

# Задачи по физике

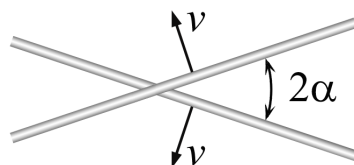
## 10 класс

А. П. Ершов, В. Г. Харитонов, О. Я. Савченко, Д. А. Медведев

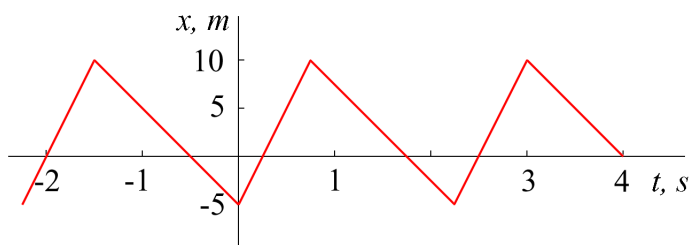
### Содержание

<b>1</b>	<b>Кинематика</b>	<b>2</b>
1.1	Движение с постоянной скоростью . . . . .	2
1.2	Движение с переменной скоростью . . . . .	2
1.3	Движение в поле тяжести. Криволинейное движение . . . . .	3
1.4	Движение со связями . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Динамика</b>	<b>5</b>
2.1	Законы Ньютона . . . . .	5
2.2	Импульс. Центр масс . . . . .	9
2.3	Энергия системы. Передача энергии. Мощность . . . . .	10
2.4	Столкновения . . . . .	12
2.5	Статика . . . . .	13
2.6	Движение в поле тяготения . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Механика жидкости</b>	<b>15</b>
3.1	Давление жидкости . . . . .	15
3.2	Движение идеальной жидкости . . . . .	15
<b>4</b>	<b>Молекулярная физика</b>	<b>16</b>
4.1	Тепловое движение частиц . . . . .	16
4.2	Уравнение состояния идеального газа . . . . .	16
4.3	Первое начало термодинамики. Теплоемкость . . . . .	18
4.4	Второе начало термодинамики . . . . .	19
4.5	Свойства жидкостей и твердых тел . . . . .	19
4.6	Функции распределения . . . . .	20
<b>5</b>	<b>Электричество и магнетизм</b>	<b>22</b>
5.1	Электростатика . . . . .	22
5.2	Электрический ток . . . . .	24

5.3	Магнетизм . . . . .	25
6	Ответы	26



К задаче 1.1.4



К задаче 1.1.5

## 1 Кинематика

### 1.1 Движение с постоянной скоростью

**1.1.1.** В реку, скорость течения которой  $u$ , из некоторой точки  $O$  на берегу бросают камень перпендикулярно берегу. Скорость поверхностных волн в воде  $c$ . Через какое время после падения камня волны от него придут в точку  $O$ , если камень упал в воду на расстоянии  $l$  от берега.

**1.1.2.** Какой будет продолжительность полета самолета из Новосибирска в Москву и обратно, происходящего по прямой, если в течение всего полета ветер дует под углом  $\alpha$  к трассе со скоростью  $u$ ? Скорость самолета относительно воздуха  $v$ , длина трассы  $L$ . При каком направлении ветра продолжительность полета максимальная?

**1.1.3.** Спортсмены бегут колонной длины  $l$  со скоростью  $v$ . Навстречу бежит тренер со скоростью  $u < v$ . Каждый спортсмен, поравнявшись с тренером, разворачивается и начинает бежать назад с той же по модулю скоростью. Какова будет длина колонны, когда все спортсмены развернутся?

◇ **1.1.4.** Два стержня пересекаются под углом  $2\alpha$  и движутся с равными скоростями  $v$  перпендикулярно самим себе. Какова скорость точки пересечения стержней?

◇ **1.1.5.** По графику зависимости координаты от времени постройте график зависимости скорости от времени.

### 1.2 Движение с переменной скоростью

**1.2.1.** Скорость течения в реке ширины  $h$  меняется по закону  $U = U_0 \sin(\pi x/h)$  в зависимости от расстояния до берега  $x$ . Пловец передвигается со скоростью

$v$  в неподвижной воде. На сколько его снесет при переплывании реки, если он держится поперек берега?

**1.2.2.** "Корабль шел на пределе, дальнейший разгон не предусматривался инструкциями космофлота. Каждый час скорость возрастала на тысячу километров в секунду." (*Кир Булычев*. Агент КФ // Химия и жизнь. 1984. №12. С. 111). Найдите ускорение корабля. Во сколько раз оно превосходит ускорение свободного падения на Земле?

**1.2.3.** Время отправления электрички по расписанию 12.00. На ваших часах 12.00, но мимо вас уже начинает проезжать предпоследний вагон, который движется мимо вас в течение времени  $t_1$ . Последний вагон проходит мимо вас в течение времени  $t_2$ . Электричка отправилась вовремя и движется равноускоренно. На какое время отстают ваши часы?

### 1.3 Движение в поле тяжести. Криволинейное движение

**1.3.1.** Ракета взлетает вертикально вверх с ускорением  $a$ . На высоте  $H$  от нее отделяется первая ступень. Найти, через какое время первая ступень упадет на землю. Сопротивлением воздуха и зависимостью  $g$  от высоты пренебречь.

**1.3.2.** Из одной точки вылетают одновременно две частицы с горизонтальными противоположно направленными скоростями  $v_1 = 2$  м/с и  $v_2 = 5$  м/с. Через какое время угол между направлениями скоростей частиц станет равным  $90^\circ$ ?

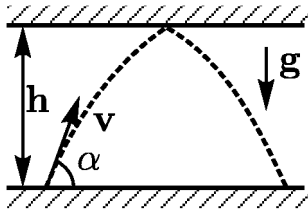
◇ **1.3.3.** Какое расстояние пролетит по горизонтали мяч, брошенный со скоростью  $v = 10$  м/с под углом  $\alpha = 60^\circ$  к горизонту, если он ударится о потолок? Высота потолка  $h = 3$  м, удар упругий.

◇ **1.3.4.** Какое расстояние пролетит по горизонтали мяч, брошенный со скоростью  $v = 10$  м/с под углом  $\alpha = 60^\circ$  к горизонту, если он ударится о вертикальную стену? Расстояние до стены  $h = 3$  м, удар упругий.

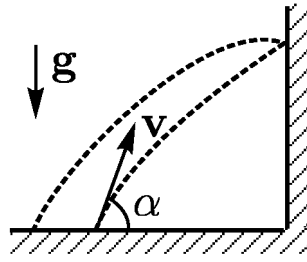
◇ **1.3.5.** Из отверстия шланга, прикрытого пальцем, бьют две струи под углом  $\alpha$  и  $\beta$  к горизонту с одинаковой начальной скоростью  $\mathbf{v}$ . На каком расстоянии от отверстия по горизонтали струи пересекутся?

**1.3.6.** Найдите дальность полета камня, брошенного с начальной скоростью  $v$  под углом  $\alpha$  к горизонту с обрыва высоты  $h$ . Сопротивлением воздуха пренебречь.

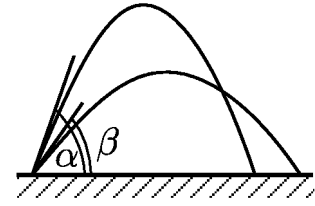
**1.3.7.** На горизонтальном диске на расстоянии  $r$  от центра лежит неболь-



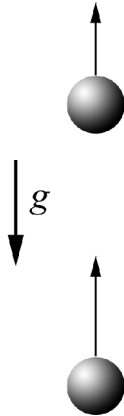
К задаче 1.3.3



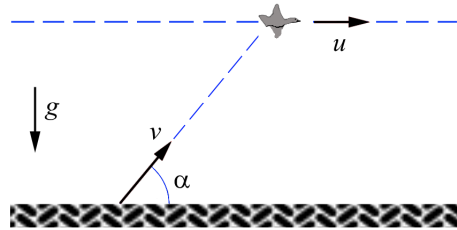
К задаче 1.3.4



К задаче 1.3.5



К задаче 1.3.8



К задаче 1.3.10

шое тело. Диск раскручивается так, что угловая скорость  $\omega = \varepsilon t$ . Коэффициент трения между диском и телом  $m$ . Найти, через какое время тело начнет соскальзывать с диска. Какая при этом угловая скорость?

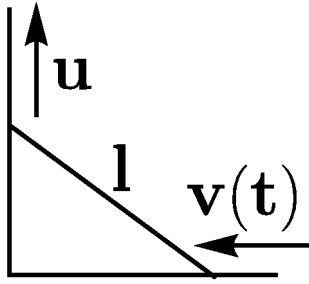
◇ **1.3.8.** Из одной и той же точки вертикально вверх с интервалом времени  $\Delta t$  выброшены два шарика со скоростью  $v$ . Через какое время после вылета второго шарика они столкнутся?

**1.3.9.** С какой скоростью должен в момент старта ракеты вылететь снаряд из пушки, чтобы поразить ракету, стартующую вертикально с ускорением  $a$ ? Расстояние от пушки до места старта ракеты равно  $L$ , пушка стреляет под углом  $45^\circ$  к горизонту.

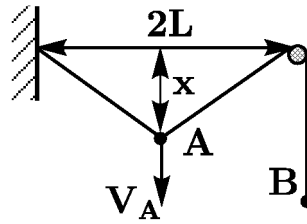
◇ **1.3.10.** Утка летела по горизонтальной прямой с постоянной скоростью  $u$ . В нее бросил камень неопытный "охотник", причем бросок был сделан без упреждения, т.е. в момент броска скорость камня  $v$  была направлена как раз на утку по углом  $\alpha$  к горизонту. На какой высоте летела утка, если камень все же попал в нее?

## 1.4 Движение со связями

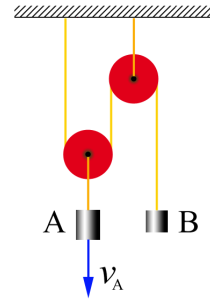
◇ **1.4.1.** Концы стержня тянут вверх со скоростью  $u$ . Найдите скорость  $v(t)$  другого конца. В начальный момент стержень расположен горизонтально.



К задаче 1.4.1



К задаче 1.4.2



К задаче 1.4.6

◇ 1.4.2. Найдите зависимость скорости точки  $B$  от времени, если скорость точки  $A$  постоянна и направлена вниз. При  $t = 0$ ,  $x = 0$ .

1.4.3. Четыре черепахи находятся в вершинах квадрата со стороной  $a$  и начинают одновременно ползти с постоянной по модулю скоростью  $v$ . Каждая черепаха постоянно движется по направлению к своей соседке по часовой стрелке. Где встретятся черепахи и через какое время?

1.4.4. Одна из частиц пылевого облака (частица  $A$ ) покоится, а все остальные разлетаются от нее в разные стороны со скоростями, пропорциональными расстояниям от них до частицы  $A$ . Какую картину движения обнаружит наблюдатель, движущийся вместе с частицей  $B$ ?

1.4.5. Идет отвесный дождь. Скорость капель  $u$ . По асфальту со скоростью  $v$  скользит мяч. Во сколько раз за один и тот же промежуток времени на него попадает больше капель, чем на такой же, но неподвижный мяч? Изменится ли ответ, если мяч не круглый?

◇ 1.4.6. Скорость груза  $A$  равна  $v_A$ . Чему равна скорость груза  $B$ ?

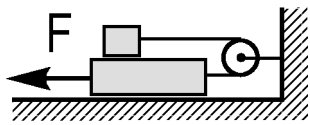
1.4.7. Бобина магнитофонной пленки проигрывается в течение времени  $t$  при скорости протяжки пленки  $v$ . Начальный радиус бобины (с пленкой) равен  $R$ , а конечный (без пленки) —  $r$ . Какова толщина пленки?

## 2 Динамика

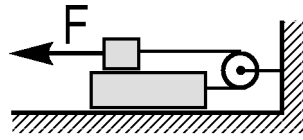
### 2.1 Законы Ньютона

◇ 2.1.1. Система изображена на рисунке. Коэффициент трения между телами массы  $m$  и  $M$  равен  $\mu$ . Стол гладкий. К телу массы  $M$  приложена сила  $F$ . Найдите ускорение тел и силу, действующую на стенку.

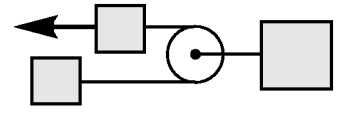
◇ 2.1.2. Система изображена на рисунке. Коэффициент трения между телами массы  $m$  и  $M$  равен  $\mu$ . Стол гладкий. К телу массы  $m$  приложена сила  $F$ .



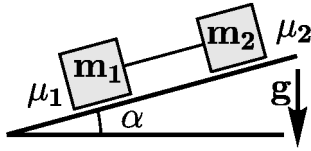
К задаче 2.1.1



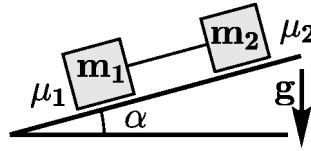
К задаче 2.1.2



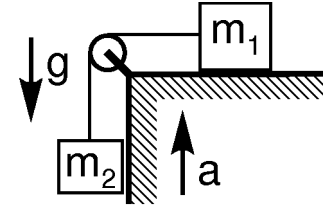
К задаче 2.1.4



К задаче 2.1.5



К задаче 2.1.6



К задаче 2.1.7

Найдите ускорение тел и силу, действующую на стенку.

**2.1.3.** Через какое время скорость тела, которому сообщили вверх по наклонной плоскости скорость  $v$ , снова будет  $v$ ? Коэффициент трения  $\mu$ , угол между плоскостью и горизонтом  $\alpha$ ,  $\operatorname{tg} \alpha > \mu$ .

◇ **2.1.4.** Найдите ускорение тел системы, изображенной на рисунке. Сила  $F$  приложена по направлению нити к одному из тел массы  $m$ . Участки нити по обе стороны легкого блока, прикрепленного к телу массы  $M$ , параллельны.

◇ **2.1.5.** С наклонной плоскости, углом наклона  $\alpha$  соскальзывают два груза массы  $m_1$  и  $m_2$ , связанные невесомой нерастяжимой нитью. Коэффициенты трения между грузами и плоскостью равны, соответственно,  $\mu_1$  и  $\mu_2$ , причем  $\mu_1 < \mu_2$ . Найдите силу натяжения нити.

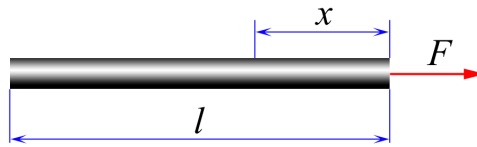
◇ **2.1.6.** С наклонной плоскости, с углом наклона  $\alpha$ , соскальзывают два груза массы  $m_1$  и  $m_2$ , соединенные невесомым нерастяжимым стержнем. Коэффициенты трения между грузами и плоскостью равны, соответственно,  $\mu_1$  и  $\mu_2$ . Найдите силу натяжения стержня.

◇ **2.1.7.** Система грузов, изображенная на рисунке, находится в лифте который, движется вверх с ускорением  $a$ . Найти силу натяжения нити, если коэффициент трения между грузом массы  $m_1$  и опорой равен  $\mu$ .

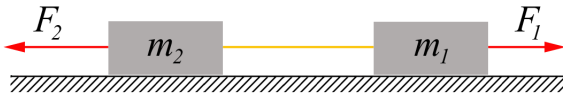
**2.1.8.** На горизонтальной поверхности находится тело массы  $m$ . На него действует сила  $F$ , направленная под углом  $\alpha$  к горизонту. Найти ускорение тела. Коэффициент трения  $\mu$ .

◇ **2.1.9.** Какая сила действует в поперечном сечении однородного стержня длины  $l$  на расстоянии  $x$  от того конца, к которому вдоль стержня приложена сила  $F$ ?

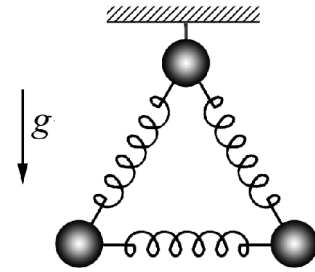
◇ **2.1.10.** Два тела массы  $m_1$  и  $m_2$  связаны нитью, выдерживающей силу



К задаче 2.1.9



К задаче 2.1.10



К задаче 2.1.11

натяжения  $T$ . К телам приложены силы  $F_1 = \alpha t$  и  $F_2 = 2\alpha t$ , где  $\alpha$  — постоянный коэффициент,  $t$  — время действия силы. Определите, в какой момент времени нить порвется.

◇ **2.1.11.** Система из трех одинаковых шаров, связанных одинаковыми пружинами, подвешена на нити. Нить пережигают. Найдите ускорения шаров сразу после пережигания нити.

◇ **2.1.12.** Тело массы  $m$  прикреплено к двум соединенным последовательно пружинам жесткости  $k_1$  и  $k_2$ . К свободному концу цепочки пружин приложена постоянная сила  $F$ . Каково суммарное удлинение пружин, если колебания уже прекратились?

◇ **2.1.13.** На горизонтальной доске лежит брусок массы  $m$ . Доску медленно наклоняют. Определить зависимость силы трения, действующей на брусок, от угла наклона доски  $\alpha$ . Коэффициент трения  $\mu$ .

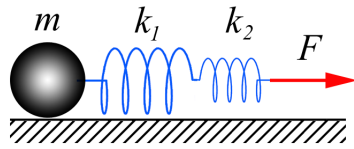
**2.1.14.** На обледеневшем участке шоссе коэффициент трения между колесами и дорогой в десять раз меньше, чем на необледеневшем. Во сколько раз нужно уменьшить скорость автомобиля, чтобы тормозной путь на обледеневшем участке шоссе остался прежним?

◇ **2.1.15.** Тело массы  $m_1$  лежит на доске массы  $m_2$ , находящейся на гладкой горизонтальной плоскости. Коэффициент трения между телом и доской  $\mu$ .

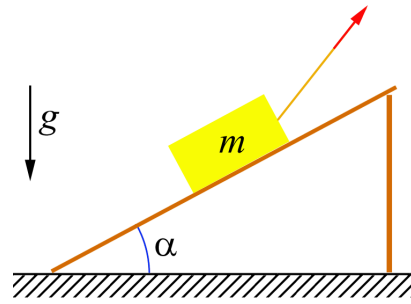
а. Какую силу надо приложить к доске, чтобы тело соскользнуло с нее? За какое время тело соскользнет, если к доске приложена сила  $F_0$ , а длина доски равна  $l$ ?

б. С каким ускорением движутся тело и доска, если сила  $F_0$  действует на тело массы  $m_1$ ?

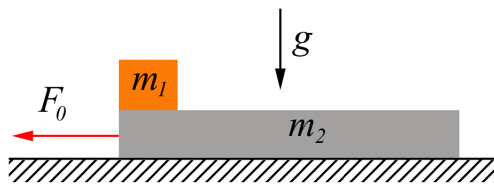




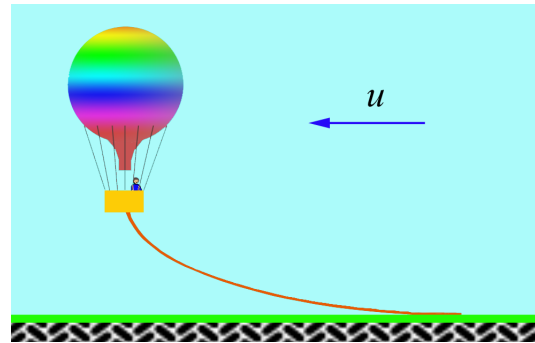
К задаче 2.1.12



К задаче 2.1.13



К задаче 2.1.15



К задаче 2.1.17

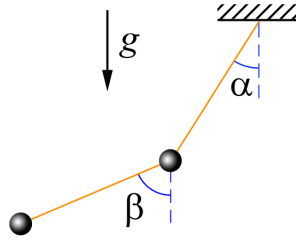
**2.1.16.** Почему скорость дождевых капель не зависит от высоты туч и сильно зависит от размеров капель?

◇ **2.1.17.** Масса воздушного шара вместе с канатом, волочащимся по земле, равна  $m$ ; выталкивающая сила, действующая на шар, равна  $F$ ; коэффициент трения каната о землю равен  $\mu$ . Сила сопротивления воздуха, действующая на воздушный шар, пропорциональна квадрату скорости шара относительно воздуха:  $f = \alpha v^2$ . Найдите скорость шара относительно земли, если дует горизонтальный ветер со скоростью  $u$ .

**2.1.18.** Ускорение звезд, входящих в состав двойной звезды,  $a_1$  и  $a_2$ . Какова масса второй звезды, если масса первой  $m_1$ ?

**2.1.19.** Два шарика массы  $m$  каждый, связанные нитью длины  $l$ , движутся со скоростью  $v$  по горизонтальному столу в направлении, перпендикулярном к связывающей их нити (нить не провисает). Середина нити налетает на гвоздь. Чему равна сразу после этого сила натяжения нити?

◇ **2.1.20.** К тяжелому шарик, подвешенному на нити длины  $l$ , подвешен второй тяжелый шарик на нити той же длины. При вращении шариков вокруг вертикальной оси, проходящей через верхнюю точку подвеса, обе нити лежат в одной плоскости и составляют с вертикалью постоянные углы  $\alpha$  и  $\beta$ . Найдите угловую скорость вращения шариков.



К задаче 2.1.20

## 2.2 Импульс. Центр масс

**2.2.1.** Снаряд, запущенный вертикально, разрывается в верхней точке траектории на два осколка с массами  $m$  и  $2m$ . Скорость легкого осколка  $v$ . Какова скорость тяжелого осколка?

**2.2.2.** Атом водорода с начальной скоростью  $v$  летит прямо на первоначально покоившийся атом гелия. Какова скорость частиц при наибольшем их сближении? Масса атома гелия вчетверо больше массы атома водорода.

**2.2.3.** Частица массы  $m$  движется со скоростью  $v$ , а частица массы  $2m$  – со скоростью  $2v$  перпендикулярно направлению первой. На каждую частицу начинают действовать одинаковые по величине и направлению силы. После прекращения действия сил оказалось, что первая частица движется со скоростью  $3v$  в направлении, обратном первоначальному. Найдите скорость второй частицы.

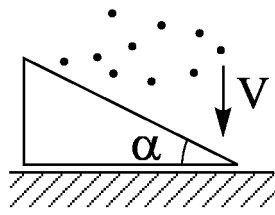
◇ **2.2.4.** Артиллерист стреляет из пушки ядром массы 12 кг в лагерь противника. На вылетевшее ядро садится барон Мюнхгаузен, масса которого 60 кг. Какую часть пути до неприятельского лагеря ему придется идти пешком?

**2.2.5.** По льду озера человек массы  $m$ , находящийся на расстоянии  $L$  от покоящихся саней массы  $M$ , разбегаются по прямой и с ходу "заваливается" в сани. Найти максимальный путь скольжения саней с человеком, если коэффициент трения саней о лед  $\mu_1$ , а обуви человека о лед  $\mu_2$ .

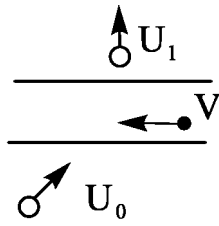
**2.2.6.** С какой минимальной скоростью относительно земли и под каким углом к горизонту должен прыгнуть жук массы  $m$  с края первоначально неподвижной соломинки массы  $M$  и длины  $l$ , чтобы попасть на другой ее конец? Трением соломинки о землю пренебречь.

**2.2.7.** Тонкую нить начинают вытягивать из клубка за конец с постоянной скоростью  $V$  вертикально вверх. С какой силой приходится тянуть нить в тот момент, когда длина вытянутой части равна  $L$ ? Масса единицы длины нити  $\rho$ . Размерами клубка по сравнению с длиной нити пренебречь.

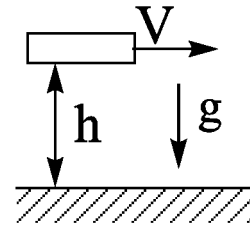
◇ **2.2.8.** Шар влетает со скоростью  $U_0$  под углом  $\alpha_1 = 120^\circ$  в поток песчи-



К задаче 2.2.4



К задаче 2.2.8



К задаче 2.2.9

нок, которые двигаются с одинаковыми скоростями и прилипают к шару при столкновении. После пробивания потока шар вылетает со скоростью  $U_1$  в 4 раза меньше начальной под углом  $\alpha_2 = 90^\circ$  к потоку. Какова скорость песчинок, и сколько их прилипло к шару, если масса песчинок в  $10^4$  раз меньше массы шара? Влиянием силы тяжести пренебречь.

◇ **2.2.9.** Найдите угол отскока кирпича массы  $M$  после удара плашмя о горизонтальную плоскость, если ему была сообщена горизонтальная скорость  $V$ . Известно, что после удара кирпич поднялся на прежнюю высоту  $h$ . Коэффициент трения кирпича о плоскость  $\mu$ .

**2.2.10.** На тележке массы  $M$  сидят два жука массы  $m_1$  и  $m_2$ . Одновременно жуки поползли навстречу друг другу со скоростями  $v_1$  и  $v_2$  относительно тележки. Какую скорость  $u$  приобрела при этом тележка?

**2.2.11.** Невесомый стержень длины  $L$  с телами массы  $m$  и  $M$ , закрепленными на его концах, движется поступательно со скоростью  $V_0$ , перпендикулярной его оси. Найдите силу натяжения стержня после того, как к этим телам одновременно прилипнут два первоначально покоившихся тела с такими же массами  $M$  и  $m$ .

**2.2.12.** По горизонтальной поверхности стола с постоянной скоростью  $V$  движется тело массы  $M$ . Снизу в него через отверстие попадает пуля массы  $m$ , летящая со скоростью  $U$  вертикально вверх, застревает. В результате столкновения тело "подпрыгивает". На каком расстоянии от точки столкновения тело приземлится на поверхность стола?

## 2.3 Энергия системы. Передача энергии. Мощность

**2.3.1.** Космический корабль движется со скоростью  $v$  через облако метеоров массы  $m$  каждый и плотностью  $n$  (штук/см<sup>3</sup>). Защитное поле отклоняет каждый метеор, летящий в корабль, на угол  $\alpha$ , не изменяя скорости. Какую мощность развивают двигатели корабля, если его поперечное сечение  $S$ ?

**2.3.2.** Найдите силу, необходимую для втаскивания тела массы  $m$  по наклонной плоскости с коэффициентом трения  $\mu$ , если угол наклона равен углу

скольжения. При каких коэффициентах трения имеется выигрыш в силе по сравнению с весом?

**2.3.3.** К нерастянутой пружине жесткости  $k$ , подвешенной к потолку, подцепляют груз массы  $m$  и отпускают. Найдите максимальное растяжение пружины. Ускорение силы тяжести  $g$ .

**2.3.4.** Какую работу надо совершить, чтобы поднять лежащий на земле столб массы  $m$  и длины  $L$  вертикально?

**2.3.5.** Сила сопротивления, действующая на корабль, пропорциональна квадрату его скорости. Во сколько раз следует увеличить мощность двигателя, чтобы скорость корабля возросла вдвое?

**2.3.6.** Оцените среднюю силу, развиваемую ногами человека при ударе о землю после прыжка со второго этажа.

**2.3.7.** Два груза массы  $m_1$  и  $m_2$  ( $m_1 > m_2$ ) соединены нитью, переброшенной через неподвижный блок, и расположены над столом на высоте  $h$ . В начальный момент грузы покоятся, затем их отпускают. Какое количество тепла выделится при ударе груза  $m_1$  об стол? удар абсолютно неупругий, т. е. груз прилипает к столу.

**2.3.8.** Лыжник съезжает с трамплина и после приземления на горизонтальную плоскость закатывается по инерции в гору. Определить высоту  $h$ , на которую закатится лыжник, если точка старта находится на высоте  $H_1$ , точка отрыва от трамплина – на высоте  $H_2$ ; угол подъема трамплина относительно горизонта в точке отрыва  $30^\circ$ . Трением лыж о снег и сопротивлением воздуха пренебречь.

**2.3.9.** Легкий пластмассовый шарик для игры в настольный теннис роняют с высоты  $h$ . В нижней точки его траектории по нему ударяют ракеткой снизу вверх, после чего шарик подпрыгивает на высоту, в  $n$  раз большую первоначальной. Определите скорость ракетки в момент удара. Считать удар упругим. Сопротивлением воздуха пренебречь.

**2.3.10.** Велосипедист может ехать с горы против ветра с максимальной скоростью  $v$ , в гору с попутным ветром — с той же скоростью. С какой  $\max$  скоростью велосипедист может ехать без ветра по ровной дороге, если скорость ветра  $v_1$ ?

**2.3.11.** На тележку падает снег в количестве  $10 \text{ кг/с}$ . Какую мощность надо затрачивать, чтобы толкать тележку с постоянной скоростью  $10 \text{ м/с}$ ?

## 2.4 Столкновения

**2.4.1.** Дейтрон (ядро дейтерия – тяжелого изотопа водорода) массы  $m_d$ , вдвое большей массы протона  $m_p$ , налетает на неподвижное ядро массы  $m$ . После упругого соударения дейтрон и ядро разлетаются, каждый под углом  $30^\circ$  к направлению первоначального движения дейтрона. Найти массу ядра. Какой это элемент?

**2.4.2.** Два шара одинакового радиуса с массами  $m$  и  $M$  скреплены легкой пружиной жесткости  $k$  лежат на гладкой горизонтальной плоскости. Ось пружины совпадает с прямой, проходящей через центры шаров. Пружина сжата прикрепленной к шарам нитью на величину  $\Delta x$ . Найдите максимальную скорость шара массы  $m$  при колебаниях, возникающих после пережигания нити.

◇ **2.4.3.** Маленький кубик массы  $m$  начинает скользить вниз без начальной скорости с вершины незакрепленного тела массы  $M$  с закруглением радиуса  $R$ . Найдите максимальную скорость тела и силу, действующую на кубик в момент перехода на горизонтальный участок.

**2.4.4.** На гладком горизонтальном столе покоятся два тела массы  $m_1$  и  $m_2$ , соединенные легкой пружиной жесткости  $k$ . Какую минимальную скорость  $v_0$  надо сообщить телу массы  $m_2$ , чтобы во время движения пружина лопнула. Пружина выдерживает максимальное натяжение  $T$ .

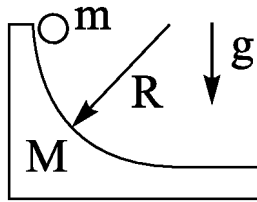
**2.4.5.** В результате распада движущегося ядра появились два осколка массы  $m_1$  и  $m_2$  с импульсами  $p_1$  и  $p_2$ , разлетающиеся под углом  $\theta$ . Определите выделившуюся при распаде ядра энергию.

**2.4.6.** Протон массы  $m_p$  налетает со скоростью  $V_0$  по прямой с большого расстояния на покоящееся ядро некоторого химического элемента и упруго рассеивается на нем. Оказалось, что после такого взаимодействия разлетевшиеся частицы имеют равные по величине и противоположные по знаку скорости. Найдите эту скорость и массу ядра. К какому химическому элементу относится это ядро?

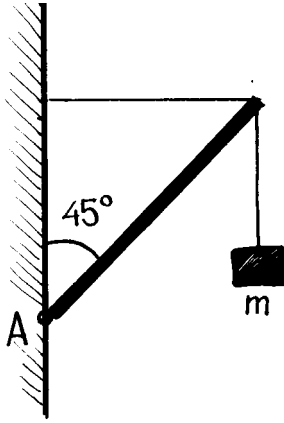
**2.4.7.** Два куска пластилина массами  $m_1$  и  $m_2$ , летящие со скоростями  $v_1$  и  $v_2$  перпендикулярно друг другу, слипаются. Найти выделившееся тепло.

**2.4.8.** Стекланный шарик разбивается при падении на пол с высоты  $H$ . При какой минимальной скорости шарик разобьется при неупругом ударе о такой же шарик?

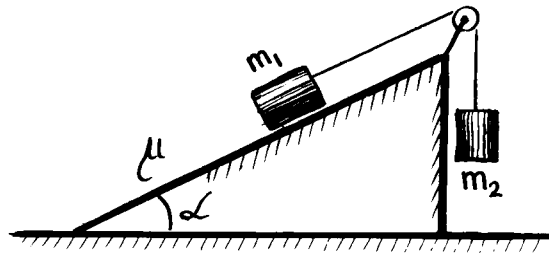
**2.4.9.** Стальная пуля массы  $m$ , имеющая скорость  $v$ , пробивает подвешенный на нитке свинцовый шар массы  $M$ , после чего скорость пули уменьшается



К задаче 2.4.3



К задаче 2.5.2



К задаче 2.5.3

вдвое. Какую скорость приобретет шар? На какую высоту он поднимется? Какая часть кинетической энергии пули пошла на нагревание?

## 2.5 Статика

**2.5.1.** За какую точку нужно подвесить тело, чтобы оно находилось в равновесии при любом положении?

◇ **2.5.2.** Найдите силу, действующую на стержень в точке  $A$ .

◇ **2.5.3.** На клине лежит груз массой  $m_1$ . При какой массе противовеса  $m_2$  система будет в равновесии? Коэффициент трения равен  $\mu$ .

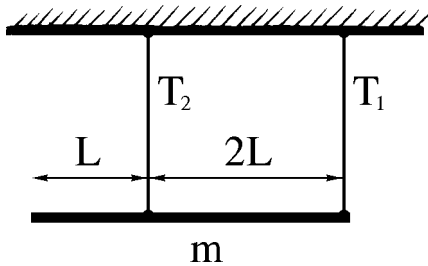
◇ **2.5.4.** Однородный стержень массы  $m$  подвешен на двух нитях. Найдите натяжения нитей.

◇ **2.5.5.** При каком соотношении масс стержня  $M$  и груза  $m$  система будет в равновесии?

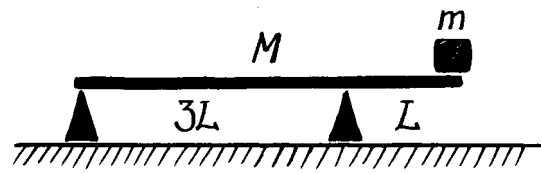
◇ **2.5.6.** Кубик подвешен, как показано на рисунке. Коэффициент трения о стенку  $\mu$ . При каких углах  $\alpha$  кубик будет в равновесии?

## 2.6 Движение в поле тяготения

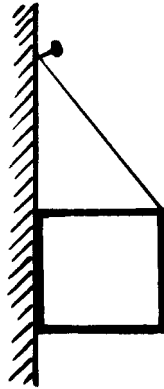
**2.6.1.** Найдите силу притяжения масс, равных 1 т, на расстоянии 10 м.



К задаче 2.5.4



К задаче 2.5.5



К задаче 2.5.6

**2.6.2.** На каком расстоянии (выраженном в радиусах Земли) от Земли на прямой Земля–Луна силы притяжения тела к Земле и Луне равны по величине? Расстояние до Луны в 60 раз больше радиуса Земли. Масса Луны в 81 раз меньше земной.

◇ **2.6.3.** Найдите суммарную силу, действующую на массу  $m$  со стороны масс  $3m$  и  $4m$ .

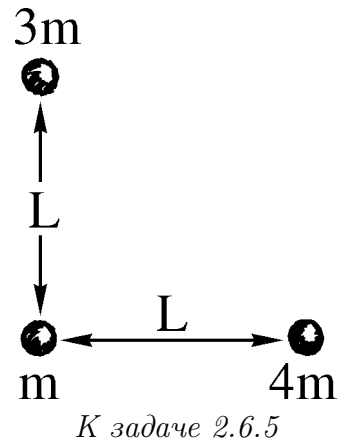
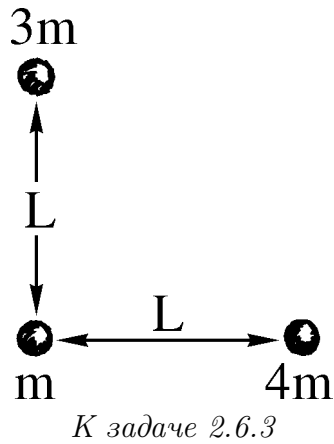
**2.6.4.** На сколько изменится потенциальная энергия тела массы  $m$  при подъеме с поверхности Земли на высоту, равную  $1/10$  радиуса Земли? Ускорение силы тяжести на поверхности Земли равно  $g_0$ . Сравните с результатом для постоянной силы тяжести.

◇ **2.6.5.** Какова суммарная потенциальная энергия трех взаимодействующих тел  $m$ ,  $3m$  и  $4m$ ?

**2.6.6.** С полюса Земли запускают вертикально вверх снаряд, имеющий начальную скорость  $V_0 = 8$  км/с. Найдите максимальное удаление от Земли. Сопротивлением воздуха пренебречь.

**2.6.7.** На какую высоту надо запустить спутник в экваториальной плоскости, чтобы он все время находился над одной и той же точкой земной поверхности?

**2.6.8.** Две звезды с одинаковыми массами  $m$  обращаются вокруг общего



центра масс. Расстояние  $R$  между звездами постоянно. Найдите период обращения.

**2.6.9.** Сколько продолжается полет до Луны? (Считать траекторию очень вытянутым эллипсом с фокусом в центре Земли; сравнить период с периодом обращения Луны — 1 месяц).

### 3 Механика жидкости

#### 3.1 Давление жидкости

**3.1.1.** Кубический бак с ребром  $l$ , целиком заполненный жидкостью плотности  $\rho$ , движется горизонтально с ускорением  $a$ . Найти полную силу давления на крышку.

**3.1.2.** На какую высоту  $h$  надо налить жидкость в цилиндрический сосуд радиуса  $R$ , чтобы сила давления на боковую поверхность была равна силе давления на дно?

#### 3.2 Движение идеальной жидкости

**3.2.1.** Из отверстия крана радиуса  $R$  вертикально вниз вытекает вода (плотность  $\rho$ ) со скоростью  $Q$  ( $\text{см}^3/\text{с}$ ). Найти зависимость радиуса струи от высоты.

**3.2.2.** Оценить, на сколько различается скорость воздуха сверху и снизу крыла самолета при горизонтальном полете.



## 4 Молекулярная физика

### 4.1 Тепловое движение частиц

4.1.1. Оцените число молекул воздуха, попадающих на  $1 \text{ см}^2$  стены вашей комнаты в 1 с, и импульс передаваемый ими стене.

4.1.2. Оцените среднюю кинетическую энергию и среднеквадратичную скорость частичек тумана диаметра 10 мкм, находящихся в воздухе при температуре  $5^\circ \text{C}$ .

### 4.2 Уравнение состояния идеального газа

4.2.1. Объем газа уменьшили в два раза, а температуру увеличили в полтора раза. Во сколько раз увеличилось давление газа?

4.2.2. Чтобы изотермически уменьшить объем газа в цилиндре с поршнем в  $n$  раз, на поршень поместили груз массы  $m$ . Какой массы груз следует добавить, чтобы объем газа изотермически уменьшился еще в  $k$  раз?

4.2.3. На какую глубину в жидкость плотности  $\rho$  надо погрузить открытую трубку длины  $L$ , чтобы, закрыв верхнее отверстие, вынуть столбик жидкости высоты  $L/2$ ? Атмосферное давление  $P$ .

4.2.4. Вертикальный цилиндр перекрыт сверху поршнем, при этом объем газа в цилиндре  $V$ . Если перевернуть цилиндр, то объем газа в равновесии становится  $2V$ . Атмосферное давление  $P_0$ , температура постоянна. Найдите начальное давление в цилиндре.

4.2.5. В аудитории на пол вылили 1 л воды. Сколько воздуха вытеснит вода, испарившись?

4.2.6. В стакан положили 150 г льда и плотно закрыли. Оценить, какая сила необходима, чтобы оторвать крышку после таяния льда.

4.2.7. Воздух внутри оболочки воздушного шара вместимости  $V$  нагревается горелкой до температуры  $T$ , превышающей температуру  $T_0$  окружающего воздуха. Какова при атмосферном давлении  $P_0$  грузоподъемность этого воздушного шара? Молярная масса воздуха  $\mu$ .

4.2.8. Из баллона через вентиль вытекает газ так, что давление медленно меняется с известной неизменной скоростью  $\frac{\Delta P}{\Delta t}$ . Температура газа при этом поддерживается постоянной. Объем баллона  $V$ , площадь отверстия в вентиле  $S$ . Найдите скорость истечения газа  $v$  в момент времени, когда давление газа приняло значение  $P$ .

**4.2.9.** Вертикальная труба высотой  $H$ , сечением  $S$  заполнена жидкостью плотностью  $\rho$ . Каким должно быть минимальное давление в емкости объемом  $V = SH$ , чтобы вытеснить всю воду из трубы? Атмосферное давление  $P_0 = \rho gH$ , температура постоянна.

**4.2.10.** В правой части цилиндра находится идеальный газ, в левой — вакуум. Слева поршень поджат пружиной. При температуре  $T_1$  поршень находится на расстоянии  $L_1$  от правой стенки, при температуре  $T_2$  — на расстоянии  $L_2$ . Найти начальную деформацию пружины.

**4.2.11.** Один моль идеального газа расширяется от давления  $P_1$  и объема  $V_1$  до объема  $V_2$  вдоль прямой на  $PV$ -диаграмме. Конечная температура равна начальной. Найти максимальную температуру в ходе расширения.

**4.2.12.** Сковорода заполнена водой с температурой  $100^\circ \text{C}$ . Какое стало бы давление внутри, если бы притяжение между молекулами воды внезапно исчезло?

**4.2.13.** В цилиндре длины  $2L$  посередине находится поршень. Вначале температуры газа с обеих сторон равны  $T$ , давления одинаковы. Затем газ слева нагревают до  $2T$ , а справа — до  $3T$ . На какое расстояние сдвинется поршень?

**4.2.14.** В цилиндре под поршнем находится порошок, частички которого несжимаемы, но могут очень легко крошиться при нагрузке. Поры между частицами вначале занимали 40% объема и заполнены газом при давлении  $P_0$ . Поршень опускают, уменьшая объем цилиндра на четверть. Найти конечное давление. Температура постоянна.

**4.2.15.** Водолазный колокол — это цилиндр, открытый снизу и заполненный воздухом, площади  $S$  и высоты  $H$ . Какой минимальный груз  $M$  надо прицепить к колоколу, чтобы он опустился под воду? Масса колокола  $m$ , плотность воды  $\rho$ , атмосферное давление  $P_0$ , температуру считать постоянной.

**4.2.16.** Вертикально стоящий сосуд с газом разделен тонким подвижным поршнем массы  $m$  и сечения  $S$  на две части высоты  $L$  каждая. Вначале температура в них была одинакова. После того, как температуру в обеих частях увеличили вдвое, поршень поднялся на высоту  $h$ . Найдите начальное значение давления в верхней части сосуда. Ускорение свободного падения  $g$ .

### 4.3 Первое начало термодинамики. Теплоемкость

**4.3.1.** Воздух в комнате нагрели от температуры  $T_0$  до  $T$ . При этом давление не изменилось. Изменилась ли внутренняя энергия воздуха внутри комнаты?

**4.3.2.** В длинной гладкой теплоизолированной трубе находятся теплоизолированные поршни массы  $m_1$  и  $m_2$ , между которыми в объеме  $V_0$  находится при давлении  $P_0$  одноатомный газ. Поршни отпускают. Найдите их максимальные скорости, если масса газа много меньше массы каждого поршня.

**4.3.3.** Один моль водорода, имевший температуру  $0^\circ\text{C}$ , нагревается при постоянном давлении. Какое количество теплоты необходимо сообщить газу, чтобы его объем удвоился? Какая работа будет при этом совершена газом?

**4.3.4.** Теплоизолированный вертикальный цилиндр перекрыт сверху подвижным поршнем, находящимся на высоте  $H$ . Небольшое тело падает на поршень и прилипает к нему, причем все выделившееся тепло передается газу. После затухания колебаний поршень останавливается на той же высоте  $H$ . Определите, с какой высоты падало тело.

**4.3.5.** Объем газа увеличился в два раза: один раз изотермически, другой раз изобарически. В каком из этих двух случаев газ совершить большую работу?

**4.3.6.** Поршень массы  $M$ , замыкающий объем  $V_0$  одноатомного газа при давлении  $P_0$  и температуре  $T_0$ , движется со скоростью  $U$ . Определите температуру и объем газа при максимальном сжатии. Система теплоизолирована, теплоемкостями поршня и сосуда пренебречь.

**4.3.7.** В теплоизолированном длинном цилиндрическом сосуде, стоящем вертикально, на высоте  $h$  от дна висит на нити поршень массы  $m$ . Под поршнем находится один моль газа, давление которого в начальный момент равно внешнему давлению  $P_0$ , а температура  $T_0$ . Какое количество тепла нужно подвести к газу, чтобы поршень поднялся до высоты  $2h$ ? Внутренняя энергия одного моля газа  $U = cT$ . Трением пренебречь.

**4.3.8.** В гладком вертикальном цилиндрическом сосуде под невесомым поршнем площади  $S$  находится воздух при атмосферном давлении  $P_0$  и температуре  $T_0$ . Внутри сосуд разделен на два одинаковых объема неподвижной горизонтальной перегородкой с маленьким отверстием. На поршень кладут груз массы  $m$ , под действием которого поршень медленно опускается до перегородки. Найдите температуру воздуха внутри сосуда, если его стенки и поршень не проводят тепло. Внутренняя энергия одного моля газа  $U = cT$ .

**4.3.9.** Найдите молярную теплоемкость одноатомного газа, расширяющегося по закону  $PV^n = \text{const}$ .

**4.3.10.** Нагревается или охлаждается газ, расширяющийся по закону  $PV^2 = \text{const}$ ?

**4.3.11.** Два компрессора адиабатически сжимают двухатомный газ. Сначала работает один компрессор, сжимающий газ от объема  $V_0$  до промежуточного объема  $V_1$ , после чего в работу вступает второй компрессор, сжимающий газ до объема  $V_2$ . При каком объеме  $V_1$  полная работа обоих компрессоров минимальна и чему она равна? Объемы  $V_0$  и  $V_2$  считать заданными, начальное давление газа  $P_0$ . Работа какого компрессора при оптимальном значении  $V_1$  больше?

## 4.4 Второе начало термодинамики

**4.4.1.** Найти максимальную работу, которую можно получить, используя 1 кг водяного пара с температурой  $100^\circ \text{C}$  и океан с температурой  $27^\circ \text{C}$  в качестве холодильника.

**4.4.2.** Найти КПД цикла, состоящего из:

а. двух изохор с объемами  $V_1$  и  $V_2$  и двух адиабат (цикл Отто), б. двух изобар с давлениями  $P_1$  и  $P_2$  и двух изотерм с температурами  $T_1$  и  $T_2$ . Рабочее тело — идеальный одноатомный газ.

**4.4.3.** Как изменится температура в комнате, если дверцу работающего холодильника оставить открытой?

**4.4.4.** Идеальная тепловая машина с КПД  $\eta$  работает по обратном циклу. Какое максимальное количество теплоты можно забрать из холодильника, совершив механическую работу  $A$ ?

**4.4.5.** С помощью электрической плитки мощностью 1 кВт в комнате поддерживается температура  $17^\circ \text{C}$  при температуре наружного воздуха  $-23^\circ \text{C}$ . Какая мощность потребовалась бы для поддержания в комнате той же температуры с помощью идеальной тепловой машины?

## 4.5 Свойства жидкостей и твердых тел

**4.5.1.** Какое минимальное количество водяного пара при температуре  $100^\circ \text{C}$  необходимо взять, чтобы расплавить 20 г льда с температурой  $0^\circ \text{C}$ ?

**4.5.2.** В кастрюлю налили холодной воды (температура  $10^\circ \text{C}$ ) и поставили на плиту. Через 10 мин вода закипела. Через какое время она полностью испарится?

**4.5.3.** На электрической плитке мощностью 1 кВт кипит вода в чайнике. Найдите скорость истечения пара из носика чайника, если пар считать идеальным газом. Давление пара на конце носика 1 атм, сечение носика  $1 \text{ см}^2$ . Считать, что вся энергия плитки передается воде.

**4.5.4.** В цилиндре под поршнем находится смесь воздуха и насыщенного водяного пара при давлении 1.5 атм и температуре  $100^\circ \text{C}$ . Каким станет давление, если уменьшить объем вдвое при постоянной температуре? Объемом сконденсировавшейся воды пренебречь.

**4.5.5.** Две капли ртути радиуса  $R$  каждая сливаются в одну. Найдите изменение температуры, если коэффициент поверхностного натяжения  $\sigma$ , плотность ртути  $\rho$ , а теплоемкость  $c$ .

**4.5.6.** Два мыльных пузыря радиуса  $r_1$  и  $r_2$  сливаются в один. Найдите поверхностное натяжение мыльной воды, если радиус образовавшегося пузыря равен  $r$ , а атмосферное давление равно  $P_0$ .

**4.5.7.** Оцените, сколько воды можно унести в решете. Площадь решета  $S = 0.1 \text{ м}^2$ , площадь ячейки  $s = 1 \text{ мм}^2$ , поверхностное натяжение воды  $\sigma = 0.07 \text{ Н/м}$ , решето водой не смачивается.

**4.5.8.** В сосуде в объеме  $V_1$  между поршнем и поверхностью воды суммарное давление воздуха и насыщенного пара равно  $P_1$ . Когда, сдвигая поршень, этот объем уменьшили до  $V_2$ , то в сосуде установилось давление  $P_2$ . Чему равно давление насыщенного пара? Температура в процессе не изменялась.

**4.5.9.** В сосуде под массивным подвижным поршнем находится жидкость, которая занимает объем  $V_1$ . Когда жидкость полностью испарилась, объем пара под поршнем достиг значения  $V_2$ . Какая доля вещества (по массе) находилась в сосуде в виде жидкости, когда объем под поршнем составлял  $V$ ? Температура в процессе не изменялась.

## 4.6 Функции распределения

**4.6.1.** На высоте 3 км над поверхностью Земли в  $1 \text{ см}^3$  воздуха содержится примерно  $10^2$  пылинок, а у самой поверхности — примерно  $10^5$ . Определите среднюю массу пылинки и оцените ее размер, предполагая, что плотность пылинки  $1.5 \text{ г/см}^3$ . Температура воздуха  $27^\circ \text{C}$ .

**4.6.2.** У поверхности Земли молекул гелия почти в  $10^5$  раз, а водорода почти в  $10^6$  раз меньше, чем азота. На какой высоте число молекул гелия будет равно числу молекул азота? водорода? Принять среднюю температуру атмосферы  $0^\circ\text{C}$ .

**4.6.3.** В стенке сосуда с разреженным газом сделано маленькое отверстие. Как будет изменяться температура газа при его вытекании?

## 5 Электричество и магнетизм

### 5.1 Электростатика

**5.1.1.** Плоский конденсатор с площадью пластин  $S$  и расстоянием между ними  $d$  зарядили до напряжения  $U$ . Найдите силу, с которой взаимодействуют пластины конденсатора.

**5.1.2.** Найдите электрическое поле и потенциал в центре тонкой полусферы радиуса  $R$ , по поверхности которой равномерно распределен заряд  $Q$ .

**5.1.3.** Плоский конденсатор находится во внешнем однородном электрическом поле напряженности  $E$ , перпендикулярном пластинам. Площадь пластин конденсатора  $S$ . Какой заряд окажется на каждой из пластин, если конденсатор замкнуть проводником накоротко?

**5.1.4.** В атоме водорода электрон движется вокруг протона с угловой скоростью  $\omega = 10^{16} \text{ с}^{-1}$ . Найдите радиус орбиты.

**5.1.5.** С большого расстояния навстречу друг другу со скоростями, соответственно,  $v_1$  и  $v_2$  движутся два электрона. Определите минимальное расстояние, на которое они сблизятся.

**5.1.6.** Вокруг тяжелого ядра с зарядом  $Ze$  на расстоянии  $r$  вращается по круговой орбите электрон. Какую минимальную энергию нужно сообщить электрону, чтобы он оторвался от ядра?

**5.1.7.** Найдите силу, действующую на заряд  $Q$ , расположенный в центре куба, одна из граней которого равномерно заряжена с поверхностной плотностью заряда  $\sigma$ .

**5.1.8.** Капли ртути заряжают до потенциала  $\varphi_0$ . Найдите потенциал капли, образовавшейся при объединении  $n$  таких капель.

**5.1.9.** Какую работу нужно совершить, чтобы переместить заряд  $q$  в горизонтальной плоскости по четверти дуги окружности радиуса  $R$  из точки А на оси  $Y$  в точку В на оси  $X$  в однородном электрическом поле напряженностью  $E$ , направленной вдоль оси  $Y$ ?

**5.1.10.** Чему равна разность потенциалов между крайними пластинами в системе, состоящей из трех параллельных бесконечных пластин с поверхностной плотностью заряда  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ? Средняя пластина находится на расстоянии  $h_1$  от первой и на расстоянии  $h_2$  от третьей пластины.

**5.1.11.** Точечный заряд  $Q$  находится на расстоянии  $h$  от бесконечной металлической плоскости. Какая сила действует на заряд со стороны плоскости?

**5.1.12.** Заряд  $Q$  находится на расстоянии  $a$  от заземленной металлической сферы радиуса  $R$ . Найти полный заряд сферы.

**5.1.13.** Найти разность потенциалов между центром и краем бесконечного цилиндра радиуса  $R$ , равномерно заряженного с плотностью  $\rho$ .

**5.1.14.** В углах квадрата расположены заряды  $+q, -2q, +3q, -4q$  (по часовой стрелке). Найти потенциал и поле в центре квадрата.

**5.1.15.** а. Размеры пластин плоского конденсатора увеличили в два раза. Как изменится емкость конденсатора?

б. Как изменится емкость конденсатора, если расстояние между пластинами удвоить? увеличить в  $n$  раз?

**5.1.16.** Определите емкость конденсатора, образованного двумя концентрическими сферами радиуса  $R_1, R_2$  (сферический конденсатор).

**5.1.17.** Как изменится энергия конденсатора, если при той же разности потенциалов между пластинами увеличить все его геометрические размеры в  $n$  раз?

◇ **5.1.18.** Конденсаторы, емкости которых равны  $C_1$  и  $C_2$ , заряжены до напряжений  $U_1$  и  $U_2$ , соответственно. Какое количество тепла выделится в электрической цепи, если замкнуть ключ в схеме?

◇ **5.1.19.** На пластинах плоского конденсатора находятся заряды  $\pm Q$ . Пластины имеют форму квадрата с размерами  $a \times a$ , расстояние между ними  $d$ .

а) Какую работу нужно совершить, чтобы увеличить расстояние между пластинами на  $d$ ?

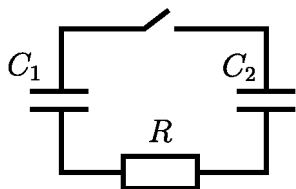
б) Какую работу нужно совершить, чтобы сдвинуть пластины на расстояние  $x$  друг относительно друга, как показано на рисунке?

**5.1.20.** Конденсаторы емкости  $C_1$  и  $C_2$  соединили последовательно и подключили к источнику с ЭДС, равной  $\mathcal{E}$ . Затем конденсаторы отключили от источника и соединили их одноименно заряженными обкладками. Найдите разность потенциалов, установившуюся на конденсаторах.

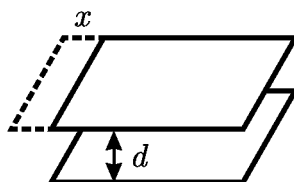
◇ **5.1.21.** Пространство между обкладками плоского конденсатора заполнено наполовину диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon_1$  и наполовину диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon_2$ . Площадь пластин  $S$ , расстояние между ними  $d$ . Найдите емкость такого конденсатора.

◇ **5.1.22.** Пространство между обкладками плоского конденсатора заполнено двумя слоями разных диэлектриков толщиной  $d_1$  и  $d_2$ . Диэлектрическая проницаемость диэлектриков  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ . Площадь обкладок  $S$ . Найдите емкость конденсатора. Какой заряд будет индуцироваться на границе раздела диэлектриков,

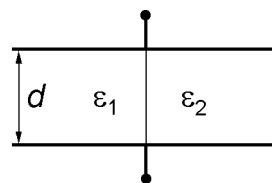




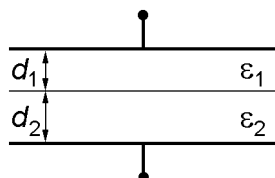
К задаче 5.1.18



К задаче 5.1.19



К задаче 5.1.21



К задаче 5.1.22

если на пластинах конденсатора разместить заряды  $\pm q$ ?

## 5.2 Электрический ток

**5.2.1.** а. В синхротроне электроны движутся по приблизительно круговой орбите длины  $l = 240$  м. Во время цикла ускорения на орбите находится примерно  $n = 10^{11}$  электронов, их скорость практически равна скорости света. Чему равен ток?

б. Определите ток, создаваемый электроном, движущимся по орбите радиуса  $r = 0,5 \cdot 10^{-10}$  м в атоме водорода.

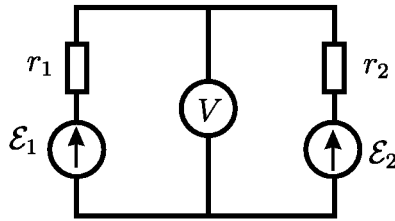
**5.2.2.** В проводе длиной  $l$  полный движущийся заряд, равномерно распределенный по проводу, равен  $q$ . Определите скорость движения заряда, если ток равен  $I$ .

**5.2.3.** Прямолинейный провод зарыт глубоко в однородном грунте. Ток утечки с единицы длины провода равен  $i$ . Определите плотность тока на расстоянии  $r$  от провода. Длина провода много больше  $r$ .

**5.2.4.** Плотность тока  $j$  перпендикулярна плоскости раздела двух сред с удельной проводимостью  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ . Найдите поверхностную плотность заряда на этой плоскости.

**5.2.5.** В среде с малой удельной проводимостью  $\lambda$  находится металлический шар радиуса  $r$ . Определите ток, стекающий с шара, если его потенциал равен  $V$ . Если такой шар подсоединить изолированным проводом к громоотводу, то каким будет сопротивление заземления?

**5.2.6.** Проволочное металлическое кольцо радиуса  $r = 0,1$  м вращается с угловой скоростью  $\Omega = 10^3$  рад/с. Определите, какой ток пойдет через кольцо при равномерном замедлении в течение времени  $\tau = 10^{-3}$  с его вращения до полной остановки. Сечение проволоки  $s = 0,5$  см<sup>2</sup>, удельная проводимость



К задаче 5.2.9

металла  $\lambda = 6 \cdot 10^7$  См/м.

**5.2.7.** При подключении первого вольтметра к батарее он показывает напряжение  $U_1$ . Если подключить к батарее второй вольтметр, он покажет  $U_2$ . При параллельном подключении двух вольтметров оба они показывают напряжение  $V$ . Найти ЭДС батареи.

**5.2.8.** Плотность тока  $j$  перпендикулярна плоскости раздела двух сред с электропроводностями  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ . Найдите поверхностную плотность заряда на этой плоскости.

◇ **5.2.9.** Найдите показания вольтметра, если известны внутренние сопротивления и ЭДС батарей:  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $\mathcal{E}_1$ ,  $\mathcal{E}_2$ , соответственно.

### 5.3 Магнетизм

**5.3.1.** На заряд 1 Кл, движущийся со скоростью 1 м/с, в магнитном поле действует сила 10 Н. Заряд движется под углом  $30^\circ$  к направлению индукции магнитного поля. Чему равна индукция этого поля?

**5.3.2.** Частица с зарядом  $q$ , массой  $m$  и кинетической энергией  $E_k$  влетает в область магнитного поля с индукцией  $B$ . Ширины области с магнитным полем  $l$ . Скорость частицы перпендикулярна полю и границе области. При какой величине магнитной индукции частица вылетит из поля?

**5.3.3.** Найдите значение индукции магнитного поля на расстоянии  $R$  от бесконечного прямого провода, по которому течет ток  $I$ .

**5.3.4.** По кольцу радиуса  $R$  течет ток  $I$ . Определите индукцию магнитного поля на оси кольца на расстоянии  $h$  от центра.

**5.3.5.** Провод, лежащий в одной плоскости, состоит из двух длинных прямых параллельных участков, связанных полуокружностью радиуса  $R$ . По проводу течет ток  $I$ . Определите индукцию магнитного поля в центре полуокружности.

**5.3.6.** По двум параллельным плоскостям текут в одном направлении токи, линейная плотность которых  $i_1$  и  $i_2$ . Определите индукцию магнитного поля между плоскостями и вне их.

**5.3.7.** Найти силу натяжения, которая возникает в витках длинного соленоида, если через него пропустить ток  $I$ . Число витков на единицу длины соленоида  $n$ , его радиус  $R$ .

**5.3.8.** По бесконечно длинному прямому проводу радиуса  $R$  течет ток  $I$ , распределенный равномерно по сечению провода. Найдите индукцию магнитного поля на расстоянии  $r$  от оси внутри и вне провода.

**5.3.9.** Через тороидальный соленоид, имеющий  $N$  витков, протекает ток  $I$ . Внешний радиус тора  $R$ , внутренний  $r$ . Определите максимальную и минимальную индукцию магнитного поля внутри соленоида.

**5.3.10.** Бусинка, масса которой  $m$ , а заряд  $q$ , одета на горизонтальную спицу. Бусинке сообщили скорость  $v$  вдоль спицы. Какой путь пройдет бусинка до остановки, если коэффициент трения между бусинкой и спицей  $\mu$ ? Магнитное поле индукции  $B$  перпендикулярно спице. Весом тела пренебречь.

## 6 Ответы

### 1.1. Кинематика

$$1.1.1. t = \frac{l}{\sqrt{c^2 - u^2}}.$$

$$1.1.2. t = \frac{2L\sqrt{v^2 - u^2 \sin^2 \alpha}}{v^2 - u^2}, \text{ при } \alpha = 0, 180^\circ.$$

$$1.1.3. l' = l(v - u)/(v + u).$$

$$1.1.4. u = v/\sin \alpha.$$

1.1.5.

$$1.2.1. l = \frac{2u_0 h}{\pi v}.$$

$$1.2.2. a = 277 \text{ м/с}^2; \text{ в } 28 \text{ раз.}$$

$$1.2.3. t = (2t_1 t_2 - t_1^2 + t_2^2) / [2(t_1 - t_2)].$$

$$1.3.1. t = \sqrt{\frac{2H}{g}} \left( \sqrt{\frac{a}{g}} + \sqrt{\frac{a}{g} + 1} \right).$$

$$1.3.2. t = \frac{\sqrt{v_1 v_2}}{g}.$$

$$1.3.3. L = \frac{v^2}{g} \sin 2\alpha \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2gh}{v^2 \sin^2 \alpha}} \right) = \sqrt{15}(\sqrt{5} - 1).$$

$$1.3.4. L = \frac{v^2}{g} \sin 2\alpha - 2h.$$

$$1.3.5. L = \frac{2v^2}{g(\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta)}.$$

$$1.3.6. L = v \cos \alpha \frac{v \sin \alpha + \sqrt{v^2 \sin^2 \alpha + 2gh}}{g}.$$

$$1.3.7. t = (\mu^2 g^2 r^2 - \varepsilon^2 r^4)^{1/4} / \varepsilon, \omega = \varepsilon t \text{ при } \varepsilon r < \mu g; \text{ иначе } t = 0, \omega = 0.$$

$$1.3.8. t = v/g - \Delta t/2.$$

$$1.3.9. v = \sqrt{L(a + g)}.$$

1.3.10.  $H = \frac{2u}{g}(v \cos \alpha - u) \operatorname{tg}^2 \alpha.$

1.4.1.  $v(t) = \frac{-u^2 t}{\sqrt{l^2 - (ut)^2}}.$

1.4.2.  $u(t) = \frac{-v^2 t}{\sqrt{(vt)^2 + (L/2)^2}}.$

1.4.3. В центре, через  $t = a/v.$

1.4.4. Точно такую же, как и наблюдатель, движущийся вместе с частицей  $A.$

1.4.5. В  $\sqrt{1 + v^2/u^2}$  раз. Изменится.

1.4.6.  $v_B = 2v_A.$

1.4.7.  $d = \pi (R^2 - r^2) / (vt).$

2.1.1.  $a = \frac{F - 2\mu mg}{M + m}, T = m \left( \mu g + \frac{F - 2\mu mg}{M + m} \right)$  при  $F > 2\mu mg$ , иначе  $a = 0, T = F/2.$

2.1.2.  $a = \frac{F - 2\mu mg}{M + m}, T = \mu mg + \frac{M(F - 2\mu mg)}{M + m}$  при  $F > 2\mu mg$ , иначе  $a = 0, T = F/2.$

2.1.3.  $t = \frac{2v \sin \alpha}{g(\sin^2 \alpha - \mu^2 \cos^2 \alpha)}.$

2.1.4.  $a_1 = \frac{F(M + 4m)}{2m(M + 2m)}, a_2 = \frac{FM}{2m(M + 2m)}, A = \frac{F}{M + 2m}.$

2.1.5.  $(\mu_1 - \mu_2) \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} g \cos \alpha$  при  $\mu_2 > \mu_1 > \operatorname{tg} \alpha.$

2.1.6.  $(\mu_2 - \mu_1) \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} g \cos \alpha$  при  $\frac{\mu_1 m_1 + \mu_2 m_2}{m_1 + m_2} > \operatorname{tg} \alpha.$

2.1.7.  $T = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} (1 + \mu)(a + g)$  при  $\mu m_1 < m_2$ ,  $T = m_2(a + g)$  при  $\mu m_1 > m_2.$

2.1.8.  $a = 0$  при  $F \leq \frac{\mu mg}{\cos \alpha + \mu \sin \alpha}$ ;  $a = \frac{F(\cos \alpha + \mu \sin \alpha)}{m}$  при  $\frac{\mu mg}{\cos \alpha + \mu \sin \alpha} \leq F \leq mg/\sin \alpha$ ; иначе  $a_x = F \cos \alpha/m, a_y = F \sin \alpha/m - g.$

2.1.9.  $T = F(1 - x/l).$

2.1.10.  $t = T(m_1 + m_2)/[\alpha(2m_1 + m_2)].$

2.1.11. Ускорение верхнего шара равно  $3g$ , ускорения нижних — нулю.

2.1.12.  $x = F(k_1 + k_2)/(k_1 k_2).$

2.1.13.  $F = mg \sin \alpha$  при  $\operatorname{tg} \alpha \leq \mu$  (нет проскальзывания);  $F = \mu mg \cos \alpha$  при  $\operatorname{tg} \alpha \geq \mu$  (есть проскальзывание).

2.1.14. В  $\sqrt{10}$  раз.

2.1.15. а.  $F > \mu(m_1 + m_2)g, t = \sqrt{\frac{2lm_2}{F_0 - \mu(m_1 + m_2)g}}$ ; б.  $a_1 = \frac{F_0 - \mu m_1 g}{m_1}, a_2 = \mu g \frac{m_1}{m_2}.$

2.1.16.

2.1.17.  $v = u - \sqrt{\mu(mg - F)/\alpha}$  при  $\alpha u^2 \geq \mu(mg - F)$ , иначе  $v = 0.$

2.1.18.  $m_2 = m_1 a_1 / a_2.$

2.1.19.  $T = 2mv^2/l.$

2.1.20.  $\omega = \sqrt{\frac{g \operatorname{tg} \beta}{l(\sin \alpha + \sin \beta)}}.$

2.2.1.  $v/2.$

2.2.2.  $v/5.$

2.2.3.  $2\sqrt{2}v.$

2.2.4.  $35/36.$

2.2.5.  $x = L \frac{\mu_2}{\mu_1} \left( \frac{m}{m + M} \right)^2.$

2.2.6.  $u = \sqrt{\frac{Lg}{(1 + m/M) \sin 2\alpha}}.$

2.2.7.  $F = \rho V^2 + \rho g L.$

- 2.2.8.  $N = \frac{m_0}{m} \left( \frac{U_0 \sqrt{3}}{U_1} - 1 \right)$   $V = U_0/2 \left( \frac{U_0 \sqrt{3}}{U_1} - 1 \right)$ .
- 2.2.9.  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{V}{\sqrt{2gh}} - \mu$  при  $V \geq \mu \sqrt{2gh}$ , иначе  $\alpha = 0$ .
- 2.2.10.  $u = \frac{m_1 v_1 - m_2 v_2}{m_1 + m_2 + M}$ .
- 2.2.11.  $T = \frac{(M-m)^2 V_0^2}{(m+M)2L}$ .
- 2.2.12.  $L = \frac{MmVU}{2g(M+m)^2}$ .
- 2.3.1.  $N = nmv^3(1 - \cos \alpha)$ .
- 2.3.2.  $F = 2mg \sin \alpha = 2mg\mu/\sqrt{1 + \mu^2}$ .  $F < mg$  при  $\mu < 1/\sqrt{3}$ .
- 2.3.3.  $x = 2mg/k$ .
- 2.3.4.  $A = mgL/2$ .
- 2.3.5. В 8 раз.
- 2.3.6.  $F \approx 5mg \approx 400 \text{ Н}$ .
- 2.3.7.  $Q = m_1 gh \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}$ .
- 2.3.8.  $h = \frac{3}{4}(H_1 - H_2)$ .
- 2.3.9.  $U = \sqrt{\frac{gh}{2}}(\sqrt{n} - 1)$ .
- 2.3.10.  $v_2 = (v(v^2 + v_1^2))^{1/3}$  — если  $v_1 < v$ ;  $v_2 = (2v^2 v_1)^{1/3}$  — если  $v_1 > v$ .
- 2.3.11.  $N = \mu v^2 = 1 \text{ кВт}$ .
- 2.4.1.  $m = m_d/2$ , Н — водород.
- 2.4.2.  $V = \sqrt{\frac{kMx}{m(m+M)}}$ .
- 2.4.3.  $U = m \sqrt{\frac{2gr}{M(m+M)}}$ .
- 2.4.4.  $v_0 = T \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{km_1 m_2}}$ .
- 2.4.5.  $E = \frac{p_1^2 m_2^2 + p_2^2 m_1^2 - 2p_1 p_2 m_1 m_2 \cos \theta}{2m_1 m_2 (m_1 + m_2)}$ .
- 2.4.6.  $m = 3m_p$  —  ${}^3\text{H}$  или  ${}^3\text{He}$ ,  $V = V_0/2$ .
- 2.4.7.  $Q = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \frac{v_1^2 + v_2^2}{2}$ .
- 2.4.8.  $V = 2\sqrt{2gh}$ .
- 2.4.9.  $V = mv/2M$ ,  $h = (mv)^2 / * M^2 g$ ,  $Q = (mv^2/2)(1 - (m + M)/4M)$ . При  $M < m/3$  условие задачи не может выполняться.
- 2.5.1. За центр масс.
- 2.5.2.  $F = mg\sqrt{2}$ .
- 2.5.3.  $m_1(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \leq m_2 \leq m_1(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$ , если  $\operatorname{tg} \alpha > \mu$ , иначе минимальное значение  $m_2$  равно нулю.
- 2.5.4.  $T_1 = mg/4$ ;  $T_2 = 3mg/4$ .
- 2.5.5.  $M \geq m$ .
- 2.5.6.  $\operatorname{tg} \alpha \geq 1/\mu$ .
- 2.6.1.  $6.67 \cdot 10^{-6} \text{ Н}$ .
- 2.6.2.  $L = 54R_3$ .
- 2.6.3.  $F = 5Gm^2/L^2$ .

2.6.4.  $GmMh/(R_3(R_3 + h)) = mg_0R_3h/(R_3 + h) = mg_0R_3/11 \approx 0.91mg_0h$ ;  
при постоянной силе тяжести было бы  $mg_0R_3/10 = mg_0h$ .

2.6.5.  $U = -(7 + 6\sqrt{2})Gm^2/L$  (при выборе нуля потенциальной энергии на бесконечности).

2.6.6.  $r = 2R_3$  от центра Земли, расстояние от поверхности  $1R_3$ .

2.6.7.  $H \approx 36000$  км.

2.6.8.  $T = \pi R\sqrt{2R}/\sqrt{GM}$ .

2.6.9.  $\approx 5$  суток.

3.1.1.  $F = \rho gL^3/2$ .

3.1.2.  $h = R$ .

3.2.1.  $r = \frac{R}{(1+2\pi^2R^4gh/Q^2)^{1/4}}$ .

3.2.2.  $\Delta v \sim \frac{mg}{\rho v S}$ .

4.1.1.  $\nu \approx 10^{24} \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2}$ ,  $\Delta p/\Delta t \approx 10$  Н.

4.1.2.  $E \approx 5.8 \cdot 10^{-21}$  Дж,  $\sqrt{\langle v^2 \rangle} \approx 1.5 \cdot 10^{-4}$  м/с.

4.2.1. В три раза.

4.2.2.  $\Delta m = m(k-1)n/(n-1)$ .

4.2.3.  $x = L(1 + \rho gL/2P)/2$ .

4.2.4.  $P = \frac{4}{3}P_0$ .

4.2.5.  $V = \frac{mRT}{P\mu} \approx 1.3 \text{ м}^3$ .

4.2.6.  $F \sim 200$  Н.

4.2.7.  $m = \mu P_0V(T - T_0)/(RTT_0)$ .

4.2.8.  $v = \frac{\Delta P}{\Delta t}V/PS$ .

4.2.9.  $P_{min} = \frac{9}{4}\rho gH$ .

4.2.10.  $x_0 = T_1(L_2 - L_1)/(T_2 - T_1)$ .

4.2.11.  $T_{max} = \frac{p_1(V_1+V_2)^2}{4RV_2}$ .

4.2.12.  $P = \rho RT/\mu \approx 1700$  атм.

4.2.13.  $x = -L/5$ .

4.2.14.  $\frac{8}{3}P_0$ .

4.2.15.  $M = S \left( \sqrt{\frac{P_0^2}{4g^2} + \frac{P_0\rho H}{g}} - \frac{P_0}{2g} \right) - m$ .

4.2.16.  $P = \frac{mgL}{4Sh} \left( 1 - \frac{h}{L} \right)^2$ .

4.3.1. Не изменилась.

4.3.2.  $v_1 = \sqrt{\frac{3P_0V_0m_2}{m_1(m_1+m_2)}}$ ,  $v_2 = \sqrt{\frac{3P_0V_0m_1}{m_2(m_1+m_2)}}$ .

4.3.3.  $Q \approx 7.94$  кДж,  $A \approx 2.27$  кДж.

4.3.4.  $h = \frac{3}{2}H$ .

4.3.5. При изобарическом расширении.

4.3.6.  $T = T_0 \left( 1 + \frac{MU^2}{3P_0V_0} \right)$ ,  $V = V_0 \left( \frac{3P_0V_0}{3P_0V_0+MU^2} \right)^{3/2}$ .

4.3.7.  $Q = mgh(1 + 2c/R) + (c + R)T_0$ .

4.3.8.  $T = T_0 \left( 1 + \frac{R(mg+P_0S)}{2P_0Sc} \right)$ .

4.3.9.  $c = (1/(1 - n) + 3/2)R$ .

4.3.10. Охлаждается.

4.3.11.  $V_1 = \sqrt{V_0 V_2}$ ,  $A_{min} = 5P_0 V_0 [(v_0/v_2)^{1/5} - 1]$ . Каждый компрессор совершает работу  $A_{min}/2$ .

4.4.1.  $A = \frac{73}{373} Lm + mc \left( \Delta T - T_0 \ln \left( \frac{T}{T_0} \right) \right)$ .

4.4.2. а.  $\eta = 1 - (V_1/V_2)^{2/3}$ ; б.  $\eta = \frac{2(T_2 - T_1) \ln(P_2/P_1)}{5(T_2 - T_1) + 2T_2 \ln(P_2/P_1)}$ .

4.4.3. Температура повысится.

4.4.4.  $Q = A(1 - \eta)/\eta$ .

4.4.5.  $N = 138$  Вт.

4.5.1.  $m = mq/(L + c\delta T) \approx 2.5$  г.

4.5.2.  $t \approx 1$  ч.

4.5.3.  $v \approx 8$  м/с.

4.5.4. 2 атм.

4.5.5.  $\Delta T = 3\sigma (2 - 2^{2/3}) / (cR)$ .

4.5.6.  $\sigma = \frac{P r_1^3 + r_2^3 - r^3}{4 r^2 - r_1^2 - r_2^2}$ .

4.5.7.  $V = \sqrt{\frac{\pi 2\sigma S}{s \rho g}} \approx 3$  л.

4.5.8.  $P = (P_1 V_1 - P_2 V_2) / (V_1 - V_2)$ .

4.5.9.  $X = (V_2 - V) / (V_2 - V_1)$ .

4.6.1.  $m = 10^{-24}$  кг,  $r = 10^{-9}$  м.

4.6.2.  $h_1 \approx 111$  км,  $h_2 \approx 123$  км.

4.6.3. Температура будет уменьшаться.

5.1.1.  $F = \left( \frac{U}{d} \right)^2 \frac{s}{8\pi k}$

5.1.2.  $E = kQ/R^2$ ,  $\varphi = kQ/R$

5.1.3.  $q = \pm SE/k$

5.1.4.  $r = \left( \frac{ke^2}{m\omega^2} \right)^{1/3} \approx 1.4 \cdot 10^{-8}$  см

5.1.5.  $r = \frac{4ke^2}{m(v_1 + v_2)^2}$

5.1.6.  $K_{min} = \frac{kZe^2}{2r}$

5.1.7.  $F = \left( \frac{4}{6} \right) \pi k Q \sigma$

5.1.8.  $\varphi = \varphi_0 n^{2/3}$

5.1.9.  $A = ERq$

5.1.10.  $\varphi_3 - \varphi_1 = 2\pi [(\sigma_3 - \sigma_1)(h_1 + h_2) + \sigma_2(h_1 - h_2)]$

5.1.11.  $F = \frac{kQ^2}{4h^2}$

5.1.12.

5.1.13.

5.1.14.

5.1.15. а. увеличится в 4 раза; б. уменьшится вдвое, уменьшится в  $n$  раз

5.1.16.  $C = \frac{R_1 R_2}{k(R_1 - R_2)}$

5.1.17. Увеличится в  $n$  раз

5.1.18.

5.1.19. а)  $A = 2kQ^2d/S$ , б)  $A = 2kQ^2dx/(a^2(a-x))$

5.1.20.  $\Delta\varphi = 2\mathcal{E}C_1C_2/(C_1 + C_2)^2$

5.1.21.  $C = \frac{S(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}{8\pi kd}$

5.1.22.  $C = \frac{S\varepsilon_1\varepsilon_2}{4\pi k(\varepsilon_1d_2 + \varepsilon_2d_1)}$ ,  $q_{\text{ПОЛ}} = \frac{q(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{\varepsilon_1\varepsilon_2}$

5.2.1. а)  $I \approx nec/l = 0.02$  А. б)  $I = \sqrt{e^4/[16\varepsilon_0m_e(\pi r)^3]} = 0,0012$  А.

5.2.2.  $v = Il/q$

5.2.3.  $j = i/2\pi r$

5.2.4.  $\sigma = \varepsilon_0j(1/\lambda_1 - 1/\lambda_2)$ .

5.2.5.  $I = 4\pi r\lambda V$ ,  $R = 1/(4\pi r\lambda)$ .

5.2.6.  $I = m_e\omega r\lambda s/(e\tau) = 1,7$  мА.

5.2.7.  $\frac{1}{\varepsilon} = \frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2} - \frac{1}{V}$

5.2.8.  $\sigma = \frac{j}{4\pi k} \left( \frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right)$

5.2.9.  $V = \frac{\varepsilon_1r_2 + \varepsilon_2r_1}{r_1 + r_2}$

5.3.1.  $B = 100$  Тл.

5.3.2.  $B < \frac{\sqrt{2E_k m}}{lq}$

5.3.3.  $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ , где  $r$  – расстояние до провода

5.3.4.  $B = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + h^2)^{3/2}}$

5.3.5.  $B = \frac{\mu_0 I}{\pi R} \left( 1 + \frac{\pi}{4} \right)$

5.3.6. Между плоскостями  $B = 1/2\mu_0(i_1 - i_2)$ , вне плоскостей  $B = \pm 1/2\mu_0(i_1 + i_2)$

5.3.7.  $T = 1/2\mu_0 n R I^2$

5.3.8.  $B = \frac{\mu_0 I r}{2\pi R^2}$ ,  $0 \leq r \leq R$ ;  $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ ,  $r \geq R$

5.3.9.  $B_{\text{max}} = \frac{\mu_0 N I}{2\pi r}$ ,  $B_{\text{min}} = \frac{\mu_0 N I}{2\pi R}$

5.3.10.  $s = \frac{mv}{\mu q B}$