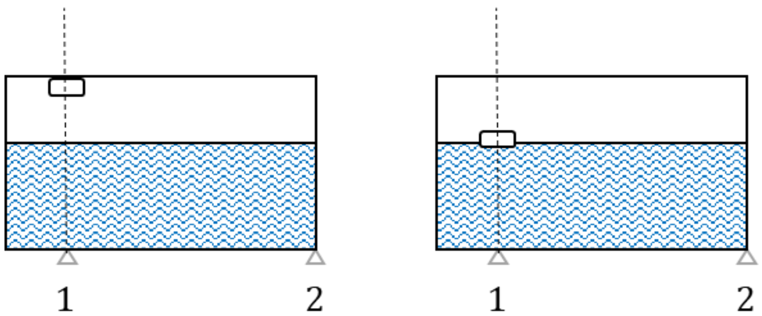
ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ФИЗИКА. 2024–2025 УЧ. Г.
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 9 КЛАСС

ОТВЕТЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

Максимальный балл за работу – 40.

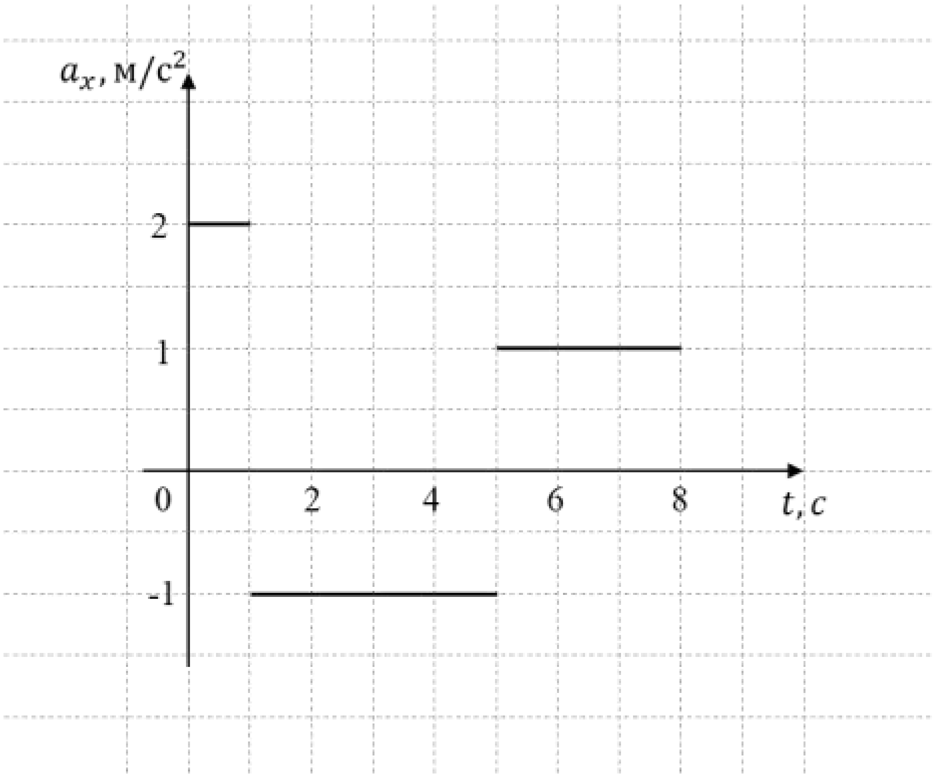
Тестовые задания

1. Сосуд с водой стоит на двух несимметрично расположенных опорах. К крышке сосуда над первой опорой приклеен груз (см. рис), плотность которого меньше плотности воды. Груз отрывается от крышки и в дальнейшем плавает над первой опорой. Выберите верные утверждения об изменениях сил реакции опор, действующих на сосуд.



1) Сила реакции первой опоры увеличивается, сила реакции второй опоры уменьшается.
2) Сила реакции первой опоры уменьшается, сила реакции второй опоры увеличивается.
3) Сила реакции первой опоры увеличивается, сила реакции второй опоры остаётся неизменной.
4) Сила реакции первой опоры уменьшается, сила реакции второй опоры остаётся неизменной.
5) Силы реакции опор остаются неизменными.

2. Тело начинает двигаться вдоль оси x с нулевой начальной скоростью. График зависимости проекции ускорения тела a_x от времени t приведён на рисунке ниже. Укажите момент времени, когда тело находилось на максимальном расстоянии от точки старта.



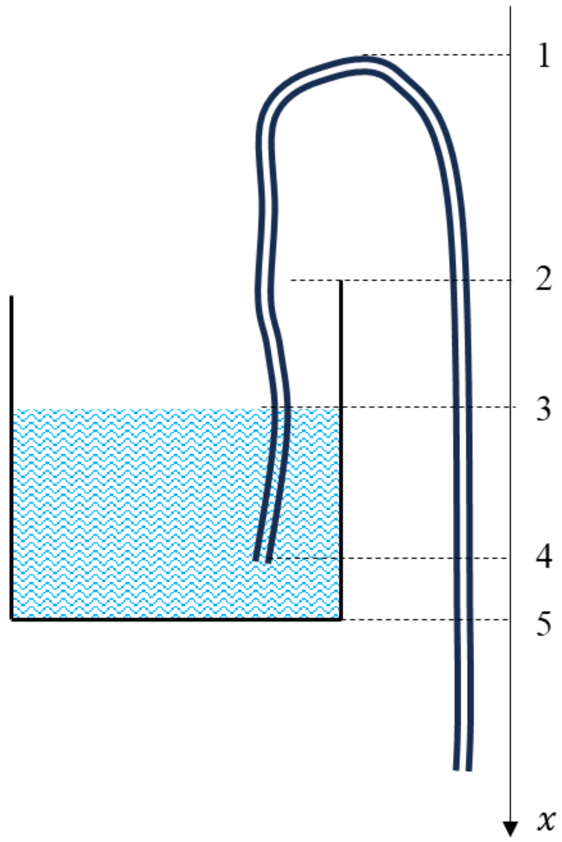
1) 1 с
2) 3 с
3) 5 с
4) 7 с
5) 8 с

3. В две одинаковые стеклянные банки налито по 2 литра горячей воды в каждую. Вода в банках имеет одинаковую температуру. В первую банку помещают нагреватель мощностью 200 Вт, а во вторую – мощностью 400 Вт. Нагреватели включают одновременно. Через одну минуту после включения нагревателей температура воды в первой банке возрастает на 1 °С. На сколько градусов Цельсия за это время нагревается вода во второй банке? Теплоёмкость банки существенно меньше* теплоёмкости налитой в неё воды. Плотность воды 1 кг/л. Удельная теплоёмкость воды 4200 Дж/(кг·°С).

1) 1 °С
2) 2 °С
3) 4,2 °С
4) 2,4 °С
5) 1,4 °С

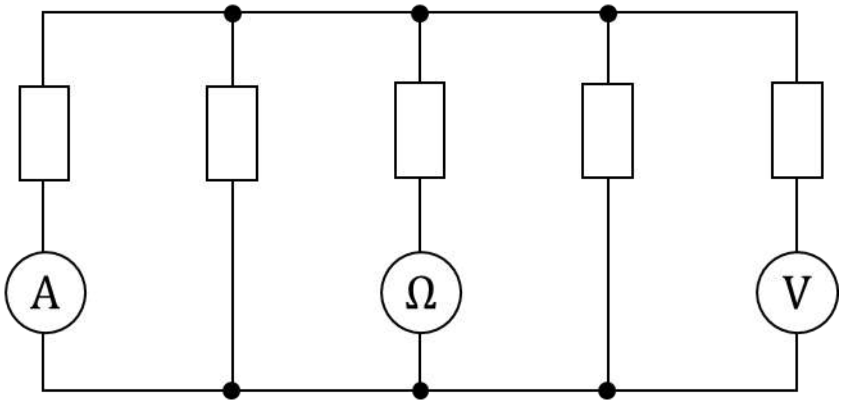
**Примечание: в условии задачи была допущена описка. Поэтому ответ №2 также принимается как верный.*

4. В открытый широкий сосуд с водой поместили один конец тонкой гибкой трубки. Второй конец трубки перекинули через стенку сосуда. Ко второму концу трубки подсоединили шприц и с помощью него затянули воду в трубку до некоторого уровня. После этого шприц отсоединили. Ниже какого уровня достаточно затянуть воду в правую часть трубки, чтобы после отсоединения шприца вода в дальнейшем выливалась из бака по трубке? Считайте, что столб воды в трубке всегда непрерывен (воздух не пробулькивает).



1) 1
2) 2
3) 3
4) 4
5) 5

5. В электрической цепи, собранной из пяти одинаковых резисторов и идеальных измерительных приборов, показания амперметра составляют **1** мА, показания вольтметра **1** В. Определите показания омметра.



1) 0
2) 0,25 кОм
3) 0,2 кОм
4) 1 кОм
5) 1,33 кОм

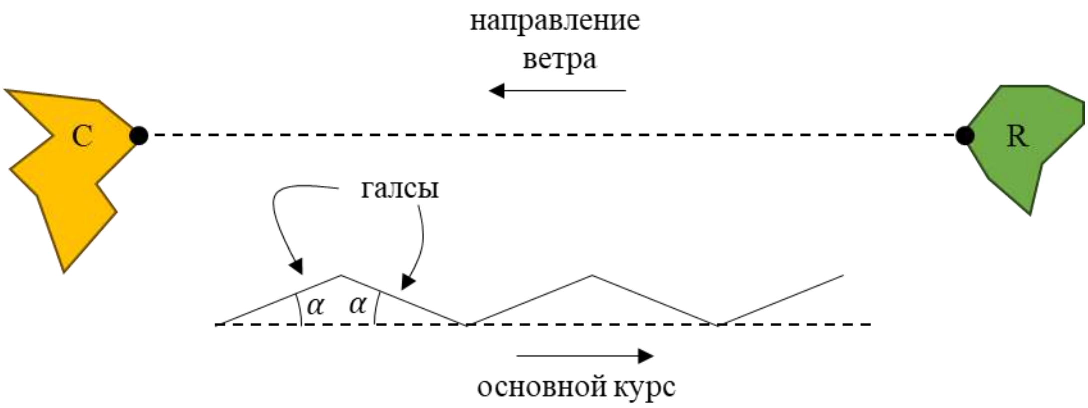
Ответы:

№ задания	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Ответ	2	2	4	3	5
Балл	**2 балла**	**2 балла**	**2 балла**	**2 балла**	**2 балла**

Задания с кратким ответом

Задачи 6-8

Яхте необходимо перейти из порта острова Кастеллоризо в порт острова Родос при встречном ветре. Для перемещения при встречном ветре под парусами яхте необходимо идти галсами, то есть двигаться не по прямой траектории, а ломаной линией, состоящей из отрезков, повёрнутых к основному курсу под некоторым углом α. В задаче считайте, что длина галсов намного меньше расстояния между островами.



Капитан знает, что если угол отклонения от основного курса составляет $\alpha_1 = 30°$, то яхта набирает скорость $v_1 = 4$ узла (вариант 1). Если же выбрать угол отклонения $\alpha_2 = 45°$, то яхта будет двигаться со скоростью $v_2 =$ 5,5 узлов (вариант 2).

6. Какой из вариантов движения необходимо выбрать, чтобы затратить на путешествие меньшее время? ***(1 балл)***

- вариант 1
- вариант 2

7. За какое время яхта доберётся до Родоса, если капитан выберет верный вариант движения? Расстояние между островами равно $s = 126$ км. 1 узел равен одной морской миле в час, а одна морская миля равна 1852 м. Дайте ответ в часах с округлением до десятых долей. ***(1 балл)***

8. Какой путь пройдёт яхта за время путешествия? Дайте ответ в км с округлением до целого числа. ***(1 балл)***

Решение:

6. Для выбора варианта движения необходимо сравнить проекции скорости движения на направление основного курса: $v_1 \cos\alpha_1 \vee v_2 \cos\alpha_2$. Поскольку $4\frac{\sqrt{3}}{2} < 5{,}5\frac{\sqrt{2}}{2}$, при втором варианте движения яхта затратит на путешествие меньшее время.

7. Для нахождения времени движения необходимо разделить расстояние между островами на выбранную проекцию скорости:

$$t = \frac{s}{v_2 \cos \alpha_2} = \frac{126}{1{,}852 \cdot 5{,}5 \cdot \cos 45^\circ} \approx 17{,}5 \text{ ч.}$$

8. Для расчёта длины траектории движения необходимо время движения умножить на величину скорости яхты:

$$l = v_2 t = \frac{s}{\cos \alpha_2} \approx 178 \text{ км.}$$

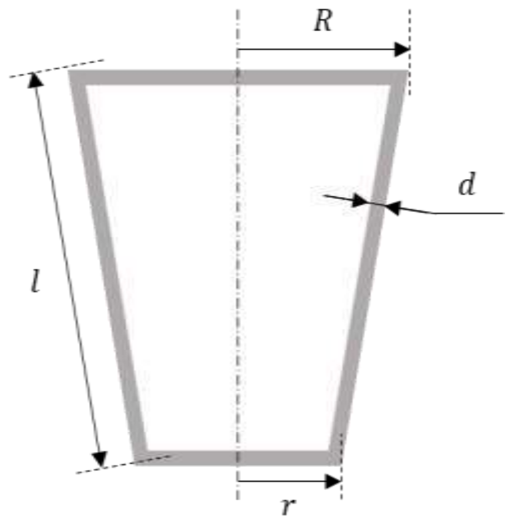
Ответы:

6	7	8
вариант 2	17,5	178

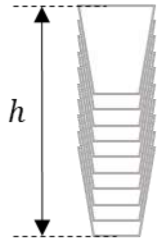
Максимум за задачу 3 балла.

Задачи 9-11

Пенопластовый стаканчик массой 2 г имеет форму усечённого конуса (см. рис.). Длина образующей усечённого конуса $l = 10$ см, радиус верхнего основания $R = 4$ см, радиус нижнего основания $r = 2{,}5$ см, толщина стенки стаканчика $d = 2{,}5$ мм.

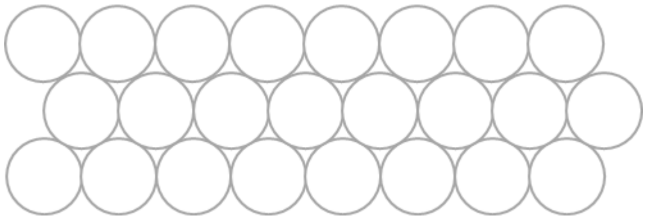


9. Десять стаканов вставляют друг в друга (см. рис.), плотно прижимая внешнюю стенку внутреннего стакана к внут-ренней стенке внешнего. Какой получится высота стопки h? Дайте ответ в см с округлением до целого числа. ***(2 балла)***



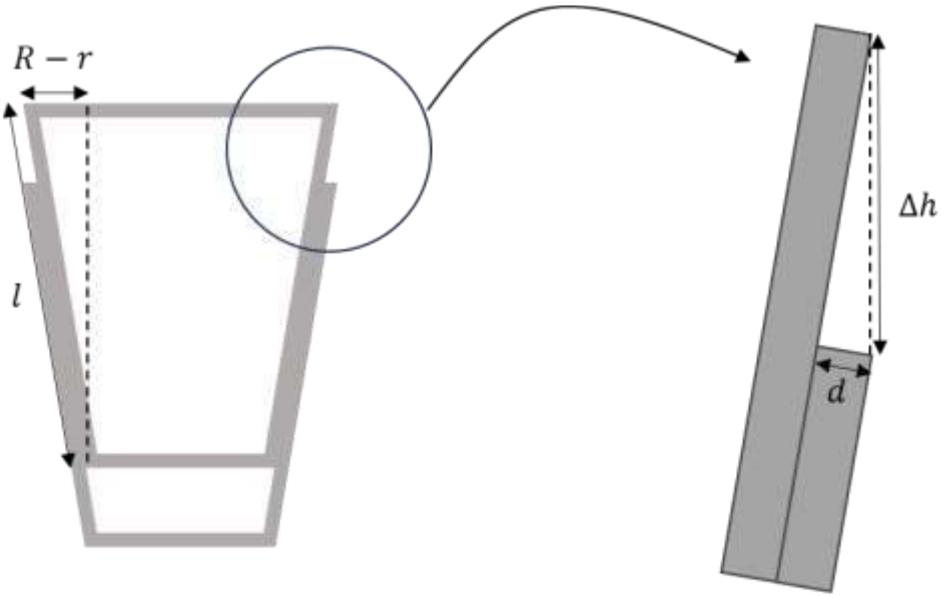
10. Какой получится линейная плотность (то есть отношение массы к высоте) стопки из очень большого количества стаканов? Дайте ответ в г/см с округлением до десятых долей. ***(1 балл)***

11. Найдите массу стаканов, которые можно перевезти в корабельном контейнере. Считайте внутреннее пространство контейнера параллелепипедом с размерами $12 \times 2{,}3 \times 2{,}4$ м^3. Дайте ответ в тоннах с округлением до десятых долей. Считайте, что контейнер заполняется стопками из стаканов так, как показано на рисунке. В расчётах пренебрегайте краевыми эффектами. ***(3 балла)***



Решение:

9. Изобразим два вложенных в друг друга стакана.



Из подобия треугольников видно, что высота, на которую смещён верхний стакан относительно нижнего, может быть рассчитана, как

$$\Delta h = d\frac{l}{R-r}.$$

Стопка из десяти стаканов имеет высоту, складывающуюся из высоты одного стакана, которую можно рассчитать по теореме Пифагора, и девяти высот смещения:

$$h_{10} = \sqrt{l^2-(R-r)^2} + 9\frac{ld}{R-r} \approx 25 \text{ см}.$$

10. При большом числе N стаканов в цепочке краевыми эффектами можно пренебречь и считать длину цепочки равной

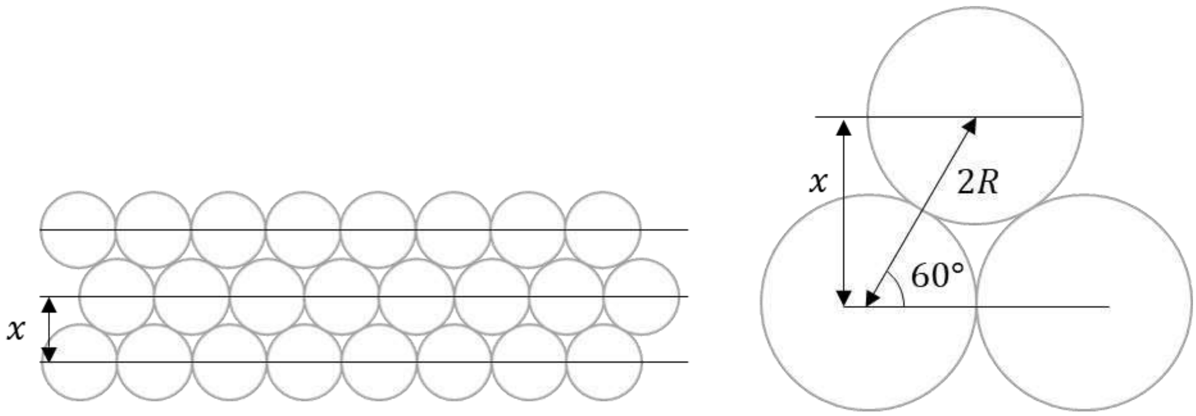
$$h_N = N\Delta h.$$

Масса такой цепочки складывается из масс всех стаканов в цепочке. Тогда линейная плотность такой цепочки может быть рассчитана, как

$$\lambda = \frac{Nm}{N\Delta h} = \frac{m}{\Delta h} = \frac{m(R-r)}{ld} = 1{,}2\ \frac{\text{г}}{\text{см}}.$$

11. При упаковке стаканов в контейнер расстояние между стопками можно вычислить, как

$$x = 2R\sin 60^\circ = R\sqrt{3}.$$



Тогда на один стакан в такой упаковке приходится объём размерами $R\sqrt{3}\ \times\ 2R\ \times\ \Delta h$. Тогда масса всех стаканчиков в контейнере может быть вычислена, как

$$M = \frac{mV(R-r)}{2\sqrt{3}ldR^2} = 1{,}4\ \text{т, где}\ V = 12 \times 2{,}3 \times 2{,}4\ \text{м}^3.$$

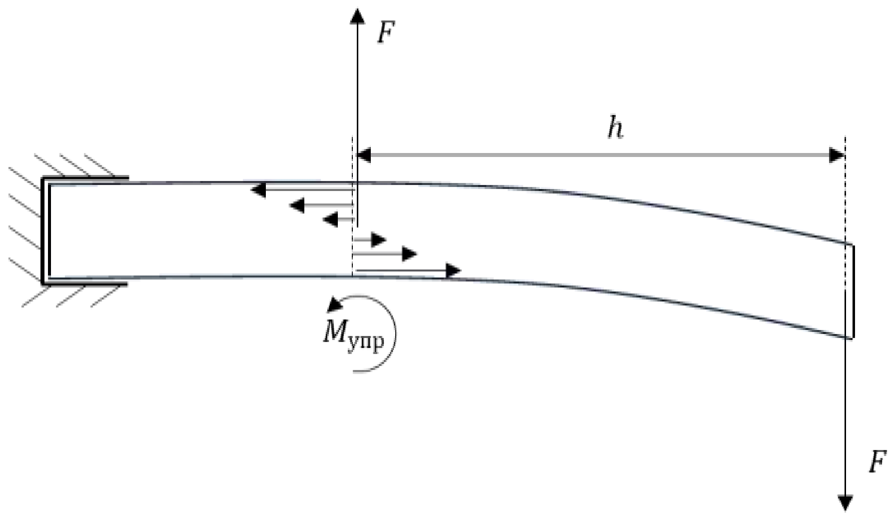
Ответы:

9	10	11
25	1,2	1,4

Максимум за задачу 6 баллов.

Задачи 12-16

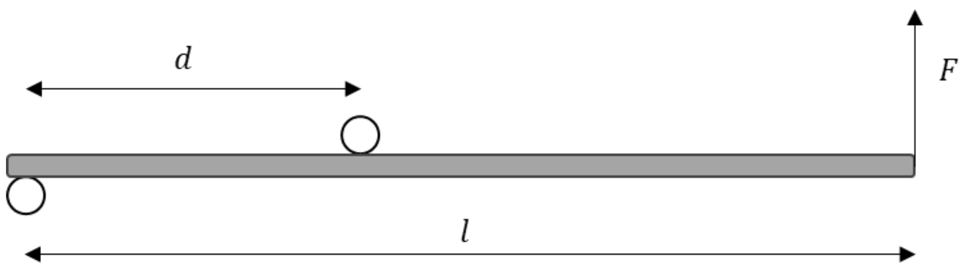
Пусть лёгкая горизонтальная однородная балка жёстко закреплена с одного конца, а к её свободному концу приложена вертикальная сила $\boldsymbol{F}$ (см. рис.). Рассмотрим равновесие балки под действием такой силы. Балка будет испытывать малую деформацию изгиба, при этом верхние горизонтальные слои балки будут слегка растянуты, а нижние – слегка сжаты.



Рассмотрим вертикальное сечение балки, расположенное на расстоянии $\boldsymbol{h}$ от её свободного конца, и часть балки, находящуюся справа от этого сечения. Со стороны левой части балки на правую часть действует вертикальная сила и момент сил упругости, которые совместно обеспечивают состояние покоя правой части. В примере, изображённом на рисунке, эта вертикальная сила равна внешней силе $\boldsymbol{F}$ и направлена вверх, а момент $\boldsymbol{M}_{упр}$ равен $\boldsymbol{Fh}$ и действует против часовой стрелки.

Если в некотором сечении момент упругих сил $\boldsymbol{M}_{упр}$ превзойдёт предел прочности, то балка сломается в этом сечении.

В лесу в походных условиях часто бывает необходимо сломать длинную жердь (тонкий ствол сухого дерева). Для этого жердь можно зажать между стволами двух деревьев и прикладывать к её концу силу, пока она не сломается (см. рис).



Пусть расстояние между деревьями $d = 50$ см, длина жерди $l = 3$ м, и жердь можно считать однородной. Тогда, чтобы её сломать, необходимо приложить к её концу силу $F = 300$ Н (см. рис.).

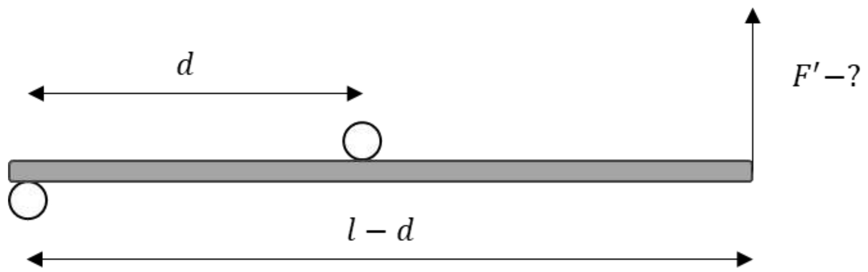
12. С какой силой при этом жердь давит на правое дерево? Дайте ответ в ньютонах с округлением до целого числа. ***(1 балл)***

13. Чему равна сила упругого взаимодействия правой и левой частей жерди в сечении на расстоянии $d/2$ от её левого конца? Дайте ответ в ньютонах с округлением до целого числа. Если сила, действующая на правую часть, направлена в ту же сторону, что и сила $\vec{F}$, то укажите положительное число, а если в противоположную сторону, то отрицательное число. ***(2 балла)***

14. Чему равен при этом модуль момента упругих сил в том же сечении? Дайте ответ в Н·м с округлением до целого числа. ***(2 балла)***

15. На каком расстоянии от левого конца жерди находится сечение, в котором модуль момента упругих сил максимален? Дайте ответ в сантиметрах с округлением до целого числа. ***(1 балл)***

16. Какую силу необходимо приложить к жерди длиной $l' = l - d$ и той же прочности для того, чтобы её сломать, действуя аналогичным образом? Дайте ответ в ньютонах с округлением до целого числа. ***(2 балла)***



Решение:

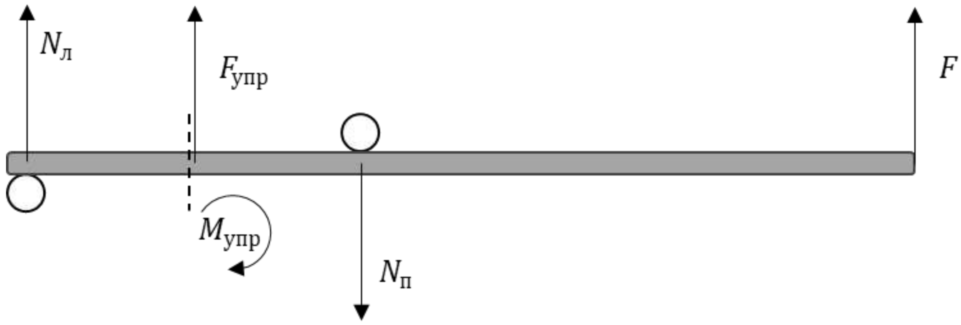
12. Запишем уравнение моментов относительно точки касания жерди с левым деревом:

$$N_\text{п} d = Fl.$$

Отсюда сила реакции правого дерева:

$$N_\text{п} = \frac{Fl}{d} = 1800\ \text{Н}.$$

13. Правая часть жерди находится в равновесии.



Первое условие равновесия говорит о том, что сумма действующих сил равна нулю.

$$F_{\text{упр}} + F = N_{\text{п}}.$$

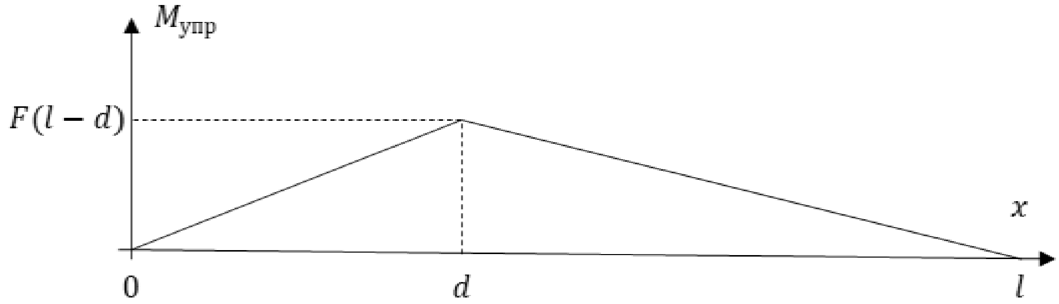
Тогда сила упругого взаимодействия равна

$$F_{\text{упр}} = N_{\text{п}} - F = 1500\ \text{Н}.$$

14. Второе условие говорит о равенстве нулю моментов сил, действующих на часть жерди правее рассматриваемого сечения. Это условие относительно выбранного сечения может быть записано, как

$$M_{\text{упр}} = F\left(l - \frac{d}{2}\right) - N_{\text{п}}\frac{d}{2} = 375\ \text{Н} \cdot \text{м}.$$

15. Максимальный момент упругих сил действует в сечении у правого дерева. Именно в этом месте сломается жердь.



16. Из первого эксперимента можно сделать вывод, что максимальный момент сил, который может выдержать жердь:

$$M_{\text{макс}} = F(l - d).$$

Тогда во втором случае силу можно рассчитать, как

$$F' = \frac{M_{\text{макс}}}{l - 2d} = 375\ \text{Н}.$$

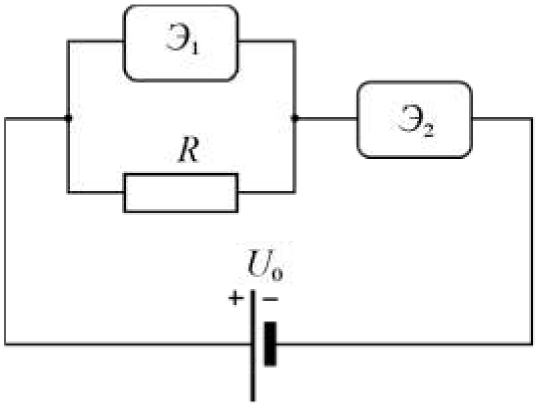
Ответы:

12	13	14	15	16
1800	1500	375	50	375

Максимум за задачу 8 баллов.

Задачи 17-21

Два одинаковых нелинейных элемента Э$_1$ и Э$_2$, вольт-амперная характеристика каждого из которых описывается формулой $U = \beta I^3$, где $\beta = 4$ В/А^3, соединены последовательно и подключены к идеальной батарейке с напряжением $U_0 = 36$ В. Параллельно элементу Э$_1$ подключили резистор (см. рис.). Оказалось, что через резистор и элемент Э$_1$ текут одинаковые токи.



17. Чему равна сила тока I_0, протекающего через батарейку? Дайте ответ в амперах с округлением до десятых долей. ***(2 балла)***

18. Чему равно сопротивление R резистора? Дайте ответ в омах с округлением до десятых долей. ***(1 балл)***

19. Какая тепловая мощность P_1 выделяется в элементе Э$_1$? Дайте ответ в ваттах с округлением до целого числа. ***(1 балл)***

20. Какая тепловая мощность P_2 выделяется в элементе Э$_2$? Дайте ответ в ваттах с округлением до целого числа. ***(1 балл)***

21. Какую мощность P_0 развивает батарейка в данной цепи? Дайте ответ в ваттах с округлением до целого числа. ***(2 балла)***

Решение:

17. Пусть через резистор течёт ток I_1, равный току через элемент Э$_1$. Тогда через батарейку течёт ток, равный сумме токов через резистор и элемент Э$_1$: $I_0 = 2I_1$. Запишем равенство напряжений на батарейке и последовательно соединённых нелинейных элементах: $U_0 = \beta I_1^3 + \beta(2I_1)^3 = 9\beta I_1^3$. Откуда:

$$I_0 = 2I_1 = \sqrt[3]{\frac{8U_0}{9\beta}} = 2 \text{ А}.$$

18. Приравняем напряжение на резисторе и элементе Э$_1$: $I_1 R = \beta I_1^3$. Откуда:

$$R = \beta I_1^2 = \sqrt[3]{\frac{\beta U_0^2}{81}} = 4 \text{ Ом}.$$

19. Найдём выделяющуюся мощность:

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 = \beta I_1^3 \cdot I_1 = \beta \left(\frac{I_0}{2}\right)^4 = 4\ \text{Вт}.$$

20. Найдём выделяющуюся мощность:

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 = \beta I_0^3 \cdot I_0 = \beta (I_0)^4 = 16P_1 = 64\ \text{Вт}.$$

21. Аналогично найдём мощность: $P_0 = U_0 I_0 = 72$ Вт.

Ответы:

17	18	19	20	21
2,0	4,0	4	64	72

Максимум за задачу 7 баллов.

Задачи 22-25

В распоряжении экспериментатора есть калориметр, одинаковые кубики льда и одинаковые порции воды. Масса одного кубика льда равна массе одной порции воды. Все кубики льда имеют одинаковую начальную температуру, температура каждой порции воды $t = 80$ ℃. При смешивании в калориметре одного кубика льда с двумя порциями воды в нём устанавливается температура $t_1 = 17$ ℃. Теплоёмкостью калориметра, испарением воды и теплообменом с окружающей средой можно пренебречь.

22. Какая температура t_2 установится в калориметре, если в нём смешать два кубика льда с четырьмя порциями воды? Дайте ответ в градусах Цельсия с округлением до целого числа. ***(1 балл)***

23. Какая температура t_3 установится в калориметре, если в нём смешать один кубик льда с тремя порциями воды? Дайте ответ в градусах Цельсия с округлением до целого числа. ***(2 балла)***

24. Растают ли полностью три кубика льда, если их смешать в калориметре с четырьмя порциями воды? ***(1 балл)***

- да
- нет

25. Какое минимальное количество теплоты q необходимо подвести к кубику льда, чтобы его расплавить, если его масса $m = 25$ г? Удельная теплоёмкость воды $c = 4{,}2$ кДж/(кг · ℃). Дайте ответ в килоджоулях с округлением до десятых долей. ***(2 балла)***

Решение:

22. Запишем уравнение теплового баланса для одного кубика льда и двух порций воды:

$$c_в 2m(t - t_1) = c_л m\left(0 - t_{0льда}\right) + \lambda m + c_в m(t_1 - 0).$$

Уравнение теплового баланса для двух кубиков льда и четырёх порций воды:

$$c_в 4m(t - t_2) = c_л 2m\left(0 - t_{0льда}\right) + \lambda 2m + c_в 2m(t_2 - 0).$$

Отсюда: $t_2 = t_1 = 17$ ℃.

23. Уравнение теплового баланса для одного кубика льда и трёх порций воды:

$$c_в 3m(t - t_3) = c_л m\left(0 - t_{0льда}\right) + \lambda m + c_в m(t_3 - 0).$$

Вычитая из этого уравнения первое, получим:

$$3(t - t_3) - t_3 - 2(t - t_1) + t_1 = 0.$$

Отсюда

$$t_3 = \frac{t + 3t_1}{4} = 32{,}75\ ℃ \approx 33\ ℃.$$

24. Предположим, что лёд расплавится и нагреется до температуры $t_4 \geq 0$. Уравнение теплового баланса для трёх кубиков льда и четырёх порций воды:

$$c_в 4m(t - t_4) = c_л 3m\left(0 - t_{0льда}\right) + \lambda 3m + c_в 3m(t_4 - 0).$$

Вычитая из этого уравнения первое, умноженное на 3, получим:

$$4(t - t_4) - 3t_4 - 6(t - t_1) + 3t_1 = 0.$$

Отсюда:

$$7t_4 = 9t_1 - 2t = -7\ ℃ \leq 0.$$

Полученная температура отрицательна, следовательно, лёд *не* расплавится.

25. Найдём q:

$q = c_л m\left(0 - t_{0льда}\right) + \lambda m = c_в 2m(t - t_1) - c_в m(t_1 - 0) = cm(2t - 3t_1) \approx$ 11,4 кДж.

Ответы:

22	**23**	**24**	**25**
17	33	нет	11,4

Максимум за задачу 6 баллов.

Максимальный балл за работу – 40.