

# Содержание

<b>Предисловие</b>	<b>3</b>
<b>Задачи с экзамена</b>	<b>4</b>
2011, вариант 1 . . . . .	4
2011, вариант 4 . . . . .	5
2011, вариант 5 . . . . .	6
2012, вариант 1 . . . . .	7
2012, вариант 2 . . . . .	8
2012, вариант 3 . . . . .	9
2013, вариант 1 . . . . .	10
2013, вариант 2 . . . . .	11
2013, вариант 3 . . . . .	12
2014, вариант 1 . . . . .	13
2014, вариант 2 . . . . .	14
2014, вариант 3 . . . . .	15
2015, вариант 1 . . . . .	16
2015, вариант 2 . . . . .	17
2015, вариант 3 . . . . .	18
2016, вариант 1 . . . . .	19
2016, вариант 2 . . . . .	20
2016, вариант 3 . . . . .	21
2017, вариант 1 . . . . .	22
2017, вариант 2 . . . . .	23
2017, вариант 3 . . . . .	24
2018, вариант 1 . . . . .	25
2018, вариант 2 . . . . .	26
2018, вариант 3 . . . . .	27
2019, вариант 1 . . . . .	28
2019, вариант 2 . . . . .	29
2019, вариант 3 . . . . .	30
2020, 1 поток . . . . .	31
2020, 2 поток . . . . .	32
2021, 1 поток . . . . .	33
2021, 2 поток . . . . .	34
2022, 1 поток . . . . .	35
2022, 2 поток . . . . .	36

<b>Задачи для подготовки</b>	<b>37</b>
Механика . . . . .	37
Молекулярная физика и термодинамика . . . . .	40
Электродинамика . . . . .	42
Оптика . . . . .	44
<b>Теория</b>	<b>48</b>
Механика . . . . .	48
Молекулярная физика и термодинамика . . . . .	49
Электродинамика . . . . .	50
Оптика . . . . .	51
<b>Ответы</b>	<b>52</b>

# Предисловие

Документ содержит задачи из билетов, предлагавшихся на дополнительных вступительных испытаниях по физике при поступлении на физфак МГУ с 2011 до 2021 год.

Экзаменационный билет обычно состоит из 4 теоретических вопросов и 4 задач (в 2020–2022 было 3 вопроса и 3 задачи, ДВИ проводился дистанционно). В годы с 4 вопросами и задачами максимальные сто баллов складывались из 10 за каждый теоретический вопрос и 15 за каждую задачу. Для удобства в документе сначала приведены только задачи, а теоретические вопросы в конце.

К теоретическим вопросам надо готовиться по книге Драбович, Макаров, Чесноков «Физика. Практический курс для поступающих в университеты»: [lisakov.com/dmc-2010.pdf](https://lisakov.com/dmc-2010.pdf).

Задачи по уровню напоминают сложные задачи из ЕГЭ по физике. Бывают сложнее, бывают и легче. В разделе [Задачи с экзамена](#) приведены задания прошлых лет, выложенные в виде сканов на сайте МГУ (ссылки на эти сканы есть на странице [phys.msu.ru/rus/entrants/publications/](https://phys.msu.ru/rus/entrants/publications/)).

Также существует подготовленный физфаком сборник задач с решениями ДВИ 2011–2017: [lisakov.com/dvi-prep.pdf](https://lisakov.com/dvi-prep.pdf). Как ни странно, многие задачи оттуда отсутствуют в сканах. Эти уникальные задания размещены в разделе [Задачи для подготовки](#).

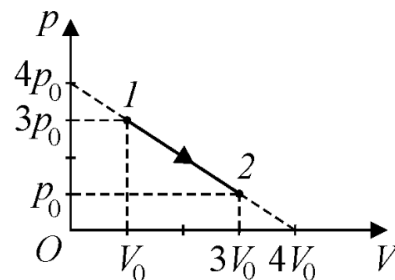
Этот документ создан 2023/07/11 в 12:29. Последнюю версию можно найти по адресу [lisakov.com/dvi.pdf](https://lisakov.com/dvi.pdf). Любые вопросы и сообщения об опечатках и ошибках приветствуются на почту [sergey@lisakov.com](mailto:sergey@lisakov.com).

# Задачи с экзамена

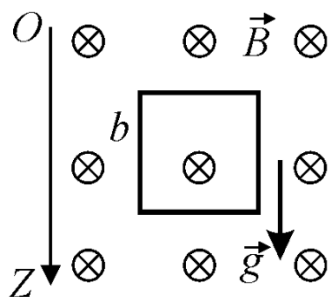
## 2011, вариант 1

1. [1.8.1] Металлическая дробинка, погружаясь в воду, движется с постоянной скоростью. Найдите работу силы сопротивления воды на пути  $S = 20$  см. Радиус дробинки  $r = 3$  мм, ее плотность  $\rho = 8 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Плотность воды  $\rho_0 = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Ускорение свободного падения примите равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

2. [2.7.1] При расширении одного моля аргона его давление уменьшается так, как показано на  $pV$ -диаграмме (см. рисунок). Определите максимальное значение внутренней энергии  $U$  газа в процессе  $1 \rightarrow 2$ . Начальные значения объема и давления газа равны соответственно  $V_0 = 0,1$  м<sup>3</sup> и  $p_0 = 5 \cdot 10^4$  Па.



3. [3.7.1] Проволочная квадратная рамка массой  $m$  падает, оставаясь в вертикальном положении, в неоднородном магнитном поле, вектор индукции которого



перпендикулярен плоскости рамки (см. рисунок). Через некоторое время скорость рамки перестает изменяться. Определите установившуюся скорость рамки  $v$ , если известно, что индукция магнитного поля нарастает по линейному закону  $B(z) = B_0 + kz$ , где  $k$  — постоянный коэффициент, а координатная ось  $OZ$  направлена вертикально вниз. Сопротивление проволоки, из которой изготовлена рамка,  $R$ , сторона рамки  $b$ .

4. [4.5.1] Оптическая система состоит из двух линз — собирающей с фокусным расстоянием  $F_1 = 30$  см и рассеивающей с фокусным расстоянием  $F_2 = -10$  см. Главные оптические оси линз совпадают, а расстояние между линзами  $L = 20$  см. Позади рассеивающей линзы на расстоянии  $\ell = 1$  м от нее установлен экран, перпендикулярный главным оптическим осям линз. На собирающую линзу падает параллельный пучок света диаметром  $d_1 = 15$  мм. Ось пучка совпадает с главной оптической осью линз. Определите диаметр  $d_2$  светового пятна на экране.

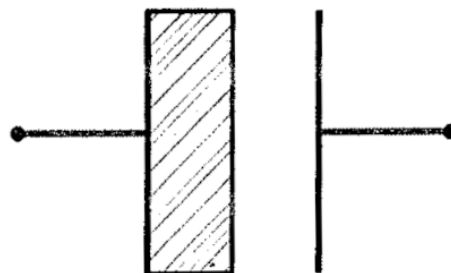
## 2011, вариант 4

5. [1.7.1] Олимпийская трасса для соревнований по бобслею в Лиллехаммере имеет перепад высот от старта до финиша  $h = 107$  м. На стартовом горизонтальном участке («полоса разгона») спортсмены разогнали боб до скорости  $v_0 = 6$  м/с, с которой пересекли линию старта. В конце спуска по ледяному желобу сразу после финиша используется специальное тормозное устройство для гашения скорости боба на горизонтальной поверхности. При этом коэффициент трения на участке торможения увеличивается пропорционально расстоянию  $x$  от линии финиша по закону  $\mu(x) = \alpha x$ , где  $\alpha$  — некоторый постоянный коэффициент.

Определите величину  $\alpha$ , если тормозной путь боба составил  $s = 42$  м. Примите, что на участке трассы от конца полосы разгона до финиша за счет сил трения было потеряно  $\eta = 20\%$  механической энергии боба, а ускорение свободного падения равно  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

6. [2.8.1] Один моль идеального одноатомного газа занимает объем  $V = 10$  л. В процессе нагревания при постоянном объеме газ получил количество теплоты  $Q = 120$  Дж. Найдите изменение давления газа  $\Delta p$  в этом процессе.

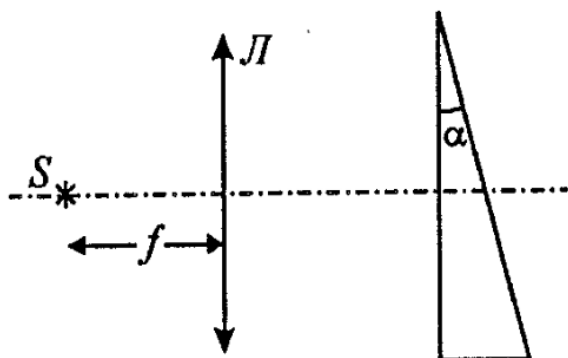
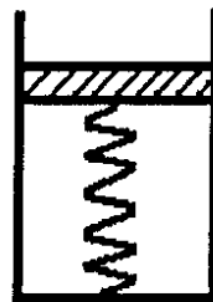
7. [3.8.1] Расстояние между обкладками плоского воздушного конденсатора  $d = 1$  см. Пространство между обкладками наполовину заполнено диэлектриком, как показано на рисунке. Диэлектрическая проницаемость диэлектрика  $\varepsilon = 4$ . Напряжение между обкладками конденсатора  $U = 5$  В. Найдите напряженность электрического поля в диэлектрике.



8. [4.6.1] С помощью тонкой собирающей линзы получили увеличенное в  $k = 5$  раз мнимое изображение предмета, расположенного вблизи главной оптической оси линзы. Если расстояние между линзой и предметом увеличить на  $L = 10$  см, то размер изображения предмета уменьшится в  $n = 2$  раза. Определите фокусное расстояние  $f$  линзы.

## 2011, вариант 5

9. [1.5.1] Маленький шарик массой  $m$  падает на брусок массой  $M$ , лежащий на горизонтальной крышке стола. В момент удара скорость шарика направлена под углом  $\alpha$  к горизонту, а ее модуль равен  $V$ . После удара шарик отскакивает под тем же углом к горизонту, но со скоростью, модуль которой в  $n$  раз меньше модуля начальной скорости. Считая, что длительность удара равна  $\tau$  и достаточно мала, а сила, действующая на шарик со стороны бруска во время удара, практически постоянна, определите, при каких значениях коэффициента трения  $\mu$  бруска о стол брусок в момент удара будет оставаться неподвижным.
10. [2.4.1] В вертикальном цилиндре под поршнем находится один моль гелия при температуре  $T_1 = 280$  К. Поршень связан с дном цилиндра пружиной, коэффициент упругости которой  $k = 10^4$  Н/м. Расстояние от поршня до дна цилиндра  $h = 0,4$  м. До какой температуры  $T_2$  нужно нагреть цилиндр с гелием, чтобы поршень поднялся на  $\Delta h = 0,1$  м? Универсальная газовая постоянная  $R = 8,3$  Дж/(моль  $\cdot$  К).
11. [3.1.1] Из куска однородной проволоки изготовлен замкнутый контур, имеющий форму квадрата  $ABCD$ . Батарею подключают сначала к вершинам квадрата  $A$  и  $B$ , а затем к вершинам  $A$  и  $C$ . В первом случае сила тока, протекающего через батарею, оказывается в  $m = 1,2$  раза больше, чем во втором. Определить внутреннее сопротивление батареи  $r$ , если известно, что сопротивление проволоки, из которой изготовлен квадрат, равно  $R = 4$  Ом.
12. [4.2.1] На некотором расстоянии от собирающей линзы  $L$  с фокусным расстоянием  $f$  расположен стеклянный клин с малым преломляющим углом  $\alpha$  так, как показано на рисунке. По другую сторону от линзы в ее главном фокусе расположен точечный источник света  $S$ . На каком расстоянии  $d$  друг от друга соберутся лучи, отраженные от передней и задней поверхностей клина после прохождения линзы? Показатель преломления стекла клина равен  $n$ .

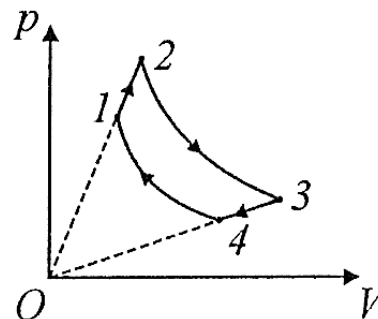


как показано на рисунке. По другую сторону от линзы в ее главном фокусе расположен точечный источник света  $S$ . На каком расстоянии  $d$  друг от друга соберутся лучи, отраженные от передней и задней поверхностей клина после прохождения линзы? Показатель преломления стекла клина равен  $n$ .

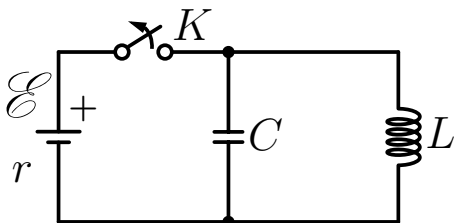
## 2012, вариант 1

13. [1.3.1] Шарик массой  $m$ , подвешенный на невесомой нерастяжимой нити, отклонили от вертикали на угол  $\varphi_0$  и отпустили без начальной скорости. Найдите силу натяжения нити  $T$  как функцию угла отклонения шарика от вертикали  $\varphi$ .

14. [2.1.1] На рисунке представлена  $pV$ -диаграмма циклического процесса, совершаемого над идеальным газом. На участках  $2 \rightarrow 3$  и  $4 \rightarrow 1$  температура газа постоянна. Определите объем  $V_3$  этого газа в состоянии 3, если известно, что  $V_1 = 1$  л,  $V_2 = 1,4$  л и  $V_4 = 2V_2$ .



15. [3.8.1] В схеме, показанной на рисунке, ключ  $K$  длительное время был замкнут. В момент времени  $t = 0$  ключ размыкают. Определите закон изменения во времени заряда пластины конденсатора, подключенной при замкнутом ключе к положительному полюсу батареи. ЭДС батареи  $\mathcal{E}$  ее внутреннее сопротивление  $r$ , емкость конденсатора  $C$ . Индуктивность катушки  $L$ , ее сопротивление пренебрежимо мало.

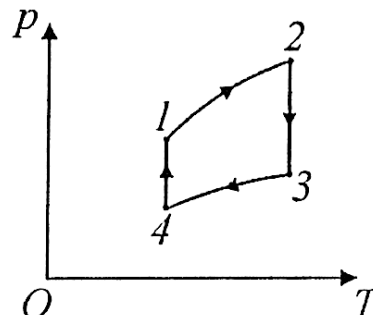


16. [4.8.1] Оптическая система состоит из двух тонких линз, главные оптические оси которых совпадают. Первая линза — собирающая, а вторая — рассеивающая. Фокусное расстояние собирающей линзы  $F$ . Расстояние между линзами равно  $F/2$ . Точечный источник света  $S$  расположен на главной оптической оси системы на расстоянии  $a = 1,5F$  перед собирающей линзой. Его изображение  $S_1$ , создаваемое системой, является действительным и находится на расстоянии  $b = 5F$  за рассеивающей линзой. Определите отношение  $n$  оптической силы собирающей линзы к модулю оптической силы рассеивающей линзы.

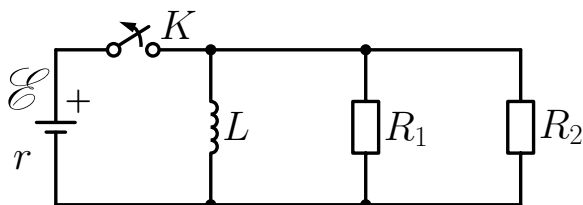
## 2012, вариант 2

17. [1.3.2] Ребенок массой  $m = 25$  кг качается на качелях так, что максимальный угол отклонения качелей от вертикали  $\varphi_{\max} = 30^\circ$ . Найдите максимальную силу  $F_{\max}$ , с которой ребенок действует на качели в процессе колебаний. Ускорение свободного падения примите равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

18. [2.1.2] На рисунке представлена  $pT$ -диаграмма циклического процесса, совершаемого над идеальным газом. В процессах  $1 \rightarrow 2$  и  $3 \rightarrow 4$  давление газа изменяется пропорционально его объему. Определить давление  $p_3$  этого газа в состоянии 3, если известно, что  $p_1 = 10^5$  Па,  $p_2 = 1,5 \cdot 10^5$  Па и  $p_4 = p_2/3$ .



19. [3.8.2] В схеме, показанной на рисунке, ключ  $K$  длительное время был замкнут. В некоторый момент времени ключ размыкают. Определите количество теплоты  $Q_1$ , выделившееся за достаточно большое время после размыкания ключа на резисторе  $R_1$ . ЭДС батареи  $\mathcal{E}$ , ее внутреннее сопротивление  $r$ , сопротивления резисторов  $R_1$  и  $R_2$ , индуктивность катушки  $L$ , а ее сопротивление пренебрежимо мало.



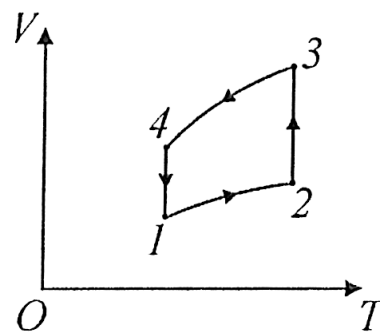
20. [4.8.2] Оптическая система состоит из двух тонких линз, главные оптические оси которых совпадают. Первая линза — собирающая, а вторая — рассеивающая. Фокусное расстояние собирающей линзы  $F = 15$  см. Расстояние между линзами равно  $F$ . Точечный источник света  $S$  расположен на главной оптической оси системы перед собирающей линзой на расстоянии  $a = 2,5F$  от нее. За линзами перпендикулярно их главным оптическим осям расположен экран. Определите фокусное расстояние  $F_2$  рассеивающей линзы, при котором размер светлого пятна на экране не будет зависеть от удаления экрана от этой линзы.



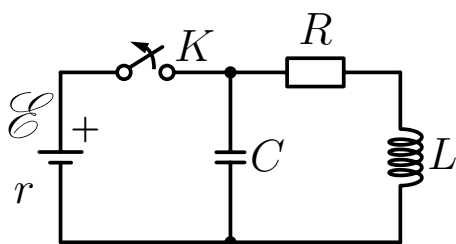
## 2012, вариант 3

21. [1.3.3] Мешок с песком массой  $M = 5$  кг подвешен на веревке длиной  $\ell = 3$  м. В мешок попадает горизонтально летящая пуля и застревает в нем. Найти максимальную силу  $T_{\max}$  натяжения веревки в процессе колебаний мешка, если известно, что масса пули  $m = 10$  г, а ее скорость непосредственно перед попаданием в мешок  $v = 500$  м/с. Ускорение свободного падения примите равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Размером мешка по сравнению с длиной веревки можно пренебречь.

22. [2.1.3] На рисунке представлена  $VT$ -диаграмма циклического процесса, совершаемого над идеальным газом. В процессах  $1 \rightarrow 2$  и  $3 \rightarrow 4$  объем газа изменяется пропорционально его давлению. Определить объем  $V_3$  этого газа в состоянии 3, если известно, что  $V_1 = 1$  л,  $V_2 = 1,4$  л и  $V_4 = 1,5V_2$ .

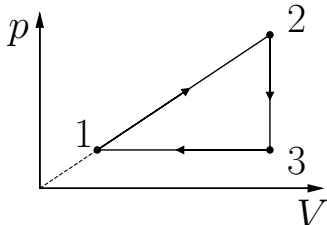


23. [3.8.3] В схеме, показанной на рисунке, ключ  $K$  длительное время был замкнут. В некоторый момент времени ключ размыкают. Определите количество теплоты  $Q$ , которое выделится после этого на резисторе сопротивлением  $R$  за достаточно большой промежуток времени. ЭДС батареи  $\mathcal{E}$ , ее внутреннее сопротивление  $r$ , емкость конденсатора  $C$ , индуктивность катушки  $L$ , а ее сопротивление пренебрежимо мало.

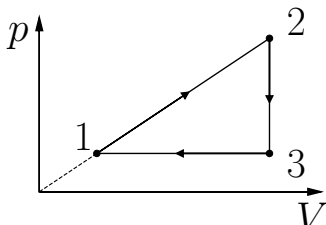


24. [4.8.3] Оптическая система состоит из двух тонких линз, главные оптические оси которых совпадают. Первая линза — рассеивающая, а вторая — собирающая. Фокусное расстояние собирающей линзы  $F = 10$  см. Расстояние между линзами равно  $2F$ . На рассеивающую линзу падает вдоль ее главной оптической оси параллельный пучок света. После прохождения системы все лучи пучка собираются в точке, расположенной за собирающей линзой на расстоянии  $a = 1,25F$  от нее. Определите оптическую силу  $D_1$  рассеивающей линзы.

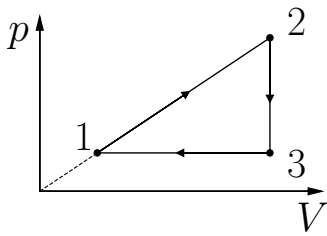
## 2013, вариант 1

25. [1.4.1] На плоскость, образующую с горизонтом угол  $\alpha = 30^\circ$ , положили брусок массой  $M = 8$  кг и привязанный к нему легкой нерастяжимой нитью брусок массой  $m = 4$  кг. При этом тяжелый брусок расположили ниже легкого так, что нить оказалась слегка натянутой и расположенной в вертикальной плоскости, проходящей через центры масс брусков перпендикулярно линии пересечения наклонной плоскости и горизонтальной поверхности. После этого бруски одновременно отпустили без начальной скорости. Определите модули ускорений брусков, если коэффициент трения о плоскость бруска массой  $M$  равен  $\mu_1 = 0,2$ , а бруска массой  $m$  равен  $\mu_2 = 0,5$ . Модуль ускорения свободного падения примите равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.
26. [2.6.1] Давление  $p$  и объем  $V$  идеального газа циклически изменяют в соответствии с  $pV$ -диаграммой, показанной на рисунке. Известно, что работа газа на участке  $1 \rightarrow 2$  в  $n = 2$  раза больше, чем модуль работы газа на участке  $3 \rightarrow 1$ . Определите отношение  $k$  максимальной и минимальной абсолютных температур газа в этом цикле.
- 
27. [3.2.1] В вершинах правильного шестиугольника расположены шесть одинаковых маленьких шариков, имеющих заряд  $q$  каждый. Какой точечный заряд  $Q$  нужно поместить в центр шестиугольника, чтобы вся система заряженных тел находилась в равновесии?
28. [4.8.1] В круглое отверстие в непрозрачной ширме вставлена тонкая рассеивающая линза, радиус которой совпадает с радиусом отверстия  $R = 1$  см. Если перед линзой на ее главной оптической оси поместить точечный источник света, то на экране, находящемся по другую сторону от линзы на расстоянии  $b = 20$  см, появится светлое пятно радиуса  $r_1 = 4$  см. Если же, не трогая экран и источник, убрать линзу, то радиус пятна станет равным  $r_2 = 2$  см. Определите оптическую силу  $D$  линзы.

## 2013, вариант 2

29. [1.4.2] На наклонную плоскость положили брусок массой  $M = 8$  кг и привязанный к нему легкой нерастяжимой нитью брусок массой  $m = 4$  кг. При этом тяжелый брусок расположили ниже легкого так, что нить оказалась слегка натянутой и расположенной в вертикальной плоскости, проходящей через центры масс брусков перпендикулярно линии пересечения наклонной плоскости и горизонтальной поверхности. Если после этого бруски одновременно отпустить, сообщив нижнему бруску некоторую скорость, направленную вниз по наклонной плоскости, то бруски будут скользить с этой скоростью по плоскости. Определите тангенс угла наклона плоскости к горизонту, если коэффициент трения о плоскость бруска массой  $M$  равен  $\mu_1 = 0,2$ , а бруска массой  $m$  равен  $\mu_2 = 0,5$ .
30. [2.6.2] Давление  $p$  и объем  $V$  гелия циклически изменяют в соответствии с  $pV$ -диаграммой, показанной на рисунке. Известно, что внутренняя энергия гелия в состоянии 2 в  $n = 4$  раза больше, чем внутренняя энергия гелия в состоянии 1. Определите отношение  $k$  количества теплоты, отданного гелием на участке  $2 \rightarrow 3$ , к работе гелия на участке  $1 \rightarrow 2$ .
- 
31. [3.2.2] Два одинаковых маленьких шарика, имеющих заряд  $q$  каждый, закреплены на расстоянии  $\ell$  друг от друга. На какую величину  $\Delta W$  изменится электростатическая энергия системы, если посередине между этими шариками поместить еще один такой же заряженный шарик?
32. [4.8.2] В круглое отверстие в непрозрачной ширме вставлена тонкая рассеивающая линза, радиус которой совпадает с радиусом отверстия  $R = 1$  см. Если перед линзой на ее главной оптической оси поместить точечный источник света, то на экране, находящемся по другую сторону от линзы на расстоянии  $b = 20$  см, появится светлое пятно радиуса  $r_1 = 2$  см. Если же, не трогая экран и источник, убрать линзу, то радиус пятна станет равным  $r_2 = 2,4$  см. Определите оптическую силу  $D$  линзы, учитывая, что при удалении экрана от линзы светлое пятно на экране вначале уменьшается, а затем начинает увеличиваться.

## 2013, вариант 3

- 33.** [1.4.3] На плоскость, образующую с горизонтом угол  $\alpha = 30^\circ$ , положили брусок массой  $M = 8$  кг и привязанный к нему легкой нерастяжимой нитью брусок массой  $m = 6$  кг. При этом тяжелый брусок расположили ниже легкого так, что нить оказалась слегка натянутой и расположенной в вертикальной плоскости, проходящей через центры масс брусков перпендикулярно линии пересечения наклонной плоскости и горизонтальной поверхности. Если после этого бруски одновременно отпустить, сообщив нижнему бруску некоторую скорость, направленную вниз по наклонной плоскости, то бруски будут скользить с этой скоростью по плоскости. Определите коэффициент трения  $\mu_2$  о плоскость бруска массой  $m$ , если коэффициент трения о плоскость бруска массой  $M$  равен  $\mu_1 = 0,4$ .
- 34.** [2.6.3] Давление  $p$  и объем  $V$  неона циклически изменяют в соответствии с  $pV$ -диаграммой, показанной на рисунке. Известно, что внутренняя энергия неона в состоянии 3 в  $n = 3$  раза больше, чем внутренняя энергия неона в состоянии 1. Определите отношение  $k$  работы неона на участке  $1 \rightarrow 2$  к модулю работы на участке  $3 \rightarrow 1$ .
- 
- 35.** [3.2.3] Три одинаковых маленьких шарика, имеющих заряд  $q$  каждый, расположены на одной прямой на гладкой горизонтальной плоскости так, что расстояния между соседними шариками одинаковы и равны  $\ell$ . Крайние шарики отпускают, и они начинают двигаться. Какую кинетическую энергию  $E_k$  будет иметь каждый из этих шариков к тому моменту, когда расстояние между ними удвоится?
- 36.** [4.8.3] В круглое отверстие в непрозрачной ширме вставлена тонкая рассеивающая линза, радиус которой совпадает с радиусом отверстия  $R = 1$  см. Если перед линзой на ее главной оптической оси поместить точечный источник света, то на экране, находящемся по другую сторону от линзы на расстоянии  $b = 20$  см, появится светлое пятно радиуса  $r_1 = 2$  см. Если же, не трогая экран и источник, убрать линзу, то радиус пятна станет равным  $r_2 = 3$  см. Определите оптическую силу  $D$  линзы, учитывая, что при удалении экрана от линзы светлое пятно на экране монотонно увеличивается.

## 2014, вариант 1

37. [1.7.1] К потолку комнаты прикреплен конец невесомой нерастяжимой нити длиной  $\ell = 4$  м. На другом конце нити закреплен маленький шарик. Расстояние от потолка до пола равно  $\ell/2$ . Слегка натянув нить, шарик отклонили так, чтобы нить приняла горизонтальное положение, а затем отпустили без толчка. В процессе движения шарик совершал с полом абсолютно упругие соударения. Пренебрегая влиянием воздуха, определите расстояние  $x$  между точками первого и третьего соударений шарика с полом. Числовой ответ выразите в метрах, округлив до десятых.
38. [2.3.1] В закрытом сосуде при температуре  $t_1$  находится воздух, относительная влажность которого  $\varphi_1$ . Сосуд охлаждают до температуры  $t_2$ . При этом часть паров конденсируется и образуется вода массой  $m$ . Определите объем сосуда, если давление насыщенных паров при начальной температуре равно  $p_{н1}$ , а при конечной —  $p_{н2}$ . Молярная масса воды равна  $\mu$ .
39. [3.4.1] Две одинаковые лампы накаливания мощностью  $N_1 = 25$  Вт каждая, рассчитанные на напряжение  $U = 10$  В, подключены параллельно к аккумулятору с внутренним сопротивлением  $r = 1$  Ом. После того, как одна из ламп перегорела, ее заменили лампой мощностью  $N_2 = 75$  Вт, рассчитанной на то же напряжение. Пренебрегая зависимостью сопротивления нити накала ламп от температуры, определите отношение  $n$  коэффициента полезного действия аккумулятора во втором случае к коэффициенту полезного действия аккумулятора в первом случае.
40. [4.5.1] Расстояние от предмета до переднего фокуса собирающей линзы в  $k = 4$  раза меньше, чем расстояние от заднего фокуса линзы до изображения. Определите увеличение  $\Gamma$ , даваемое линзой.

## 2014, вариант 2

41. [1.7.2] К потолку комнаты прикреплен конец невесомой нерастяжимой нити длиной  $\ell = 4$  м. На другом конце нити закреплен маленький шарик. Расстояние от потолка до пола равно  $0,5\ell$ . Слегка натянув нить, шарик отклонили так, чтобы нить приняла горизонтальное положение, а затем отпустили без толчка. В процессе движения шарик совершает с полом абсолютно упругие соударения. Определите максимальные значения, которых будет достигать отношение  $n$  потенциальной энергии системы «шарик – Земля» к полной механической энергии этой системы в процессе движения шарика между первым и третьим его ударами о пол. Потенциальную энергию системы «шарик – Земля» считайте равной нулю, когда шарик касается пола. Влияние воздуха полагайте пренебрежимо малым. Ответ выразите в процентах.
42. [2.3.2] В закрытом сосуде объемом  $V$  при температуре  $t_1$  находится влажный воздух и вода. Масса воды равна  $m$ . Сосуд нагревают до температуры  $t_2$ . При этом вся вода испаряется. Определите относительную влажность в конечном состоянии, если давление насыщенных паров при начальной температуре равно  $p_{н1}$ , а при конечной —  $p_{н2}$ .
43. [3.4.2] В автомобильных фарах установлены две одинаковые лампы мощностью  $N_1 = 50$  Вт каждая, рассчитанные на напряжение  $U = 12$  В. Обе лампы подключены параллельно к аккумулятору. После того, как одна из ламп перегорела, ее заменили лампой мощностью  $N_2 = 25$  Вт, рассчитанной на то же напряжение. После этого коэффициент полезного действия аккумулятора  $\eta$  изменился в  $n = 1,1$  раза. Пренебрегая зависимостью сопротивления нити накала ламп от температуры, определите внутреннее сопротивление  $r$  аккумулятора. Считайте, что других устройств, кроме ламп, к аккумулятору не подключено.
44. [4.5.2] Собирающая линза создает действительное увеличенное изображение предмета. При этом расстояние от предмета до переднего фокуса собирающей линзы  $x = 3$  см, а расстояние от заднего фокуса до изображения в  $k = 4$  раза больше, чем  $x$ . Определите фокусное расстояние линзы  $f$ .

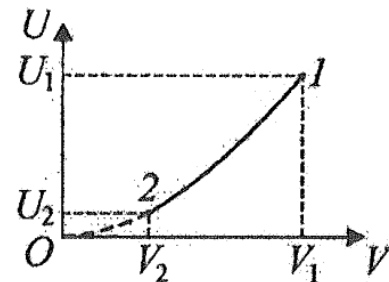
## 2014, вариант 3

45. [1.7.3] К потолку комнаты прикреплен конец невесомой нерастяжимой нити длиной  $\ell = 4$  м. На другом конце нити закреплен маленький шарик. Расстояние от потолка до пола равно  $H = 2$  м. Слегка натянув нить, шарик отклонили так, чтобы нить приняла горизонтальное положение, а затем отпустили без толчка. В процессе движения шарик совершает с полом абсолютно упругие соударения. Определите максимальную высоту  $h$ , на которую поднимался над полом шарик в процессе движения в промежутке времени между его первым и третьим ударами о пол. Влияние воздуха считайте пренебрежимо малым.
46. [2.3.3] В закрытый сосуд объемом  $V$ , в котором находился воздух, впрыскивают воду. После установления равновесия при температуре  $t_1$  в сосуде в жидком состоянии остается вода массой  $m$ . Сосуд медленно нагревают до температуры  $t_2$ . В результате относительная влажность становится равной  $\varphi_2$ . Определите давление насыщенных паров  $p_{н1}$  при начальной температуре, если при конечной температуре оно равно  $p_{н2}$ .
47. [3.4.3] Для аварийного освещения железнодорожного вагона используются две одинаковые лампы мощностью  $N_1 = 75$  Вт каждая, подключенные параллельно к аккумулятору с внутренним сопротивлением  $r = 1$  Ом. После того, как одна из ламп перегорела, ее заменили лампой мощностью  $N_2 = 25$  Вт, рассчитанной на то же напряжение, что и перегоревшая. Отношение коэффициентов полезного действия аккумулятора в первом и во втором случаях  $\eta_1/\eta_2$  известно и равно  $n = 0,8$ . Пренебрегая зависимостью сопротивления нити накала ламп от температуры, определите напряжение  $U$ , на которое рассчитаны лампы.
48. [4.5.3] Действительное изображение предмета в собирающей создается с увеличением  $\Gamma = 2$ . Определите, во сколько раз  $k$  расстояние от предмета до переднего фокуса линзы меньше, чем расстояние от заднего фокуса линзы до изображения.

## 2015, вариант 1

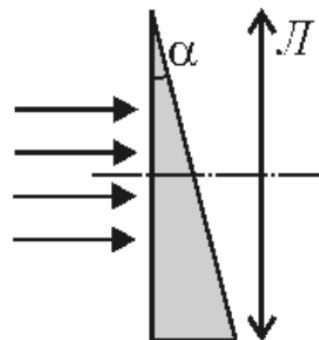
49. [1.6.1] На горизонтальной поверхности стола лежит доска массой  $M$ , а на доске сидит лягушка массой  $m$ . В некоторый момент времени лягушка совершает прыжок, отталкиваясь от доски, и приобретает скорость  $v$ , направленную под углом  $\alpha$  к горизонту. Считая, что длительность толчка лягушки о доску равна  $\tau$ , а сила, действующая на лягушку во время толчка, практически постоянна, определите, при каких значениях коэффициента трения  $\mu$  доски о стол доска в момент толчка будет оставаться неподвижной.

50. [2.7.1] Какую работу  $A$  надо совершить для сжатия некоторого количества идеального одноатомного газа в  $k = 3$  раза, если внутренняя энергия газа  $U$  меняется при этом так, как показано на рисунке? Участок  $1 \rightarrow 2$  — отрезок параболы с вершиной в начале координат. Исходное значение внутренней энергии газа равно  $U_1 = 135$  кДж.



51. [3.8.1] Конденсатор емкостью  $C_1 = 10$  мкФ зарядили от источника постоянного напряжения с ЭДС  $\mathcal{E}$ . Отключив конденсатор от источника, его соединили с незаряженным конденсатором емкостью  $C_2 = 2C_1$ . После установления напряжения на конденсаторах их обкладки замкнули проводником с достаточно большим сопротивлением, в котором выделилось количество теплоты  $Q = 0,3$  Дж. Определите ЭДС источника  $\mathcal{E}$ .

52. [2.6.1] Параллельный пучок света падает по нормали на грань стеклянной призмы. Угол при вершине призмы равен  $\alpha$ , показатель преломления стекла  $n$ . За призмой установлена тонкая собирающая линза  $L$  с фокусным расстоянием  $F$  так, что главная оптическая ось линзы перпендикулярна входной грани призмы (см. рисунок). На каком расстоянии  $x$  от главной оптической оси линзы будет сфокусирован световой пучок, преломленный призмой? Считайте, что  $\alpha \ll 1$ .

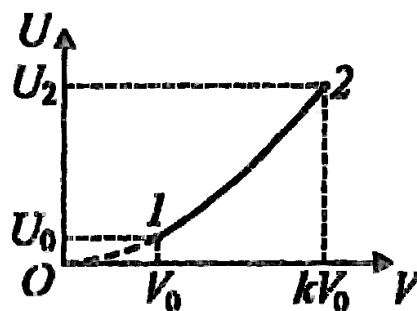




## 2015, вариант 2

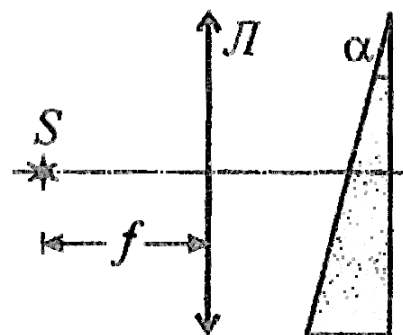
53. [1.6.2] Маленький шарик падает на брусок, лежащий на горизонтальной крышке стола. В момент удара скорость шарика направлена под углом  $\alpha$  к вертикали, а ее модуль равен  $V$ . Длительность удара равна  $\tau$ . После удара шарик отскакивает под тем же углом к вертикали, но со скоростью, модуль которой меньше модуля начальной скорости. Коэффициент трения бруска о стол равен  $\mu$ . Во сколько раз  $n$  отличаются модули скоростей шарика до и после соударения, если известно, что брусок в результате удара начал скользить по столу? Масса бруска равна массе шарика. Считайте, что сила, действующая на шарик со стороны бруска во время удара, практически постоянна, а длительность удара пренебрежимо мала.

54. [2.7.2] Объем порции газообразного гелия увеличивается в  $k = 2$  раза, а его внутренняя энергия  $U$  меняется так, как показано на рисунке, где участок  $1 \rightarrow 2$  — отрезок параболы с вершиной в начале координат. При этом газ совершает работу, равную  $A = 15$  кДж. Определите по этим данным конечное значение внутренней энергии газа  $U_2$ .



55. [3.8.2] Конденсатор емкостью  $C_1 = 20$  мкФ зарядили от источника постоянного напряжения с ЭДС  $U = 300$  В. Отключив конденсатор от источника его соединили с незаряженным конденсатором емкостью  $C_2 = 3C_1$ . После установления напряжения на конденсаторах их обкладки замкнули проводником с достаточно большим сопротивлением. Определить количество теплоты  $Q$ , которое выделилось в проводнике.

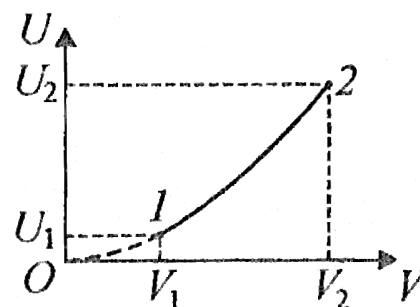
56. [4.1.2] На некотором расстоянии от тонкой собирающей линзы  $L$  с фокусным расстоянием  $f$  расположен стеклянный клин с малым преломляющим углом  $\alpha$  так, как показано на рисунке. По другую сторону от линзы в ее главном фокусе расположен точечный источник света  $S$ . На каком расстоянии друг от друга соберутся лучи, отраженные от передней и задней поверхностей клина после прохождения линзы? Показатель преломления стекла клина равен  $n$ .



## 2015, вариант 3

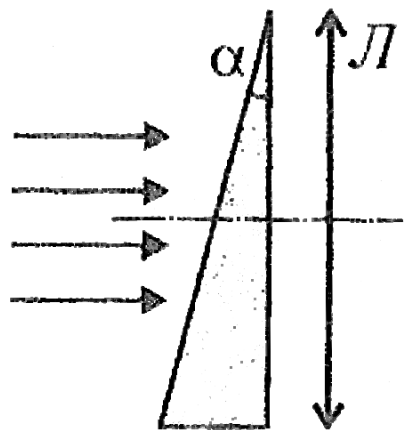
57. [1.6.3] Маленький шарик массой  $m$  падает на брусок массой  $2m$ , который лежит на горизонтальной крышке стола. В момент удара скорость шарика направлена под углом  $\alpha$  к горизонту, а ее модуль равен  $V$ . После кратковременного удара шарик отскакивает под углом  $\beta = \frac{\pi}{2} - \alpha$  к горизонту, а модуль его скорости уменьшается в два раза. Коэффициент трения бруска о стол равен  $\mu$ . Определите длительность  $\tau$  взаимодействия шарика с бруском, если в результате удара брусок начал скользить по столу. Считайте, что сила, действующая на шарик со стороны бруска во время удара, практически постоянна.

58. [2.7.3] Некоторое количество идеального одноатомного газа увеличивается в объеме в  $k = 3$  раза, а его внутренняя энергия  $U$  меняется при этом так, как показано на рисунке. Считая, что участок  $1 \rightarrow 2$  — отрезок параболы с вершиной в начале координат, а исходное значение внутренней энергии газа  $U_1 = 30$  кДж, определите работу  $A$ , которую совершает газ в данном процессе.



59. [3.8.3] Конденсатор емкостью  $C_1$  зарядили от источника постоянного напряжения с ЭДС  $U = 500$  В. Отключив конденсатор от источника, его соединили с незаряженным конденсатором емкостью  $C_2 = 0,5C_1$ . После установления напряжения на конденсаторах их обкладки замкнули проводником с достаточно большим сопротивлением, в котором выделилось количество теплоты  $Q = 0,2$  Дж. Определите емкость  $C_1$  первого конденсатора.

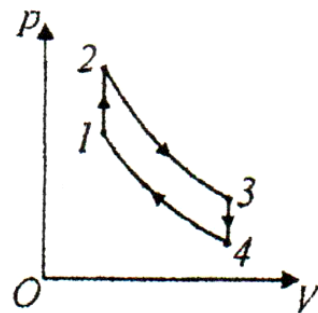
60. [4.1.3] Параллельный пучок света падает на переднюю грань стеклянной призмы, как показано на рисунке. При этом задняя грань призмы перпендикулярна падающим на призму лучам. Угол при вершине призмы равен  $\alpha$ , показатель преломления стекла  $n$ . За призмой установлена тонкая собирающая линза с фокусным расстоянием  $F$  так, что главная оптическая ось линзы перпендикулярна задней грани призмы. На каком расстоянии  $x$  от главной оптической оси линзы будет сфокусирован световой пучок, преломленный призмой? Считайте, что  $\alpha \ll 1$ .



## 2016, вариант 1

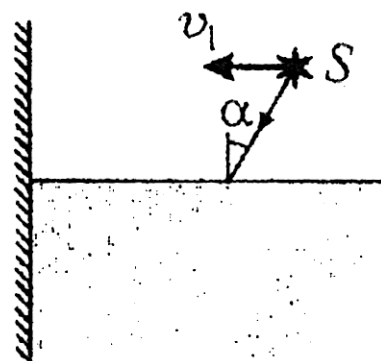
61. [1.3.1] Снаряд массой  $m = 16$  кг вылетел из пушки под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту. В верхней точке траектории снаряд разорвался на две части, причем осколки снаряда упали на землю одновременно. Осколок массой  $m_1 = 4$  кг упал почти на пушку, а другой осколок упал на землю на расстоянии  $S = 8$  км от пушки. Пренебрегая сопротивлением воздуха и массой взрывчатки, найдите кинетическую энергию снаряда  $W_0$  в момент вылета из пушки. Ускорение свободного падения примите равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

62. [2.4.1] Над идеальным газом проводится циклический процесс, состоящий из двух изохор  $1 \rightarrow 2$ ,  $3 \rightarrow 4$  и двух адиабат  $2 \rightarrow 3$ ,  $4 \rightarrow 1$  (см. рисунок). Известно, что работа, совершаемая газом за цикл, в  $\alpha = 1,5$  раза больше, чем количество теплоты, отдаваемое газом за цикл холодильнику. Найдите коэффициент полезного действия цикла  $\eta$ .



63. [3.1.1] Три одинаковых точечных заряда  $q = 10^{-8}$  Кл удерживают на одной прямой так, что расстояние между соседними зарядами равно  $a = 10$  см. Определите минимальную работу, которую нужно совершить, чтобы переместить эти заряды в вершины правильного треугольника с длиной стороны  $a$ , преодолевая действие только электростатических сил, создаваемых этими зарядами. Электрическая постоянная  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м.

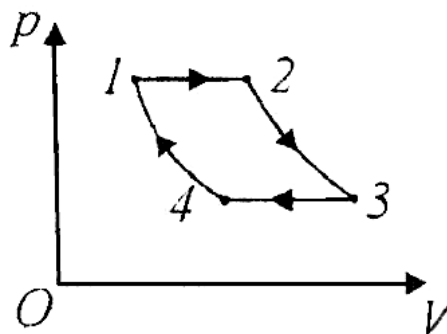
64. [4.8.1] Источник света  $S$ , испускающий тонкий луч, движется горизонтально над поверхностью воды в бассейне, приближаясь к его стенке с постоянной скоростью  $v_1 = 0,5$  м/с, вектор которой перпендикулярен стенке. Луч направлен в воду так, что угол падения равен  $\alpha = 30^\circ$ . С какой скоростью  $v_2$  движется под водой по вертикальной стенке бассейна световое пятно от луча? Показатель преломления воды  $n = 1,3$ .



## 2016, вариант 2

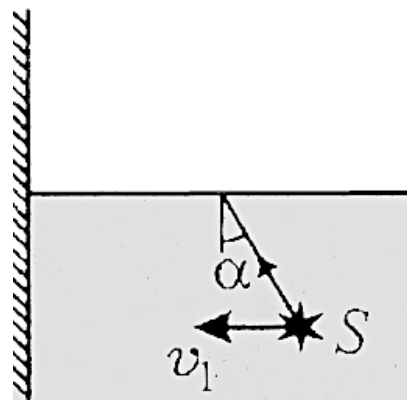
65. [1.3.2] Снаряд массой  $m = 16$  кг вылетел из пушки под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту. В верхней точке траектории снаряд разорвался на две части. Оба осколка снаряда упали на землю одновременно. Осколок массой  $m_1 = 4$  кг упал почти на пушку, а другой осколок упал на землю на расстоянии  $S = 8$  км от пушки. Пренебрегая сопротивлением воздуха и массой взрывчатки, найдите высоту  $h$ , на которой разорвался снаряд.

66. [2.4.2] Над идеальным газом проводится циклический процесс, состоящий из двух изобар  $1 \rightarrow 2$ ,  $3 \rightarrow 4$  и двух адиабат  $2 \rightarrow 3$ ,  $4 \rightarrow 1$ . Известно, что изменение температуры газа при изобарном расширении на участке  $1 \rightarrow 2$  в  $k = 2$  раза больше, чем модуль изменения температуры при изобарном сжатии на участке  $3 \rightarrow 4$ . Найдите коэффициент полезного действия цикла  $\eta$ .



67. [3.1.2] Три одинаковых точечных заряда  $q = 10^{-8}$  Кл удерживают на одной прямой так, что расстояние между первым и вторым зарядами равно  $3a$ , а между первым и третьим зарядами равно  $7a$ , где  $a = 10$  см. Определите минимальную работу, которую нужно совершить, чтобы переместить эти заряды в вершины прямоугольного треугольника с катетами длиной  $3a$  и  $4a$ , преодолевая действие только электростатических сил, создаваемых этими зарядами. Электрическая постоянная  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м.

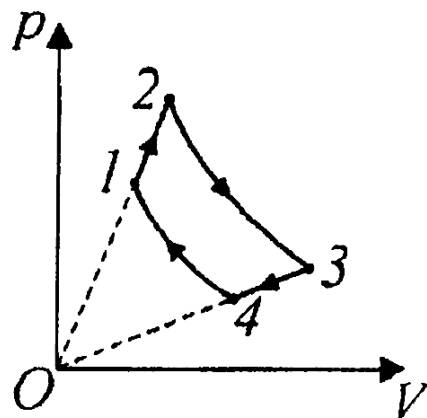
68. [4.8.2] Источник света  $S$ , испускающий тонкий луч, движется в воде в бассейне, приближаясь к его стенке с горизонтальной скоростью  $v_1 = 0,5$  м/с. Луч направлен к поверхности воды так, что угол падения равен  $\alpha = 30^\circ$ . С какой скоростью  $v_2$  движется над водой по вертикальной стенке бассейна световое пятно от луча? Показатель преломления воды  $n = 1,3$ .



## 2016, вариант 3

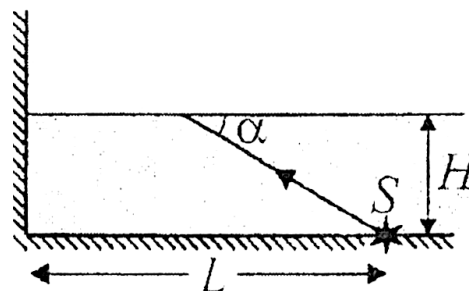
69. [1.3.3] Снаряд вылетел из пушки со скоростью  $V_0 = 80$  м/с, направленной под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту. В верхней точке траектории снаряд разорвался на два одинаковых осколка. Один из них упал на землю точно под местом разрыва. При этом промежуток времени, который прошел от момента разрыва снаряда и до момента падения этого осколка на землю, в два раза больше промежутка времени между выстрелом пушки и разрывом снаряда. Пренебрегая сопротивлением воздуха, найдите начальную скорость этого осколка.

70. [2.4.3] Над идеальным газом проводится циклический процесс, состоящий из двух участков  $1 \rightarrow 2$ ,  $3 \rightarrow 4$ , на которых давление пропорционально объему, и двух адиабат  $2 \rightarrow 3$ ,  $4 \rightarrow 1$ . Известно, что изменение температуры газа на участке  $1 \rightarrow 2$  равно  $\Delta T_1 = 20$  К, а модуль изменения температуры на участке  $3 \rightarrow 4$  равен  $\Delta T_2 = 10$  К. Найдите коэффициент полезного действия цикла.



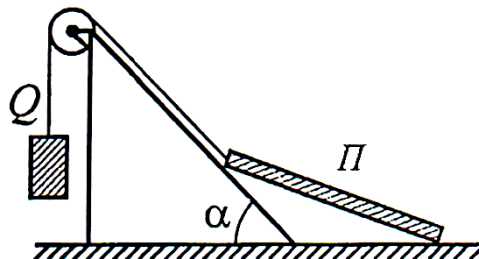
71. [3.1.3] Три одинаковых точечных заряда  $q$  удерживают на одной прямой так, что расстояние между соседними зарядами равно  $a$ . Определите минимальную работу, которую нужно совершить, чтобы переместить эти заряды в вершины равнобедренного прямоугольного треугольника с гипотенузой длиной  $a$ , преодолевая действие только электростатических сил, создаваемых этими зарядами. Электрическая постоянная  $\epsilon_0$ .

72. [4.8.3] Источник света  $S$  находится на дне бассейна глубиной  $H = 50$  см. Тонкий луч от источника падает на поверхность воды под углом  $\alpha = 30^\circ$  к ней. На каком расстоянии  $h$  от дна бассейна луч попадет на вертикальную стенку бассейна? Расстояние от источника до стенки  $L = 120$  см. Показатель преломления воды  $n = 1,3$ .

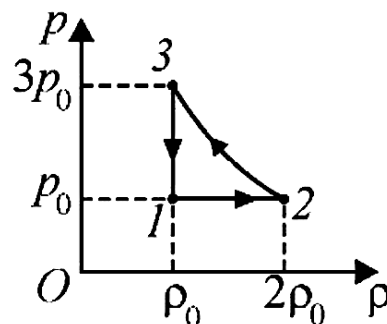


## 2017, вариант 1

73. [1.4.1] Тонкая однородная пластина  $\Pi$  опирается одним ребром на гладкую горизонтальную поверхность, а другим — на шероховатую наклонную плоскость, образующую с горизонтом угол  $\alpha = 45^\circ$  (см. рисунок). Модуль действующей на пластину силы тяжести  $P = 10$  Н. К середине верхнего ребра пластины прикреплена гладкая невесомая нить, переброшенная через блок. На другом конце нити подвешен груз  $Q$ . Отрезок нити между пластиной  $\Pi$  и блоком параллелен наклонной плоскости, а между грузом  $Q$  и блоком — вертикален. Определите вес груза  $Q$ , при котором рассмотренная система будет находиться в равновесии, если коэффициент трения пластины о наклонную плоскость равен  $\mu = 0,2$ . Числовой ответ округлите до двух значащих цифр.



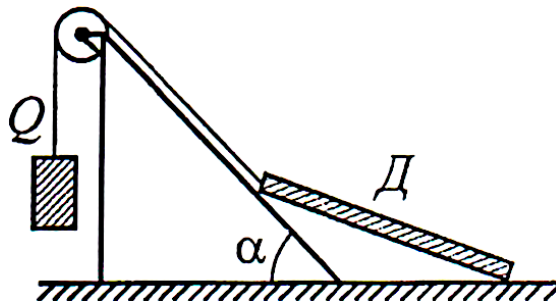
74. [2.3.1] Идеальный одноатомный газ совершает в тепловом двигателе цикл  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ , в котором давление  $p$  газа изменяется с изменением его плотности  $\rho$  так, как показано на рисунке, причем график процесса  $2 \rightarrow 3$  представляет собой участок гиперболы, описываемой уравнением  $p = b + \frac{k}{\rho}$ . Определите КПД цикла  $\eta$ . Ответ приведите в процентах, округлив до одного знака после запятой.



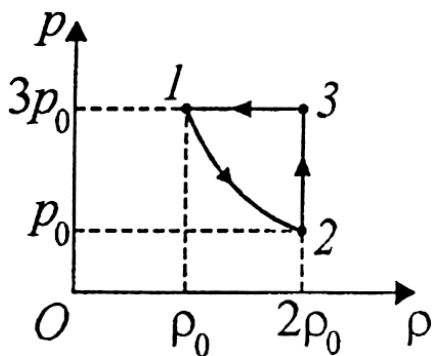
75. [3.6.1] Резистор сопротивлением  $R = 8$  Ом подключен к источнику постоянного тока с внутренним сопротивлением  $r = 4$  Ом. Резистор с каким сопротивлением  $R_x$  надо подсоединить параллельно резистору  $R$ , чтобы мощность, выделяющаяся во внешней цепи, не изменилась?
76. [4.8.1] На расстоянии  $f = 15$  м от объектива проекционного аппарата расположен экран с размерами  $2 \times 3$  м. На экране получено четкое изображение диапозитива, имеющего размеры  $24 \times 36$  мм. При этом изображение занимает половину площади экрана. Рассчитайте оптическую силу  $D$  тонкой линзы, которую следует вплотную приставить к объективу проекционного аппарата, не меняя его положения, чтобы четкое изображение точно уложилось в размеры экрана. Объектив проекционного аппарата считайте тонкой линзой. Ответ приведите в диоптриях, округлив до одного знака после запятой.

## 2017, вариант 2

77. [1.4.2] Тонкая однородная доска  $D$  опирается одним ребром на гладкую горизонтальную поверхность, а другим — на шероховатую наклонную плоскость, образующую с горизонтом угол  $\alpha = 45^\circ$  (см. рисунок). К середине верхнего ребра доски прикреплена гладкая невесомая нить, переброшенная через блок. На другом конце нити подвешен груз, вес которого  $Q = 5$  Н. Отрезок нити между доской  $D$  и блоком параллелен наклонной плоскости, а между грузом  $Q$  и блоком — вертикален. Определите модуль  $P$  силы тяжести, действующей на доску, при котором рассмотренная система будет находиться в равновесии, если коэффициент трения доски о наклонную плоскость равен  $\mu = 0,2$ . Числовой ответ округлите до двух значащих цифр.



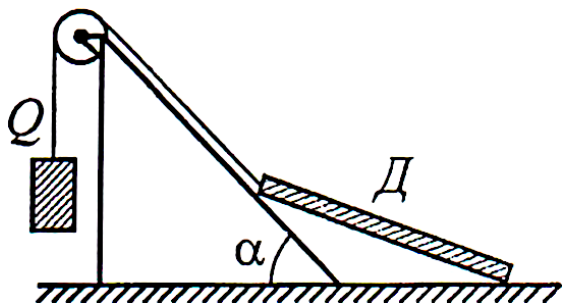
78. [2.3.2] Идеальный одноатомный газ совершает в тепловом двигателе цикл  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ , в котором давление  $p$  газа изменяется с изменением его плотности  $\rho$  так, как показано на рисунке, причем график процесса  $1 \rightarrow 2$  представляет собой участок гиперболы, описываемой уравнением  $p = b + \frac{k}{\rho}$ . Определите коэффициент полезного действия (КПД) цикла  $\eta$ . Ответ приведите в процентах, округлив до одного знака после запятой.



79. [3.6.2] При поочередном включении к источнику постоянного тока резисторов с сопротивлениями  $R_1 = 9$  Ом и  $R_2 = 4$  Ом во внешней цепи выделяется одинаковая мощность  $N = 4$  Вт. Определите ЭДС источника тока  $\mathcal{E}$ .
80. [4.8.2] На расстоянии  $f = 10$  м от объектива проекционного аппарата расположен экран с размерами  $2 \times 3$  м. На экране получено четкое изображение диапозитива, имеющего размеры  $24 \times 36$  мм. При этом изображение занимает половину площади экрана. На какое расстояние  $\Delta f$  следует переместить проекционный аппарат, чтобы четкое изображение заняло всю площадь экрана? Объектив проекционного аппарата считайте тонкой линзой.

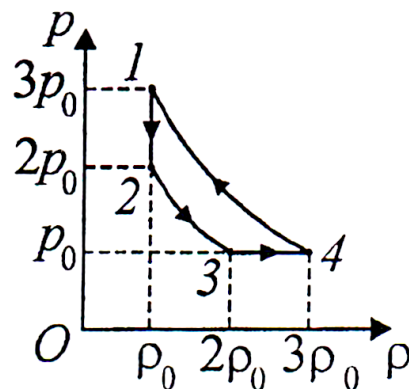
## 2017, вариант 3

81. [1.4.3] Тонкая однородная доска  $D$  опирается одним ребром на гладкую горизонтальную поверхность, а другим — на шероховатую наклонную плоскость, образующую с горизонтом угол  $\alpha = 45^\circ$  (см. рисунок). Модуль действующей на доску силы тяжести  $P = 10$  Н. К середине верхнего ребра доски прикреплена гладкая невесомая нить, переброшенная через блок. На другом конце нити подвешен груз  $Q$ . Отрезок нити между доской  $D$  и блоком



параллелен наклонной плоскости, а между грузом  $Q$  и блоком — вертикален. Определите коэффициент трения  $\mu$  доски о наклонную плоскость, зная, что равновесие системы нарушается, если вес груза  $Q$  превышает 5 Н. Числовой ответ округлите до двух значащих цифр.

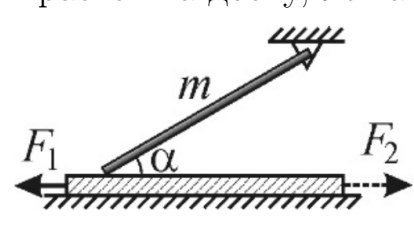
82. [2.3.3] Идеальный одноатомный газ совершает в тепловом двигателе цикл  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$ , в котором давление  $p$  газа изменяется с изменением его плотности  $\rho$  так, как показано на рисунке, причем графики процессов  $2 \rightarrow 3$  и  $4 \rightarrow 1$  представляют собой участки гипербол. Определите коэффициент полезного действия (КПД) цикла  $\eta$ . Ответ приведите в процентах, округлив до одного знака после запятой.



83. [3.6.3] При поочередном подключении резисторов с сопротивлениями  $R_1 = 9$  Ом и  $R_2 = 4$  Ом к источнику постоянного тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 10$  В во внешней цепи выделяется одинаковая мощность. Определите величину этой мощности  $N$ .
84. [4.8.3] Объектив проекционного аппарата находится на расстоянии  $f = 4,0$  м от экрана. Изображение диапозитива на экране занимает  $k = 0,25$  площади экрана. Для того, чтобы изображение заняло весь экран, проектор пришлось дополнительно отодвинуть от экрана еще на  $\ell = 3,9$  м. Найдите фокусное расстояние  $F$  объектива проекционного аппарата, считая его тонкой линзой.

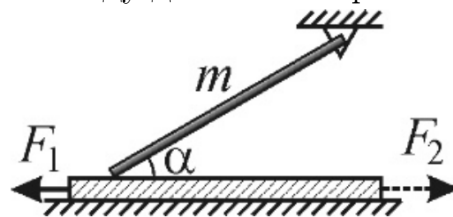


## 2018, вариант 1

85. [2.6.1] Тяжелый однородный тонкий стержень, одним концом шарнирно прикрепленный к неподвижной опоре, другим концом опирается на доску, лежащую на гладком горизонтальном столе, причем угол между доской и стержнем  $\alpha = 30^\circ$  (см. рисунок). Если к доске приложить горизонтальную силу, по модулю равную  $F_1 = 1$  Н и направленную вдоль доски влево, она будет двигаться в ту же сторону с постоянной скоростью. С какой по модулю силой  $F_2$  можно привести доску в равномерное движение в противоположном направлении? Коэффициент трения между стержнем и доской  $\mu = 0,3$ . Трением доски о поверхность стола можно пренебречь.
- 
86. [2.5.1] Плотность влажного воздуха при температуре  $t_0 = 27^\circ\text{C}$  и давлении  $p_0 = 10^5$  Па Па равна  $\rho = 1,15$  кг/м<sup>3</sup>. Чему равна относительная влажность  $\varphi$  этого воздуха, если плотность насыщенного водяного пара при температуре  $t_0$  равна  $\rho_0 = 25,8$  кг/м<sup>3</sup>? Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31$  Дж/(моль  $\cdot$  К), молярная масса сухого воздуха  $\mu_1 = 29$  г/моль, молярная масса воды  $\mu_2 = 18$  г/моль. Ответ приведите в процентах, округлив до целых.
87. [3.5.1] Плоский конденсатор емкостью  $C = 400$  пФ присоединен к источнику постоянного напряжения  $U = 2$  кВ. Не отключая конденсатор от источника, его пластины медленно раздвинули так, что расстояние между ними увеличилось в  $n = 4$  раза. Определите работу  $A_{\text{мех}}$ , совершенную силами, раздвигавшими пластины конденсатора.
88. [4.1.1] Два плоских зеркала образуют двугранный угол  $\alpha = 60^\circ$ . Вдоль биссектрисы этого угла равномерно движется светящаяся точка со скоростью  $v = 2$  см/с. Через какой промежуток времени  $\Delta t$  расстояние между первыми изображениями точки в зеркалах изменится на величину  $\Delta x = 12$  см?

## 2018, вариант 2

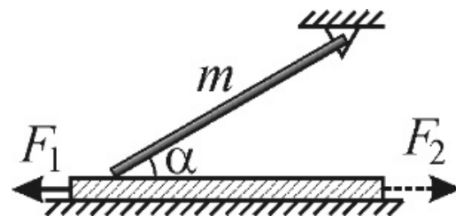
89. [1.6.2] Тяжелый однородный тонкий стержень, одним концом шарнирно прикрепленный к неподвижной опоре, другим концом опирается на доску, лежащую на гладком горизонтальном столе, причем угол между доской и стержнем  $\alpha = 30^\circ$  (см. рисунок). Если к доске приложить горизонтальную силу, по модулю равную  $F_1$  и направленную вдоль доски влево, она будет двигаться в ту же сторону с постоянной скоростью. Для того, чтобы привести доску в равномерное движение в противоположном направлении, нужно приложить к ней силу, по модулю равную  $F_2$ . Чему равен коэффициент трения  $\mu$  между стержнем и доской, если  $\frac{F_2}{F_1} = n = 1,4$ . Трением доски о поверхность стола можно пренебречь.



90. [2.5.2] Плотность влажного воздуха при температуре  $t_0 = 27^\circ\text{C}$  и давлении  $p_0 = 10^5$  Па равна  $\rho = 1,15$  кг/м<sup>3</sup>. Чему равна плотность водяного пара  $\rho_{\text{п}}$  при этой температуре? Универсальная газовая постоянная  $R = 8,3$  Дж/(моль  $\cdot$  К), молярная масса сухого воздуха  $M_1 = 29$  г/моль, молярная масса воды  $M_2 = 18$  г/моль. Ответ приведите в г/м<sup>3</sup>, округлив до одного знака после запятой.
91. [3.5.2] Плоский конденсатор подключен к источнику постоянного напряжения. Не отключая конденсатор от источника, его пластины медленно переместили так, что расстояние между ними увеличилось. Определите отношение  $k$  работы  $A_{\text{мех}}$ , совершенной силами, раздвигающими пластины конденсатора, к работе  $A_{\text{ист}}$  сторонних сил источника напряжения за время раздвигания пластин.
92. [4.1.2] Два плоских зеркала образуют двугранный угол. Вдоль биссектрисы этого угла равномерно движется светящаяся точка со скоростью  $v = 3$  см/с. За промежуток времени  $\Delta t = 4$  с расстояние между первыми изображениями точки в зеркалах изменилось на величину  $\Delta x = 12$  см. Определите угол  $\alpha$  между зеркалами. Ответ приведите в градусах, округлив до целых.

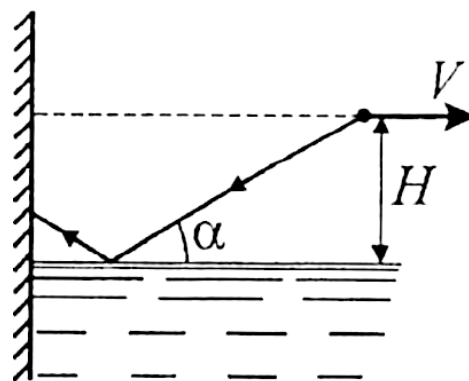
## 2018, вариант 3

93. [1.6.3] Однородный тонкий стержень массой  $m = 0,2$  кг, одним концом шарнирно прикрепленный к неподвижной опоре, другим концом опирается на доску, лежащую на гладком горизонтальном столе, причем угол между доской и стержнем  $\alpha = 30^\circ$  (см. рисунок). Когда к доске приложили горизонтальную силу, по модулю равную  $F_1 = 1$  Н и направленную вдоль доски влево, доска начала двигаться в ту же сторону с постоянной скоростью. Найдите модуль  $R$  силы реакции шарнира. Трением доски о поверхность стола можно пренебречь. Ускорение свободного падения примите равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.



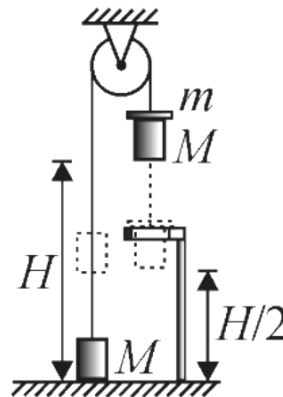
94. [2.5.3] Плотность насыщенного водяного пара при температуре  $t_0 = 27^\circ\text{C}$  равна  $\rho_z = 25,8$  г/м<sup>3</sup> относительная влажность воздуха при этой температуре  $\varphi = 80\%$ . Какова плотность  $\rho$  влажного воздуха при давлении  $p_0 = 10^5$  Па и температуре  $t_0$ ? Универсальная газовая постоянная  $R = 8,3$  Дж/(моль · К), молярная масса сухого воздуха  $M_1 = 29$  г/моль, молярная масса воды  $M_2 = 18$  г/моль. Ответ округлите до двух знаков после запятой.
95. [3.5.3] Плоский конденсатор подключен к источнику постоянного напряжения. Не отключая конденсатор от источника, его пластинам дали возможность медленно сдвинуться так, что расстояние между ними уменьшилось. Определите отношение  $k$  работы  $A_{\text{ист}}$  сторонних сил источника за время движения пластин конденсатора к работе  $A_{\text{мех}}$ , совершенной кулоновскими силами, действующими на пластины конденсатора, за то же время.

96. [4.1.3] Луч света, испущенный источником, распространяется под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонтальной поверхности (см. рисунок). Источник света удаляется от вертикальной стены бассейна с постоянной скоростью  $V = 0,5$  м/с. При этом источник постоянно находится на некоторой высоте над поверхностью воды, а направление луча не изменяется. Какой путь  $S$  пройдет по сухой части стены светлое пятно, образованное попадающим на нее световым лучом, за время  $t = 10$  с после начала движения источника, если он начал двигаться непосредственно от стенки?

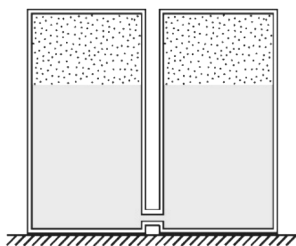


## 2019, вариант 1

97. [1.3.1] Два одинаковых груза массами  $M = 1$  кг каждый соединены между собой легкой нерастяжимой нитью, переброшенной через невесомый блок. Первоначально правый груз располагался так, что его нижний край находился на высоте  $H = 2,5$  м над полом. На правый груз осторожно положили перегрузок в виде диска с прорезью, выступающего за края груза, после чего система грузов пришла в движение. Переместившись вниз на расстояние  $H/2$ , правый груз встретил ограничитель в виде горизонтально закрепленного кольца, сквозь которое груз прошел беспрепятственно, а перегрузок был удержан кольцом. Найдите время  $\tau$  движения правого груза от исходного положения до момента касания пола, если масса перегрузка  $m = 250$  г. Ускорение свободного падения примите равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

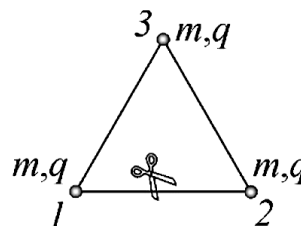


98. [2.8.1] В два одинаковых цилиндрических сообщающихся сосуда, герметично закрытых крышками, налита жидкость плотностью  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Сверху над жидкостью находится идеальный газ. Расстояние между уровнем жидкости и крышками сосудов равно  $h = 50$  см. В начальном состоянии температура и давление газа в обоих сосудах были одинаковыми и соответственно равными  $T_0 = 300$  К и  $p_0 = 10^3$  Па. Определите, до какой температуры  $T$  надо нагреть газ в правом сосуде, чтобы в левом сосуде жидкость поднялась на высоту  $\Delta h = 1$  см, если температуру



газа в левом сосуде поддерживать равной  $T_0$ . Давлением паров жидкости, тепловым расширением жидкости и сосудов можно пренебречь. Ускорение свободного падения считайте равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

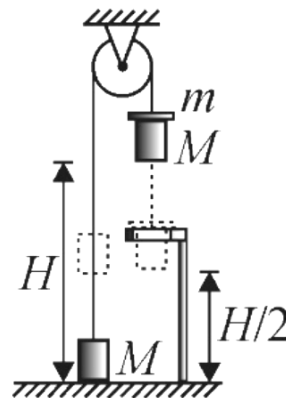
99. [3.4.1] Три одинаковых маленьких шарика массой  $m = 10$  г каждый, несущие заряды  $q = 10^{-8}$  Кл, связаны тремя непроводящими нитями длиной  $\ell = 5$  см каждая и располагаются на гладком непроводящем горизонтальном столе, образуя правильный треугольник (см. рисунок). Нить, соединяющую шарики 1 и 2, перерезают и шарики приходят в движение. Пренебрегая поляризацией поверхности стола, найдите максимальную скорость  $v_3$  шарика 3. Электрическая постоянная  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м.



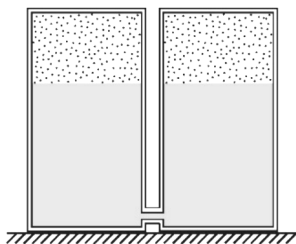
100. [4.5.1] Предмет высотой  $h = 2$  см расположен на расстоянии  $a = 20$  см от плосковыпуклой тонкой линзы с фокусным расстоянием  $F = 16$  см перпендикулярно ее главной оптической оси. Выпуклая поверхность линзы обращена к предмету. Определите высоту  $H$  изображения предмета, даваемого этой линзой после того, как ее плоскую поверхность посеребрят.

## 2019, вариант 2

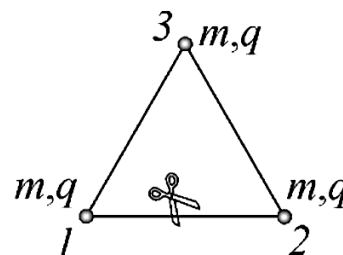
101. [1.3.2] Два одинаковых груза массами  $M = 1$  кг каждый соединены между собой легкой нерастяжимой нитью, переброшенной через невесомый блок. Первоначально правый груз располагался так, что его нижний край находился на высоте  $H = 2,5$  м над полом. На правый груз осторожно положили перегрузок в виде диска с прорезью, выступающего за края груза, после чего система грузов пришла в движение. Переместившись вниз на расстояние  $H/2$ , правый груз встретил ограничитель в виде горизонтально закрепленного кольца, сквозь которое груз прошел беспрепятственно, а перегрузок был удержан кольцом. Какова масса  $m$  перегрузка, если время движения правого груза от исходного положения до момента касания пола равно  $\tau = 2,25$  с? Ускорение свободного падения примите равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.



102. [2.8.2] В два одинаковых цилиндрических сообщающихся сосуда, герметично закрытых крышками, налита жидкость. Сверху над жидкостью находится идеальный газ. Расстояние между уровнем жидкости и крышками сосудов равно  $h = 50$  см. В начальном состоянии температура и давление газа в обоих сосудах были одинаковыми и соответственно равными  $T_0 = 300$  К и  $p_0 = 10^3$  Па. После того, как в правом сосуде газ нагрели до температуры  $T = 370$  К, в левом сосуде жидкость поднялась на высоту  $\Delta h = 1$  см. При этом температуру газа в левом сосуде поддерживали равной  $T_0$ . Определите плотность жидкости  $\rho$ . Давлением паров жидкости, тепловым расширением жидкости и сосудов можно пренебречь. Ускорение свободного падения считайте равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.



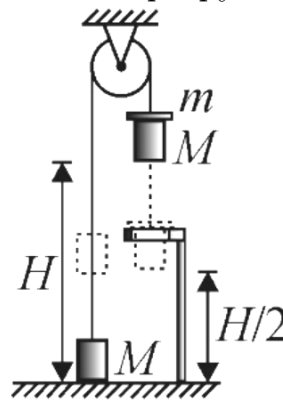
103. [3.4.2] Три одинаковых маленьких шарика массой  $m = 10$  г каждый, несущие одинаковые положительные заряды, связаны тремя непроводящими нитями длиной  $\ell = 5$  см каждая и располагаются на гладком непроводящем горизонтальном столе, образуя правильный треугольник (см. рисунок). Нить, соединяющую шарики 1 и 2, перерезали, и шарики приходят в движение, причем максимальная скорость шарика 3 оказалась равной  $v_3 = 5$  см/с. Каков заряд  $q$  каждого из шариков? Электрическая постоянная  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м.



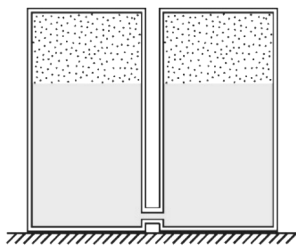
104. [4.5.2] Предмет высотой  $h = 5$  см расположен на расстоянии  $a = 30$  см от плосковогнутой тонкой линзы с фокусным расстоянием, модуль которого равен  $F = 15$  см, перпендикулярно ее главной оптической оси. Вогнутая поверхность линзы обращена к предмету. Определите высоту  $H$  изображения предмета, даваемого этой линзой после того, как ее плоскую поверхность посеребрят.

## 2019, вариант 3

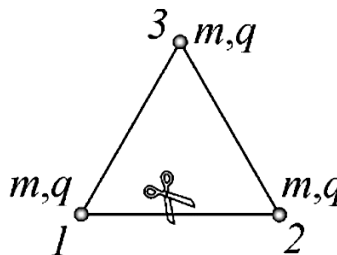
105. [1.3.3] Два одинаковых груза массами  $M = 1$  кг каждый соединены между собой легкой нерастяжимой нитью, переброшенной через невесомый блок. Первоначально правый груз располагался так, что его нижний край находился на высоте  $H = 2,5$  м над полом. На правый груз осторожно положили перегрузок в виде диска с прорезью, выступающего за края груза, после чего система грузов пришла в движение. Переместившись вниз на расстояние  $H/2$ , правый груз встретил ограничитель в виде горизонтально закрепленного кольца, сквозь которое груз прошел беспрепятственно, а перегрузок был удержан кольцом. На какую величину  $\Delta T$  изменится сила натяжения нити после прохождения правым грузом кольца ограничителя, если масса перегрузка  $m = 250$  г? Ускорение свободного падения примите равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.



106. [2.8.2] В два одинаковых цилиндрических сообщающихся сосуда, герметично закрытых крышками, налита жидкость. Сверху над жидкостью находится идеальный газ. Расстояние между уровнем жидкости и крышками сосудов равно  $h = 50$  см. В начальном состоянии температура и давление газа в обоих сосудах были одинаковыми. После того, как в правом сосуде газ нагрели до температуры  $T = 370$  К, а в левом сосуде поддерживали постоянной и равной первоначальной, жидкость в этом сосуде поднялась на высоту  $\Delta h = 1$  см. Определите, какова начальная температура газа  $T_0$ , если начальное давление газа  $p_0 = 10^3$  Па. Давлением паров жидкости, тепловым расширением жидкости и сосудов можно пренебречь. Ускорение свободного падения считайте равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

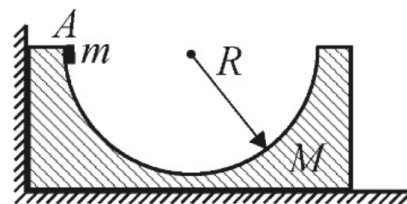


107. [3.4.3] Три одинаковых маленьких шарика, несущие заряды  $q = 10^{-8}$  Кл, связаны тремя непроводящими нитями длиной  $\ell = 5$  см каждая и располагаются на гладком непроводящем горизонтальном столе, образуя правильный треугольник (см. рисунок). Нить, соединяющую шарики 1 и 2, перерезают, и шарики приходят в движение, причем максимальная скорость шарика 3 оказывается равной  $v_3 = 5$  см/с. Пренебрегая поляризацией поверхности стола, найдите массу  $m$  каждого из шариков. Электрическая постоянная  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м.



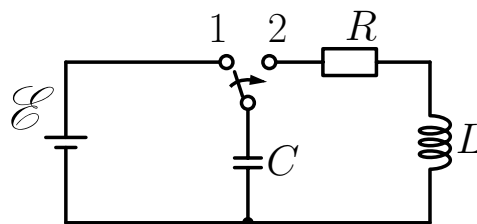
108. [4.5.3] Карандаш длиной  $\ell = 6$  см расположен на расстоянии  $a = 20$  см от плосковогнутой тонкой линзы перпендикулярно ее главной оптической оси. Вогнутая поверхность линзы обращена к карандашу. Какова была оптическая сила  $D$  линзы, если после того как плоскую поверхность линзы посеребрили, изображение карандаша оказалось длиной  $\ell_1 = 2$  см?

109. [1.4.1] На гладкой горизонтальной поверхности вплотную к вертикальной стенке стоит брусок массой  $M = 0,8$  кг, в котором сделано гладкое углубление полусферической формы радиусом  $R = 0,2$  м (см. рисунок). Из точки  $A$  без начальной скорости начинает соскальзывать маленькая шайба массой  $m = 0,2$  кг. Найдите максимальную высоту  $h$  относительно нижней точки полусферы, на которую поднимется шайба при ее последующем движении.

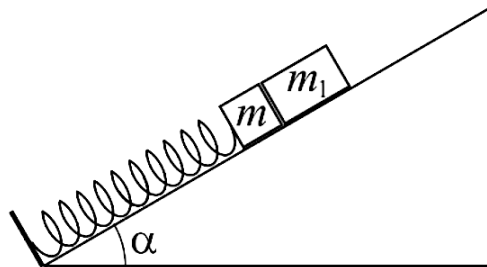


110. [2.5.1] В сосуде находится воздух с относительной влажностью  $\varphi = 80\%$  при температуре  $T = 373$  К. Объем сосуда  $V = 10$  л. Воздух в сосуде изотермически сжимают, уменьшая его объем в два раза. Найдите массу  $m$  сконденсировавшейся при этом воды. Универсальную газовую постоянную примите равной  $R = 8,3$  Дж/(моль  $\cdot$  К), а нормальное атмосферное давление  $p_0 = 10^5$  Па. Молярная масса воды  $\mu = 18$  г/моль. Объемом сконденсировавшейся воды можно пренебречь.

111. [3.4.1] В электрической схеме, представленной на рисунке, конденсатор емкостью  $C = 1$  мкФ сначала заряжается от источника с ЭДС  $\mathcal{E} = 10$  В. Затем ключ переводят в положение 2. Какое количество теплоты  $Q_L$  выделится за все время возникших затухающих колебаний на катушке, если она изготовлена из медной проволоки длиной  $\ell = 10$  м и сечением  $S = 1$  мм<sup>2</sup>? Удельное сопротивление меди примите равным  $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}$  Ом  $\cdot$  м. Сопротивление резистора  $R = 1,7$  Ом.

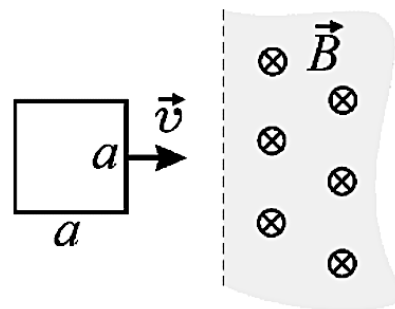


112. [1.6.1] На гладкой наклонной плоскости лежат два бруска массами  $m = 100$  г и  $m_1 = 3m$ . Нижний брусок прикреплен к одному из концов легкой пружины, другой конец которой приделан к неподвижной опоре (см. рисунок). Определите максимальное расстояние  $x_{\max}$ , на которое можно сместить бруски вниз по наклонной плоскости, для того чтобы после того, как их отпустят из состояния покоя, в процессе движения верхний брусок не отрывался от нижнего. Наклонная плоскость образует с горизонтом угол  $\alpha = 30^\circ$ . Жесткость пружины  $k = 200$  Н/м. Модуль ускорения свободного падения считайте равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.



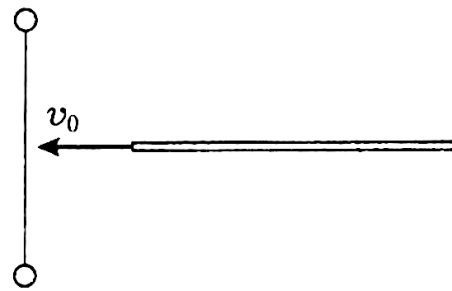
113. [2.4.1] В вертикальном цилиндрическом сосуде под легким подвижным поршнем находится некоторое количество одноатомного идеального газа. В положении равновесия поршень удерживается в сосуде атмосферным давлением. При этом расстояние от поршня до дна сосуда равно  $h_0 = 1$  м. Поддерживая температуру газа постоянной, сверху на поршень медленно насыпают песок массой  $m = 1$  кг. Найдите количество теплоты  $Q$ , которое необходимо сообщить газу, чтобы вернуть поршень в первоначальное положение. Трение поршня о стенки сосуда считайте пренебрежимо малым, ускорение свободного примите равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

114. [3.2.1] Квадратную проволочную рамку двигают с постоянной скоростью, перпендикулярной одной из сторон рамки. В некоторый момент времени рамка входит в область, занимаемую однородным магнитным полем, вектор индукции которого перпендикулярен плоскости рамки, причем ее скорость перпендикулярна прямой, ограничивающей область магнитного поля. Какое количество теплоты  $Q$  выделится в рамке за время, в течение которого она полностью окажется в магнитном поле? Сторона рамки  $a = 10$  см, сопротивление рамки  $R = 1$  Ом, модуль скорости рамки  $v = 1$  м/с, магнитная индукция  $B = 1$  Тл.



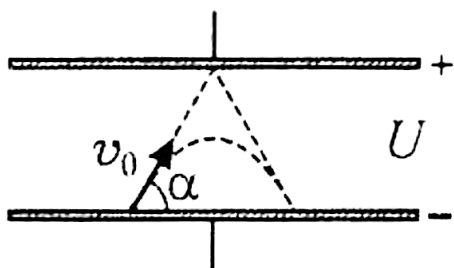


115. [1.4.1] На гладкой горизонтальной поверхности лежат две одинаковые шайбы, связанные легкой нерастяжимой слегка натянутой нитью. Тонкий брусок, масса которого в  $k = 2$  раза превышает массу каждой из шайб, движется поступательно со скоростью  $v_0 = 2$  м/с перпендикулярно нити и ударяет точно в ее середину (см. рисунок). Считая размер шайб пренебрежимо малым по сравнению с длиной нити, определите модуль и скорости каждой шайбы относительно бруска в момент удара шайб о брусок.



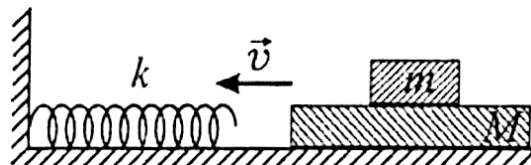
116. [2.1.1] В закрытом с обоих концов и откачанном цилиндрическом сосуде объемом  $V = 2$  л может свободно перемещаться невесомый тонкий поршень. В сосуд с одной стороны от поршня ввели  $m_1 = 2$  г воды, а с другой стороны  $m_2 = 1$  г азота. Какую часть  $x$  объема цилиндра будет занимать азот при температуре  $t = 100^\circ\text{C}$  в обеих частях цилиндра? Молярные массы воды и азота равны соответственно  $M_1 = 18$  г/моль и  $M_2 = 28$  г/моль. Нормальное атмосферное давление примите равным  $p_0 = 10^5$  Па. Универсальная газовая постоянная  $R = 8,3$  Дж/(моль  $\cdot$  К). Ответ приведите в процентах.

117. [3.2.1] Между пластинами плоского конденсатора, помещенного в вакуум, создано однородное электрическое поле. Из некоторой точки с поверхности отрицательно заряженной пластины с одной и той же скоростью  $v_0 = 10$  м/с и под одним и тем же углом  $\alpha = 60^\circ$  к пластине вылетают два маленьких шарика, один из которых не заряжен, а второй несет положительный заряд  $q = 10^{-7}$  Кл. Незаряженный шарик возвращается к первой пластине после упругого удара о противоположную пластину. Заряженный шарик возвращается к первой пластине, не достигнув противоположной пластины. Какова масса заряженного шарика, если известно, что оба шарика вернулись на первую пластину в одной и той же



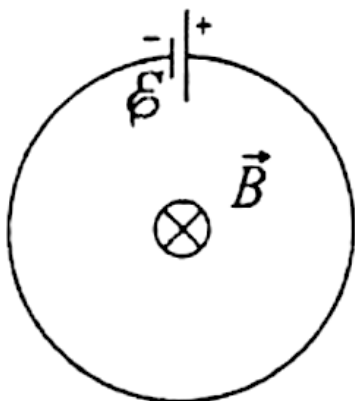
точке? Разность потенциалов между пластинами конденсатора  $U = 750$  В. Действием силы тяжести можно пренебречь. Считайте, что при ударе о пластину конденсатора незаряженный шарик заряда не приобретает.

118. [1.5.1] По гладкой горизонтальной плоскости со скоростью  $v = 1$  м/с скользит доска массой  $M = 20$  кг, на которой лежит брусок. Доска вступает в соприкосновение с горизонтально расположенной легкой пружиной жесткостью  $k = 100$  Н/м, один конец которой прикреплен к стене (см. рисунок). Коэффициент трения между бруском и доской равен  $\mu = 0,2$ . Центры масс бруска и доски лежат в одной вертикальной плоскости с осью пружины. Скорость доски параллельна оси пружины. При какой массе бруска  $m$  он не сдвинется с доски в дальнейшем? Ускорение свободного падения примите равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Считайте, что пружина при взаимодействии с доской сжимается не полностью.

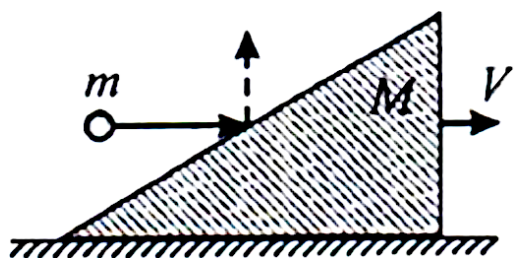


119. [2.5.1] В сосуде объемом  $V = 3$  л находится насыщенный водяной пар при температуре  $t = 100$  °С. До какого объема  $V_1$  нужно сжать пар при постоянной температуре, чтобы в сосуде образовалась вода массой  $m = 1$  г? Нормальное атмосферное давление  $p_0 = 10^5$  Па. Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31$  Дж/(моль · К). Молярная масса воды  $M = 18$  г/моль. Ответ приведите в литрах.

120. [3.6.1] Плоский контур с источником постоянного тока находится во внешнем однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции которого  $\vec{B}$  перпендикулярен плоскости контура (см. рисунок). На сколько процентов и по отношению к первоначальному значению изменится мощность, выделяющаяся в контуре, после того, как магнитная индукция начнет уменьшаться со скоростью  $k = 0,01$  Тл/с? Площадь контура  $S = 0,1$  м<sup>2</sup>, ЭДС источника  $\mathcal{E} = 10$  мВ. Ответ округлите до целых.



121. [1.2.1] Гладкий клин массой  $M = 1$  кг покоится на горизонтальном столе. В наклонную поверхность клина попадает маленький шарик массой  $m = 100$  г, летящий горизонтально, и после абсолютно упругого удара о поверхность

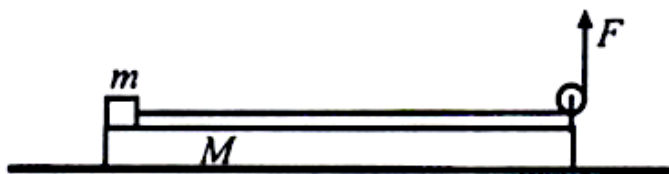


клина отскакивает вертикально вверх. На какую высоту  $h$  поднимется шарик относительно точки удара, если после удара клин приобретает скорость  $V = 1$  м/с? Ускорение свободного падения примите равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

122. [2.7.1] Сосуд с газом, имеющий форму прямоугольного параллелепипеда с длиной  $\ell = 1$  м, двигают горизонтально с ускорением  $a = 10$  м/с<sup>2</sup>, направленным вдоль длинной стороны. Найдите разность плотностей газа  $\Delta\rho$  вблизи задней и передней стенок сосуда. Плотность газа в неподвижном сосуде  $\rho_0 = 1,3$  кг/м<sup>3</sup>, его молярная масса  $\mu = 0,029$  кг/моль, температура  $T = 273$  К. Универсальную газовую постоянную примите равной  $R = 8,3$  Дж/(моль · К). Силой тяжести, действующей на молекулы газа, можно пренебречь.

123. [3.4.1] Отрицательно заряженная частица массой  $m = 9 \cdot 10^{-30}$  кг вращается по круговой орбите радиуса  $r = 5 \cdot 10^{-11}$  м вокруг неподвижной положительно заряженной частицы, несущей такой же по модулю заряд. Найдите период обращения частицы  $T$ , если известно, что полная механическая энергия частицы равна  $E = -2 \cdot 10^{-18}$  Дж.

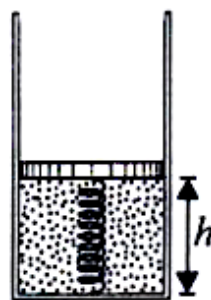
124. На гладком горизонтальном столе лежит доска, на одном из краев которой находится небольшой брусок, а на другом — небольшой блок. К бруску прикреплена невесомая нерастяжимая гладкая нить, перекинутая через блок. Нить на-



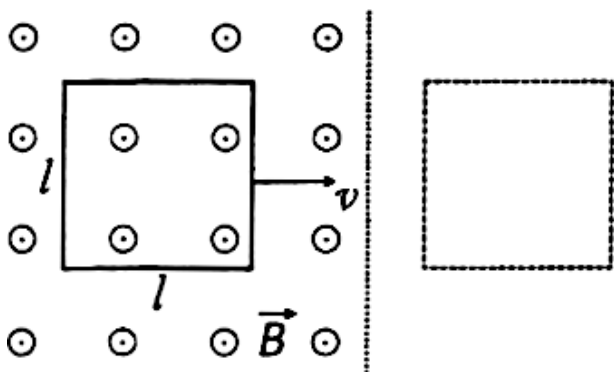
чинают тянуть вертикально вверх с силой  $F = 70$  Н. Чему равна  $L$  длина доски, если брусок доезжает до блока за время  $t = 0,5$  с? Масса доски равна  $M = 10$  кг, бруска

$m = 5$  кг, коэффициент трения между бруском и доской равен  $\mu = 0,6$ . Модуль ускорения свободного падения считайте равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

125. Невесомый поршень соединен с дном сосуда пружиной жесткостью  $k = 100$  Н/м. В сосуде под поршнем находится идеальный одноатомный газ, а над поршнем — вакуум. В начальном состоянии расстояние между поршнем и дном сосуда составляет  $h = 0,2$  м. Найдите количество теплоты  $\Delta Q$ , которое нужно сообщить газу, чтобы расстояние между поршнем и дном сосуда удвоилось. Считайте, что пружина не деформирована при  $h = 0$ .



126. Квадратная проволочная рамка со стороной  $\ell = 30$  см помещена в однородное магнитное поле, линии индукции которого направлены перпендикулярно плоскости рамки. Модуль вектора магнитной индукции равен  $B = 1$  Тл, поле имеет резко очерченную границу, параллельную стороне рамки (см. рисунок). Каково сопротивление рамки  $R$ , если при ее выдвигании с постоянной скоростью  $v = 5$  м/с из области с магнитным полем в ней выделяется количество теплоты, равное  $Q = 90$  мДж?



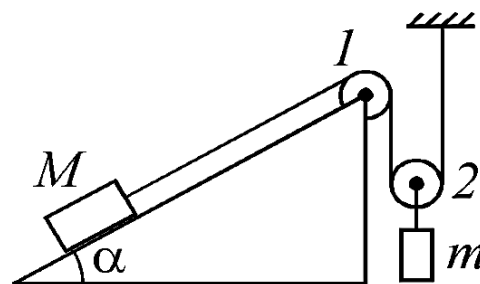
но плоскости рамки. Модуль вектора магнитной индукции равен  $B = 1$  Тл, поле имеет резко очерченную границу, параллельную стороне рамки (см. рисунок). Каково сопротивление рамки  $R$ , если при ее выдвигании с постоянной скоростью  $v = 5$  м/с из области с магнитным полем в ней выделяется количество теплоты, равное  $Q = 90$  мДж?

## Задачи для подготовки

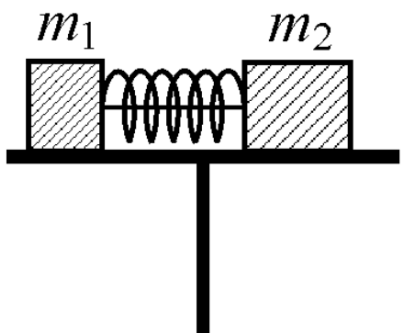
В сборнике заданий для подготовки к экзамену, выложенному на сайте физфака ([lisakov.com/dvi-prep.pdf](http://lisakov.com/dvi-prep.pdf)), помимо прочего встречаются задачи, предлагавшиеся на настоящих вступительных испытаниях. Здесь приведены только отличающиеся задачи.

### Механика

127. Брусок массой  $M = 2$  кг располагается на неподвижной наклонной плоскости, образующей с горизонтом угол  $\alpha = 30^\circ$ . К бруску привязана нить, перекинутая через два легких блока: неподвижный 1 и подвижный 2 (см. рисунок). Отрезки нити, идущие к подвижному блоку 2, вертикальны, а отрезок нити от бруска до неподвижного блока 1 параллелен наклонной плоскости. К оси подвижного блока подвешен груз, масса  $m$  которого неизвестна. Когда систему предоставили самой себе, груз начал двигаться вниз с ускорением  $a = 0,5$  м/с<sup>2</sup>. Какова масса груза  $m$ ? Коэффициент трения между бруском и наклонной плоскостью  $\mu = 0,2$ . Нить считайте невесомой и нерастяжимой, трением в оси блоков пренебрегите. Ускорение свободного падения примите равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

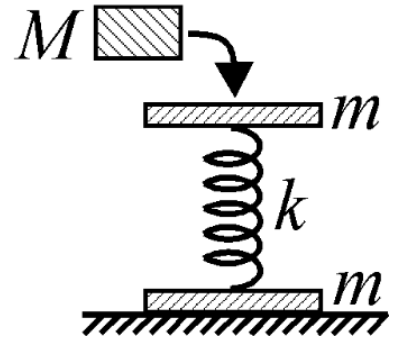


128. На достаточно большой высоте над землей на гладкой горизонтальной подставке покоятся два тела малых размеров с массами  $m_1 = 50$  г и  $m_2 = 100$  г (см. рисунок). Между телами расположена сжатая легкая пружина, связанная нитью. Известно, что энергия упругой деформации пружины равна  $E_{\text{п}} = 67,5$  Дж. После пережигания нити пружина полностью распрямляется, тела разлетаются в разные стороны с горизонтально направленными скоростями и одновременно начинают падать с подставки. Определите, через какое время  $\tau$  после начала падения скорости тел будут перпендикулярными друг другу. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

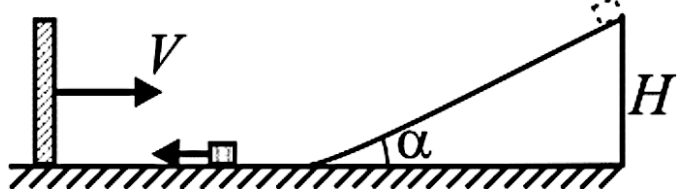


129. Под каким углом  $\alpha$  к горизонту нужно бросить тело, чтобы прямые, проведенные из точки бросания и точки падения в точку максимального подъема тела, составляли между собой прямой угол? Считайте, что точки бросания и падения находятся на одном горизонтальном уровне, а сопротивление воздуха пренебрежимо мало.

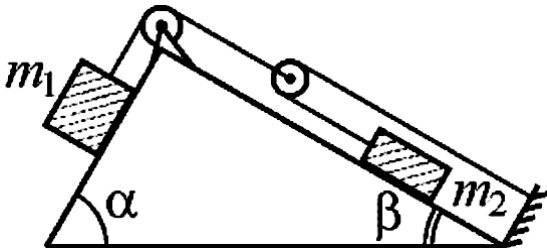
130. На горизонтальную площадку поставили легкую пружину жесткостью  $k = 100 \text{ Н/м}$ , скрепленную с пластинами массами  $m = 200 \text{ г}$  каждая так, как показано на рисунке. Затем на верхнюю пластину положили груз массой  $M$  так, что ось пружины осталась вертикальной. После этого резким ударом в горизонтальном направлении груз сбросили с пластины. Пренебрегая трением груза о пластину, определите массу груза  $M$ , если в тот момент, когда нижняя пластина перестала давить на стол, модуль скорости верхней пластины стал равным  $v = 2 \text{ м/с}$ . Модуль ускорения свободного падения примите равным  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .



131. Шероховатая наклонная плоскость, составляющая с горизонтом угол  $\alpha$ , имеет гладкий плавный переход на гладкую горизонтальную поверхность (см. рисунок). Небольшой брусок, соскользнувший по наклонной плоскости с высоты  $H$ , скользит по горизонтальной поверхности. Навстречу ему движется стальная плита, масса которой намного превышает массу бруска. С какой по модулю скоростью  $V$  должна двигаться плита, чтобы после абсолютно упругого удара о нее брусок поднялся по наклонной плоскости на ту же высоту  $H$ ? Коэффициент трения бруска о наклонную плоскость равен  $\mu$ .

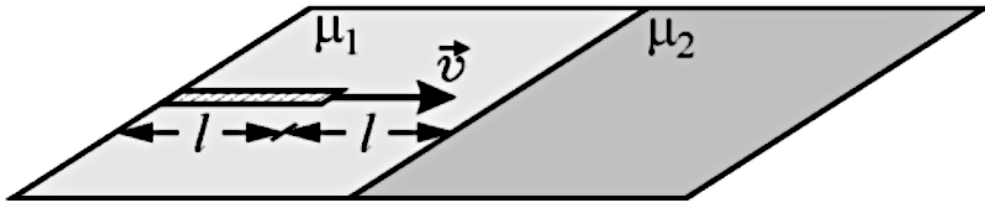


132. На гранях закрепленной призмы находятся два груза массами  $m_1 = 2 \text{ кг}$  и  $m_2 = 1 \text{ кг}$ , соединенные друг с другом и неподвижной опорой невесомыми и нерастяжимыми нитями через систему невесомых блоков (см. рисунок). Правая грань призмы гладкая, левая — шероховатая с коэффициентом трения  $\mu = 0,6$ . Определите модуль ускорения левого груза  $a_1$ . Углы при основании призмы  $\alpha = 60^\circ$ ,  $\beta = 30^\circ$ . Ускорение свободного падения примите равным  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .



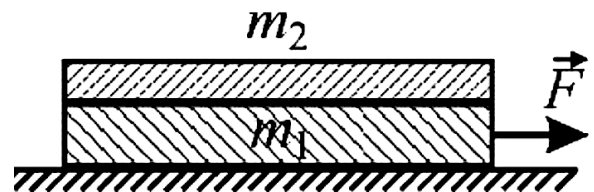
133. В маленьком бассейне с вертикальными стенками плавает игрушечный плот, на котором лежат одинаковые игрушки. На стенке бассейна нанесена шкала для измерения высоты уровня воды. Когда ребенок перенес с пловца на бортик бассейна одну игрушку, высота уровня воды изменилась на  $\Delta h_1 = 6 \text{ см}$ . Он хотел перенести туда же и вторую игрушку, но уронил ее, и игрушка упала на дно. Высота уровня воды после этого изменилась еще на  $\Delta h_2 = 1 \text{ см}$ . Во сколько раз  $n$  плотность материала игрушки больше, чем плотность воды?

134. По горизонтальному столу скользит слева направо тонкая однородная линейка длиной  $\ell = 20$  см. Поверхность стола состоит из двух панелей, обработанных с различным качеством. Коэффициент трения между линейкой и левой панелью равен  $\mu_1$ , а между линейкой и правой панелью —  $\mu_2$  (см. рисунок). В тот момент, когда расстояние от правого конца линейки до линии соприкосновения (стыка) панелей равно  $\ell$ , модуль скорости линейки  $v = 1$  м/с. При каком максимальном значении коэффициента трения  $\mu_2$  линейка может полностью попасть на правую панель, если коэффициент трения  $\mu_1 = 0,05$ , а вектор скорости линейки направлен перпендикулярно стыку панелей? Модуль ускорения свободного падения примите равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.



135. Брусок массой  $M = 100$  г, прикрепленный посредством пружины к неподвижной стенке, совершает гармонические колебания на гладком столе с амплитудой  $A_0 = 5$  см. В момент прохождения бруском положения равновесия на него падает вертикально кусок пластилина массой  $m = 56,25$  г и сразу прилипает к бруску. Определите установившуюся амплитуду  $A_1$  колебаний бруска с прилипшим к нему пластилином.

136. На гладкой горизонтальной поверхности лежит брус массой  $m_1 = 2$  кг и длиной  $\ell = 1$  м (см. рисунок). Сверху на брус положили однородную доску такой же длины, масса которой  $m_2 = 1$  кг. Через время  $t_0 = 1$  с после того, как за привязанную к бусу веревку начали тянуть в горизонтальном направлении с силой  $F = 8$  Н, левый конец доски стал опускаться вниз. Определите коэффициент трения  $\mu$  между доской и брусом. Ускорение свободного падения примите равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.



137. Брус массой  $m_1 = 6$  кг лежит на гладкой горизонтальной поверхности (см. рисунок). Сверху на брус симметрично относительно него положили однородную доску массой  $m_2 = 4$  кг. Через время  $t_0 = 2$  с после того, как за веревку, привязанную к бусу, начали тянуть в горизонтальном направлении с силой  $F = 36$  Н, левый конец доски стал опускаться вниз. Определите

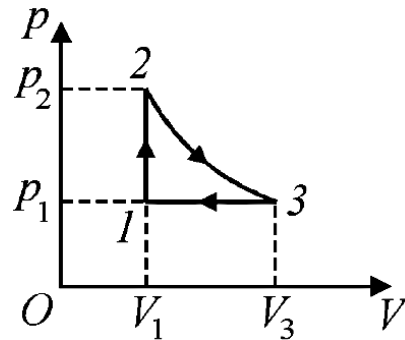


длину бруса  $\ell$ , если коэффициент трения между доской и брусом  $\mu = 0,3$ . Ускорение свободного падения примите равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

138. По гладкому горизонтальному льду замерзшего озера скользит доска массой  $M = 20$  кг со скоростью, модуль которой равен  $v_0 = 2$  м/с. Скорость доски параллельна ее длинной стороне. В некоторый момент времени стоящий на льду человек аккуратно опустил на эту доску брусок массой  $m = 1$  кг так, чтобы его центр масс оказался на прямой, проходящей через центр масс доски параллельно ее длинной стороне. Определите коэффициент трения  $\mu$  бруска о доску, если брусок перестал скользить по доске, переместившись относительно нее на расстояние  $\ell = 95$  см. Считайте, что модуль ускорения свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Ответ округлите до двух знаков после запятой.

## Молекулярная физика и термодинамика

139. Объем сосуда  $V$ , содержащего только насыщенный водяной пар при абсолютной температуре  $T$ , изотермически уменьшили в  $n = 10$  раз. Определите изменение внутренней энергии системы «пар – вода». Удельная теплота парообразования воды равна  $r$ , молярная масса воды равна  $\mu$ , давление насыщенных паров воды при температуре  $T$  равно  $p_n$ , универсальная газовая постоянная равна  $R$ . Считайте, что  $300 \text{ K} \leq T \leq 600 \text{ K}$ .
140. В вертикально расположенном закрытом цилиндрическом сосуде под подвижным поршнем массой  $m = 4$  кг находится один моль идеального одноатомного газа. В пространстве над поршнем создан вакуум. На какую величину  $\Delta h$  передвинется поршень при медленной передаче газу количества теплоты  $Q = 10$  Дж? Ускорение свободного падения примите равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.
141. С одним молем идеального одноатомного газа проводят циклический процесс,  $pV$ -диаграмма которого представлена на рисунке, где  $2 \rightarrow 3$  — изотермическое расширение. Найдите количество теплоты  $Q$ , которое выделяется на тех участках процесса, где газ охлаждается. При расчетах примите  $p_1 = 10^5$  Па,  $p_2 = 2 \cdot 10^5$  Па,  $V_1 = 0,025$  м<sup>3</sup>.



142. С одноатомным идеальным газом проводят процесс, в котором внутренняя энергия газа пропорциональна квадрату объема, который он занимает. Каково изменение  $\Delta U$  внутренней энергии газа в таком процессе, если газу сообщили количество теплоты  $Q = 20$  Дж?
143. В цилиндре под поршнем находился влажный воздух с относительной влажностью  $\varphi = 60\%$ . При изотермическом уменьшении объема воздуха в  $n = 3$  раза сконденсировалось  $m = 5$  г воды. Определите массу пара  $m_0$ , первоначально содержавшегося в цилиндре. Числовой ответ приведите в граммах, округлив до целых.

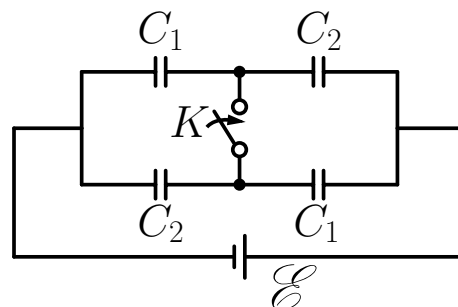


144. В закрытом с обоих торцов цилиндре при температуре  $100^\circ\text{C}$  находятся пары воды и гелий, отделенные друг от друга гладким тяжелым поршнем. Когда ось цилиндра была горизонтальной, объемы пара и гелия были равны друг другу, а давление водяного пара было в  $n = 3$  раза меньше давления насыщенного пара воды при  $100^\circ\text{C}$ . После того, как цилиндр поставили вертикально, через достаточно большой промежуток времени половина пара сконденсировалась. Определите установившееся давление  $p$  гелия в вертикально расположенном цилиндре, если температура в обеих частях цилиндра все время поддерживалась неизменной. Нормальное атмосферное давление  $p_0 = 10^5$  Па.
145. Герметично закрытый сосуд объемом  $V = 2$  л находится при температуре  $t_1 = 36^\circ\text{C}$ . При этом половину сосуда занимает вода, а другую половину — насыщенный водяной пар. На какую величину  $\Delta N$  увеличится число молекул водяного пара в сосуде при его нагревании до температуры  $t_0 = 100^\circ\text{C}$ ? Давление насыщенного водяного пара при температуре  $36^\circ\text{C}$  составляет  $p_{\text{н}} = 5,9$  кПа. Нормальное атмосферное давление  $p_0 = 100$  кПа. Изменением объема воды за счет изменения ее плотности и частичного испарения можно пренебречь. Постоянная Больцмана  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К.
146. U-образную трубку постоянного сечения расположили вертикально, частично заполнили ртутью и отметили уровень ртути на ее стенках. Затем левое колено трубки герметично закрыли, а в открытое правое колено трубки долили некоторое количество ртути, в результате чего поверхность ртути в коленях сместилась от первоначального положения. Определите атмосферное давление  $p_0$ , если отношение смещений уровней ртути в правом и левом коленях от первоначального положения равно  $n = 4$ , а высота воздушного столба в левом колене  $L = 25$  см. Ответ дайте в миллиметрах ртутного столба. Температуру воздуха считайте постоянной.
147. Горизонтально расположенный цилиндр, герметично закрытый с обоих торцов, разделен поршнем на две равные части, длина каждой из которых равна  $\ell = 30$  см. В каждой части цилиндра находится вода и ее пар при температуре  $t = 100^\circ\text{C}$ . При этом масса воды в каждой из частей в 5 раз меньше массы пара. Площадь поперечного сечения поршня равна  $S = 20$  см<sup>2</sup>, а его масса  $M = 200$  г. На какое расстояние  $h$  сместится поршень через достаточно большой промежуток времени, если цилиндр поставить вертикально, а температуру содержимого цилиндра поддерживать постоянной? Трение между поршнем и стенками цилиндра считайте пренебрежимо малым, модуль ускорения свободного падения примите равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>, а нормальное атмосферное давление —  $p_0 = 10^5$  Па. Ответ приведите в миллиметрах, округлив до целых.

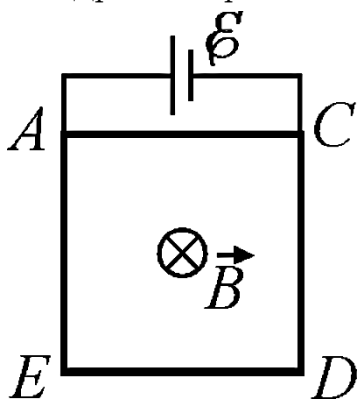
148. Над одноатомным идеальным газом совершают процесс, в котором давление газа линейно уменьшается с ростом его объема. При этом отношение конечного объема газа к начальному  $\frac{V_2}{V_1} = m = 4$ , а отношение конечного давления к начальному  $\frac{p_2}{p_1} = n = \frac{1}{2}$ . Найдите, во сколько раз  $k$  количество теплоты, полученное газом в этом процессе, больше изменения его внутренней энергии.
149. В цилиндре под поршнем при температуре  $20^\circ\text{C}$  находятся воздух, водяные пары и вода. Число молей воздуха равно числу молей пара, а масса воды в три раза больше массы пара. Объем смеси медленно увеличивают при постоянной температуре до тех пор, пока относительная влажность воздуха не уменьшится до 50%. Определите конечное давление влажного воздуха  $p$ , если давление насыщенного пара при  $20^\circ\text{C}$  равно  $p_{\text{н}} = 2,33$  кПа.

## Электродинамика

150. Два шарика массой  $m$  каждый подвешены в одной и той же точке на нитях длиной  $L$ . Шарiki соединены друг с другом нитью длиной  $\ell$  и несут одинаковые электрические заряды. Определите величину заряда  $q$  каждого из шариков, если известно, что в состоянии равновесия силы натяжения всех трех нитей одинаковы. Нити считайте невесомыми и непроводящими. Электрическая постоянная  $\varepsilon_0$ , ускорение свободного падения  $g$ .
151. Схема, изображенная на рисунке, состоит из четырех конденсаторов, источника постоянного напряжения и ключа  $K$ . Найдите отношение  $n$  электростатической энергии, запасенной в конденсаторах после замыкания ключа  $K$ , к энергии, запасенной в конденсаторах до замыкания ключа, если  $C_2 = 2C_1$ .

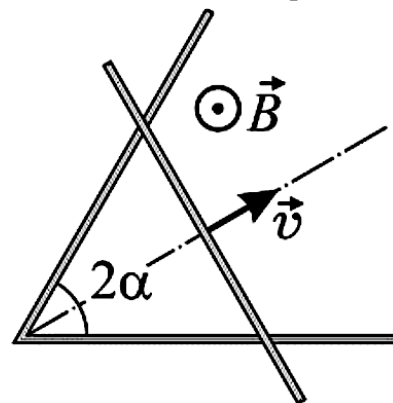


152. Квадратная рамка  $ACDE$  из тонкого медного провода помещена в сильное однородное магнитное поле, индукция которого  $\vec{B}$  перпендикулярна плоскости рамки. В точках  $A$  и  $C$  к рамке подключен источник постоянного тока с ЭДС  $\mathcal{E}$  (см. рисунок). Во сколько раз  $n$  изменится модуль силы Ампера, действующей на рамку, если подключить ее к этому же источнику в точках  $A$  и  $D$ ? Внутренним сопротивлением источника и сопротивлением подводящих проводов можно пренебречь. Силу Ампера, действующую на источник и подводящие провода, не учитывайте.

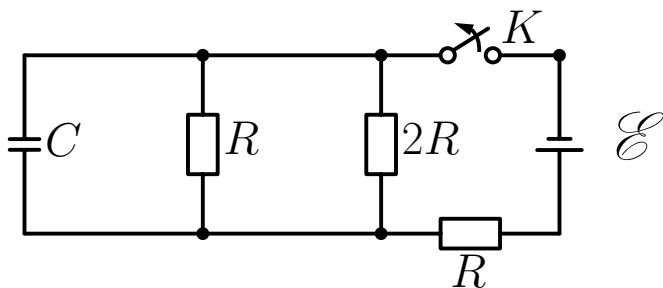


153. Нагревательный элемент, подключенный к аккумулятору с внутренним сопротивлением  $r = 2 \text{ Ом}$ , развивает мощность  $N_1 = 50 \text{ Вт}$ . При подключении нагревательного элемента к двум таким аккумуляторам, соединенным последовательно, выделяемая в нагревателе мощность составила  $N_2 = 72 \text{ Вт}$ . Найдите сопротивление  $R$  нагревателя.

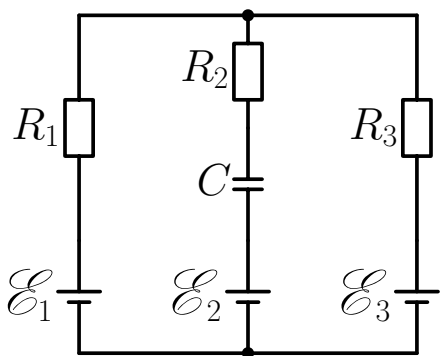
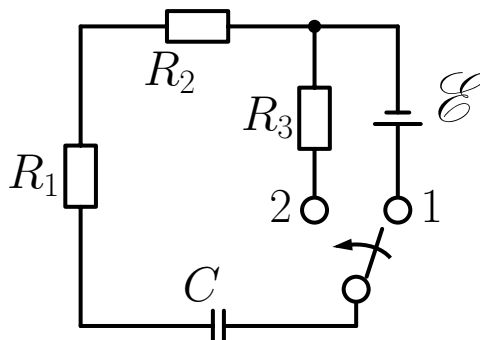
154. Прямолинейный проводник согнут под углом  $2\alpha = 60^\circ$  и помещен в однородное магнитное поле с индукцией  $B = 10^{-2} \text{ Тл}$  направленной перпендикулярно плоскости проводника на нас. Перпендикулярно биссектрисе угла по изогнутому проводнику двигают с постоянной скоростью  $v = 1 \text{ м/с}$  проводящую перемычку (см. рисунок). Каковы величина и направление тока  $I$ , текущего по образовавшемуся контуру, если перемычка начала движение от вершины угла? Сопротивление единицы длины проводника и перемычки  $\rho = 1 \text{ Ом/м}$ .



155. В приведенной на рисунке схеме емкость конденсатора  $C = 6 \text{ мкФ}$ , ЭДС источника  $\mathcal{E} = 5 \text{ В}$ , а ключ  $K$  замкнут. Какое максимальное количество теплоты  $Q$  может выделяться на резисторе  $2R$  после размыкания ключа? Внутреннее сопротивление источника считайте пренебрежимо малым.

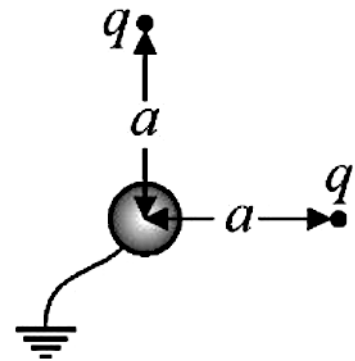


156. В цепи, схема которой изображена на рисунке, ключ  $K$  сначала достаточно долго удерживали в положении 1. Затем ключ перевели в положение 2. Известно, что после этого на сопротивлении  $R_1$  выделилось количество теплоты  $Q_1 = 1 \text{ мДж}$ . Определите ЭДС  $\mathcal{E}$  источника. При расчетах примите  $R_1 = 100 \text{ Ом}$ ;  $R_2 = 200 \text{ Ом}$ ;  $R_3 = 300 \text{ Ом}$ ;  $C = 120 \text{ мкФ}$ .



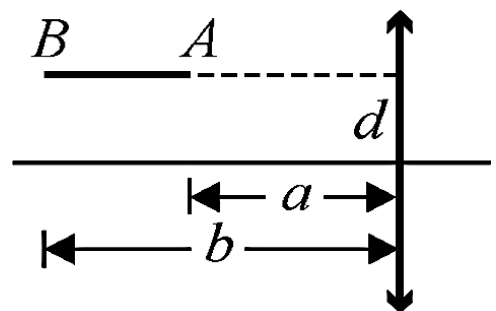
157. В электрической схеме, представленной на рисунке, сопротивления резисторов  $R_1 = R_2 = R_3 = 10 \text{ Ом}$ , емкость конденсатора  $C = 2 \text{ мкФ}$ , ЭДС источников  $\mathcal{E}_1 = 10 \text{ В}$ ,  $\mathcal{E}_2 = 8 \text{ В}$ ,  $\mathcal{E}_3 = 5 \text{ В}$ , их внутренние сопротивления пренебрежимо малы. Найдите заряд  $q$  на пластинах конденсатора.

158. Ученик собрал электрическую цепь, состоящую из источника и подключенного к нему нагрузочного резистора. При этом сопротивление резистора ученик подобрал таким, чтобы в резисторе выделялась максимально возможная мощность. Во сколько раз  $n$  изменится коэффициент полезного действия (КПД) цепи, если к источнику вместо одного подключить два таких резистора, соединенных параллельно?
159. Заряженная частица массой  $m = 1$  мг находится в вакууме в электрическом поле неподвижного равномерно заряженного шара. Частицу удерживают в состоянии покоя на некотором расстоянии от центра шара, действуя на нее силой  $F = 1$  мН. Затем частицу отпускают, и она начинает двигаться. Пройдя от исходного положения расстояние  $s = 1$  м, частица приобретает скорость  $v = 1$  м/с. Каково ускорение  $a$  частицы в этот момент времени? Частица и шар заряжены одноименно.
160. Два одинаковых точечных заряда  $q = 10^{-7}$  Кл находятся на расстояниях  $a = 1$  м от центра заземленной проводящей сферы радиуса  $R = 5$  см (см. рисунок). Отрезки, проведенные из центра сферы к зарядам, взаимно перпендикулярны. Расстояния от зарядов и сферы до окружающих тел достаточно велики. Определите модуль  $F$  силы, с которой заряды действуют на сферу. Электрическая постоянная  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м.



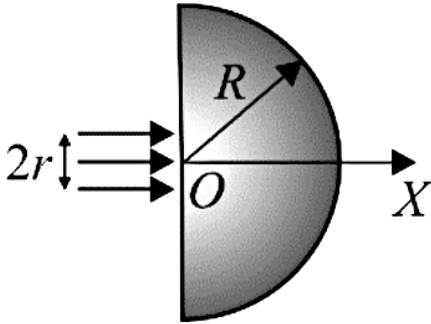
## Оптика

161. Стеклянная тарелка имеет дно сферической формы радиуса  $R = 20$  см. В тарелку налили воду. На поверхность воды по нормали к ней направили луч света так, что точка падения луча оказалась на расстоянии  $a = 5$  мм от центра водной поверхности. Показатель преломления воды  $n = 1,33$ . Под каким углом  $\varphi$  к вертикали выйдет из воды в воздух отраженный от дна тарелки луч света? При расчетах учтите, что для малых значений аргумента  $\alpha$ , заданного в радианной мере, справедливо приближенное равенство  $\arcsin \alpha \approx \alpha$ .
162. Отрезок  $AB$ , параллельный главной оси собирающей тонкой линзы, расположен на расстоянии  $d$  от оси так, что его концы удалены от плоскости линзы на расстояния  $a$  и  $b$  соответственно (см. рисунок). Найдите длину  $\ell$  изображения отрезка, если фокусное расстояние линзы  $F$  и  $b > a > F$ .



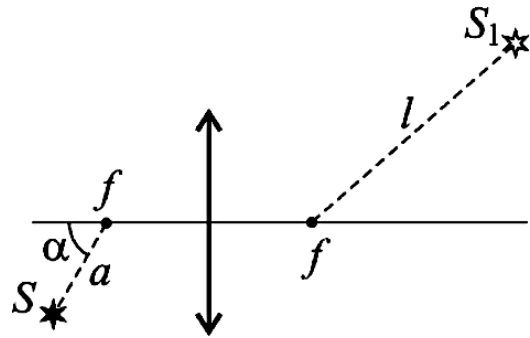
163. На главной оптической оси тонкой собирающей линзы на расстоянии  $d = 20$  см от линзы слева от нее расположен точечный источник света. Справа от линзы помещена посеребренная сфера радиуса  $R = 10$  см. Центр сферы находится на расстоянии  $f = 30$  см от линзы на ее главной оптической оси. Определите фокусное расстояние линзы  $F$ , при котором изображение источника, создаваемое этой оптической системой, будет совпадать с самим источником.

164. На плоскую поверхность находящегося в воздухе прозрачного полушара, радиус которого  $R$ , падает перпендикулярно к ней параллельный пучок света



радиуса  $r \ll R$  (см. рисунок). На расстоянии  $2R$  от плоской поверхности полушара (т.е. при  $x = 2R$ ) радиус светового пучка становится равным  $r/2$ . Определите показатель преломления материала, из которого сделан полушар. При расчетах учтите, что для малых значений аргумента  $\alpha$ , заданного в радианной мере, справедливо приближенное равенство  $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$ .

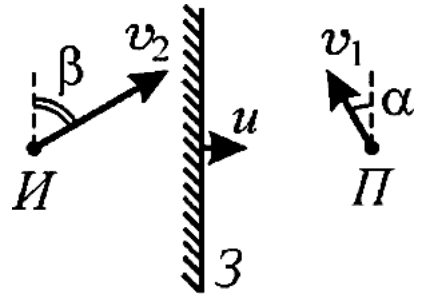
165. Точечный источник света  $S$  расположен на расстоянии  $a = 2$  см от фокуса собирающей линзы на прямой, образующей угол  $\alpha = 60^\circ$  с главной оптической осью. На каком расстоянии  $\ell$  от второго фокуса находится изображение  $S_1$  источника? Фокусное расстояние линзы  $f = 5$  см.



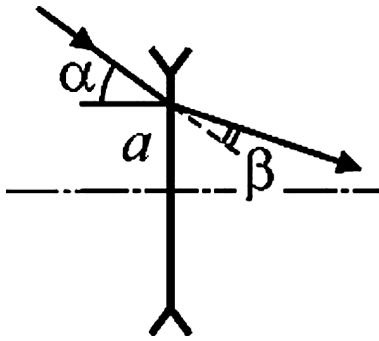
166. Действительное изображение предмета, находящегося на расстоянии  $a = 8$  см от тонкой собирающей линзы, получается с некоторым увеличением. После перемещения линзы вдоль ее главной оптической оси на расстояние  $\ell = 4$  см линза дает мнимое изображение предмета с таким же увеличением. Определите фокусное расстояние линзы  $F$ .

167. Две тонкие линзы с одинаковыми по модулю фокусными расстояниями расположены так, что их главные оптические оси совпадают. Первая линза является рассеивающей, а вторая — собирающей. Расстояние между линзами равно модулю их фокусного расстояния. Предмет расположен перпендикулярно главной оптической оси перед рассеивающей линзой в ее левом фокусе. Определите увеличение  $\Gamma$ , даваемое этой системой линз.

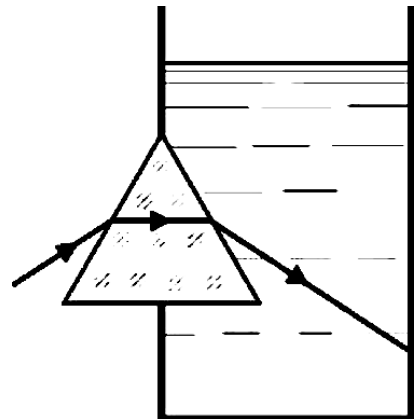
168. Плоское зеркало  $З$  движется поступательно с некоторой постоянной скоростью, вектор которой направлен перпендикулярно плоскости зеркала. Предмет  $П$  движется со скоростью  $v_1 = 1$  см/с под углом  $\alpha = 30^\circ$  к плоскости зеркала, а его изображение  $И$  движется под углом  $\beta = 60^\circ$  к плоскости зеркала (см. рисунок). Найдите модуль  $u$  скорости зеркала.



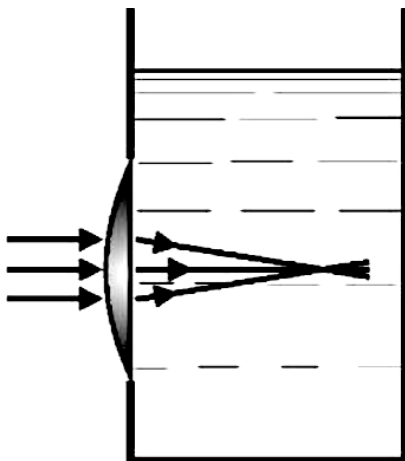
169. На поверхность тонкой рассеивающей линзы падает луч света на расстоянии  $a = 1$  см от центра линзы под углом  $\alpha = 0,1$  рад к ее главной оптической оси. Найдите модуль фокусного расстояния линзы  $f$ , если вышедший из линзы луч отклоняется от первоначального направления на угол  $\beta = 0,05$  рад. Учтите, что для малых значений аргумента  $x$ , заданного в радианной мере, справедлива приближенная формула  $\text{tg } x \approx x$ .



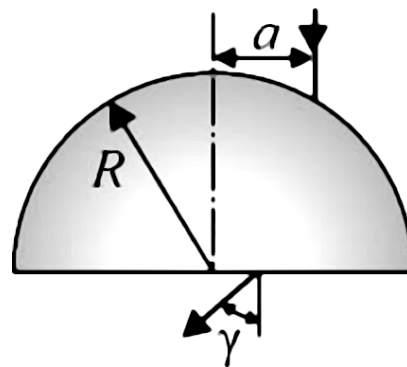
170. Стеклопная призма, поперечное сечение которой представляет собой равнобедренный треугольник, плотно заделана в отверстие в вертикальной стенке аквариума (см. рисунок). На боковую грань призмы пускают световой луч так, что внутри призмы он распространяется параллельно ее основанию. Первоначально пустой аквариум заполняют водой. На какой угол  $\theta$  повернется при этом луч, идущий в аквариуме? Показатель преломления призмы  $n_{\text{пр}} = 1,41$ , показатель преломления воды  $n_{\text{в}} = 1,33$ . Ответ приведите в градусах, округлив до целых.



171. В отверстие в вертикальной стенке аквариума плотно заделана тонкая плоско-выпуклая линза с фокусным расстоянием  $F = 20$  см (см. рисунок). На выпуклую поверхность линзы падает параллельно ее главной оптической оси узкий пучок света, который фокусируется внутри первоначально пустого аквариума. Если аквариум заполнить некоторой жидкостью, то точка, в которой фокусируются лучи, сместится на расстояние  $\Delta \ell = 4$  см. Определите показатель преломления жидкости  $n$ . Углы падения и преломления лучей считайте малыми. Учтите, что для малых значений аргумента  $x$ , заданного в радианах, справедливы приближенные формулы  $\sin x \approx \text{tg } x \approx x$ .



- 172.** На сферическую поверхность прозрачного полушара радиуса  $R = 10$  см с показателем преломления  $n = 1,5$  падает луч света, параллельный оси, перпендикулярной основанию полушара и проходящей через его центр (см. рисунок). Точка падения луча находится на расстоянии  $a = 1$  см от этой оси. Какой угол  $\gamma$  образует луч, вышедший из полушара, с нормалью к его основанию? При расчетах учтите, что  $a \ll R$ , а для малых значений аргумента  $x$ , заданного в радианах, справедливо приближенное равенство  $\sin x \approx x$ .



# Теория

## Механика

173. Сформулируйте закон Архимеда. Укажите условия плавания тел.
174. Дайте определения скорости и ускорения материальной точки.
175. Дайте определение скорости материальной точки. Сформулируйте закон сложения скоростей.
176. Приведите формулы для зависимости от времени координаты и скорости материальной точки, совершающей прямолинейное равнопеременное движение.
177. Какие системы отсчета называются инерциальными? Сформулируйте первый закон Ньютона.
178. Что такое сила? Как найти сумму сил, действующих на материальную точку?
179. Сформулируйте второй и третий законы Ньютона.
180. Чему равны силы трения покоя и скольжения? Дайте определение коэффициента трения.
181. Сформулируйте законы сухого трения. Дайте определение коэффициента трения.
182. Дайте определение силы тяжести. Как сила тяжести зависит от высоты над поверхностью Земли?
183. Запишите связь между приращением импульса материальной точки и импульсом силы. Сформулируйте закон сохранения импульса.
184. Как определяется импульс системы материальных точек? Сформулируйте закон сохранения импульса.
185. Запишите выражения для потенциальной энергии тела вблизи поверхности Земли и потенциальной энергии упруго деформируемой пружины.
186. Дайте определение кинетической энергии материальной точки и системы материальных точек. Запишите формулу, связывающую изменение кинетической энергии тела и работу приложенных к телу сил.



187. Дайте определение механической работы. Как связано приращение кинетической энергии тела с работой приложенных к телу сил?
188. Дайте определение момента силы относительно оси вращения. Сформулируйте правило моментов.

## Молекулярная физика и термодинамика

189. Что такое внутренняя энергия термодинамической системы? Какими способами можно изменить внутреннюю энергию?
190. Дайте определение идеального газа. Запишите уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева–Клапейрона).
191. Какой газ называется идеальным? Запишите основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа и объясните смысл входящих в это уравнение величин.
192. Как связаны средняя кинетическая энергия молекул и температура газа?
193. Какие виды парообразования вы знаете? Дайте определение удельной теплоты парообразования.
194. Сформулируйте основные положения молекулярно-кинетической теории. Каковы по порядку величины масса и размеры молекул?
195. Какой пар называют насыщенным? Дайте определение относительной влажности воздуха.
196. Как зависят давление и плотность насыщенного пара от температуры? При каких условиях происходит кипение жидкости?
197. Сформулируйте первый закон термодинамики. Запишите формулы для теплоемкости идеального одноатомного газа в изохорном и изобарном процессах.
198. Дайте определение коэффициента полезного действия (КПД) теплового двигателя. Чему равно максимально возможное значение КПД теплового двигателя?

## Электродинамика

199. Дайте определение магнитного потока. Сформулируйте закон электромагнитной индукции.
200. Дайте определение напряженности электрического поля. Что такое линии напряженности электрического поля (силовые линии)?
201. Что такое электродвижущая сила (ЭДС) источника? Сформулируйте условия существования постоянного тока в цепи.
202. В чем состоит явление самоиндукции? Чему равна ЭДС самоиндукции?
203. Дайте определение потенциала электростатического поля. Запишите связь между разностью потенциалов и напряженностью электростатического поля.
204. Что такое элементарный электрический заряд? Сформулируйте закон сохранения электрического заряда.
205. Сформулируйте закон Кулона. Что такое элементарный заряд?
206. Дайте определение электрического сопротивления проводника. Чему равно сопротивление последовательно и параллельно соединенных проводников?
207. Что такое омическое сопротивление проводника? Запишите формулу для расчета сопротивления однородной проволоки и укажите смысл входящих в эту формулу величин.
208. Запишите закон Ома для полной цепи. Какие соединения источников вы знаете?
209. Сформулируйте закон Ома для участка цепи. Чему равны сопротивления последовательно и параллельно соединенных проводников?
210. Сформулируйте закон Ома для участка цепи. Дайте определение омического сопротивления проводника.
211. Дайте определение емкости. Запишите формулу для емкости плоского конденсатора.
212. Запишите формулы для вычисления емкости последовательно и параллельно соединенных конденсаторов.

- 213.** Как определяется работа и мощность электрического тока? Сформулируйте закон Джоуля–Ленца.

## Оптика

- 214.** Какие линзы называются тонкими? Дайте определения фокусного расстояния и оптической силы тонкой линзы.
- 215.** Дайте определение светового луча. Сформулируйте законы преломления света.
- 216.** Сформулируйте закон прямолинейного распространения света. Дайте определение светового луча.
- 217.** Запишите формулу тонкой линзы. Чему равно увеличение, даваемое линзой?
- 218.** Сформулируйте законы отражения света. Приведите пример построения изображения предмета в плоском зеркале.
- 219.** Сформулируйте законы преломления света. Дайте определения абсолютного и относительного показателя преломления.
- 220.** Какие линзы называются тонкими? Приведите примеры построения изображения предмета в собирающей и рассеивающей линзах.
- 221.** Изобразите ход лучей в призме. В чем состоит явление полного внутреннего отражения?

## ОТВЕТЫ

1.  $A = -\frac{4}{3}\pi r^3(\rho - \rho_0)gS \approx -1,6 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$
2.  $U = 6p_0V_0 = 30 \text{ кДж}$
3.  $v = \frac{mgR}{k^2b^4}$
4.  $d_2 = d_1 \left(1 - \frac{L}{F_1}\right) \cdot \left(1 - \frac{\ell(|F_2| + L - F_1)}{|F_2|(F_1 - L)}\right) = d_1 \frac{|F_2|}{F_1} = 5 \text{ мм}$
5.  $\alpha = \frac{(v_0^2 + 2gh)(1 - \eta/100\%)}{gs^2} \approx 0,1 \text{ м}^{-1}$
- 6.
- 7.
8.  $f = \frac{kL}{n+1} \approx 16,7 \text{ см}$
9. 
$$\mu = \frac{mV \cos \alpha \cdot \frac{n-1}{n}}{mV \sin \alpha \cdot \frac{n+1}{n} + (m+M)g\tau}$$
проверить!
10.  $T_2 = T_1 \cdot \frac{h + \Delta h}{h} + \frac{k\Delta h(h + \Delta h)}{\nu R}$ проверить!
11.  $r = \frac{R}{16} \cdot \frac{(4-3m)}{m-1} = 0,5 \text{ Ом}$
12.  $d = f \cdot \frac{n \sin 2\alpha}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2 2\alpha}} \approx \frac{2fn\alpha}{\sqrt{1 - 4n^2\alpha^2}}$ проверить!
13.  $T(\varphi) = mg(3 \cos \varphi - 2 \cos \varphi_0)$
14.  $V_3 = \frac{2V_2^2}{V_1} = 3,92 \text{ л}$

$$15. \quad q(t) = -\frac{\mathcal{E}\sqrt{LC}}{r} \cdot \sin\left(\frac{t}{\sqrt{LC}}\right)$$

$$16. \quad n = 5$$

$$17.$$

$$18. \quad p_3 = \frac{p_2^4}{3p_1^3}$$

проверить!

$$19.$$

$$20. \quad F_2 = \frac{F^2}{a - F} = \frac{2F}{3} = 10 \text{ см}$$

$$21.$$

$$22.$$

$$23.$$

$$24.$$

$$25. \quad a = g\left(\sin \alpha - \frac{\mu_1 M + \mu_2 m}{M + m} \cdot \cos \alpha\right) \approx 2,4 \text{ м/с}^2$$

$$26. \quad k = (2n - 1)^2 = 9$$

$$27. \quad Q = -\left(\frac{1}{\sqrt{3}} + \frac{5}{4}\right) q \approx -1,8q$$

$$28. \quad D = \frac{r_2 - r_1}{bR} = -10 \text{ дптр}$$

$$29.$$

$$30.$$

$$31. \quad \Delta W = \frac{4kq^2}{\ell}$$

$$32.$$

$$33. \quad a = g\left(\sin \alpha - \frac{\mu_1 M + \mu_2 m}{M + m} \cdot \cos \alpha\right) \approx 2,4 \text{ м/с}^2$$

34.

35.

36.

37.  $x = \ell\sqrt{3} \approx 6,9 \text{ м}$

38. 
$$V = \frac{mR}{\mu \left( \frac{\varphi_1 p_{\text{H1}}}{t_1 + 273} - \frac{p_{\text{H2}}}{t_2 + 273} \right)}$$

39. 
$$n = \frac{U^2 + 2N_1 r}{U^2 + (N_1 + N_2)r} = 0,75$$

40.  $\Gamma = \sqrt{k} = 2$

41.

42.

43.

44.

45.

46.

47.

48.

49. 
$$\mu \geq \frac{mv \cos \alpha}{mv \sin \alpha + (M + m)g\tau}$$

50. 
$$A = U_1 \cdot \frac{k^2 - 1}{3k^2} = 40 \text{ кДж}$$

51. 
$$\mathcal{E} = \frac{\sqrt{2Q(C_1 + C_2)}}{C_1} \approx 424 \text{ В}$$

52.  $x \approx (n - 1)\alpha F = 5 \text{ см}$

53.

54.

55.

56.

57.

58.

59.

60.

61.  $W_0 = \frac{3}{8} \frac{mgS}{\sin 2\alpha} \approx 0,55 \text{ МДж}$

62.  $\eta = \frac{\alpha}{\alpha + 1} = 0,6$

63.

64.  $v_2 = v_1 \cdot \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{\sin \alpha} \approx 1,2 \text{ м/с}$

65.

66.  $\eta = 1 - \frac{T_3 - T_4}{T_2 - T_1} = 0,5$

67.

68.

69.

70.  $\eta = 1 - \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} = \frac{1}{4}$

71.

72.

73.  $\frac{P}{2}(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \leq Q \leq \frac{P}{2}(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$

74.  $\eta = \frac{2}{19} \cdot 100\% \approx 10,5\%$

$$75. \quad R_x = \frac{Rr^2}{R^2 - r^2} \approx 2,7 \text{ Ом}$$

$$76. \quad D = \frac{1}{f}(\Gamma - \Gamma_0), \text{ где } \Gamma = \frac{2000}{24} \approx 83; \Gamma_0 = \Gamma/\sqrt{2} \approx 59$$

77.

$$78. \quad \eta = \frac{2}{21}$$

проверить!

$$79. \quad \mathcal{E} = \sqrt{N} (\sqrt{R_1} + \sqrt{R_2}) = 10 \text{ В}$$

80.

81.

82.

83.

84.

$$85. \quad F_2 = F_1 \cdot \frac{1 + \mu \operatorname{tg} \alpha}{1 - \mu \operatorname{tg} \alpha} \approx 1,42 \text{ Н}$$

$$86. \quad \varphi = \frac{\mu_2(p_0\mu_1 - \rho RT)}{(\mu_1 - \mu_2)\rho_0 RT} \cdot 100\% \approx 84\%$$

$$87. \quad A_{\text{мех}} = \frac{CU^2}{2} \cdot \left( \frac{n-1}{n} \right) = 0,6 \text{ МДж}$$

$$88. \quad \Delta t = \frac{\Delta x}{2v \sin \alpha} \approx 3,5 \text{ с}$$

89.

$$90. \quad \rho_2 = \left( \frac{p_0}{RT_0} - \frac{\rho}{M_1} \right) \cdot \frac{M_1 M_2}{M_1 - M_2} \approx 24,0 \text{ г/м}^3$$

$$91. \quad \frac{A_{\text{мех}}}{A_{\text{ист}}} = -\frac{1}{2}$$

проверить!

92.



93.

94.

95.

96.

97.  $\tau = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{H(M+2m)}{mg}} = 2,25 \text{ c}$

98.  $T = T_0 \frac{h + \Delta h}{p_0 h} \left( 2\rho g \Delta h + \frac{p_0 h}{h - \Delta h} \right) \approx 373 \text{ K}$

99.  $v_3 = \frac{q}{\sqrt{6\pi m \varepsilon_0 \ell}} \approx 3,5 \text{ см/с}$

100.  $H = \frac{Fh}{2a - F} \approx 13 \text{ мм}$

101.

102.

103.

104.

105.

106.

107.

108.

109.  $h = \frac{MR}{m + M} = 0,16 \text{ м}$

110.  $m = \frac{p_0 \mu V}{RT} \left( \frac{\varphi}{100\%} - \frac{1}{2} \right) \approx 1,7 \text{ г}$

111.  $Q_L = \frac{\rho \ell}{RS + \rho \ell} \cdot \frac{C \mathcal{E}^2}{2} \approx 4,55 \text{ мкДж}$

$$112. \quad x_{\max} = \frac{(m + m_1)g \sin \alpha}{k} = 1 \text{ см}$$

$$113. \quad Q = \frac{5}{2}mgh_0 = 25 \text{ Дж}$$

$$114. \quad Q = \frac{a^3 B^2 v}{R} = 1 \text{ мДж}$$

$$115.$$

$$116.$$

$$117.$$

$$118.$$

$$119.$$

$$120.$$

$$121. \quad h = \frac{MV^2}{2mg} \left( \frac{M}{m} - 1 \right) = 4,5 \text{ м}$$

$$122. \quad \Delta\rho = \frac{\rho_0 a \mu \ell}{RT} \approx 0,16 \text{ г/м}^3$$

$$123. \quad T = 2\pi r \cdot \sqrt{\frac{m}{-2E}} \approx 4,7 \cdot 10^{-16} \text{ с}$$

$$124. \quad L = \left( \frac{F - \mu mg}{m} - \frac{\mu mg - F}{M} \right) \cdot \frac{t^2}{2} = 1,5 \text{ м}$$

$$125. \quad \Delta Q = 6kh^2 = 24 \text{ Дж}$$

$$126. \quad R = \frac{B^2 v \ell^3}{Q} = 1,5 \text{ Ом}$$

$$127. \quad m = \frac{2Mg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) + 4Ma}{g - a} \approx 3,26 \text{ кг}$$

$$128. \quad \tau = \frac{1}{g} \sqrt{\frac{2E_{\pi}}{m_1 + m_2}} = 3 \text{ с}$$

$$129. \quad \alpha = \operatorname{arctg} 2 \approx 63^\circ$$

130.  $M = \sqrt{4m^2 + \frac{mv^2k}{g^2}} \approx 0,98 \text{ кг}$
131.  $V = \frac{1}{2} \left( \sqrt{2gH(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha)} - \sqrt{2gH(1 - \mu \operatorname{ctg} \alpha)} \right)$
132.  $a_1 = \frac{m_1 \sin \alpha - 2m_2 \sin \beta - \mu m_1 \cos \alpha}{m_1 + 4m_2} \cdot g \approx 0,22 \text{ м/с}^2$
133.  $n = \frac{1}{1 - \Delta h_2 / \Delta h_1} = 1,2$
134.  $\mu_2 = \frac{v^2}{gl} - 3\mu_1 = 0,35$
135.  $A_1 = A_0 \sqrt{\frac{M}{m + M}} = 3 \text{ см}$
136.  $\mu = \frac{F - (m_1 \ell / t_0^2)}{(m_1 + m_2)g} = 0,2$
137.  $\ell = (F - (m_1 + m_2)\mu g) \cdot \frac{t_0^2}{m_1} = 4 \text{ м}$
138.  $\mu = \frac{Mv_0^2}{2g\ell(m + M)} \approx 0,2$
139.  $\Delta U = p_{\text{H}} V \left(1 - \frac{1}{n}\right) \left(1 - \frac{\mu r}{RT}\right)$
140.  $\Delta h = \frac{2Q}{5mg} = 0,1 \text{ м}$
141.  $Q = \frac{5}{2} V_1 (p_2 - p_1) = 6,25 \text{ кДж}$
142.  $\Delta U = \frac{3}{4} Q = 15 \text{ Дж}$
143.  $m_0 = \frac{n\varphi m}{n\varphi - 1} \approx 11 \text{ г}$
144.  $p = \frac{2p_0}{4n - 1} = \frac{2}{11} p_0 \approx 18,2 \text{ кПа}$

$$145. \quad \Delta N = \frac{p_0 V}{2k(t_0 + 273)} \left( 1 - \frac{p_{\text{H}}}{p_0} \cdot \frac{t_0 + 273}{t_1 + 273} \right) \approx 1,8 \cdot 10^{22}$$

$$146. \quad p_0 = \rho g L(n - 1) = 750 \text{ мм рт. ст.}$$

$$147. \quad h = \ell \cdot \frac{p_0 S/5 + Mg}{p_0 S - Mg} \approx 6,4 \text{ см}$$

$$148. \quad k = \frac{4mn - 4 + m - n}{3(mn - 1)} = \frac{5}{2}$$

$$149. \quad p = \frac{5}{8} p_{\text{H}} \approx 1,46 \text{ кПа}$$

$$150. \quad q = 2\ell \sqrt{\pi \varepsilon_0 m g \frac{2L + 1}{\sqrt{4L^2 - \ell^2}}}$$

$$151. \quad n = \frac{9}{8}$$

$$152. \quad n = \frac{3\sqrt{2}}{4} \approx 1,06$$

$$153. \quad R = 2r \cdot \frac{\sqrt{N_2/N_1} - 1}{2 - \sqrt{N_2/N_1}} = 1 \text{ Ом}$$

$$154. \quad I = \frac{Bv \sin \alpha}{(1 + \sin \alpha)\rho} \approx 3,3 \text{ мА, по часовой}$$

$$155. \quad Q = \frac{2C\mathcal{E}^2}{75} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Дж} = 4 \text{ мкДж}$$

$$156. \quad \mathcal{E} = \sqrt{\frac{2Q_1}{C} \cdot \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1}} = 10 \text{ В}$$

$$157. \quad q = C \cdot \left( \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_3}{R_1 + R_3} \cdot R_1 - \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 \right) = 10^{-6} \text{ Кл}$$

$$158. \quad n = 2/3$$

$$159. \quad a = \frac{mv^4}{4Fs^2} = 0,25 \text{ м/с}^2$$

$$160. \quad F = \frac{q^2 R \sqrt{2}}{2\pi\epsilon_0 a^3} \approx 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ H}$$

$$161. \quad \varphi = \arcsin \left[ n \cdot \sin \left( 2 \arcsin \frac{a}{R} \right) \right] \approx 2n \frac{a}{R} = 0,067 \text{ рад} \approx 3,8^\circ$$

$$162. \quad \ell = F \sqrt{F^2 + d^2} \left( \frac{1}{a - F} - \frac{1}{b - F} \right)$$

$$163. \quad F_1 = \frac{d(f - R)}{d + f - R} = 10 \text{ см}; \quad F_2 = \frac{df}{d + f} = 12 \text{ см}$$

$$164. \quad n = 1,5$$

$$165. \quad \ell = \frac{f}{a \cos \alpha} \sqrt{f^2 + a^2 \sin^2 \alpha} = 10\sqrt{7} \text{ см} \approx 24,6 \text{ см}$$

$$166. \quad F = a - \ell/2 = 6 \text{ см}$$

$$167. \quad \Gamma = 1$$

$$168. \quad u = \frac{v_1(\cos \alpha \operatorname{tg} \beta - \sin \alpha)}{2} = 0,5 \text{ см/с}$$

$$169. \quad f = \frac{a}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg}(\alpha - \beta)} \approx \frac{\alpha}{\beta} = 20 \text{ см}$$

$$170. \quad \theta = \arcsin \frac{n_{\text{нп}}}{2} - \arcsin \frac{n_{\text{нп}}}{2n_{\text{б}}} \approx 13^\circ$$

$$171. \quad n = \ell + \frac{\Delta \ell}{F} = 1,2$$

$$172. \quad \gamma \approx \frac{a}{R}(n - 1) = 0,05 \text{ рад}$$