_1 m_2}{\Delta} g; a_2 = \frac{m_1 m_2 - 4m_1 m_3 + m_2 m_3}{\Delta} g;$
 $a_3 = \frac{4m_1 m_3 - 3m_1 m_2 + m_2 m_3}{\Delta} g; \Delta = 4m_1 m_3 + m_2 m_3 + m_1 m_2$.
- 25.
- 26.
27. $\mu = \operatorname{tg} \alpha$.

28. При $a \leq a_0$ (включая случай равномерного движения) $\beta = \alpha + \operatorname{arctg} \mu$, где $a_0 = g(\cos \alpha / \mu - \sin \alpha)$.
 При $a > 0 \rightarrow \beta = \alpha + \operatorname{arctg} \{g \cos \alpha / (g \sin \alpha + a)\}$.
29. $v_{\max} = \{mg(1-k) / \sqrt{2\alpha}\}^{1/2} \approx 28 \text{ м/с}$.
30. $\approx 0,1 \text{ м}$.
31. $\alpha = \operatorname{arctg} \frac{a + gk}{g - ak}$.

1.3 Импульс. Изменение импульса. Соударения тел

32. $2,5v$.
33. $v_1 / v_2 = (d_1 / d_2)^{1/2} = \sqrt{2}$.
Указание: показать, что сила сопротивления, испытываемая шариком, пропорциональна квадрату скорости шарика.
34. Да, подпрыгнет.
Указание: т.к. скорость пули изменяется незначительно, можно считать силу трения, действующую на пулю при движении через кубик, постоянной.
35. $\Delta N = mv^2 = 40 \text{ кВт}$.
36. $F = \rho S_1 \left(\frac{S_1}{S_2} + 1 \right) v^2$.
- 37.
38. $m_2 / m_1 = 3$.
39. $v_1 = \frac{2}{\sqrt{3}} v$.
40. $u_2 = \{u_1^2 + 4v^2 - 4vu_1 \cos \alpha\}^{1/2}$; $\sin \beta = \frac{u_1}{u_2} \sin \alpha$.
41. $u_T = \frac{mv}{M+m}$, $u_K = \frac{v}{M+m} (M^2 + Mm + m^2)^{1/2}$.
42. $\alpha = \arccos \sqrt{\frac{2}{5}}$.

Указание: при упругом ударе шарик отлетит назад под углом $\pi - 2\alpha$; при неупругом ударе составляющая скорости шарика, перпендикулярная наклонной плоскости, исчезает, а составляющая, параллельная наклонной плоскости не изменяется.

1.4 Статика

- 43.
44. $p = 3000 \text{ Н}$.
45. $F = 0,5mg$.
46. $F_{\min} = mg \frac{\sqrt{h(2R-h)}}{R-h}$.
47. $p_H = mg \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin \beta}$, $p_B = mg \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$.

48. $H = 6,5м$.

49. $T = 1,25H$.

50. $T = \frac{M\left(a + \frac{L}{2}\right) + ma}{(l^2 - a^2)^{1/2}} g$.

51. $m_{zp} \geq m/\sqrt{2}$.

1.5 Работа, мощность, энергия

52. $\eta = k \cdot ctg \alpha$.

53.

54. $N = mgv(\sin \alpha + k \cos \alpha)$.

55.

56. $A = 0,5kmg l \cdot \alpha$.

57. $v = (N_1 + N_2)v_1v_2 / (N_1v_1 + N_2v_2)$.

58. $Q = 0,012 Дж$.

59. 0,25.

1.6 Законы сохранения

60. $h_1 = \frac{h}{4} \approx 25 см$.

Указание: в момент отрыва кубика его скорость равна скорости верхней точки мяча; скорость нижней точки мяча при этом равна нулю.

61.

62. $\sin \beta = \frac{v}{\sqrt{v^2 + 2gh}} \sin \alpha$.

63. $n = v_0^2 / 2\pi l_0 g k$.

64. $h = v^2 / 8g$.

65. $k \leq \frac{m^2 v_0^2}{8M^2 gl} \approx 0,375$.

66. $Q = \frac{mv^2}{2} \cdot \frac{m \cos^2 \alpha + M}{m + M}, h = \frac{v^2}{2g} \cdot \sin^2 \alpha \cdot \frac{m^2}{(M + m)^2}$.

67.

68. При $a < g \rightarrow t = \left\{ \frac{2M}{k} \left(\frac{g}{a} - 1 \right) \right\}^{1/2}$,

при $a \geq g$ отрыв произойдет сразу же после начала движения.

69.

70. $n = 22/7$.

71. $h = \frac{v^2}{2g} \left[1 - \left(\frac{p}{\rho S N v^2} \right)^2 \right]$.

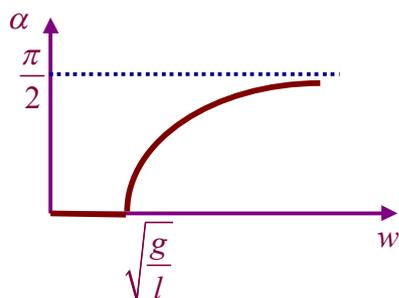
1.7 Динамика криволинейного движения

72.

73. *Указание:* для того, чтобы в верхней точке траектории шарика нить не «схлопывалась», необходимо выполнение условия:

$$\frac{mv_w^2}{R} - mg \geq 0.$$

74. $T = \frac{mw^2}{2l}(l^2 - a^2).$



75.

76. $x = g \cdot \operatorname{tg} \alpha / w^2.$

77. $w^2 = g \cdot \operatorname{tg} \beta / l \cdot |\sin \alpha + \sin \beta|.$

78. $t = 0,3c.$

79. $p = mg \cos \alpha - \frac{mv^2}{R}.$

80.

81. $N = P \cos \alpha (3 \sin \alpha - 2).$

82. $L_{\max} = nl$

Указание: считать, что при раскручивании ядра центростремительное ускорение ему сообщает сила натяжения троса.

83. $T = 0,03H.$

84. $m_1 = (v_1 + v_2)^2 v_2 T / 2\pi\gamma; m_2 = m_1 \frac{v_1}{v_2}; r = \frac{T}{2\pi}(v_1 + v_2).$

Указание: так как скорости звезд постоянны, то они движутся по окружностям с общим центром, расположенным в центре масс.

85. $F_{\text{сomp}} = \frac{\rho S \gamma M_3}{R_3 + h} \approx 4,8 \cdot 10^{-3} H.$

$$\Delta h = 4\pi\rho S (R_3 + h)^2 / m \approx 3,5 \text{ км}.$$

86. $h \approx R / 2g \approx 59 \text{ км}.$

Указание: воспользоваться законом сохранения энергии.

1.8 Гидростатика. Сообщающиеся сосуды

87. $\rho = \frac{k}{k-1} \rho_k.$

88. $p = p_0 \left(1 - 0,5 \cdot \frac{\rho_e}{\rho_o} \right) \approx 2,25H.$

89.

90. Второе положение более устойчиво.

Указание: сравнить положение центра тяжести воды в обоих случаях.

91. $h = 5a$.

92. При $a < g \rightarrow p = \rho(g - a)h, F = \rho(g - a)HS$.

93. Первый расположен на $5/3$ см выше второго.

94. $x = \frac{(M - m)(S_1 - S_2)}{\rho_6 S_1 S_2}$, ρ_6 - плотность воды.

95. $T = \rho g l S_1 S_2 / (S_1 - S_2)$.

2.1 Молекулярная физика. Теплота

96. В 1,43 раза.

97. $\rho = \frac{m_{N_2} + m_{O_2}}{m_{N_2} / \mu_{N_2} + m_{O_2} / \mu_{O_2}} \cdot \frac{\rho}{RT}$.

98. $\rho_{He} = \mu_{N_2} \cdot Mg / (\mu_{He} - \mu_{N_2}) S$.

99. $V_2 / V_1 = \eta + \sqrt{1 + \eta^2} \approx 1,2 \rightarrow \eta = kmg \cos \alpha / \rho S \approx 0,2$.

100. $p = \frac{Nmg + Mg}{S}$.

101. $p_1 = 0,02 \cdot m_{ad} \cdot \frac{RT_1}{\mu(V - V_{ad})} + p \frac{T_1}{T} \approx 25,3 \text{ ат.}$

102. $T_2 = 4T_1 = 1200 \text{ К.}$

103. $n = 0,5$.

104. $\eta = \frac{2(V_2 - V_1)(p_2 - p_1)}{5p_1(V_2 - V_1) + 3(p_1 - p_2)V_1}$.

105. $A = \frac{1}{2} RT$.

106. $\mu = 32,7 \text{ кг / кмоль}$ - кислород с примесью более тяжелого газа.

107. $A = R(\sqrt{T_1} - \sqrt{T_3})^2$.

108. $Q = 4636 \text{ ккал}$; на участках $1 \rightarrow 2$ и $2 \rightarrow 3$.

109. $F_T = \frac{g}{2} \cdot \frac{m^2 RT}{\rho S} + pS$.

110. $v = b \cdot \frac{1}{\sqrt{T}}$, где b некоторая постоянная.

Указание: показать, что сила трения, действующая на каплю, пропорциональна квадрату скорости молекул воздуха относительно капли.

111. Уменьшить на $\Delta V = 0,29 \text{ м}^3$.

112. $f = \frac{p}{p_0} \cdot \frac{T_1}{T} \cdot 100\% \approx 32,6\%$, где $p_0 = 9,2 \text{ мм.рт.ст.}$ - давление насыщенных

паров при $t_1 = 10^\circ \text{ C}$.

113. $i = \frac{1}{6} p \sqrt{\frac{3\mu}{RT}} \approx 14,8 \cdot 10^{-8} \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \text{с}}$

Указание: если бы над жидкостью был насыщенный пар, то число молекул, покидающих жидкость в единицу времени, было бы равно числу молекул,

попадающих в жидкость из пара. Очевидно, что число молекул, испаряющихся в единицу времени из жидкости в вакуум и в пар одинаково.

$$114. \quad t = M / \left\{ \frac{1}{6} S (p_0 - p) \sqrt{\frac{3\mu}{RT}} \right\} \approx 1c .$$

Указание: причина расхождения полученной оценки с данными опыта заключается в том, что давление пара у поверхности жидкости значительно больше, чем среднее давление пара в комнате.

$$115. \quad 3,6 \text{ кг.}$$

$$116. \quad 134^\circ\text{C.}$$

$$117. \quad \eta = \left(1 + \frac{T_{n1} - T_2}{T_1 - T_{n1}} \right)^{-1} .$$

3.1 Механические колебания

$$118. \quad T / T' = \sqrt{k_1 k_2} / (k_1 + k_2) .$$

$$119.$$

$$120.$$

$$121. \quad T = 2\pi \left\{ m_1 m_2 / (m_1 + m_2) k \right\}^{1/2} .$$

$$122. \quad T = 2\pi \left\{ l / \left(g + \frac{q^2}{16\pi\epsilon_0 h^2 m} \right) \right\}^{1/2} \quad \text{При движении вдоль сферы.}$$

Указание: см. указание к задаче № 140.

$$123. \quad l = \frac{T^2 g}{4\pi^2} \left(1 + \frac{m}{M} \right) .$$

$$124. \quad T_1 / T = 1 - \frac{1}{\pi} \arccos \frac{\beta}{\alpha} .$$

Указание: воспользоваться аналогией уравнений, описывающих гармонические колебания математического маятника, происходящие с периодом T и угловой амплитудой α , и движение проекции точки, вращающейся по окружности радиуса

α с угловой скоростью $\frac{2\pi}{T}$.

$$125. \quad T = 2\pi (l / g)^{1/2} .$$

Указание: показать, что бревно движется плоскопараллельно.

$$126.$$

$$127. \quad T = 2\pi (m / 2\rho g S)^{1/2} .$$

$$128. \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{l_1 l_2}{ag}} .$$

Указание: движение качелей есть вращение вокруг оси, проходящей через точки крепления веревок.

$$129. \quad T = 2\pi (\sqrt{3}l / 10g)^{1/2} .$$

$$130. \quad t = \pi / \sqrt{gR \cos \alpha} .$$

Часть 2.

Задачи для семинаров и практических занятий.

Раздел 2.1. Классическая физика

Глава 2.1.1. МЕХАНИКА

11.01. Камень бросают под углом α к горизонту с начальной скоростью V_0 . Найти радиус кривизны траектории в верхней точке над поверхностью земли. Сопротивлением воздуха пренебречь.

11.02. На рисунке изображён график зависимости модуля ускорения a от времени t для прямолинейно движущегося тела. Что можно сказать о моменте времени t_x , соответствующем максимальному значению модуля скорости движения тела?

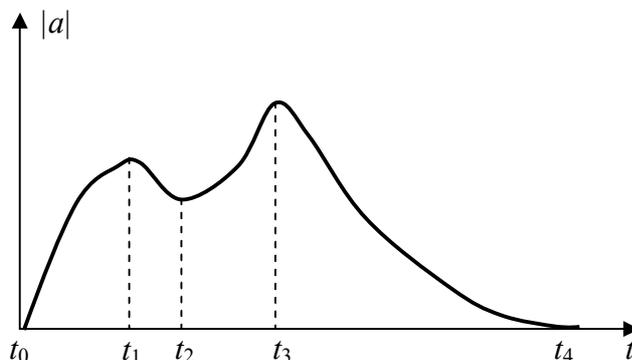


Рис.30

11.03. Точка движется прямолинейно вдоль оси x . Начальная координата и начальная скорость ее равны нулю. Дан график зависимости проекции a_x ускорения точки от времени. В какой момент точка имеет наибольшую по величине, скорость? В какой момент точка находится на наибольшем расстоянии от начала координат?

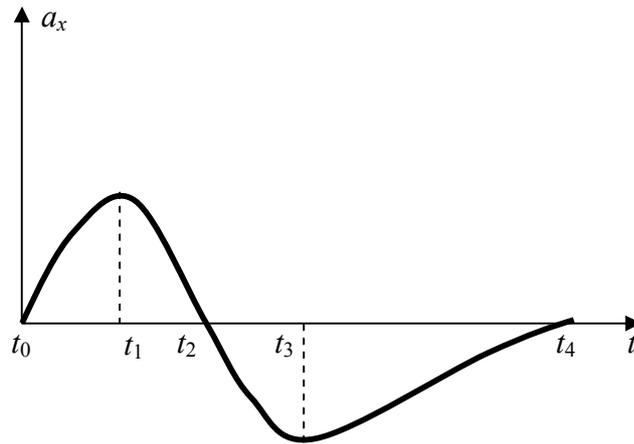


Рис.31

11.04. Из ковша экскаватора высыпался песок, образовав холмик. Найти максимально возможный угол между вертикальной линией и нормалью к поверхности холма, если коэффициент трения для песка 0,1.

11.05. Две одинаковые пружинки: железная и медная, упруго растянуты одинаковыми силами. На растяжение какой из них понадобилось затратить больше работы?

11.06. От двух пружин равной длины с жесткостями K_1 и K_2 соответственно отрезают куски в $1/3$ длины. Затем отрезанный кусок первой пружины последовательно соединяется с основной частью второй, а отрезанный кусок второй пружины – последовательно с основной частью первой пружины. Найти жесткости образовавшихся пружин.

11.07. Две пластины массы m каждая из мягкого, абсолютно неупругого материала связаны идеальной пружиной жесткости K . С какой минимальной высоты h надо уронить описанную конструкцию, чтобы она подскочила, по крайней мере, один раз? Считать длину пружины ℓ в недеформируемом состоянии достаточно большой ($K\ell^2/2 > mgh$).

11.08. Материальная точка массы m движется внутри одномерной потенциальной ямы $U(x) = \mu \cdot |x|$, где $\mu = \text{const}$. Найти отношение средней кинетической энергии за период колебаний к средней потенциальной энергии. Привести пример конкретной физической системы, удовлетворяющей условиям задачи.

11.09. Санки массой 20 кг, имеющие полозья длиной 0,5 м движутся со скоростью 10 м/с и выезжают на асфальт. Определить в каком расстоянии от кромки асфальта скорость санок уменьшится вдвое, если коэффициент трения полозьев об асфальт равен 0,3.

11.10. Тело массой M висит на конце струны, длина которой ℓ , поперечное сечение S и прочность на разрыв F . Поднятое к точке закрепления второго конца струны тело внезапно опускают, и оно падает вниз. Каково должно быть максимальное значение модуля Юнга E для струны, чтобы при таком падении тела она не разорвалась? Струну считать невесомой.

11.11. В центр грани куба массы m , лежащего на горизонтальной плоскости, направлена горизонтально струя воды с площадью поперечного сечения S . При какой минимальной скорости воды куб придет в движение? Коэффициент трения между кубом с плоскостью равен K .

11.12. Цилиндрический сосуд высоты h погружен в воду на глубину $h_0 < h$. В дне сосуда, имеющего форму стакана, с площадью S появилось маленькое отверстие площадью σ . Определить время, через которое стакан утонет.

11.13. Тонкостенный стакан массой m и объемом V медленно опускают в воду вверх дном так, чтобы он все время оставался в вертикальном положении. На какой глубине стакан начнет тонуть?

11.14. Два одинаковых бильярдных шара подвешены на двух невесомых нитях одинаковой длины так, что в состоянии покоя шары касаются друг друга. После того, как один из шаров отклонили на некоторый угол θ и отпустили, происходит ряд последовательных столкновений между шарами, в результате чего через некоторый промежуток времени наступает синфазное совместное колебание шаров. Качественно объяснить описанное явление и найти угловую амплитуду совместного колебания шаров. Силами сопротивления пренебречь.

11.15. К телу массой m_1 , расположенному на гладком горизонтальном столе привязана веревка, переброшенная через невесомый блок. За свисающий конец веревки цепляется обезьяна массы m , которая, перебирая веревку стремится оставаться на одной высоте. Как долго ей это удастся, если максимальная мощность, развиваемая обезьяной, равна P ?

11.16. На барабан массы M и радиуса R намотана веревка, один конец которой касается Земли. Гимнаст массы m хочет подняться по веревке на высоту H . При каких условиях это возможно и сколько времени потребуется гимнасту на подъем. Мощность гимнаста P . Массой веревки пренебречь.

11.17. Сталкиваются два одинаковых атома. Первый из атомов возбужден и неподвижен, а второй имеет скорость V . Считая удар центральным, найти скорости атомов после удара, если при ударе второй атом возбудился, а первый перешел в основное состояние.

11.18. Найти траекторию спутника Земли соответствующую минимальной энергии, если известна масса спутника и момент импульса L , полученный при запуске.

11.19. Искусственный спутник Земли теряет высоту с постоянной скоростью U .

Определить зависимость силы торможения спутника на орбите в ультра разреженной атмосфере от орбитальной скорости.

11.20. Спутник вращается вокруг Земли по эллиптической орбите с минимальным расстоянием от центра Земли R_1 и максимальным R_2 .

Найти минимальную и максимальную скорость спутника на орбите. Землю принять за шар радиуса R ($R < R_1$).

11.21. Гладкий стержень длины ℓ наклонен под углом α к горизонту и вращается с угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси, проходящей через нижний конец стержня O .

Какую скорость нужно сообщить бусинке, насаженной на стержень в точке O , чтобы она покинула стержень?

11.22. По горизонтальному стержню может скользить груз массы $m = 0,35$ кг, соединенный с одним из концов стержня пружиной, коэффициент жесткости которой $K =$

0,27 Н/см. Между грузом и стержнем действует сила сухого трения, не зависящая от величины скорости. Коэффициент трения $\mu = 0,15$. Груз отвели на расстояние $\ell = 18$ см от положения, соответствующего нерастянутой пружине, и отпустили. Через какое время груз остановится?

11.23. На внутренней поверхности конуса с углом 2α при вершине, расположенным вертикально вершиной вниз, находится материальная точка массы M . Как следует задать начальные условия для того, чтобы материальная точка не смогла опускаться ниже высоты H (трением пренебречь)?

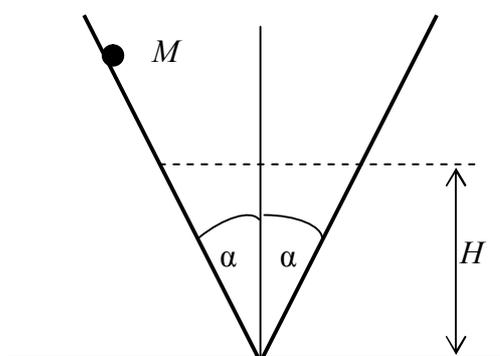


Рис.32

11.24. Какой максимальный угол может составлять наклонная плоскость с горизонтом, чтобы по ней мог еще катиться без проскальзывания полый цилиндр?

11.25. Какой максимальный угол может составлять наклонная плоскость с горизонтом чтобы по ней мог еще катиться без проскальзывания однородный сплошной цилиндр?

11.26. Какой максимальный угол может составлять наклонная плоскость с горизонтом, чтобы по ней мог еще катиться без проскальзывания однородный шар?

11.27. К телу массы m_1 , расположенному на гладком горизонтальном столе, привязана нить, переброшенная через невесомый блок. Свисающий конец нити намотан на катушку с массой m_2 и моментом инерции I . Найти ускорение тела, если катушка падает вертикально. Массой нити пренебречь.

11.28. Однородный шар радиуса R приводят во вращение с угловой скоростью ω вокруг горизонтальной оси, проходящей через его центр, и осторожно опускают на

горизонтальную плоскость. Шар начинает катиться, сначала с проскальзыванием, а затем без проскальзывания. Коэффициент трения скольжения между плоскостью и шаром равен μ , трением качения можно пренебречь. Какое расстояние пройдет шар за промежуток времени T от момента начала движения до момента начала равномерного качения по плоскости с постоянной скоростью?

11.29. Тонкий обруч массы m , радиуса R бросили на крышу дома, поверхность которой представляет собой две зеркально состыкованные наклонные плоскости, составляющие с горизонтом угол α . Высота крыши h . Обруч катится по поверхности крыши без проскальзывания и не подсакивает при перевале через вершину. Какую начальную скорость поступательного движения нужно сообщить обручу, чтобы он перекатился через вершину крыши и упал на противоположной стороне дома?

11.30. Пресс-папье, лежащее на шероховатой поверхности, изготовили из однородного цилиндра радиуса R , массы $2M$, разрезав его пополам вдоль оси. С высоты h , отсчитанной от верхней поверхности пресс-папье, падает маленький кусочек пластилина массы $\mu \ll M$, который попадает в точку A , находящуюся на расстоянии r от плоскости зеркальной симметрии, и прилипает к пресс-папье. Найти максимальное горизонтальное смещение центра тяжести пресс-папье.

11.31. Тонкий стержень массы M и длины L лежит на гладкой горизонтальной поверхности. Небольшой кусок клейкой замазки массы m , летящий горизонтально со скоростью V , направленной перпендикулярно стержню, ударяется о конец стержня и прилипает к нему. Определить скорость центра масс системы и угловую скорость вращения системы после соударения.

11.32. На обод однородного диска, лежащего на горизонтальной плоскости, намотана длинная нить. За свободный конец нити тянут горизонтально с постоянной по величине и направлению силой. Как будет двигаться диск при отсутствии трения и при его наличии?

Рассмотреть два случая: 1) диск касается плоскости только ободом, 2) диск касается плоскости всей поверхностью плоской стороны.

11.33. Определить период малых крутильных колебаний сплошного диска, подвешенного на трех параллельных симметрично расположенных нитях длиной 120 см каждая (трифилярный подвес). Плоскость диска расположена в горизонтальной позиции.

11.34. Определить период малых крутильных колебаний сплошного диска, подвешенного на четырех параллельных симметрично расположенных нитях длиной 160 см каждая. Плоскость диска расположена в горизонтальной позиции.

11.35. Определить период малых колебаний тонкого кольца радиусом R , одетого на шероховатый неподвижный горизонтальный цилиндр радиусом r . Проскальзывания нет.

11.36. Найти период малых колебаний маховика радиусом R , обод которого составлен из двух одинаковых по длине дуг разных материалов с плотностями ρ_1 и ρ_2 ($\rho_1 > \rho_2$). Массой спиц пренебречь. Ось маховика горизонтальна.

11.37. На горизонтальной шероховатой поверхности лежит брусок массы m , который крепится на пружине жесткости K к вертикальной стенке. Брусок смещают на величину X из положения равновесия и отпускают. Величина смещения X меньше длины пружины в недеформируемом состоянии. Определить сколько колебаний совершит брусок, если коэффициент трения бруска о плоскость μ . Какое количество тепла выделяется при этом?

11.38. С какой частотой нужно подгибать на качелях ноги длиной ℓ , чтобы раскачать качели?

11.39. На внутренней стороне цилиндрической поверхности радиуса R расположен однородный цилиндр радиуса r и массы m . Определить период малых колебаний цилиндра. Движение происходит без проскальзывания.

11.40. В однородный шар радиуса R и плотности ρ_0 впаяли маленький шар радиуса r и большей плотности ρ ($\rho > \rho_0$) так, что поверхности обоих шаров имеют единственную общую точку A . Фигуру поместили на горизонтальную шероховатую поверхность и

отклонили от положения равновесия, при этом ось симметрии фигуры составила угол φ с вертикалью. Определить величину и направление скорости, которую имеет верхняя точка фигуры в момент прохождения через положение равновесия.

11.41. Найти период малых колебаний фигуры, описанной в задаче 1.40. Движение происходит без проскальзывания.

11.42. Крышу Бристольского собора строители покрыли свинцом. При этом обнаружилось, что свинцовый лист покрывавший южную часть крыши собора стал медленно сползать вниз и в течении двух лет ополз на 30 см. Попытка остановить сползание листа вколачиванием гвоздей в стропила не удалась, потому что сползающий лист вырывал гвозди. Крыша была не слишком крутая, и свинцовый лист мог бы оставаться на ней, не скользя вниз под действием силы тяжести, почему же сполз лист? Рассчитайте на какое расстояние сползает вниз по крыше свинцовый лист за 10 дней, если максимальная и минимальная температуры в течение суток равны соответственно 20°C и 10°C , длина листа при минимальной температуре 10 м, угол наклона крыши 30° , коэффициент трения листа о стропила $K = 0,7$, коэффициент линейного теплового расширения свинца $f = 3 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.

11.43. Колебательная система состоит из однородного цилиндра массы M и радиуса R , который может перекатываться без проскальзывания по горизонтальной плоскости. На цилиндре симметрично расположена однородная доска массы m , торцы которой через пружины жесткости K_1 и K_2 упираются в две вертикальные стенки. Определить период малых колебаний системы. Считать, что между доской и цилиндром проскальзывание отсутствует.

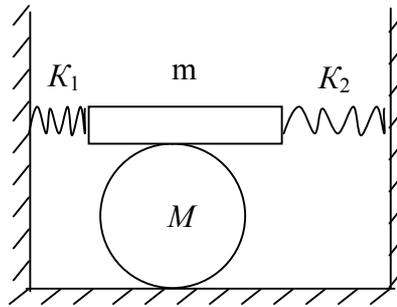


Рис.36

11.44. Четыре одинаковых тонких однородных стержня длины ℓ массы m шарнирно крепятся друг к другу, образуя ромб, который шарнирно подвешивают одной из вершин. Идеальная невесомая пружина жесткости K крепится одним концом к точке подвеса, а вторым концом к противоположной вершине ромба. Определить период малых вертикальных колебаний системы. Недостающие данные доопределить.

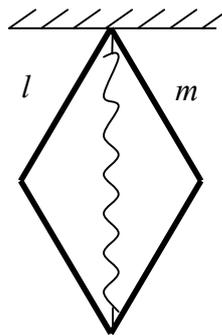


Рис.37

Глава 2.1.2. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

12.01. Оценить среднее число ударов в секунду о стены молекул воздуха, содержащегося в пустом помещении с размерами $4 \times 5 \times 4$ м.

Воздух в помещении имеет температуру $T = 300^\circ\text{K}$ и давление 1 атм.

12.02. Цилиндрический сосуд ограничен сверху скользящим поршнем массы m . Под поршнем в сосуде заключен идеальный двухатомный газ, занимающий пространство

$ABCD$ и имеющий в начальный момент параметры: объем V и температуру T_0 . Газ нагревают до температуры T . Как изменится внутренняя энергия, заключенная в пространстве $ABCD$?

12.03. Один моль идеального газа совершает процесс, при котором его давление и объем связаны линейной зависимостью. Начальная температура газа равна -50°C . Определить работу, совершенную газом, если при увеличении объема газа в 3 раза, его давление уменьшилось в 2 раза.

12.04. В земном ядре просверлили по диаметру сквозной канал сечением 1 см^2 . Оценить, какая доля земной атмосферы уйдет в полость канала. Атмосферу считать идеальным газом при температуре 300 К , а землю - однородным шаром.

2.05. Из баллона, в котором находятся сильно разреженные пары калия, выходит через узкую горизонтальную трубку пучок атомов. Определить температуру паров, если на горизонтальном пути длиной 50 см среднее смещение атомов по вертикали составляет $3,2\text{ мкм}$. Столкновения атомов пучка между собой не учитывать.

12.06. Найти к.п.д. теплового двигателя, работающего по циклу, состоящему из адиабаты, изобары и изохоры.

12.07. В цилиндре объемом 40 л под поршнем находится идеальный газ под давлением $10,25\text{ атм}$. Газ сжимается до давления 41 атм и объема $0,6\text{ л}$. В каком случае при этом газ отдаст большее количество тепла: а) если процесс сначала идет по изохоре, потом по изотерме, или б) если процесс идет сначала по изотерме, потом по изобаре.

12.08. Рабочий цикл тепловой машины изображен на рисунке. Кривая 12 является частью эллиптической кривой, описываемой уравнением $(P/P_0)^2 + (V/V_0)^2 = 1$, (P_0 и V_0 – заданные параметры). Кривая 21 - изотерма. Рабочим веществом является идеальный двухатомный газ. Начальное состояние задается параметрами P_1, V_1 . Найти к.п.д. тепловой машины.

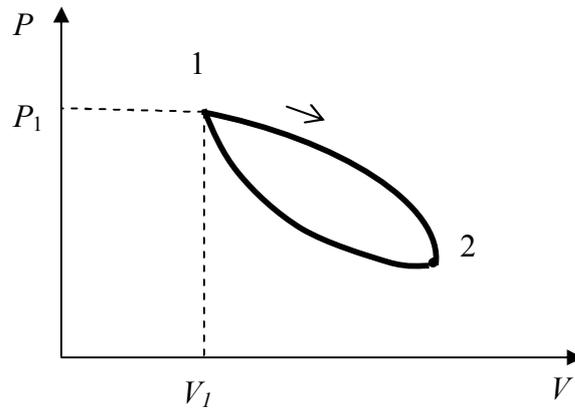


Рис.38

12.09. В запаянной U-образной трубке содержится эфир и его пары. Оценить чувствительность этого дифференциального конденсационного термометра $h / \Delta T$ при $T_1 - T_2 \sim 300^\circ\text{K}$, когда давление насыщенного пара $P \sim 1$ атм., а плотность жидкости $\rho = 0,7$ г/см³. Теплота испарения эфира $q = 3,88 \cdot 10^4$ Дж/моль.

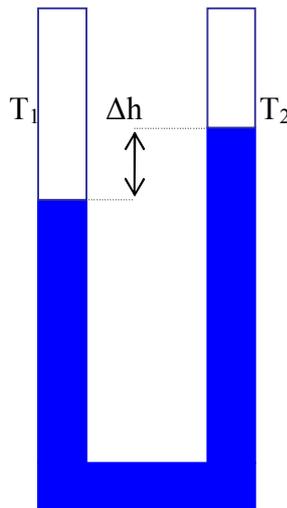


Рис39

- 12.10. Показать, что для белых карликов (звезда, состоящая из полностью ионизированных атомов с зарядом Z) из условия равенства гравитационного давления и давления электронного газа следует соотношение $MR^3 = \text{const}$. Электроны считать нерелятивистскими.
- 12.11. Плоскопараллельная пластина площадью S с одной стороны имеет температуру на ΔT больше, чем температура окружающего газа с плотностью n . Найти силу, действующую со стороны газа на пластину.
- 12.12. Фотонный реактивный двигатель представляет из себя замкнутую плоскость, нагретую до температуры T , объема V с малым отверстием площади S ($V^{2/3} \gg S$). Найти силу тяги описанного двигателя.
- 12.13. Какую минимальную работу необходимо затратить, чтобы охладить тело теплоемкостью C от температуры окружающей среды T_0 до $T < T_0$?
- 12.14. Хорошо проводящий тепло, однородный шар радиуса R изготовлен из материала плотности ρ и удельной теплоемкости C . Шар нагревают в первом случае, положив на горизонтальную поверхность, во втором – подвесив на непроводящий тепло нити над пламенем спиртовки. Определить разность теплоемкостей шара $C_1 - C_2$ при нагревании в первом и во втором случае. Тепловой коэффициент линейного расширения шара равен α .
- 12.15. Теплоизолированная полость находится при температуре T_0 благодаря потоку излучения от некоторого источника, поступающему в полость через отверстие с диаметром d ($d \ll R$). Определить закон изменения температуры со временем после отключения источника энергии, если теплоемкость полости равна C .
- 12.16. Водяная капля сферической формы радиуса R влетает со скоростью V_0 в область, где имеется пересыщенный водяной пар. За счет конденсации происходит увеличение объема капли, пропорциональное ее поверхности S . Сила сопротивления среды движению капли подчиняется закону Стокса; коэффициент вязкости среды равен η . Найти скорость

капли в зависимости от времени. Влиянием силы тяжести пренебречь. Считать, что капля сохраняет сферическую форму.

12.17. Два мыльных пузыря радиусов R_1 и R_2 соединили соломинкой радиуса r и длины ℓ .

По какому закону меняются во времени радиусы пузырей?

2.18. Под поршнем с гирей находится двухатомный газ. Стенки цилиндра пропускают только излучение, энергия кванта которого равна энергии диссоциации молекулы на атомы. Подсчитать работу, совершенную поршнем за время полной диссоциации всех молекул газа.

12.19. В цилиндре площадью сечения S и высотой H под поршнем находится газ. Найти период малых колебаний поршня, если масса поршня M , а процесс считается адиабатическим.

Глава 2.1.3. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

13.01. Три бесконечно протяженные плоскости пересекаются так, что сечение образовавшейся призмы – равносторонний треугольник. Плотность заряда на каждой плоскости $+\sigma$. Найти напряженность электрического поля во всех областях пространства.

13.02. Найти напряженность и потенциал в центре равномерно заряженной окружности.

Общий заряд окружности q , радиус R . На бесконечности потенциал равен нулю.

13.03. Два параллельных диска радиусами 5,0 см и 2,5 см, оси которых совпадают, расположены на расстоянии 1,2 мм друг от друга. Диски заряжены равномерно с одинаковой поверхностной плотностью 40 мкКл/м^2 . Определить силу электрического взаимодействия дисков.

13.04. Протон с кинетической энергией 15 кэВ и альфа-частица с кинетической энергией 25 кэВ движутся навстречу друг другу. На какое минимальное расстояние они могут сблизиться?

13.05. Два шарика с зарядами $+q$ и $-q$ соответственно находятся на большом расстоянии друг от друга. Предоставленные самим себе они двигаются навстречу так, что происходит центральный удар. Найти скорости шаров после удара.

13.06. На пластины плоского изолированного конденсатора нанесли электрические заряды $+q$ и $-q$. Площадь пластин S , расстояние между ними $h \ll \sqrt{S}$. Определить: 1) силу притяжения между пластинами, 2) работу, которую необходимо выполнить для того, чтобы раздвинуть пластины на расстояние $2h$.

13.07. Плоский конденсатор образован двумя дисками с радиусами 10 см и зазором между ними 1 мм. Конденсатор заряжен так, что разность потенциалов между обкладками $U = 1 \text{ В}$. Какая разность потенциалов будет между дисками, если их разнести на очень большое расстояние?

13.08. Точи А и В находятся на одинаковых расстояниях $r = 10R$ от центра непроводящей сферы радиуса R , равномерно заряженной по поверхности с плотностью заряда σ . Какой станет разность потенциалов между точками А и В, если удалить половину сферы?

13.09. Небольшое тело массой m с зарядом q соскальзывает с высоты h по гладкой наклонной плоскости, составляющей угол α с горизонтом. В вершине прямого угла наклонной плоскости находится заряд Q . Определить скорость тела в нижней точке наклонной плоскости. Проанализировать возможные случаи движения тела.

13.10. Батарея, составленная из пяти конденсаторов как показано на рис., подключена к источнику с электродвижущей силой E . Емкости C_1, C_2, C_3 различны. Определить энергию, запасенную в батарее конденсаторов.

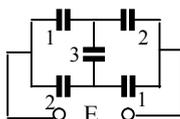


Рис.40

13.11. В схеме, показанной на рисунке, ключ К может находиться в положениях А и В. В положении А заряд на конденсаторе I равен Q_1 . Заряд на конденсаторе II вначале равен нулю, однако после первого переключения ключа он стал равен Q_2 . Найти какой заряд, окажется на конденсаторе II после очень большого числа переключений ключа К.

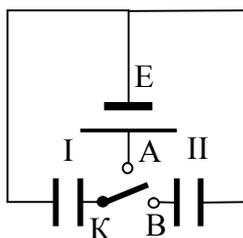


Рис.41

13.12. В модели атома Томсона предполагалось, что положительный заряд e распределен внутри шара радиуса $R = 10^{-8}$ см. Как должна зависеть от расстояния до центра шара плотность положительного заряда, чтобы электрон (точечная, отрицательно заряженная частица, несущая заряд « $-e$ »), помещенный внутри шара, мог совершать гармонические

колебания? Найти частоту колебаний электрона. Считать, что заряды друг на друга механически не действуют.

13.13. Мыльный пузырь радиуса R , наполненный трехатомным газом в количестве Z молей, поместили под стеклянный колокол, предварительно нанеся на поверхность пузыря электрический заряд q . После этого произвели откачку воздуха из под колокола в течение короткого времени до пренебрежимо малого давления. Определить температуру T газа в пузыре сразу после откачки, если первоначальная температура равна T_0 . Считать коэффициент поверхностного натяжения мыльной пленки α слабо зависящим от температуры (испарением мыльного раствора за время откачки пренебречь).

13.14. Плоский конденсатор емкости C последовательно соединен с батареей с электродвижущей силой E . Рассматриваемая система была погружена в сосуд с жидкостью, нагретой до температуры T так, что жидкость заполнила пространство между пластинами конденсатора. Определить заряд конденсатора после установления равновесия и предельную точность, с которой этот заряд можно измерить, если известно, что диэлектрическая проницаемость жидкости при температуре T равна ϵ .

13.15. С какой минимальной погрешностью возможно измерить заряд q на обкладках конденсатора емкости C , последовательно соединенного с батареей с э.д.с. E ?

Предполагается, что вся система находится в контакте с термостатом при температуре T .

13.16. Крыльчатка состоит из 6 лопастей длиной $\ell = 1$ см, шириной $d = 1$ см и толщиной $h = 5 \cdot 10^{-3}$ см, выполненных из алюминия. С каким угловым ускорением будет вращаться крыльчатка, если на центр ее лопасти падает пучок электронов с силой тока $I = 3,3$ мА, ускоренных потенциалом $U = 900$ В? При решении пренебречь трением в подшипниках, отражением электронов и вторичной электронной эмиссией.

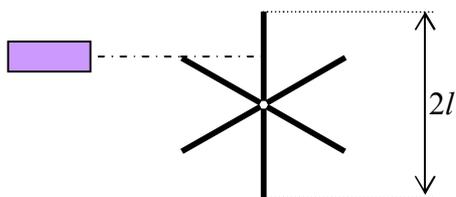


Рис.42

13.17. Емкость плоского конденсатора с расстоянием между обкладками a равна 300 пФ.

Половина конденсатора заполняется медным листом толщиной $d/4$, расположенным параллельно обкладкам. Найти емкость образовавшегося конденсатора.

13.18. Через какой промежуток времени разрядится шар, имеющий заряд q и радиус R , если в единице объема воздуха образуется в единицу времени n пар ионов? Длина свободного пробега ℓ .

13.19. Электрон, ускоренный разностью потенциалов $U = 600$ В, пролетает мимо

сферического электрода, имея исходное прицельное расстояние $d = 5 \cdot 10^{-3}$ м (см. рис.).

Потенциал сферического электрода относительно места эмиссии электрона $U = 900$ В,

радиус электрода $R = 4 \cdot 10^{-3}$ м, На каком минимальном расстоянии пролетит электрон от

сферического электрода. Будет ли электрон захвачен электродом?

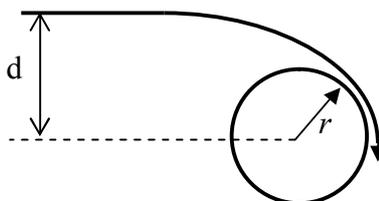


Рис.43

13.20. Может ли оказаться, что при последовательном и параллельном соединении n одинаковых элементов сила тока в проводнике получится одной и той же?

13.21. Электрическая цепь представляет собой две скрещенные бесконечные лестницы (см. рис.), составленные из одинаковых сопротивлений R . Найти сопротивление между точками, "a" и "b".

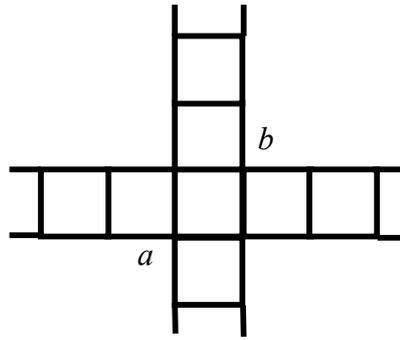


Рис.44

13.22. Может ли оказаться, что при переходе от последовательного к. параллельному соединению N одинаковых элементов сила тока в проводнике увеличится вдвое?

13.23. Найти сопротивление между точками A и B схемы, изображенной на рисунке. Сопротивления R всех ветвей равны между собой.

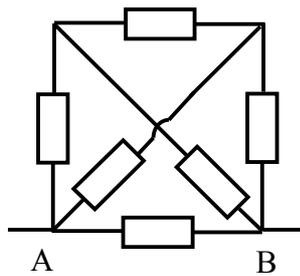


Рис.45

13.24. Имеется $N = 6$ одинаковых батарей с электродвижущей силой $E = 4,8$ В каждая и одинаковыми внутренними сопротивлениями r . Если батареи соединить между собой параллельно и подключить к внешнему сопротивлению $R = 2,3$ Ом, то на нем будет выделяться мощность $P = 1,9$ Вт . Определить внутреннее сопротивление одной батареи.

13.25. Магнитное поле, обладающее аксиальной симметрией (т.е. симметричное относительно вращений вокруг некоторой оси), сосредоточено внутри сферической поверхности радиуса R , причем ось симметрии поля совпадает с одним из диаметров сферы. Магнитная индукция поля меняется в пространстве внутри сферы по закону $B \sim 1/Z$, где Z - расстояние рассматриваемой точки поля от оси симметрии. Магнитная

индукция поля снаружи сферы равна нулю. Привести конкретный способ создания описанной конфигурации магнитного поля.

13.26 Длинный соленоид радиуса R . плотно виток к витку в один слой намотан цилиндрическим проводом сечением S . Известно, что максимальное напряжение на разрыв, которое способен выдержать провод, равно T . Какой максимальный постоянный ток можно пропускать через такой соленоид?

13.27. Одной из причин нарушения работы сверхпроводящих соленоидов является скачкообразное движение витков (под действием пондеромоторных сил), в результате которого происходит тепловыделение и нагрев сверхпроводника выше критической температуры. В современных сверхпроводящих кабелях основную массу кабеля составляет не сам сверхпроводник, а медь, плотность которой $\rho = 9 \text{ г/см}^3$, а температура Дебая $T_d = 309^\circ\text{К}$. Пренебрегая теплоотводом от обмотки, оцените допустимое смещение витка в обмотке такого соленоида, работающего при температуре $T_1 = 4,2^\circ\text{К}$. Средняя плотность тока в обмотке $J = 5000 \text{ А/см}^2$, магнитное поле на обмотке $B = 40 \text{ кГс}$, а максимально допустимая температура сверхпроводника равна $T_2 = 8^\circ\text{К}$.

3.28. Для намагничивания постоянного магнита на стальной стержень намотана обмотка из провода. Обмотку подключили к сети переменного тока на малое время t . В какой фазе напряжения следует включить и в какой выключить сеть, чтобы получить наибольшее остаточное намагничивание.

13.29. Кольцо из тонкой медной проволоки вращается вокруг оси, перпендикулярной к однородному магнитному полю $H = 250 \text{ Гс}$. Начальная скорость вращения кольца W . Через какое время частота вращения уменьшится в e раз, если считать, что энергия расходуется на джоулево тепло?

13.30. Тонкое кольцо радиуса R спаяли из двух геометрически одинаковых: одно из материала, имеющего удельную проводимость ρ_1 , другое – ρ_2 . Кольцо поместили в однородное изменяющееся со временем магнитное поле так, что плоскость кольца

оказалась перпендикулярной магнитным силовым линиям. Точки спаев A и C соединили гибкими проводами с клеммами вольтметра. Какое напряжение зафиксирует вольтметр, если известно, что магнитная индукция изменяется с течением времени по закону $B = Dt$ D – заданная константа?

13.31. Две длинные однослойные сверхпроводящие катушки с числами витков N_1 и N_2 длинами L_1 и L_2 и сечениями S_1 и S_2 соединили параллельно при помощи сверхпроводящих проводов. Определить как распределится между ними ток I , подводимый от внешнего источника. Взаимным влиянием катушек пренебречь.

13.32. На диэлектрической плоскости вертикально стоит тонкая металлическая палочка длиной L . Палочка и плоскость помещены в однородное магнитное поле, вектор индукции B которого параллелен плоскости. Если палочку слегка наклонить, так что смещение верхнего конца перпендикулярно вектору B , то она начнет падать. Найти ускорение центра тяжести и время падения. Взаимодействием с наведенной поляризацией пренебречь.

13.33. Внутри длинного соленоида находится хорошо проводящее металлическое кольцо массой m и радиусом R , Электрическое сопротивление кольца r . Через соленоид пропускается импульс тока, в результате чего в соленоиде возникает скачек магнитной индукции B длительностью T . Определить с какой скоростью кольцо вылетит из соленоида. Оси кольца и соленоида совпадают. Индуктивность кольца L считать известной. Провести численные расчеты для $m = 0,1$ г, $R = 1$ см, $B = 10$ Тл, $L = 10^{-6}$ Ом.

13.34. Плоскость делит пространство на две области с различными значениями B_1 и B_2 индукции магнитного поля (векторы магнитной индукции параллельны плоскости). Из точки на плоскости перпендикулярно плоскости и векторам магнитной индукции вылетает электрон. При каком соотношении величин полей электрон может возвратиться в начальную точку движения? Найти время движения.

13.35. Пространство делится плоскостью на две области. В каждой из областей создано постоянное магнитное поле B_1 и B_2 . Силовые линии магнитных полей B_1 и B_2 параллельны друг другу и плоскости раздела. В момент времени $t = 0$ электрон находится в плоскости раздела и имеет скорость v , перпендикулярную плоскости. Каким условиям должны удовлетворять величины B_1 и B_2 , чтобы электрон начал дрейфовать вдоль плоскости раздела с заданной скоростью дрейфа U ?

Раздел 2.2. Волновые процессы

Глава 2.2.1. КОЛЕБАНИЯ

21.01. Найти период малых колебаний в вертикальной плоскости однородного стержня около горизонтальной оси, проходящей через его конец. Длина стержня l .

21.02. Найти период малых колебаний обруча, радиус которого R , если обруч висит на гвозде, вбитом в стену, и совершает колебания в вертикальной плоскости.

21.03. Однородный шарик подвешен на нити, длина которой равна радиусу шарика R . Найти период малых колебаний.

21.04. Найти период малых колебаний груза массы m , закрепленного между двумя пружинами с различными коэффициентами жесткости K_1 и K_2 . Трением груза, а также массами пружин пренебречь.

21.05. Два диска, имеющих радиус R , но разные массы m_1 и m_2 , могут вращаться вокруг своей оси, проходящей через центры дисков перпендикулярно к их плоскостям. Диски соединены пружиной, у которой коэффициент кручения (коэффициент пропорциональности между моментом силы и углом закручивания) равен k . Найти период колебаний дисков, если их повернуть вокруг своей оси в противоположные стороны и отпустить.

21.06. Как изменится период колебаний в предыдущей задаче, если диски заменить на однородные шары?

21.07. Однородный шарик радиуса r катается по внутренней стороне цилиндрической поверхности радиуса R в плоскости, перпендикулярной образующей. Найти период малых колебаний.

21.08. Найти период колебаний тела, упавшего в шахту, пронизывающую Луну по одному из ее диаметров.

21.09. Две одинаковые штанги могут вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через их конец. Средины штанг соединены пружиной. В состоянии покоя система имеет угол 2α между штангами. Длина пружины в недеформированном состоянии l , жесткость пружины k . Масса штанги m . Найти период малых колебаний системы. Рассматривать только симметричные колебания в вертикальной плоскости.

21.10. Электронная лампа состоит из плоского катода, анода и двух параллельных катоду сеток, расположенных на расстояниях l_1 и l_2 от катода соответственно. Потенциалы катода и второй сетки равны нулю, потенциал первой сетки U . Электрон испускается катодом со скоростью, близкой к нулю. Определить длину электромагнитных волн, излучаемых электроном, двигающимся между анодом и второй сеткой.

21.11. Математический маятник состоит из проводящей нити длиной l , на которой подвешен металлический шарик массой m . Маятник может колебаться в плоскости, перпендикулярной к однородному магнитному полю с напряженностью H , касаясь при этом проводящей дуги круга. Точка подвеса маятника и дуга круга соединены электрически с обкладками конденсатора, емкость которого C . Найти период малых колебаний маятника.

21.12. Найти период малых колебаний диска, в верхней части которого сделана цилиндрическая полость с радиусом, равным половине радиуса R диска. Граница полости касается окружности диска.

21.13. Найти период свободных вертикальных колебаний корабля в спокойной воде, если масса корабля M , площадь его горизонтального сечения S и не зависит от высоты сечения. Силами, обусловленными вязкостью воды пренебречь.

21.14. Найти частоту малых колебаний балки массой M , один конец которой закреплен в шарнире, а другой опирается на пружину, коэффициент жесткости которой равен k .

21.15. Найти период малых колебаний в механической системе, состоящей из груза массы m , весящего на веревке, перекинутой через блок массой M . Второй конец веревки прикреплен к пружине жесткости k . Массой веревки пренебречь.

21.16. Определить период малых крутильных колебаний сплошного диска, подвешенного на трех параллельных нитях длиной l .

21.17. Найти период малых колебаний маховика радиусом R , обод которого составлен из двух одинаковых по длине дуг разных материалов с плотностями ρ_1 и ρ_2 ($\rho_1 > \rho_2$). Массой спиц пренебречь. Ось маховика горизонтальная.

21.18. Определить период малых колебаний тонкого кольца массой M и радиуса R , одетого в неподвижный горизонтальный цилиндр радиуса r . Движение происходит без проскальзывания.

21.19. На горизонтальной шероховатой поверхности лежит брусок массы m , который прикреплен к вертикальной стенке пружиной жесткости k . Брусок смещают на величину X от положения равновесия и в некоторый момент времени отпускают. Определить сколько колебаний совершит брусок, если коэффициент трения бруска о плоскость μ . Какое количество тепла выделится при этом?

21.20. Над металлической вертикально на пружине на пружине подвешен маленький шарик массы M . Расстояние от шарика до плоскости l , коэффициент жесткости пружины k . Найти период малых колебаний шарика, если на него помещен заряд q . Размерами шарика пренебречь.

21.21. В цилиндре площадью сечения S и высотой H под поршнем находится газ. Найти период малых колебаний поршня, если масса поршня M , а процесс считается адиабатическим.

21.22. С какой частотой нужно подгибать ноги на качелях, длиной l , чтобы раскачать качели?

21.23. Квадратная металлическая рамка со стороной a закреплена на горизонтальной оси, проходящей через середины двух противоположных сторон. По рамке пропускается постоянный электрический ток силы I . Определить положение равновесия и период малых колебаний рамки, если известно, что рамку поместили в однородное постоянное электрическое поле с индукцией B , силовые линии которого направлены вертикально. Рамка изготовлена из однородного материала. Масса рамки равна M .

21.24. Тонкое однородное кольцо массы m , радиуса R подвесили на упругие нити, имеющей коэффициент кручения k . На кольцо нанесли заряд $+q$ на левую половину кольца и $-q$ на правую половину кольца. Считать заряды равномерно распределенным по полуокружностям. В окрестности заряженного кольца создано однородное электрическое E поле, при этом силовые линии поля перпендикулярны нити, на которой повесили кольцо, и параллельны плоскости кольца. Найти период малых колебаний системы около положения равновесия.

21.25. Ток I_1 течет по однородному горизонтальному проводнику массы m и длины l , подвешенному за концы на двух одинаковых проводящих пружинах с коэффициентом жесткости k у каждой. Под этим проводником параллельно ему расположен неподвижный длинный проводник с током I_2 . В отсутствие тока расстояние между проводниками равно a . Определить частоту малых колебаний верхнего проводника вблизи положения устойчивого равновесия. Считать, что движение проводника - поступательное и происходит в вертикальной плоскости.

21.26. Материальная точка массы M движется внутри одномерной потенциальной ямы $U(X) = \mu \cdot |X|$, где $\mu = const$. Найти отношение средней кинетической энергии за период колебаний к средней потенциальной энергии.

21.27. В колебательный контур лампового генератора подключено переменное сопротивление. Коэффициент взаимной индукции M , емкость конденсатора C . Какова крутизна лампы, если колебания начинают возбуждаться при сопротивлении меньше R ?

21.28. Найти период релаксационных колебаний, если генератор состоит из источника э. д. с. с электродвижущей силой E , сопротивления R и неоновой лампы с напряжением зажигания U , шунтирующей конденсатор с емкостью C . Сопротивлением неоновой лампы пренебречь, напряжение гашения считать равным нулю.

Глава 2.2.2. ВОЛНЫ

22.01. Как будут двигаться частицы изотропной однородной среды, при распространении в ней двух взаимно перпендикулярных продольных когерентных волн одинаковой амплитуды ?

22.02. В среде плотностью ρ распространяется вдоль оси X со скоростью V плоская звуковая волна. Уравнение волны $\xi = a \sin(\omega t - kx)$. Найти изменение давления в среде как функцию координаты и времени.

22.03. Найти собственные частоты колебаний воздуха в трубе, закрытой с одного конца. Длина трубы l , скорость воздуха V .

22.04. На какую длину нужно уменьшить длину струны, чтобы частота колебаний увеличилась в N раз ? Натяжение неизменно.

22.05. Две одинаковые струны с частотой колебания ν имеют длину l . На какую величину Δl надо укоротить одну из струн, не меняя натяжения, чтобы получить биения с частотой $\Delta \nu$?

22.06. Источник звуковых колебаний частотой ν приближается по нормали к стене. Скорость источника u . Найти частоту биений $\Delta \nu$ в случае, когда источник находится между приемником и стеной. Скорость звука v .

22.07. Лопасти вертолета вращаются со скоростью $n = 1000$ об/мин. Вертолет облучают радиосигналом $\nu = 10$ МГц. Найти частоты отражения сигнала, если вертолет перемещается в направлении к излучателю со скоростью $v = 60$ км/ч. Длина лопасти $l = 4$ м.

22.08. Плоская монохроматическая волна с интенсивностью I_0 и длиной волны λ падает нормально на непрозрачный экран с круговым отверстием радиуса r_0 ($r_0 \gg \lambda$).

Построить качественную зависимость интенсивности I на оси отверстия за экраном от расстояния b до экрана. Указать характерные значения интенсивностей и расстояние до этой зависимости.

22.09. Плоская монохроматическая волна с интенсивностью I_0 падает нормально на непрозрачный экран в виде полуплоскости с вырезом на краю, имеющем форму полукруга. Найти интенсивность света в точке P на перпендикуляре к центру полукруга, для которой граница выреза совпадает с границей первой зоны Френеля.

22.10. точечный источник света с длиной волны $\lambda = 0.5$ мкм расположен на расстоянии $a = 1$ м перед диафрагмой с круглым отверстием радиусом $r = 1$ мм. Найти расстояние b от диафрагмы до точки наблюдения, для которой число зон Френеля в отверстии $m = 3$.

22.11. На пути монохроматического светового потока с интенсивностью I_0 поместили экран и перед ним диафрагму с круглым отверстием. Какова будет интенсивность света в центре экрана (напротив центра отверстия), если:

- а) отверстие сделать равным первой зоне Френеля? Первой половине первой зоны?
- б) отверстие сделать равным первой зоне Френеля и затем закрыть его верхнюю половинку?
- в) диафрагму с отверстием заменить круглым диском, который закроет только первую зону Френеля?

22.12 Найти угловое распределение интенсивности света при фраунгоферовой дифракции от щели шириной b , если свет имеет длину волны λ и падает на щель под углом β к нормали. Найти условие, определяющее угловое положение минимумов.

22.13. Монохроматический свет падает на отражательную дифракционную решетку с периодом $d = 1$ мм. Под углом скольжения $\theta = 1^\circ$. Под углом скольжения $\theta' = 3^\circ$ образуется максимум второго порядка. Определить длину волны света.

22.14. Монохроматический свет с $\lambda = 0.6$ мкм. Падает на решетку под углом $\theta = 30^\circ$ к нормали; период решетки $d = 1.5$ мкм. Найти угловую дисперсию (в угл. град/ммкм) для угла дифракции, соответствующего максимуму третьего порядка.

22.15. Найти условие равенства нулю интенсивности m -го максимума дифракционной решетки с периодом d и шириной щели b .

22.16. Найти разрешающую силу решетки с периодом $d = 2.5$ мкм и шириной $l = 3$ см в спектрах первого и четвертого порядков.

22.17. Кольца Ньютона получаются между двумя плосковыпуклыми линзами, прижатыми друг к другу своими выпуклыми поверхностями. Найти радиус r_m m -го кольца, если длина волны света равна λ , а радиусы выпуклых поверхностей линз равны R_1 и R_2 . Наблюдение ведется в отраженном свете.

22.18. Кольца Ньютона получаются с помощью плосковыпуклой линзы радиусом кривизны R_1 , положенной на вогнутую сферическую поверхность с радиусом кривизны $R_2 > R_1$. Кольца наблюдаются в отраженном свете. Определить радиус r_m m -го темного кольца, если длина световой волны равна λ .

22.19. Найти радиус r_1 первого темного кольца Ньютона, если между линзой и пластинкой налит бензол ($n = 1.5$). Радиус кривизны линзы $R = 1$ м. Показатель преломления стекла линзы и пластинки $n_0 = 1.6$. Наблюдение ведется в отраженном свете, длина волны $\lambda = 0.589$ мкм.

22.20 Найти условия, при которых электроны, движущиеся с постоянной скоростью v в среде с показателем преломления n , излучают и направление излучения, рассматривая интерференцию волн, испускаемых электроном в разные моменты времени.

22.21. На тонкую пыльную пленку ($n = 1.33$) падает параллельный пучок белого света. Угол падения $\alpha = 52^\circ$. При какой толщине пленки зеркально отраженный свет будет наиболее сильно отражен в желтый цвет ($\lambda = 0.6$ мкм).

22.22. Свет с длиной волны $\lambda=0.55$ мкм падает нормально на поверхность стеклянного клина. В отраженном свете наблюдают систему интерференционных полос, причем расстояние между соседними темными полосами $\Delta x = 0.21$ мм. Найти угол между гранями клина.

22.23. Параллельный пучок, представляющий совокупность двух волн с длинами λ_1 и λ_2 , падает перпендикулярно на одну из преломляющих граней призмы, имеющей угол преломления α . За призмой установлена линза с фокусным расстоянием f так, что ее оптическая ось совпадает по направлению с падающим на призму пучком света. Полагая, что коэффициент преломления материала призмы зависит от длины волны λ по закону $n = a/\lambda$, где a - некоторая постоянная, определить расстояние между изображениями источника в фокальной плоскости линзы, образованными световыми лучами с длинами волн λ_1 и λ_2 .

22.24. Параллельный пучок света, состоящего из красных и зеленых волн, падает перпендикулярно на одну из преломляющих граней призмы с малым углом преломления α . За призмой установлена линза с фокусным расстоянием f так, что ее оптическая ось совпадает по направлению с падающим на призму пучком света. Расстояние между изображениями источника в фокальной плоскости линзы в красном и зеленом свете равно l . Определить разность показателей преломления материала призмы для красного и зеленого света.

22.25. Найти показатель преломления и его градиент по высоте около поверхности Венеры. Атмосфера Венеры состоит из CO_2 , поляризуемость молекул которого $\alpha = 2.7 \cdot 10^{-23}$ см³. Давление около поверхности Венеры принять равным $p = 100$ атм и температуру $T = 500^\circ$ С.

22.26. Показатель преломления сероуглерода для света с длинами волн 0,509; 0,534; 0,589 мкм равен, соответственно, 1,647; 1,640; 1,630. Вычислить фазовую и групповую скорости света вблизи $\lambda = 0,534$ мкм.

Глава 2.2.3 ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

23.01. Предмет расположен на расстоянии l от глаза. Между предметом и глазом помещена стеклянная пластинка толщиной h . На каком расстоянии виден предмет, если показатель преломления стекла n ? Пластинку располагают перпендикулярно лучу зрения.

23.02. На главной оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием 30 см на расстоянии 45 см линзы находится точечный источник света. На какую величину сместится изображение, если между источником и линзой перпендикулярно оси линзы поставить плоскопараллельную стеклянную пластинку толщиной 15 см с показателем преломления 1,57. Ограничиться рассмотрением приосевых световых пучков.

23.03. Тонкая собирающая линза с фокусным расстоянием $f = 25$ см находится на расстоянии $l = 45$ см от вогнутого сферического зеркала с радиусом кривизны $R = 60$ см. Центр кривизны зеркала лежит на главной оптической оси линзы. На оси линзы на расстоянии $a = 35$ см от нее со стороны, противоположной зеркалу, находится точечный источник света. Сколько действительных изображений источника получится в такой оптической системе, и где они будут находиться?

23.04. С помощью линзы, оптическая ось которой OO' , получено изображение B точки A , не лежащей на оптической оси. Какая это линза, где она расположена, где находится ее фокус?

23.05. Из сферического зеркала радиуса R вырезали центральную часть диаметром $2r$ и сместили вдоль оптической оси на $5R$. Найти местоположение фокальной плоскости такой системы.

23.06. В цилиндрическую мензурку радиуса r налита вода имеющая показатель преломления n . Определить фокусное расстояние получившейся цилиндрической линзы. Толщиной стенок мензурки пренебречь.

23.07. Тонкий стеклянный капилляр радиуса r вертикально опущен в сосуд с водой так, что нижний конец капилляра находится ниже поверхности жидкости. После того, как установился уровень жидкости в капилляре, его аккуратно надламывают на расстоянии $h/2$ от поверхности жидкости, где h - высота столбика воды в капилляре. Определить фокусные расстояния получившейся оптической системы. Поверхность стекла, из которого изготовлен капилляр, считать абсолютно смачиваемой.

23.08. В прямоугольный прозрачный сосуд с вертикальными пленками налита жидкость, показатель преломления которой меняется по линейному закону от дна к поверхности. На боковую поверхность на поверхность сосуда перпендикулярно ей падает широкий пучок параллельных световых лучей. Найти радиус кривизны лучей в сосуде.

23.09. Найти кривизну светового луча, пущенного горизонтально, в атмосфере планеты Венера. Считать, что атмосфера состоит из CO_2 , поляризуемость молекул которого $\alpha = 2.7 \cdot 10^{-23} \text{ см}^3$. Давление около поверхности Венеры принять равным 100 атм и температуру $T = 500^\circ\text{C}$.

23.10. У стены комнаты, противоположной окну, стоит наполненный водой шар. Наблюдатель, находящийся посередине между окном и шаром, видит в шаре два изображения окна разных размеров. Как относятся размеры изображений, если радиус шара R , а расстояние от шара до окна l .

23.11. На поверхности жидкости, имеющей показатель преломления n_1 , плавает легкая тонкая плосковыпуклая линза. Найти фокусные расстояния получившейся оптической системы, считая, что линза практически не погружена в жидкость, имеет показатель преломления n_2 , а радиус кривизны выпуклой части равен R .

23.12. Перед идеальной собирающей линзой, имеющей фокусное расстояние f и диаметр D , поместили маленький зеркальный шарик радиуса r ($r \ll D$), при этом полученная конструкция имеет аксиальную симметрию. Параллельно оси симметрии на линзу падает световой поток интенсивности I_0 . Определить количество световой энергии,

падающей за единицу времени на участок фокальной плоскости, ограниченной окружностью радиуса R ($R < d/2$) с центром, лежащим на оси симметрии. Длина волны падающего излучения много меньше радиуса шарика ($\lambda \ll r$).

23.13. Две тоненькие одинаковые положительные линзы с фокусным расстоянием $+f$ расположены на расстоянии f друг от друга так, что их оптические оси совпадают. На расстоянии a от одной из них находится источник света. Найти положение изображения.

23.14. Телеобъектив фотоаппарата состоит из двух линз: положительной линзы, с фокусным расстоянием $+6$ см, обращенной к объекту, и отрицательной линзы, с фокусным расстоянием -2.5 см. Расстояние между линзами равно 4 см. На каком расстоянии от отрицательной линзы должна располагаться фотопленка при фотографировании удаленных предметов.

23.15. Две тонкие положительные линзы с фокусными расстояниями f и $2f$ расположены на расстоянии f друг от друга так, что их оптические оси совпадают. На каком расстоянии a перед первой линзой следует расположить источник, чтобы его изображение оказалось расположенным на таком же расстоянии за другой линзой?

23.16. К вогнутому сферическому зеркалу, радиус кривизны которого равен $R = 1$ м, приложена вплотную тонкая положительная линза. На расстоянии $a = 20$ см перед этой системой, перпендикулярно ее оптической оси, расположен плоский предмет. Оказалось, что плоскость предмета совпадает с плоскостью изображения, образованного после прохождения света через линзу, отражения от зеркала и вторичного прохождения через линзу. Определить фокусное расстояние линзы.

23.17. Плоский предмет помещен на расстоянии $a = 60$ см перед выпуклым сферическим зеркалом, к которому вплотную приложена тонкая положительная линза с фокусным расстоянием $f = 20$ см. Плоскость предмета перпендикулярна к оптической оси системы. Оказалось, что плоскость предмета совпадает с плоскостью изображения,

образованного после вторичного прохождения света через линзу. Определить радиус кривизны выпуклого зеркала.

23.18. На расстоянии a от тонкой положительной линзы на ее оптической оси помещен точечный источник света. За линзой на расстоянии $3/4 a$ расположено плоское зеркало. Изображение источника, образованное после прохождения света через линзу, отражения от зеркала и вторичного прохождения через линзу, находится на середине отрезка, соединяющего источник с центром линзы. Определить фокусное расстояние линзы.

23.19. На узкую щель падает по нормали параллельный пучок света с длиной волны λ . Оценить, при какой ширине щели b ширина светлой полосы на экране, находящегося на расстоянии $l \gg b$ от щели, будет минимальной ?

23.20. Диаметр отверстия зеркала рефлектора - 100 см. Оценить минимальное разрешаемое угловое расстояние телескопа для длины волны $\lambda = 0.55$ мкм.

23.21 Каково должно быть минимальное расстояние между двумя точками на поверхности Марса, чтобы их изображения на телескопе (рефракторе) с диаметром объектива в 60 см можно было отличить от изображения одной точки? Считать, что Марс наблюдается в момент великого противостояния, когда расстояние до него от Земли минимально и составляет 56 миллионов км.

Глава 2.2.4. ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

24.01. Оценить, при каких размерах металлических пылинок солнечное световое давление будет сообщать им скорость, направленную от Солнца. Светимость Солнца (энергия, излучаемая в единицу времени) составляет $4 \cdot 10^{26}$ Вт, масса Солнца - $2 \cdot 10^{30}$ кг.

24.02. Главные показатели преломления и поглощения железа, соответственно, равны 1.51 и 1.63. Найти инварианты Кеттелера и значения показателей преломления и поглощения для углов падения 30° и 45° .

24.03. Пучок интенсивности I_0 падает нормально на плоскопараллельную прозрачную пластинку, толщина которой d . Пучок содержит все длины волн в диапазоне от λ_1 до λ_2 одинаковой спектральной интенсивности. Определить интенсивность прошедшего через пластинку пучка, если в этом диапазоне длин волн коэффициент поглощения линейно зависит от λ в пределах от χ_1 до χ_2 и коэффициент отражения каждой поверхности равен ρ . Вторичными отражениями пренебречь.

24.04. Естественный свет падает под углом Брюстера на поверхность стекла. Найти коэффициент отражения и степень поляризации преломленных лучей.

24.05. Степень поляризации частично поляризованного света $P = 0.25$. Найти отношение интенсивности I_0 . Определить интенсивность прошедшего пучка, если падающий свет линейно поляризован, причем плоскость поляризации его совпадает с плоскостью падения. Найти степень поляризации прошедшего через пластинку пучка, если падающий свет - естественный.

24.06. На плоскопараллельную пластинку падает под углом Брюстера узкий пучок света интенсивности I_0 . Определить интенсивность прошедшего пучка, если падающий свет линейно поляризован, причем плоскость поляризации его совпадает с плоскостью

падения. Найти степень поляризации прошедшего через пластину пучка, если падающий свет - естественный.

24.07. На пути частично поляризованного пучка света поместили николю. При повороте николя на углу $\alpha = 60^\circ$ из положения, соответствующего максимальному пропусканию света, интенсивность прошедшего света уменьшилась в $\eta = 3$ раза. Найти степень поляризации падающего света.

24.08. Кварцевая пластинка, вырезанная параллельно оптической оси, помещена между двумя скрещенными николями так, что ее оптическая ось составляет угол 45° с главными направлениями николей. При какой минимальной толщине пластинки свет с $\lambda_1 = 0.643$ мкм будет проходить через эту систему с максимальной интенсивностью, а свет с $\lambda_2 = 0.564$ мкм будет сильно ослаблен? Разность показателей преломления для обеих длин волн одинакова и равна $n_e - n_o = 0.009$.

24.09. Предельный угол полного внутреннего отражения для некоторого вещества равен 45° . Чему равен для него угол Брюстера?

24.10. Естественный свет проходит через поляризатор и анализатор, поставленные так, что угол между их главными плоскостями равен α . Как поляризатор, так и анализатор поглощают и отражают 8% интенсивности падающего на них света. Луч, вышедший из анализатора, имеет 9% интенсивности естественного света, падающего на поляризатор. Найти угол α .

24.11. Ячейку Керра поместили между двумя скрещенными николями так, что направление электрического поля E в конденсаторе образует угол $\alpha = 45^\circ$ с главными направлениями диполей. Конденсатор имеет длину $l = 10$ см и заполнен нитробензолом. Через систему проходит свет с $\lambda = 0.5$ мкм. Постоянная Керра $B = 2.2 \cdot 10^{-10}$ см/В². Определить минимальную напряженность электрического поля E в конденсаторе, при которой интенсивность света, прошедшего через эту ячейку, будет оставаться постоянной при вращении выходного николя.

24.12. Свет проходит через систему из двух скрещенных поляроидов, между которыми расположена кварцевая пластинка, вырезанная перпендикулярно к оптической оси. Определить минимальную толщину пластинки, при которой свет с длиной волны $\lambda_1 = 0.436$ мкм будет полностью задерживаться этой системой, а свет с длиной $\lambda_2 = 0.497$ мкм - пропускаться на половину, если постоянная вращения кварца для этих длин волн равна, соответственно, 41.5 и 31.1 угл. град/мм.

24.13. Некоторое вещество помещено в продольное магнитное поле соленоида, расположенного между двумя поляроидами. Длина трубки с веществом $l = 30$ см. Определить постоянную Верде, если при напряженности магнитного поля $H = 710$ Э угол поворота плоскости поляризации $\varphi_1 = +5^\circ 10'$ для одного направления поля и $\varphi_2 = -3^\circ 20'$ для противоположного направления поля.

24.14. Стоячие ультразвуковые волны образуются в кювете так, что волновой вектор падающей на кюветку световой волны параллелен поверхности постоянной фазы звуковой волны. Дифракционные максимумы и минимумы наблюдаются в трубу, установленную на бесконечность. Найти связь угла дифракции для максимума m -го порядка с длиной звуковой волны. Определить скорость звука в толуоле, если в фокальной плоскости объектива с $f = 30$ см расстояние между двумя соседними максимумами равно $\Delta X = 0.546$ мм, а чистота ультразвука 4000 килогерц.

Глава 2.2.5. ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ. ЛАЗЕРЫ

25.01. Небольшое светящееся тело, нагретое до температуры T , падает на поверхность Луны с расстояния r от ее центра. Определить световую энергию, протекшую через площадку единичной площади, лежащую на поверхности Луны в месте падения.

25.02. Коэффициент отражения от полуплоскости зависит от частоты по закону $R(\omega)$. Найти распределение по спектру теплового излучения от полуплоскости, если ее температура T .

25.03. Найти распределение по спектру теплового излучения прозрачной пластинки, для которой известны средние коэффициенты отражения $r = (r_{\parallel} + r_{\perp}) / 2$ и пропускания $t = (t_{\parallel} + t_{\perp}) / 2$.

25.04. Найти температуру спутника, вращающегося вокруг Солнца по круговой орбите с радиусом $r = 2 \cdot 10^8$ км. Светимость Солнца (энергия, излучаемая в единицу времени) составляет примерно $4 \cdot 10^{26}$ Вт. Спутник считать абсолютно черным телом.

25.05. Квадратная тонкая пластинка массы m со стороной a , окрашенная с одной стороны в черный цвет, а с другой имеющая абсолютно зеркальную поверхность, прикреплена к невесомой вертикальной оси одной из своих сторон и может свободно вращаться вокруг нее, при этом пластинка и ось, на которой они крепятся, лежат в одной плоскости. Пластинка имеет температуру T_1 и удельную теплоемкость q_1 . Описанное устройство помещают в полую сферическую поверхность, имеющую температуру T_2 и следующие параметры: R - внешний радиус, h - толщина стенок, M - масса полости, q_2 - удельная теплоемкость вещества, из которого сделана полость. Определить установившуюся температуру пластинки. Считать полость изолированной, откаченной до абсолютного вакуума, неизлучающей верхней поверхностью.

25.06. Импульс лазерного излучения с плотностью потока энергии $I_0 = 10^8$ Вт/см² падает на толстую металлическую мишень. Полагая, что вся энергия излучения

поглощается в металле, оценить минимальную длительность импульса, при которой поверхность мишени достигнет температуры плавления T_0 .

25.07. На поверхности диэлектрика с металлической пленкой малой толщины нормально падает лазерный луч с плотностью потока энергии $I_0 = 10^8$ Вт/см². Коэффициент отражения металлической пленки R равен 0.89. Температура плавления металла $T_0 = 660^\circ\text{C}$, коэффициент температуропроводности диэлектрика $\chi = 0.0004$ см²/с. Найти длительность импульса, если температура пленки достигла $0.7 T_0$.

25.08. Световой импульс излучения лазера образован в результате интерференции $N + 1$ эквидистантных продольных мод, фазы которых синхронизированы, причем $\varphi_{n+1} - \varphi_n = \varphi_0$. Длина резонатора l . Найти длительность сверхкороткого светового импульса.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Основные физические величины и единицы их измерений

В науке и технике используются единицы измерения физических величин, образующие определенные системы. В основу совокупности единиц, устанавливаемой стандартом для обязательного применения, положены единицы международной системы СИ. В теоретических разделах физики широко используются единицы систем СГС, СГСЭ, СГСМ и система единиц Гаусса. Часто применяются единицы технической системы МКГСС и некоторые внесистемные единицы.

Международная система единиц СИ построена на шести основных единицах (метр, килограмм, секунда, кельвин, ампер, кандела) и двух дополнительных (радиан, стерадиан). Однако, наряду с единицами системы СИ, в учебной и научной литературе принято использовать единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ (например, тонна, минута, час, градус Цельсия, градус, минута, секунда, литр, киловатт-час, оборот в секунду, оборот в минуту); единицы системы СГС и другие единицы, применяемые в теоретических разделах физики и астрономии (световой год, парсек, барн, электрон-вольт), а также единицы, временно допускаемые к применению (такие как ангстрем, миллиметр ртутного столба, лошадиная сила, калория, килокалория, рентген, кюри).

Сокращенные обозначения единиц применяются только после числового значения величины или в заголовках граф таблиц. Нельзя применять сокращенные обозначения вместо полных наименований в тексте без числового значения величин. При использовании как русских, так и международных обозначений единиц используется прямой шрифт; обозначения (сокращения) единиц, названия которых даны по именам ученых (ньютон, паскаль, ватт и т.д.) следует писать с заглавной буквы (Н, Па, Вт); в обозначениях единиц точку, как знак сокращения не применяют. Обозначения единиц,

входящих в произведение, разделяются точками, как знаками умножения; в качестве знака деления применяют обычно косую черту; если в знаменатель входит произведение единиц, то оно заключается в скобки. Примеры обозначения произвольных единиц: Н·м; кг/м³ или кг·м⁻³; Дж/(кг·К).

Для образования кратных и дольных единиц используются десятичные приставки (табл. П.6). Особенно рекомендуется применение приставок, представляющих собой степень числа 10 с показателем, кратным трем. Целесообразно использовать дольные и кратные единицы, образованные от единиц СИ и приводящие к числовым значениям, лежащим между 0.1 и 1000 (например, 17000 Па следует записать как 17 кПа).

Не допускается присоединение двух и более приставок к одной единице (например, 10⁻⁹м следует записать как 1 нм). Для образования единиц массы приставку присоединяют к основному наименованию грамм (например, 10⁻⁶кг = 10⁻³г = 1мг). Если сложное наименование исходной единицы представляет собой произведение или дробь, то приставку присоединяют к наименованию первой единицы (например, кН·м, МВт/м²). В необходимых случаях допускается в знаменателе применять дольные единицы длины, площади и объема (например, В/см, А/мм²).

В табл. П.1 – П.5 приведены основные физические и астрономические постоянные, некоторые внесистемные единицы, оптические интервалы длин волн для разных цветов, а также атомные и ядерные характеристики некоторых изотопов и фундаментальных элементарных частиц.

Табл.П.6 знакомит с приставками и множителями для образования кратных и дольных единиц физических величин, употребляемых в учебной и научной литературе.

Наконец, табл.П.7 адресована читателю для помощи при решении заданий семинарских и практических занятий. Представляет собой специально подобранные данные, используемые в нетрадиционных задачах повышенной сложности.

Основные физические постоянные

Величина	Обозначение	Численное значение в системах единиц
Газовая постоянная	R	8,314 Дж/(моль·К)
Боровский радиус	r_0	$0,529 \cdot 10^{-10}$ м
Атомная единица массы	1 а.е.м.	$1,6604 \cdot 10^{-27}$ кг 931,42 МэВ
Магнетон Бора	τ_B	$0,92741 \cdot 10^{-23}$ Дж/Тл $0,92741 \cdot 10^{-20}$ эрг/Тл
Масса нейтрона	m_n	$1,67495 \cdot 10^{-27}$ кг 939,57 МэВ
Масса протона	m_p	$1,67265 \cdot 10^{-27}$ кг 938,28 МэВ
Масса электрона	m_e	$0,91096 \cdot 10^{-30}$ кг 0,51100 МэВ
Постоянная Больцмана	k	$1,380622 \cdot 10^{-23}$ Дж/К $0,8617082 \cdot 10^{-4}$ эВ/К
Постоянная Планка	\hbar	$1,0545915 \cdot 10^{-34}$ Дж·с $0,6582176 \cdot 10^{-15}$ эВ·с
Постоянная закона смещения Вина	b	$2,898 \cdot 10^{-3}$ м·К
Гравитационная постоянная	γ	$6,6720 \cdot 10^{-11}$ м ³ /(кг·с ²)
Постоянная Ридберга	R	$2,0670687 \cdot 10^{16}$ с ⁻¹
Постоянная Стефана-Больцмана	σ	$5,670 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м ² ·К ⁴)
Скорость света в вакууме	c	$2,997925 \cdot 10^8$ м/с
Стандартное атмосферное давление	p_0	1013,25 гПа

Стандартное ускорение свободного падения	g	$9,80665 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$
Число Авогадро	N_A	$6,022\cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Элементарный заряд	e	$1,602\cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ $4,803\cdot 10^{-10} \text{ СГСЭ}$
Электрическая постоянная	$1/4\pi\epsilon_0$	$8,9875\cdot 10^9 \text{ Н}\cdot\text{м}^2/\text{Кл}^2$
Магнитная постоянная	$\mu_0/4\pi$	10^{-7} Н/А^2

Таблица П.2

Некоторые астрофизические постоянные

Величина	Обозначение	Численное значение
Масса Солнца	M_C	$1,99\cdot 10^{33} \text{ г}$
Энергия, испускаемая Солнцем в 1 с /светимость/	L_C	$3,86\cdot 10^{33} \text{ эрг/с}$ $3,86\cdot 10^{26} \text{ Вт}$
Радиус Солнца	R_C	$6,96\cdot 10^{10} \text{ см}$
Угловой радиус Солнца на среднем расстоянии от Земли	α_R	$4,65\cdot 10^{-3} \text{ рад}$
Температура Солнца вблизи поверхности	T_C	$5,5\cdot 10^3 \text{ К}$
Масса Земли	M_3	$5,98\cdot 10^{24} \text{ моль}$
Радиус Земли /на экваторе/	R_3	$6,38\cdot 10^8 \text{ см}$
Температура земли /средняя/	T_3	300 К
Средняя скорость движения Земли по орбите	V_3	$3\cdot 10^6 \text{ см/с}$

Таблица П.3

Некоторые внесистемные единицы

Единицы длины	Обозначения	Значение в единицах СИ	Значение в единицах СГС
парсек	пк	$3,1 \cdot 10^{16}$ м	$3,1 \cdot 10^{18}$ см
ангстрем	Å	10^{-10} м	10^{-8} см
Ферми	Фм	10^{-15} м	10^{-13} см
Единица площади барн	бн	10^{-28} м ²	10^{-24} см ²
Единица времени год	г	$3,16 \cdot 10^7$ с	$3,16 \cdot 10^7$ с
Единица энергии электронвольт	эВ	$1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж	$1,6 \cdot 10^{-12}$ эрг

Таблица П.4

Интервал длин волн, соответствующий различным цветам спектра

Цвет спектра	Интервал длин волн, нм
Фиолетовый	400...450
Синий	450...480
Голубой	480...500
Зелёный	500...560
Жёлтый	560...590
Оранжевый	590...620
Красный	620...760

Таблица П.5

Атомный номер Z и масса m /в а.е.м./ некоторых элементарных частиц и изотопов

Z	Название	Символ	m
-	Электрон	e	0,0005
-	Нейтрон	n	1,0087
1	Протон	p	1,0073
1	Водород	I_H	1,0078
11	Натрий	^{23}Na	22,9897
12	Магний	^{24}Ma	24,3050
13	Алюминий	^{27}Al	26,9815
19	Калий	^{39}K	39,0980
23	Ванадий	^{51}V	50,9415
26	Железо	^{56}Fe	55,8470
27	Кобальт	^{59}Co	58,9332
28	Никель	^{59}Ni	58,7000
30	Цинк	^{65}Zn	65,3800
77	Иридий	^{192}Ir	192,2000
78	Платина	^{195}Pt	195,0900
79	Золото	^{197}Au	196,9665
80	Ртуть	^{201}Hg	200,5900
81	Таллий	^{204}Tl	204,3700

Таблица П.6

Приставки и множители для образования десятичных кратных и дольных единиц и
их наименования

Кратные			Дольные		
Наименование	Обозначение	Множитель	Наименование	Обозначение	Множитель
тера	Т	10^{12}	санти	с	10^{-2}
гига	Г	10^9	милли	м	10^{-3}
мега	М	10^6	микро	мк	10^{-6}
кило	к	10^3	нано	н	10^{-9}
гекто	г	10^2	пико	п	10^{-12}
дека	да	10^1	фемто	ф	10^{-15}
деци	д	10^{-1}	атто	а	10^{-18}

Десятичные кратные и дольные единицы

Десятичные кратные и дольные единицы, а также их наименования и обозначения следует образовывать с помощью множителей и приставок, приведённых в таблице П.6.

1. Присоединение к наименованию единицы двух или более приставок подряд не допускается. Например, вместо наименования нанонанограмм следует писать аттограмм.

Для образования кратных и дольных единиц массы следует использовать дольную единицу грамм (0,001 кг), так как наименование основной единицы – килограмм содержит приставку «кило». Поэтому приставку надо присоединять к слову «грамм», например, миллиграмм, а не микрокилограмм.

Дольную единицу массы (грамм) допускается применять и без приставки.

2. Приставку или её обозначение следует писать слитно с наименованием единицы, к которой она присоединяется, или соответственно с её обозначением.

3. Если единица образована как произведение или отношение единиц, приставку следует присоединять к наименованию первой единицы, входящей в произведение или отношение. Например, единица измерения для гамма-постоянной в радиометрии $\text{aP}\cdot\text{m}^2/\text{с}\cdot\text{Бк}$.

Допускается применять приставку во втором множителе произведения или в знаменателе лишь в обоснованных случаях, когда такие единицы широко распространены и переход к единицам, образованным в соответствии с приведёнными выше в этом пункте рекомендациями, связан с большими трудностями, например, $\text{Вт}/\text{см}^2$, $\text{В}/\text{см}$, $\text{А}/\text{мм}^2$. Особо заметим, что не допускается одновременное применение приставок и в числителе, и в знаменателе отношения единиц.

4. Наименование кратных и дольных единиц от единицы физической величины, возведённой в степень, следует образовывать путём присоединения приставки к

наименованию исходной единицы, например, для образования наименования кратной и дольной единицы от единицы площади (квадратного метра), представляющей собой вторую степень единицы длины – метра. Приставку следует присоединять к наименованию этой последней единицы: квадратный километр, квадратный сантиметр и т.д.

5. Выбор десятичной кратной или дольной единицы от единицы СИ диктуется прежде всего удобством её применения.

Кратные и дольные единицы рекомендуется выбирать так, чтобы размеры единицы и выражаемой в ней величины не отличались друг от друга на много порядков, т.е. чтобы числовые значения величин находились в диапазоне от 0,1 до 1000.

В некоторых случаях целесообразно применять одну и ту же кратную и дольную, единицу, даже если числовые значения выходят за пределы диапазона от 0,1 до 1000, например, в таблицах числовых значений для одной величины или при сопоставлении этих значений в одном тексте.

6. Для снижения вероятности ошибок при расчётах десятичные кратные и дольные единицы рекомендуется подставлять только в конечный результат, а в процессе вычислений все величины выражать в единицах СИ, заменяя приставки степенями числа 10.

Основные физические и астрономические постоянные

Величина	Обозначение	Численное значение
Гравитационная постоянная	γ	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ кг}^{-1} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{с}^{-2}$
Нормальное ускорение свободного падения	g	$9,8 \text{ м с}^{-2}$
Радиус Земли	R_3	$6,37 \cdot 10^6 \text{ м}$
Радиус Солнца	R_c	$6,95 \cdot 10^8 \text{ м}$
Радиус земной орбиты	R_0	$1,49 \cdot 10^{11} \text{ м}$
Постоянная Больцмана	k	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}$
Число Авогадро	N_0	$6,02 \cdot 10^{26} \text{ к} \cdot \text{моль}^{-1}$
Универсальная газовая постоянная	R	$8,31 \cdot 10^3 \text{ Дж} \cdot \text{кмоль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$
Абсолютный нуль температуры	0 К	$-273,15^0 \text{ С}$
Мольный объем идеального газа при нормальных условиях	V_0	$22,4 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}$
Скорость света в вакууме	c	$3,00 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{12} \text{ Ф} \cdot \text{м}^{-1}$
Магнитная постоянная	μ_0	$12,6 \cdot 10^{-7} \text{ Г} \cdot \text{м}^{-1}$
Элементарный электрический заряд	e	$1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Число Фарадея	F	$9,65 \cdot 10^7 \text{ Кл} \cdot \text{кмоль}^{-1}$
Масса покоя электрона	m_e	$9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Масса покоя протона	m_p	$1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$

Атомная единица массы	а.е.м.	$1,66 \cdot 10^{-27}$ кг
Постоянная Планка	h	$6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Постоянная Стефана- Больцмана	σ	$5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт·м ⁻² ·К ⁻⁴
Постоянная Вина	b	$0,209 \cdot 10^{-2}$ м·К