



Республиканская физическая олимпиада 2023 года (Заключительный этап)

Теоретический тур

10 класс.

1. Полный комплект состоит из трех заданий.
2. Для вашего удобства вопросы, на которые Вам необходимо ответить, помещены в рамки.

Внимание!

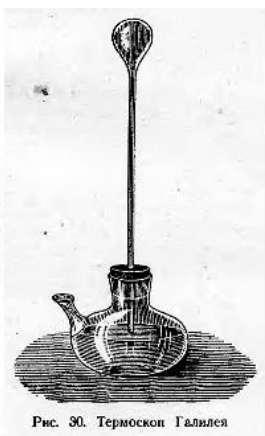
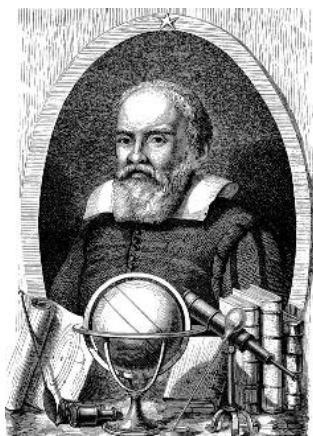
3. Помимо условий Вы получите тетрадь для черновиков и Листы ответов. Листы ответов содержат отдельные разделы в соответствии с пунктами полученных Вами заданий. На свободных местах (помеченных как «Вывод формулы») Вы должны кратко привести: основные идеи решения, рисунки (при необходимости), исходные уравнения и их обоснования, сделанные приближения, основные математические преобразования, окончательные результаты. 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. Рекомендуем сначала решать в черновике (в отдельной тетради), а затем красиво оформить решение на Листах ответов. Используйте только лицевую сторону Листов ответов, писать на обороте листа запрещается. **Черновики проверяться не будут!**



4. Подписывать Листы ответов и черновик запрещается.
5. В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, калькулятор.
6. После окончания работы сложите листы ответов в соответствии с нумерацией страниц.
7. Со всеми вопросами, связанными с условиями задач, обращайтесь к организаторам олимпиады.

Пакет заданий содержит:

- титульный лист (1 стр.);
- условия 3 теоретических задач (4 стр.).



Задание 1. Термоскоп Галилея.

Первый термоскоп сконструировал итальянский физик Галилео Галилей примерно в 1592—1600 годах.

Термоскоп (греч. Θέρμη [термо] «тепло» + σκοπέω [скопео] «смотрю») — устройство, которое показывает изменения температуры, родоначальник современных термометров. Типичная конструкция термоскопа представляет собой трубку, в которой жидкость поднимается и опускается при изменении температуры.

Молодой, но талантливый белорусский физик Федор, прочитав это сообщение, решил превзойти знаменитого итальянского ученого: не только самостоятельно сконструировать и изготовить подобный прибор, но и снабдить его точно рассчитанной температурной шкалой. Тем, более, что Федор только что изучил газовый законы, еще не известные во времена Г.Галилея.

Часть 1. Конструирование и градуировка в идеальном случае.

Федор нашел стеклянную трубку, измерил ее размеры:

Длина трубки $l = 50$ см; внутренний диаметр $d = 0,50$ см. Федор закрепил трубку вертикально, нижний конец трубки опустил в широкий сосуд с водой. Погруженной в воду частью трубки можно пренебречь, также можно считать, что уровень воды в нижнем сосуде постоянен.

К верхней части трубки прикрепил сосуд, объем которого V_1 Федор тщательно рассчитал. Рядом с трубкой располагается шкала, по которой можно измерять высоту h , на которую поднимается вода в трубке.

Для расчетов используйте следующие параметры:

Плотность воды $\rho = 1,00 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ и не зависит от температуры;

Атмосферное давление постоянно и равно $P_0 = 1,00 \cdot 10^5 \text{ Па}$;

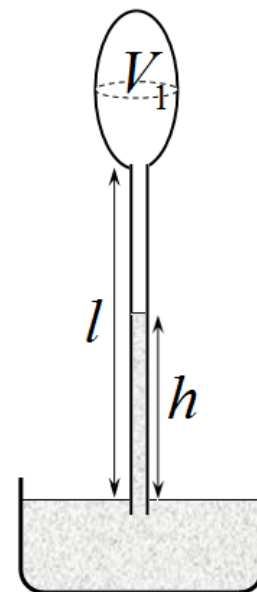
Ускорение свободного падения $g = 10,0 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$;

Абсолютный нуль температуры $\tau = -273^\circ\text{C}$.

Федор решил, что с помощью данного прибора необходимо измерять температуру в диапазоне от $t_{\min} = 10^\circ\text{C}$ до $t_{\max} = 40^\circ\text{C}$ (по его мнению, именно в таком диапазоне изменяется температура в квартирах).

Федор рассудил, **что давлением насыщенных паров воды внутри термоскопа можно пренебречь** так, как в выбранном диапазоне температур оно значительно (более, чем в 10 раз) меньше атмосферного давления.

Настройку термоскопа Федор проводил следующим образом. Трубку с сосудом сверху вертикально опускают в воду в нижнем сосуде, так, она незначительно погружается в воду. Погруженной в воду частью трубки можно пренебречь, также можно считать, что уровень воды в нижнем сосуде постоянен. После этого воду нагревают до температуры $t_{\max} = 40^\circ\text{C}$, воздух в трубке также нагревается до этой же температуры. Воздух частично



выходит из трубки, тем самым оказывается, что при этой температуре высота уровня воды в трубке равна $h = 0$. При остывании уровень воды в трубке повышается, тем самым данный прибор можно использовать в качестве комнатного термометра.

1.1 Рассчитайте, при каком объеме верхнего сосуда V_1 вода полностью заполнит трубку (т.е. высота уровня воды в трубке станет равной $h = l$), если температура опустится до значения $t_{\min} = 10^\circ\text{C}$.

Для дальнейших расчетов удобно использовать следующие параметры:

$\alpha = \frac{\rho g l}{P_0}$ - отношение гидростатического давления воды в полностью заполненной трубке;

$\beta = \frac{lS}{V_1 + lS}$ - отношение объема трубки к полному объему термоскопа (верхнего сосуда и трубки);

$z = \frac{h}{l}$ - относительная высота уровня воды в трубке (отношение высоты уровня к длине трубки).

1.2 Рассчитайте численные значения параметров установки α и β .

1.3 Получите уравнение, позволяющее рассчитать зависимость относительной высоты уровня воды в трубке от температуры в комнате $z(t)$. В качестве параметров этого уравнения должны входить только безразмерные параметры α, β и максимальная температура t_{\max} .

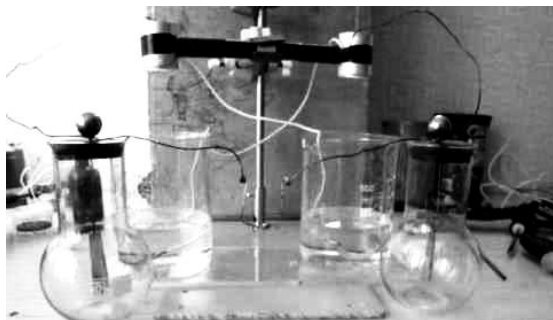
1.4 Постройте градуировочный график зависимости $z(t)$. Результаты расчетов (в том числе и промежуточные) приведите в Таблице 1 Листов ответов. График построите на приведённом бланке Листов ответов.

Часть 2. Реальные измерения.

В ходе экспериментальной проверки изготовленного термоскопа Федор обнаружил, что показания прибора заметно отличаются от рассчитанных значений. Федор понял, что **давлением водяных паров внутри термоскопа пренебрегать нельзя**. Найти зависимость давления насыщенных водяных паров от температуры не представляет труда. Эта зависимость в используемом диапазоне температур приведена в Таблице 2 Листов ответов. Там же для наглядности приведен график этой зависимости. В этой части вы должны провести расчет зависимости высоты поднятия воды в трубке от температуры с учетом влияния водяных паров. Все параметры прибора остались прежними.

2.1 Получите уравнение, позволяющее рассчитать зависимость относительной высоты уровня воды в трубке от температуры в комнате $z(t)$. В качестве параметров этого уравнения должны входить только безразмерные параметры α, β , максимальная температура t_{\max} , а также отношение давления насыщенных паров воды к атмосферному давлению $\gamma = \frac{P_{\text{нас.}}}{P_0}$.

2.2 Рассчитайте значения относительной высоты уровня воды в трубке от температуры $z(t)$, для температур, приведенных в Таблице 2. Постройте график полученной зависимости.



Задание 2. Капельница Кельвина.

Капельница Кельвина — электростатический генератор, изобретённый Уильямом Томсоном (лордом Кельвином) в 1867 году. Простая конструкция позволяет, тем не менее, получить напряжения порядка 10 кВ.

В настоящее время имеется много различных модификаций этого прибора, который в настоящее время рассматривается как забавная игрушка.

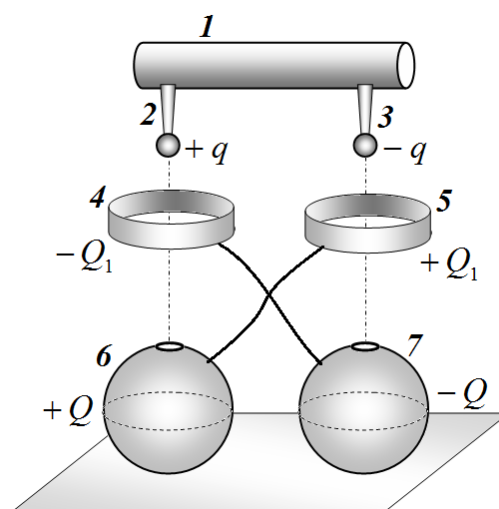
В данном задании рассмотрим следующую упрощенную модель этого устройства.

Цилиндрический сосуд 1, заполненный водой, снабжен двумя небольшими трубочками — капельницами 2 и 3, из которых с некоторым интервалом падают капли. Капли пролетают через проводящие кольца 4 и 5 и попадают в проводящие сферические сосуды 6 и 7 с небольшими отверстиями. Сосуды соединены с кольцами «крест-накрест».

Принцип работы этого электростатического генератора очевиден:

- изначально сосудам 6 и 7 сообщают небольшие электрические заряды противоположного знака $+Q$ и $-Q$; радиусы этих сосудов равны R . Электростатическим воздействием одного сосуда на другой следует пренебречь;
- часть этих зарядов $\pm Q_1$ перетекает на кольца 4 и 5; два кольца служат обкладками конденсатора, электрическая емкость которого равна C ; так как эта емкость мала, то следует считать, что $|Q_1| \ll |Q|$; Радиусы колец равны r , они находятся на расстоянии h от концов трубок с каплями, толщина колец значительно меньше из радиусов;
- электрическое поле колец индуцирует на каплях заряды $\pm q$, радиусы капель равны a ; расстояние от сосудов 6 и 7 до капель достаточно велико, поэтому влиянием поля сосудов на капли можно пренебречь; Расстояние между каплями также значительно больше радиусов капель; сосуд с водой 1 заземлен;

Таким образом, капли приобретают электрический заряд, который при попадании капли в сосуд передается соответствующему сосуду, увеличивая его заряд.



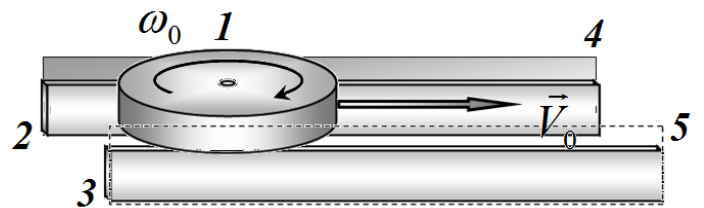
1. Пусть заряды каждого сосуда равны $\pm Q$. Найдите, какие заряды $\pm Q_1$ возникают на кольцах.

2. Рассчитайте электрические заряды капель $\pm q$. Величину этого заряда можно представить в виде $q = \alpha Q$, где α - некоторый безразмерный коэффициент. Запишите формулу для этого коэффициента.

3. Обозначим заряды сосудов до падения первых капель $\pm Q_0$. Найдите заряды этих сосудов, после того, как в них упало по N капель. Ответ выразите через коэффициент α .

Задание 3. Диск на рельсах.

Массивный однородный диск 1 радиуса R может скользить по двум узким горизонтальным параллельным рельсам 2 и 3. Диск опирается на рельсы своими краями. Коэффициент трения диска о рельсы равен μ . По бокам рельсов расположены упорные стенки 4 и 5, не позволяющие диску соскользнуть с рельсов. Трением диска об эти упорные стенки можно пренебречь.



Часть 1. Динамика вращательного движения.

Пусть ось диска удерживается **неподвижной**, при этом диск вращается, опираясь на рельсы. Диск раскрутили до угловой скорости ω_0 и положили на рельсы. Обозначим скорость крайних точек диска относительно его центра $v = \omega R$.

1.1 Покажите, что изменение модуля скорости крайних точек диска описывается уравнением

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = -4 \frac{F_{тр.}}{m}, \quad (1)$$

где $F_{тр.}$ - сила трения, действующая на диск со стороны одного рельса, m - масса диска.

Это уравнение описывает изменение скорости вращательного движения и в случае наличия поступательного движения.

Подсказка: Кинетическая энергия диска, вращающегося вокруг собственной оси с угловой скоростью ω равна

$$E_{кин.} = \frac{mR^2\omega^2}{4} = \frac{mv^2}{4}. \quad (2)$$

1.2 Найдите, за какое время угловая скорость диска уменьшится в два раза.

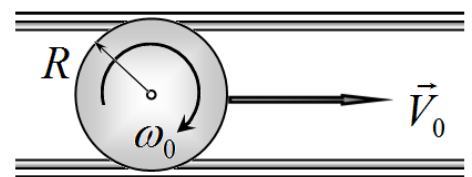
1.3 Найдите, сколько оборотов сделает диск до полной остановки.

Часть 2. Движение диска по рельсам.

Далее считаем, что диск может двигаться поступательно по рельсам.

Диск раскручивают до угловой скорости ω_0 вокруг его оси, аккуратно кладут на рельсы и сообщают скорость $V_0 = 2\omega_0 R$, направленную вдоль рельсов.

вид сверху



2.1 Нарисуйте схематические графики зависимости модулей скорости поступательного движения V и скорости вращательного движения относительно оси $v = \omega R$ от времени.

2.2 Через какое время после начала движения скорости поступательного V и вращательного движения v станут равными?

2.3 Рассчитайте среднее ускорение оси диска после того, как скорости поступательного и вращательного движения стали равными.

2.4 Найдите, какой полный путь пройдет диск до остановки (ответ выразите через V_0 и μ).