



# Республиканская физическая олимпиада 2024 года (Заключительный этап)

## Теоретический тур

### 9 класс.

**Внимание! Прочтите в первую очередь.**

1. Полный комплект состоит из 3 заданий. Для вашего удобства вопросы, на которые Вам необходимо ответить, помещены в рамки.
2. На отдельном листе приведены формулы приближенных вычислений, используйте их при решении задач, там, где это необходимо.
3. Решения задач выполняйте на отдельных чистых рабочих листах. Самостоятельно разделите их на черновики и чистовые листы. Рекомендуем сначала решать в черновике, а затем красиво оформить решение на чистовых листах. Решение каждого задания начинайте с нового чистового листа. В решении приведите рисунки (в некоторых заданиях рисунки необходимы, даже в том случае, когда это не оговорено в условии), исходные уравнения с кратким обоснованием, решения уравнений (комментарии к математическим выкладкам не требуются), окончательные результаты. Окончательные решения обязательно занесите в листы ответов. Чистовые листы пронумеруйте. Черновые листы после окончания работы перечеркните. **Черновики проверяться не будут!**
4. Листы ответов содержат отдельные разделы в соответствии с пунктами полученных Вами заданий. Конечные формулы и требуемые численные значения занесите в соответствующие выделенные поля. Если по условию заданий от Вас требуется построение графика, используйте подготовленные бланки в Листах ответов, не забудьте подписать и оцифровать оси координат.
5. Все ваши работы сканируются, поэтому пишите только на одной стороне листа. Подписывать рабочие листы и листы ответов запрещается.
6. В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, калькулятор.
7. После окончания работы сложите листы в следующем порядке: листы ответов; пронумерованные чистовые листы; перечеркнутые черновики.
8. Со всеми вопросами, связанными с условиями задач, обращайтесь к организаторам олимпиады.



**Пакет содержит:**

- титульный лист (1 стр.);
- лист математических подсказок (1 стр.);
- условия 3 теоретических заданий (8 стр.);
- листы ответов (8 стр.);

### Формулы приближенных вычислений.

При решении задач Вам могут понадобиться следующие приближенные формулы

1.  $(1 + x)^\gamma \approx 1 + \gamma x$

формула справедлива при любых (целых, дробных, положительных, отрицательных) значениях степени  $\gamma$ .

$$\sin x \approx x$$

2.  $\cos x \approx 1 - \frac{x^2}{2}$

аргументы тригонометрических функций должны быть заданы в радианах.

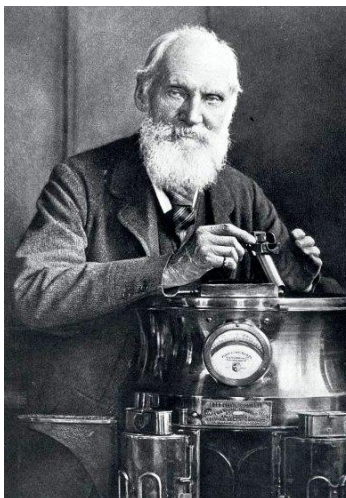
3.  $e^x \approx 1 + x$ .

### Комментарии.

1. Во всех формулах величина  $x$  безразмерная и значительно меньше 1:  $x \ll 1$
2. Для использования этих формул, прежде всего необходимо привести вашу формулу к стандартному виду, которые даны здесь.
3. В ходе приближенных преобразований соблюдайте правило соблюдения порядка малости: если вы отбрасываете малые величины порядка  $x^2$  и выше – отбрасывайте их сразу в промежуточных выкладках; если вы сохраняете величины определенного порядка, то сохраняйте их во всех преобразованиях

## Задание 1. Как Уильям Томсон стал лордом Кельвином

Задание состоит из 4 логично связанных между собой задач.



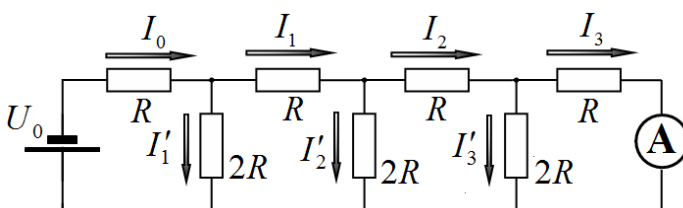
*Уильям Томсон (1824 – 1907) – британский физик и инженер, известен своими работами в области механики, термодинамики, электродинамики. За необыкновенные заслуги Томсона в науке 1866 году Томсон был посвящён в рыцарское достоинство. В 1892 году королева Виктория пожаловала Томсону наследственное пэрство. Вследствие этого известный уже как «лорд Кельвин» стал первым британским учёным, получившим право заседать в палате лордов. Одной из самых существенных заслуг Уильяма Томсона являлось разработка теории и усовершенствование трансатлантического кабеля.*

Данное задание касается изучения некоторых теоретических проблем, связанных с распространением электрического тока по длинному проводящему кабелю с неидеальной изоляцией.

Может и вам удастся получить дворянский титул?

### Задача 1.

На рисунке показана электрическая цепь, состоящая из источника постоянного напряжения  $U_0$  и семи резисторов, сопротивления которых указаны на рисунке. Сопротивление амперметра пренебрежимо мало.



**1.1** Рассчитайте значения сил токов через все резисторы, считая силу тока  $I_3$  через амперметр известной.

Используйте обозначения сил токов, приведенные на рисунке.

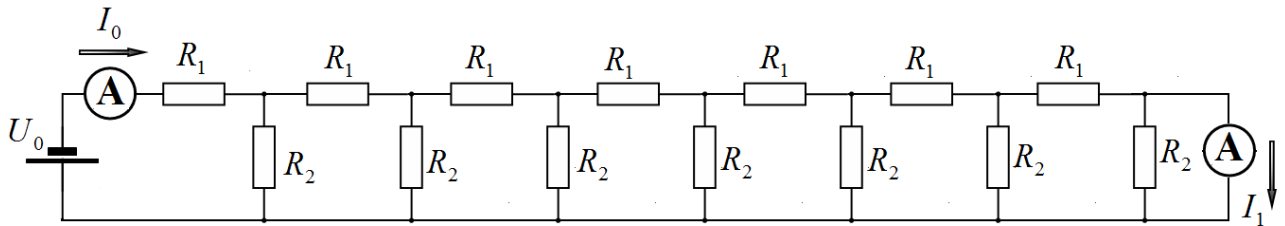
*Подсказка. Расчет таких цепей удобно начинать с крайних элементов. Чтобы облегчить Ваши расчеты, в Листе ответов приведена Таблица 1. Заполнять эту таблицу следует слева направо и сверху вниз. Пунктиром выделены участки цепи, сопротивления которых обозначены  $R_{x3}, R_{x2}, R_{x1}, R_{x0}$  ( $R_{x0}$  - конечно, сопротивление всей цепи). Удобно каждое следующее из этих сопротивлений выразить через предыдущее.*

Приведите в Таблице 1 формулы для расчета этих сопротивлений, рассчитайте их значения, выраженные через величину  $R$ . Все коэффициенты должны быть записаны в виде обыкновенных дробей. Запишите в соответствующих ячейках Таблицы 1 расчетные формулы для сил токов и их значения, выраженных через  $I_3$ .

**1.2** Выразите значения сил токов  $I_0$  и  $I_3$  через напряжение источника  $U_0$  и сопротивление  $R$ .

1.3 Рассчитайте численные отношения сил токов  $\frac{I_1}{I_0}$  и  $\frac{I_2}{I_1}$ .

**Задача 2.**



В цепи, показанной на рисунке сопротивления  $R_1 = 1,0 \text{ Ом}$ , а сопротивления  $R_2 = 1,0 \text{ кОм}$ .  
Напряжение источника  $U_0 = 7,0 \text{ В}$ . Амперметры идеальные.

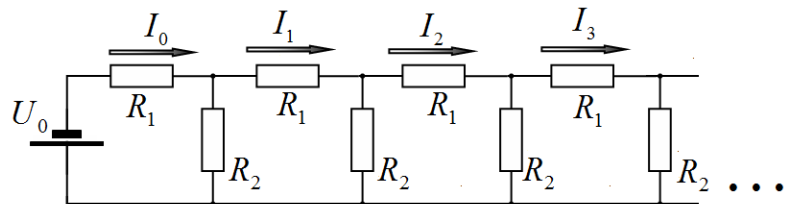
2.1 Рассчитайте значения сил токов  $I_0$  и  $I_1$ .

2.2 Рассчитайте разность сил токов  $\Delta I = (I_0 - I_1)$

*Подсказка.* Нет необходимости решать эту задачу абсолютно точно. Посмотрите внимательно на заданные значения сопротивлений и проведите расчет с необходимым числом значащих цифр.

**Задача 3.**

Бесконечная цепочка, состоящая из одинаковых звеньев, подключена к источнику постоянного напряжения  $U_0$ .



Пусть в бесконечной цепочке сопротивления резисторов равны  $R_1 = R_0$ ,  $R_2 = 2R_0$ .

3.1 Найдите полное сопротивление цепи.

3.2 Покажите, что силы токов  $I_0, I_1, I_2, \dots$  образуют геометрическую прогрессию. Найдите

отношение сил токов  $\frac{I_1}{I_0}$ .

3.3 Получите формулу, позволяющую рассчитать значения всех сил токов  $I_k$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ) через заданные значения  $U_0$  и  $R_0$ .

*Подсказка.* Если от бесконечности отнять единицу, то получится та же бесконечность.

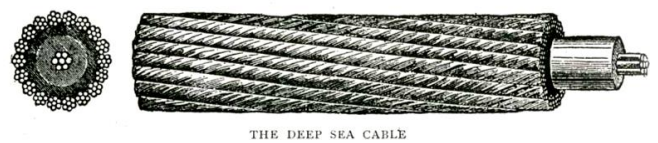
Пусть в бесконечной цепочке, показанной на рисунке, сопротивления  $R_2$  в несколько тысяч раз больше сопротивлений  $R_1$ , что позволяет делать разумные приближения при расчетах.

3.4 Получите формулу для общего сопротивления всей цепочки, при условии  $R_2 \gg R_1$ .

3.5 Получите формулу для расчета силы тока в произвольном звене  $I_k$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ) через заданные значения  $U_0$ ,  $R_1$ ,  $R_2$

#### Задача 4

Телеграфный кабель, который изучал У. Томсон, имел достаточно сложную структуру (см. рисунок): медная жила, резиновая изоляция, броневая защита.



Для расчетов существенно:

- диаметр медной жилы  $d_0 = 20\text{мм}$  (удельное сопротивление меди  $\rho_1 = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ );
- толщина слоя резиновой изоляции  $h = 10\text{мм}$  (удельное сопротивление резины считайте равным  $\rho_2 = 1,7 \cdot 10^{10} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ).
- длина кабеля  $L = 5000\text{км}$ .

Кабель проложен по дну Атлантического океана, поэтому можно считать, что внешний слой изоляции контактирует с хорошо проводящей электрический ток морской водой. Не смотря, на высокое удельное сопротивление изоляции электрический ток частично проходит через изоляционный слой и уходит в океанскую воду.

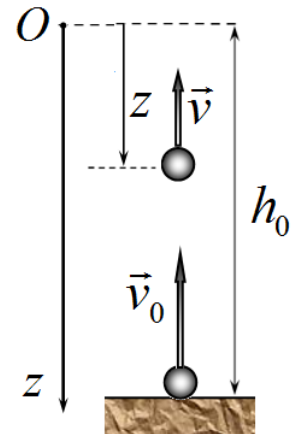
- 4.1** Рассчитайте электрическое сопротивление  $R_1$  десяти километров ( $\Delta l = 10\text{км}$ ) медной жилы кабеля. Рассчитайте полное сопротивление медной жилы кабеля.
- 4.2** Рассчитайте (приближенно, но с хорошей точностью) электрическое сопротивление  $R_2$  десяти километров изоляции кабеля. Рассчитайте полное сопротивление изоляции. Учтите направление тока в изоляции.
- 4.3** Предложите приближенную эквивалентную электрическую схему подводного телеграфного кабеля, описывающую протекание электрических токов в кабеле.
- 4.4** Рассчитайте отношение силы тока на выходе из кабеля  $I_1$  к силе тока на его входе  $I_0$ .

## Задание 2. Вытекание

### Часть 1. Бросок

В данной части вам необходимо описать движение тела, брошенного вертикально вверх, в не совсем обычной системе координат. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

Небольшой шарик брошен вертикально вверх с начальной скоростью  $v_0$ . Обозначим максимальную высоту подъема шарика  $h_0$ . Введем ось координат  $z$ , направленную вертикально вниз, начало отсчета которой совпадает с максимальной высотой подъема. Далее под скоростью  $v_z$  и ускорением  $a_z$  подразумеваются проекции скорости и ускорения шарика на ось  $z$ .



**1.1** Выразите максимальную высоту подъема шарика  $h_0$  через начальную скорость  $v_0$  и ускорение свободного падения  $g$ .

**1.2** Чему равны проекции ускорения и начальной скорости шарика на ось  $z$  -  $a_z, v_{0z}$ ?

**1.3** Найдите зависимость скорости шарика  $v_z$  от координаты  $z$  -  $v_z(z)$ .

**1.4** Найдите зависимость координаты шарика  $z$  от времени  $z(t)$ . В качестве параметров этой функции используйте только начальную скорость  $v_0$  и ускорение свободного падения  $g$ .

**1.5** Постройте схематический график зависимости  $z(t)$ . Укажите характерные точки этого графика.

Обозначим  $\tau_{0,5}$  («время полуподъема») - время, за которое шарик поднимается на высоту  $\frac{h_0}{2}$ , равную половине максимальной высоты. Это время  $\tau_{0,5}$  может быть выражено через максимальную высоту подъема  $h_0$  и ускорение свободного падения следующим образом:

$$\tau_{0,5} = Ch_0^\alpha g^\beta, \quad (1)$$

где  $C$  - некоторый безразмерный численный коэффициент,  $\alpha, \beta$  - постоянные показатели степеней.

**1.6** Найдите значения показателей степеней  $\alpha, \beta$  в формуле (1).

**1.7** Рассчитайте численное значение коэффициента  $C$  в формуле (1).

## Часть 2. Дырявый сосуд

В данной части задачи вам необходимо описать процесс вытекания жидкости из сосуда, в стенке которого имеется небольшое отверстие.

В боковой стенке вертикального цилиндрического сосуда с диаметром поперечного сечения  $D$  проделали малое круглое отверстие диаметра  $d$  вблизи дна сосуда.

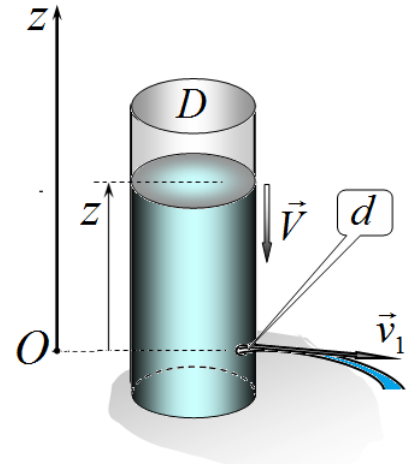
Обозначим отношение этих диаметров  $\eta = \frac{d}{D} \ll 1$

В сосуд наливают воду. Уровень воды  $z$  в сосуде отсчитывается от середины отверстия. Ось  $z$  направлена вертикально вверх. Считайте, что диаметр отверстия значительно меньше высоты уровня воды в сосуде  $d \ll z$ .

Обозначим скорость вытекания воды из отверстия  $\vec{v}_1$ ,

скорость опускания уровня воды в сосуде  $\vec{V}$ . Вязкостью

воды следует пренебречь, в этом приближении сохраняется механическая энергия воды, т.е. тепловых потерь нет.



**2.1** Найдите зависимость скорости вытекания воды из отверстия  $v_1$  от высоты уровня воды в сосуде  $v_1(z)$ .

**2.2** Найдите зависимость проекции на ось  $z$  скорости опускания  $V_z$  от высоты уровня  $z$ . В качестве параметров этой функции используйте только ускорение свободного падения  $g$  и отношение диаметров  $\eta$ .

**2.3** Чему равно ускорение, с которым опускается уровень воды в сосуде  $a_z$ ?

**2.4** Найдите зависимость высоты уровня воды в сосуде от времени  $z(t)$ . При  $t = 0$  высота уровня воды в сосуде равна  $h_0$ . В качестве параметров функции используйте величины  $g, h_0, \eta$ .

**2.5** Найдите через, какое время  $\tau_{0,5}$  уровень воды в сосуде уменьшится в два раза.

**2.6** Рассчитайте численное значение времени «полувытекания»  $\tau_{0,5}$ , если  $h_0 = 20$  см,  $\eta = \frac{1}{20}$ ,

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$



### Задание 3. Теплокровный сферический кот.



Живые организмы могут существовать в достаточно узком температурном диапазоне. Так, например, нормальная температура человека примерно равна  $36,5^\circ$ . повышение температуры всего на  $5^\circ$  свидетельствует о серьезном заболевании. В каждом организме действуют сложные механизмы терморегуляции, позволяющие поддерживать температуру тела постоянной. В данном задании Вам предстоит проанализировать некоторые проблемы, связанные с терморегуляцией живых теплокровных организмов, используя простые модели.

Будем считать, что исследуемое существо имеет форму однородного шара (далее будем называть его сферическим котом). Внутри тела этого кота в результате постоянно происходит выделение теплоты. Теплопроводность тела высока, поэтому можно считать, что температура во всех его точках одинакова, но может изменяться с течением времени.

***Во всех задачах этого задания под температурой тела подразумевается установившаяся температура, которую имеет тело кота после установления теплового равновесия.***

#### Теоретическое введение.

1. Мощность теплоты, выделяющейся внутри сферического кота постоянна (т.е. не зависит от температуры тела) и пропорциональна его объему:

$$W = wV, \quad (1)$$

где  $w$  - некоторая постоянная величина (тепловыделение), одинаковая для всех котов, независимо от их размеров,  $V = \frac{4}{3}\pi R^3$  - объем шара,  $R$  - радиус шара. Тепловыделение  $w$  живых существ может зависеть от температуры.

2. Мощность теплоты, уходящей в окружающую среду с любой поверхности пропорциональна разности температур поверхности  $t_x$  и окружающей среды  $t_0$ , кроме того, она пропорциональна площади поверхности  $S$ :

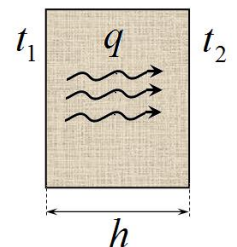
$$q = \beta S(t_x - t_0) \quad (2)$$

где  $\beta$  - известная постоянная величина (называется коэффициент теплоотдачи, зависящей от свойств окружающей среды, т.е. воздуха). Площадь поверхности шара  $S = 4\pi R^2$ .

3. Согласно закону Фурье плотность потока теплоты  $q$  (количество теплоты протекающей в единицу времени через площадку площади  $S$ ) через пластинку пропорциональна разности температур на сторонах пластинки и определяется формулой

$$q = \gamma \frac{t_1 - t_2}{h} S, \quad (3)$$

здесь  $\gamma$  - постоянный коэффициент теплопроводности материала пластинки,  $h$  - толщина пластинки



4. Как вам предстоит показать в дальнейшем, что мощность потока теплоты, уходящей в окружающую среду (даже при наличии одежды) пропорциональна разности температур тела и окружающей среды

$$q = \alpha(t - t_0). \quad (4)$$

коэффициент пропорциональности  $\alpha$  в данной формуле называется коэффициентом теплопередачи. Для голого кота этот коэффициент равен  $\alpha = \beta S$ .



## Часть 1. Спящие коты

В этой части будем считать, что мощность тепловыделения  $w$  постоянна, т.е. не зависит от температуры и одинакова для котов любых размеров.

Температура окружающей среды равна  $t_0 = 20^\circ\text{C}$ , при этом установившаяся температура тела голого кота радиуса  $R_0$  равна  $t_1 = 36^\circ\text{C}$ .

### 1.1 Почему маленькие дети больше мерзнут?

**1.1** Рассчитайте, чему будет равна установившаяся температура голого котенка  $t_2$ , радиус которого в два раза меньше, чем  $R_0$ .

### 1.2 Почему «греет» шуба?

Благодаря одежде, надетой на котенка, коэффициент теплопередачи уменьшился в 2 раза.

**1.2.1** Рассчитайте, чему будет равна установившаяся температура  $t_3$  одетого котенка.

Покажите, что одежда действительно может изменить коэффициент теплопередачи.

Обозначим коэффициент теплопередачи голого кота -  $\alpha_0$ . Будем считать, что одежда является тонким слоем теплоизоляционного материала с коэффициентом теплопроводности  $\gamma$  толщины  $h$  (которая значительно меньше радиуса кота  $h \ll R$ ). Можно считать, что тепловой контакт между телом кота и нижней поверхностью одежды хороший, потому их температуры равны. Температура верхнего слоя одежды отличается от температуры воздуха.

**1.2.2** Покажите, что коэффициент теплопередачи одетого кота тоже может быть описан формулой  $q = \alpha(t - t_0)$ , но с другим коэффициентом пропорциональности  $\alpha_1$ , отличным от  $\alpha_0$ . Выразите значение этого коэффициента через величины  $\alpha_0, h, \gamma$

## Часть 2. «Живая» модель

В данной части Вам необходимо проанализировать жизнь кота, в рамках более реальной модели. Размер кота остается неизменными. Примем, что мощность тепловыделения этого кота зависит от температуры: она принимает максимальное значение, при некоторой оптимальной температуре  $t_{opt}$  и монотонно уменьшается при отклонении температуры от оптимального значения (когда становится очень холодно или слишком жарко). Жизнь кота возможна, если его температура лежит в диапазоне от минимальной температуры  $t_{min} = 30^\circ$  до максимальной температуры  $t_{max} = 50^\circ$ . Если температура кота выходит из этого диапазона, кот умирает.

Зависимость мощности тепловыделения от температуры  $t$  в указанном диапазоне описывается функцией

$$W(t) = A(t - t_{min})(t_{max} - t), \quad (5)$$

где  $A$  - постоянная величина. Вне этого температурного диапазона  $W = 0$ .

Известно, что при температуре воздуха  $t_0^* = 20^\circ$  температура голого кота является оптимальной.

В пунктах задания 2.1 – 2.5 кот остается голым, т.е. коэффициент теплоотдачи  $\alpha_0$  остается постоянным.

**2.1** Найдите оптимальную температуру кота  $t_{opt}$ .

Предложите такую нормировку мощностей тепловыделения  $\bar{W} = \frac{W}{C}$  и теплоотдачи  $\bar{q} = \frac{q}{C}$ , чтобы значения  $\bar{W}(t), \bar{q}(t)$  можно было рассчитать численно.

**2.2** Укажите, что следует взять в качестве нормировочной постоянной  $C$ . Укажите физический смысл этой постоянной. Запишите формулы для зависимостей  $\bar{W}(t), \bar{q}(t)$ . Укажите численные значения параметров этих функций.

**2.3** На одном бланке постройте: точный график зависимости  $\bar{W}(t)$  и график зависимости  $\bar{q}(t)$  при температурах окружающей среды  $t_0^* = 20^\circ$ .

Далее в пунктах 2.4 - 2.6 приведите графическую иллюстрацию решения, то есть постройте графики зависимостей  $\bar{W}(t), \bar{q}(t)$  при указанных значениях параметров. В этих пунктах допускается численное решение уравнений (без получения окончательной формулы).

**2.4** Рассчитайте установившуюся температуры голого кота, если температура окружающего воздуха равна а)  $t_0 = 35^\circ$ ; б)  $t_0 = 25^\circ$ .

**2.5** Рассчитайте, в каком диапазоне температур воздуха (от  $t_{0min}$  до  $t_{0max}$ ) может жить голый кот.

Чтобы не замерзнуть, кот начинает одеваться, изменяя коэффициент теплоотдачи  $\alpha$ .

**2.6** Предложите такую зависимость коэффициента теплоотдачи  $\alpha(t_0)$  от температуры воздуха  $t_0$  (при  $t_0 < 20^\circ$ ), чтобы температура кота оставалась оптимальной, независимо от температуры воздуха.

**2.7** Постройте график зависимости  $\frac{\alpha(t_0)}{\alpha_0}$  при  $0^\circ < t_0 < 20^\circ$ .

**2.8** Оцените, во сколько раз надо изменить коэффициент теплопередачи, чтобы кот смог выжить при температуре воздуха  $t_0 = 0^\circ$

**Листы ответов**

**Задание 1. Как Уильям Томсон стал лордом Кельвином**

**Задача 1**

**1.1 Заполните Таблицу 1**

**Таблица 1.** Расчет характеристик электрической цепи

| Схема | Сопротивление | Силы токов |         |
|-------|---------------|------------|---------|
|       | $R_{x3} =$    | $I'_3 =$   | $I_2 =$ |
|       | $R_{x2} =$    | $I'_2 =$   | $I_1 =$ |
|       | $R_{x1} =$    | $I'_1 =$   | $I_0 =$ |
|       | $R_{x0} =$    | -          | -       |

**1.2 Силы токов**

$I_0 = .$

$I_3 =$

**1.3 Отношения сил токов**

$\frac{I_1}{I_0} =$

$\frac{I_2}{I_1} =$

**Задача 2.**

**2.1 Силы токов**

$$I_0 =$$

$$I_1 =$$

**2.2 Разность сил токов**

$$\Delta I =$$

**Задача 3.**

**3.1 Сопротивление цепи**

$$R_x =$$

**3.2 Отношение сил токов**

$$\frac{I_1}{I_0} =$$

**3.3 Формула для расчета сил токов**

$$I_k =$$

**3.4 Сопротивление цепи**

$$R_x =$$

**3.5 Формула для расчета сил токов**

$$I_k =$$

**Задача 4**

**4.1** Сопротивление участка медной жилы

$$R_1 = .$$

Сопротивление всей медной жилы

$$R_{1\Sigma} =$$

**4.2** Сопротивление изоляции участка кабеля

$$R_2 =$$

Полное сопротивление изоляции

$$R_{2\Sigma} =$$

**4.3** Эквивалентная электрическая схема кабеля

**4.4** Отношение сил токов на выходе и входе кабеля

$$\frac{I_1}{I_0} =$$

## Листы ответов

### Задание 2. Вытекание

1.1 Высота подъема

$$h_0 =$$

1.2 Проекция ускорения и начальной скорости

$$a_z =$$

$$v_{0z} =$$

1.3 Зависимость скорости шарика  $v_z$  от координаты

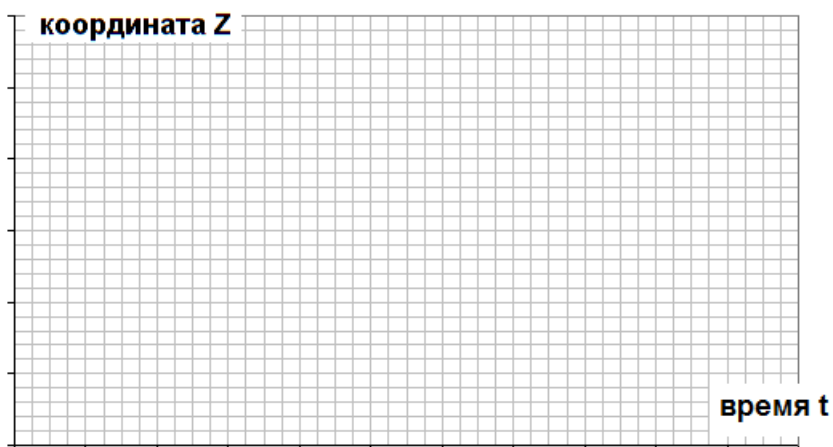
$$v_z(z) =$$

1.4 Зависимость координаты шарика от времени

$$z(t) =$$

1.5 График зависимости координаты от времени

#### Зависимость координаты от времени



1.6 Показатели степеней.

$$\alpha = \qquad \qquad \beta =$$

1.7 Постоянная  $C$

$$C =$$

2.1 Зависимость скорости вытекания воды

$$v_1(z) =$$

2.2 Зависимость скорости опускания уровня воды

$$V_z(z) =$$

2.3 Ускорение, с которым опускается уровень воды в сосуде

$$a_z =$$

2.4 Зависимость высоты уровня воды в сосуде от времени

$$z(t) =$$

2.5 Время «полувывтекания»

$$\tau_{0,5} =$$

2.6 Численное значение

$$\tau_{0,5} =$$



## Листы ответов

### Задание 3. Теплокровный сферический кот

1.1 Установившаяся температура голого котенка

$$t_2 =$$

1.2.1 Установившаяся температура одетого котенка

$$t_3 =$$

1.2.2 Коэффициент теплопередачи

$$\alpha_0 =$$

2.1 Оптимальная температура кота

$$t_{opt} =$$

2.2 Нормировочная постоянная

$$C =$$

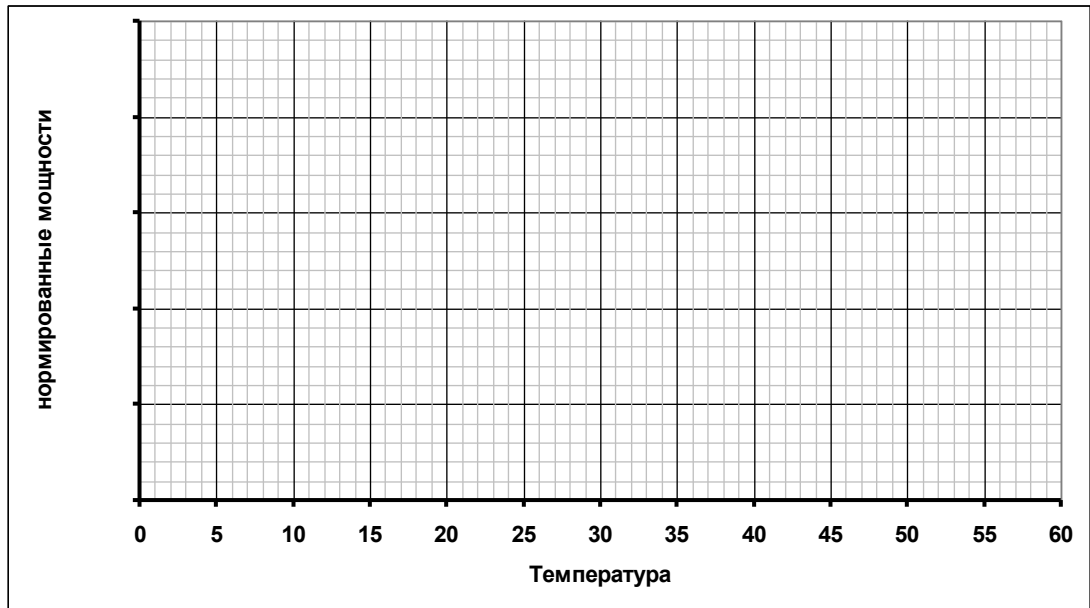
Формулы зависимостей

$$\bar{W}(t) =$$

$$\bar{q}(t) =$$

Значения параметров зависимостей

2.3 Графики зависимости  $\bar{W}(t)$  и  $\bar{q}(t)$



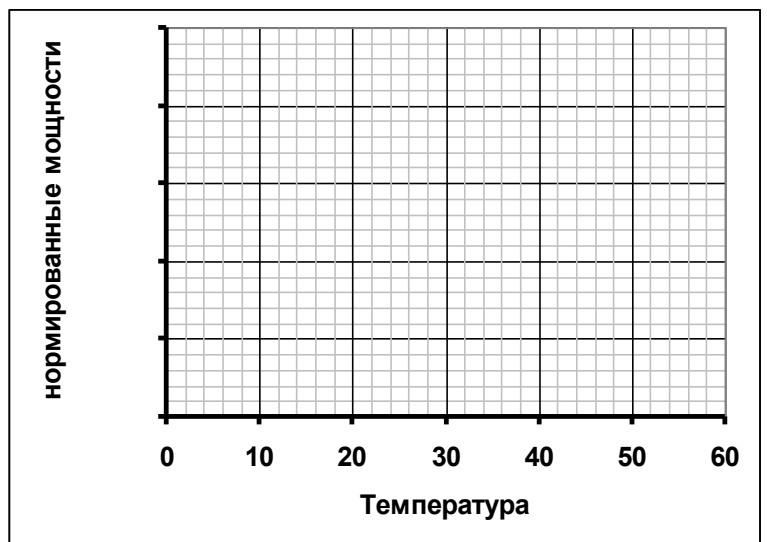
2.4 Установившиеся температуры

При температуре воздуха  $t_0 = 35^\circ$

$t =$

при температуре воздуха  $t_0 = 25^\circ$

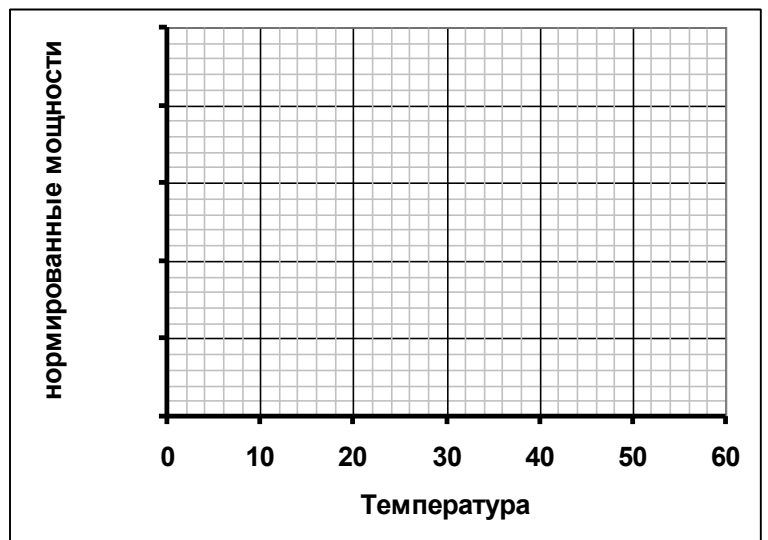
$t =$



2.5 Диапазон температур

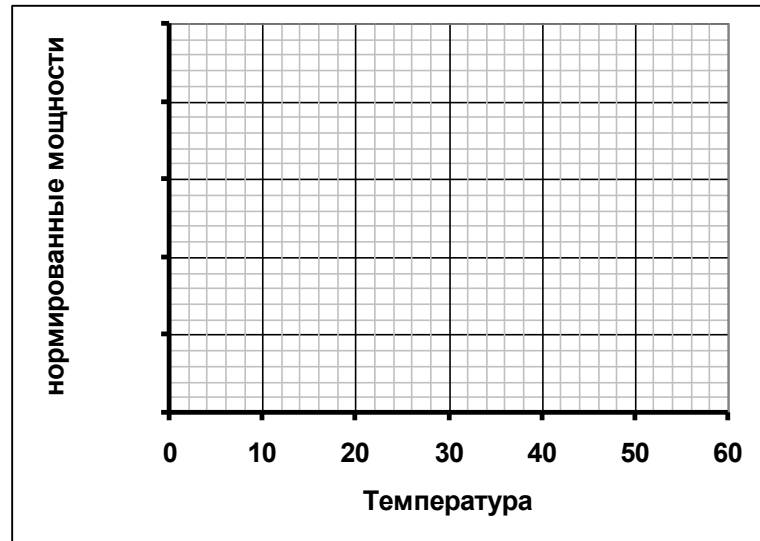
$t_{\min} =$

$t_{\max} =$

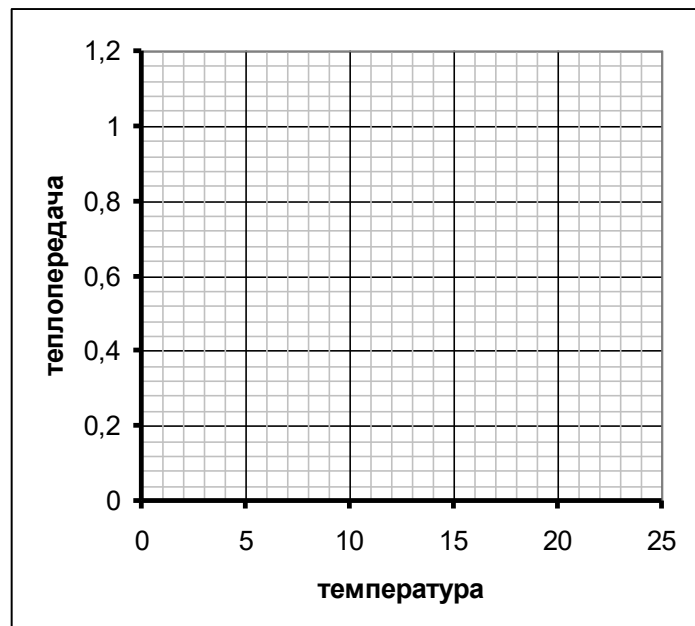


2.6 Зависимость коэффициента теплоотдачи от температуры воздуха

$$\alpha(t_0) =$$



2.7 График зависимости  $\frac{\alpha(t_0)}{\alpha_0}$



2.8 Изменение коэффициента теплопередачи

$$\frac{\alpha}{\alpha_0} =$$