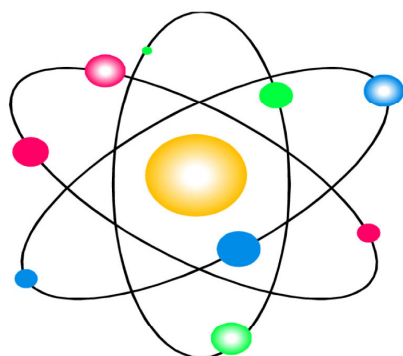


Министерство образования и науки Хабаровского края

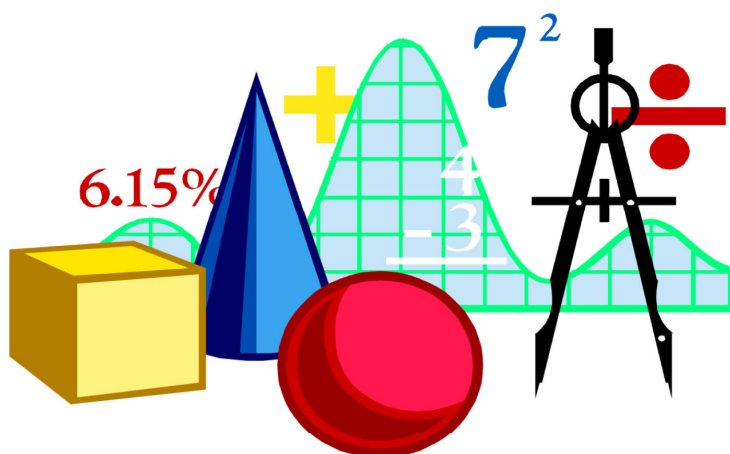
Краевое государственное бюджетное образовательное учреждение
дополнительного образования
«Хабаровский краевой центр развития творчества детей и юношества»

Хабаровская краевая заочная физико-математическая школа



Л.В. Горбанева, И.Н. Егоршин, А.Ф. Немцев

ФИЗИКА: методическое пособие



Хабаровск
2017

Л.В. Горбанева, И.Н. Егоршин, А.Ф. Немцев

ФИЗИКА: методическое пособие

учебно-методическое пособие для студентов-бакалавров педагогических направлений подготовки и учащихся старших классов общеобразовательных учреждений

Подписано к печати 17.07.2017 г. Формат 60х84 1/16.

Тираж 100 экз.

КГБОУ ДО «Хабаровский краевой центр развития творчества детей и юношества».
680000, г. Хабаровск, ул. Комсомольская, 87

© Министерство образования и науки Хабаровского края, 2017

© КГБОУ ДО «Хабаровский краевой центр развития творчества детей и юношества», 2017

© Л.В. Горбанева, И.Н. Егоршин, А.Ф. Немцев, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Горбанева Лариса Валерьевна, ст. преподаватель кафедры физики ТОГУ

Решение экспериментальных задач по физике	4
Проверка правильности решения экспериментальных задач	8
Учет погрешности измерений	15
Задания для самостоятельного решения	26

Егоршин Иван Николаевич, ст. преподаватель кафедры физики ТОГУ

Решение олимпиадных задач	39
1. Кинематика	41
2. Динамика	43
3. Механика жидкостей и газов	44
4. Молекулярная физика и термодинамика	45
5. Электричество и магнетизм	47
Задачи для самостоятельного решения	49

Немцев Аркадий Фёдорович, директор ХКЗФМШ

Решение задач на расчет тепловых процессов	57
Основные физические законы и формулы	66
Примеры решения задач	68

Решение экспериментальных задач по физике

Физические задачи весьма разнообразны. Среди множества физических задач особое место занимают экспериментальные задачи. В физике экспериментальными задачами называют такие, где постановка и решение органически связаны с экспериментом (с различными измерениями, воспроизведением физических явлений, наблюдениями за физическими процессами, сборкой установок электрических цепей и т. п.).

Экспериментальные задачи можно условно разделить на качественные, количественные, творческие и задачи-оценки.

В решении *качественных экспериментальных задач* отсутствуют числовые данные и математические расчеты. В этих задачах требуется или предвидеть явление, которое должно совершиться в результате опыта, или самому воспроизвести физическое явление с помощью данных приборов. Общий вид решения можно представить следующим образом: соберите – включите – посмотрите – зарисуйте – сделайте вывод (словесная формулировка). Например, в таком эксперименте проверяется «закон сообщающихся сосудов».

При решении *количественных экспериментальных задач* сначала производят необходимые измерения, а затем, используя полученные данные, вычисляют с помощью математических формул ответ задачи. Общий вид решения можно представить следующим образом: соберите – измерьте – вычислите – постройте график – запишите результат в тетрадь. Например,

эксперимент, в котором регистрируются различные удлинения одной и той же пружины, если на ней подвешены разные грузы, относится к этому типу.

Количественные экспериментальные задачи также можно разделить на несколько видов:

1. задачи, в которых для получения ответа приходится либо измерять необходимые физические величины, либо использовать паспортные данные приборов (реостатов, ламп, электроплиток и т. д.), либо экспериментально проверять эти данные;

2. задачи, в которых необходимо самостоятельно устанавливать зависимость и взаимосвязь между конкретными физическими величинами. Например, «Проверить, зависит ли (и если да, то как) сила тока в данной спирали от напряжения на ее клеммах?», «Проверить, зависит ли (и если да, то как) сила тока в данной цепи от изменения сопротивления магазина, включенного в эту цепь, при постоянном напряжении на его клеммах?».

Творческие эксперименты можно представить так: дан некий набор оборудования, которое можно использовать в эксперименте, дан объект исследования, сформулирована конечная цель, однако не даны чёткие однозначные инструкции, следуя которым можно было бы добраться до конечной цели. Это, например, такие задачи, в которых необходимо с помощью данных приборов и принадлежностей показать конкретное физическое явление без указаний на то, как это сделать, или собрать электрическую цепь, сконструировать установку из готовых деталей в соответствии с условиями задачи. Решение таких задач требует творческого мышления и смекалки. Например, «В стаканы с холодной и горячей водой бросили одинаковые кусочки марганцовки. В каком из них вода окрасится быстрее по всему объему?».

Задачи-оценки – это задачи на глазомерное определение физических величин с последующей экспериментальной проверкой правильности ответа. Для проведения оценки необходимо детально рассмотреть явление или процесс, отделить главные факторы от второстепенных, и на основании этого построить разумную физическую модель. При составлении модели предполагается, что исследователь сам может определить реальные значения физических величин, используемых в дальнейшем для расчетов. К физической модели предъявляются противоречивые требования – с одной стороны, модель должна быть достаточно простой, с другой – более-менее точно отражать ход моделируемого явления или процесса. Они помогают предварительно оценивать результаты измерений и тем самым правильно выбирать нужные для опыта приборы и инструменты.

Основные этапы решения экспериментальной задачи сходны с решением любой физической задачи, но имеются некоторые особенности. Обычно экспериментальные задачи не имеют всех данных, необходимых для решения, поэтому приходится сначала осмыслить физическое явление или закономерность, о которой говорится в задаче, выявить, какие данные нужны, продумать способы и возможности их определения, найти и только на заключительном этапе подставить в формулу.

Характерным для решения таких задач является работа по отысканию нужных для решения данных, а также способов получения этих данных. Поэтому при анализе задачи и составлении плана решения существенным моментом является поиск ответов на вопросы:

- Какие данные необходимы для решения?
- Как их получить, используя опыт?
- В каких единицах они должны быть выражены?
- Какие измерения и с какой точностью необходимо произвести?

Таким образом, решение экспериментальных задач состоит в ответе на поставленные вопросы.

Как правило, результатом эксперимента или наблюдения является таблица значений, которую в дальнейшем, при анализе данных эксперимента обрабатывают с использованием специальных методов. Наиболее простым способом обработки является графическая обработка. Графические методы позволяют наглядно представить взаимную связь между измеряемыми величинами и позволяют непосредственно осуществлять ряд измерительных и вычислительных операций (интерполяция, экстраполяция, дифференцирование и интегрирование).

Еще одной особенностью экспериментальной задачи от просто расчетной задачи является то, что в условии обычной текстовой задачи можно сделать оговорку об идеализации физического явления или процесса, например, трение не учитывать, напряжение источника тока постоянно, сопротивление амперметра в расчет не принимать и т.д. В экспериментальной задаче такая идеализация не всегда возможна, и с влиянием сопутствующих факторов приходится считаться, их нужно заранее выявить и по возможности устранить. Например, тела, объем которых определяют через линейные размеры, должны быть строго правильной геометрической формы; кусок дерева, объем которого определяют с помощью мензурки, надо покрыть парафином и т. п.

При выполнении экспериментальной части задач необходимо соблюдать элементарные правила по технике безопасности:

а) перед включением электроизмерительных приборов в цепь выяснить, соответствуют ли пределы измерения этих приборов значениям силы тока и напряжений в данной цепи;

б) источник тока включать в цепь последним, после визуальной проверки цепи;

- в) применять в качестве соединительных проводов только изолированную проволоку и провода с исправной изоляцией;
- г) не производить переключения в цепи под напряжением;
- д) горючие жидкости располагать дальше от горящей спиртовки или включенной электроплитки;
- е) при использовании в опытах тяжелых грузов применять подставки и прочные нити.

Проверка правильности решения экспериментальных задач.

Экспериментальная проверка правильности решения может быть осуществлена разными способами в зависимости от типа и содержания задач.

1. Решение большинства количественных экспериментальных задач проверяется путем непосредственного измерения искомой величины с помощью соответствующих приборов. Для уменьшения погрешности при измерениях необходимо использовать приборы нужной точности. При отсутствии точных измерительных приборов следует изменять формулировку вопроса так, чтобы проверку решения задачи можно было осуществить либо используя тела больших размеров, большей массы, мощности и т. п., либо качественно.

Например: «Используя весы и разновес, определить объем данного стального болта. Ответ проверить с помощью мензурки». Пусть объем этого болта – 20 см^3 . Имеющейся мензуркой с ценой деления 25 см^3 проверить такой объем нельзя. Для решения этой задачи необходимо взять, например, пять одинаковых стальных болтов, проверить объем всех болтов с помощью мензурки и результат разделить на 5.

2. Решение некоторых количественных экспериментальных задач проверяется с помощью другого контрольного опыта, т.е. измерение искомой величины производится другим способом и другими приборами. Например, в

задаче найдено сопротивление куска проволоки по его размерам и удельному сопротивлению. Полученный ответ можно проверить, определив сопротивление этого куска проволоки с помощью амперметра и вольтметра на основании закона Ома.

3. Решение части количественных экспериментальных задач проверяется по таблицам или паспортным данным, указанным на приборах.

4. Имеются такие количественные экспериментальные задачи, решение которых контрольным опытом проверить в школьных условиях невозможно (например, задачи на определение коэффициента полезного действия, потерь тепла и др.). При решении таких задач необходимо оценить влияние различных условий на результат опыта, для предотвращения погрешностей.

5. Решение качественных экспериментальных задач проверяется, как правило, с помощью постановки контрольного опыта. Например, в задаче дано описание опыта, требуется предсказать его результаты. Контрольный эксперимент либо подтвердит ответ, либо опровергнет. Частичного совпадения логического решения и опыта здесь не должно быть, поэтому необходимо свести к минимуму все побочные факторы, отрицательно влияющие на результат эксперимента. Приборы для контрольного опыта подбираются самостоятельно.

Рассмотрим примеры решения экспериментальных задач.

Пример 1. Определите плотность деревянного бруска.

Для определения плотности деревянного бруска необходимо знать массу и объем бруска. В домашних условиях объем можно определить с помощью линейки и расчетов, а определить массу бруска без специальных приборов невозможно. Поэтому воспользуемся условием плавания тела: если тело плавает, значит, сила тяжести равна выталкивающей силе.

Если брусок заставить плавать в жидкости, то согласно условию плавания тел можно записать: $F_{тяж} = F_{арх}$ или $mg = \rho_в g V_{погр}$. Массу бруска определим с помощью формулы: $m = \rho_б V$.

Тогда, $\rho_б V g = \rho_в g V_{погр}$ или $\rho_б V = \rho_в V_{погр}$, где $\rho_б$ – плотность бруска, $\rho_в$ – плотность воды, V – объем бруска, $V_{погр}$ – объем погруженной при плавании части бруска. Тогда для определения неизвестной плотности бруска необходимо знать объем всего бруска, объем погруженной части бруска и плотность воды. Плотность воды определим из таблицы плотностей. Тогда необходимо экспериментально определить объем всего бруска и объем погруженной части бруска. Для этого способа достаточно будет использовать следующее оборудование: линейка, сосуд с водой, мерный стакан. Если плотность воды мы возьмем в единицах $кг/м^3$, тогда объем бруска также необходимо определять в $м^3$. Это неудобно, поэтому лучше взять из таблицы плотность воды в $г/см^3$ и определять объем в $см^3$ или в $мл$.

Для получения данных заполним сосуд водой насколько это возможно (желательно под сосуд с водой поставить тарелку). Пусть объем жидкости равен $V_с$. Аккуратно опустим брусок в сосуд с водой (он будет плавать в воде). Объем вытесненной воды определим с помощью мерного стакана. Этот объем равен объему погруженной части бруска $V_{погр}$.

Наполним вновь сосуд полностью водой. Аккуратно погрузим весь брусок в воду. Некоторая часть воды вновь выльется из тарелки. Измерим этот объем мерным стаканом. Это будет объем всего бруска V .

Измерения необходимо выполнять несколько раз, при этом полученные в результате эксперимента данные желательно заносить в таблицу. После этого проведем необходимые расчеты.

№ опыта	Объем бруска V, мл	Объем погруженной части $V_{\text{погр}}$, мл	Плотность бруска, г/см ³
1	148	78	0,53
2	152	77	0,50
3	150	74	0,49

Получаем три значения. Берем среднее значение $0,51 \text{ г/см}^3$.

Несмотря на идейную простоту, задача требует известного экспериментального искусства и внимательности. Небрежно выполненный эксперимент приводит к ощутимой ошибке в определении плотности дерева.

Пример 2. Оценка времени реакции экспериментатора.

Оборудование: деревянной школьной линейки длиной 30 сантиметров.

Поскольку время реакции довольно мало – оно составляет 0,1-0,3 секунды, и обычным секундомером измерить его нельзя (мешает то же время реакции) придётся либо пользоваться электронным секундомером, добавляя к нему несложные электронные или электромеханические приставки, либо нужно придумать что-нибудь нетривиальное. Так как условие задачи поставлено не очень жёстко – экспериментатор может сам предложить определение «времени реакции», приспособленное к придуманному им методу измерений. Поэтому одним из способов решения этой задачи можно предложить следующий: заметив какое-то событие (стимул), человек должен на него отреагировать, и время запаздывания будем считать искомым временем реакции. Конечно, всё тут нужно сделать так, чтобы не добавить к времени реакции ничего лишнего – действие экспериментатора, которым он реагирует на стимул, не должно само занимать значительного времени (тут не годится запись в журнал наблюдений времени прихода стимула). Тогда ход решения задачи следующий: помощник держит линейку так, что она свисает вниз, причём

нулевое деление удобно иметь снизу. Экспериментатор держит большой и указательный палец правой (левой – если он левша) руки так, что нижний конец линейки находится между пальцами и ему легко схватить падающую линейку. Помощник неожиданно отпускает линейку, экспериментатор зажимает её двумя пальцами так быстро, как сумеет. Линейка успеет пролететь некоторое расстояние – его можно измерить по её же делениям, удобно вначале держать пальцы напротив нулевого деления линейки. По этому расстоянию определим время падения, считая движение линейки равноускоренным. Важно, чтобы экспериментатор держал пальцы поближе друг к другу, не касаясь при этом линейки.

Необходимо учитывать, что результаты такого эксперимента нуждаются в статистической обработке. Обычное расстояние, которое пролетает линейка, составляет 14-22 см, но в части опытов экспериментатор, зазевавшись, вообще не ловит линейку, а иногда ему удаётся «подстеречь» помощника и поймать линейку практически сразу. Ясно, что ни тот, ни другой результат не имеют прямого отношения к времени реакции, поэтому такие результаты мы просто отбросим. Проведём достаточно длинную серию измерений – несколько десятков, очень хорошо сделать несколько серий, меняясь местами с помощником (разумеется, результаты каждого участника нужно учитывать отдельно).

Модификации этого опыта могут быть такими – испытуемый держит глаза закрытыми и должен отреагировать на звуковой сигнал, синхронизированный с моментом отпускания линейки. Сигналом может служить резкое изменение частоты звукового сигнала или прикосновение к его руке.

Во всех случаях среднее время реакции будет по порядку величины одним и тем же, но может отличаться весьма существенно (до 50%).

Этот пример показывает, что часто для улучшения точности оценки измеряемой величины можно использовать усреднения «разбросанных» результатов. В самом деле – будем полагать, что есть некоторое характерное время реакции данного экспериментатора и множество факторов, которые искажают результат, одни факторы занижают, другие – завышают оценку измерения. Ясно, что при усреднении значительного числа измерений мы уменьшим ошибку определения интересующей нас величины. Если факторов много, влияние их независимо и они примерно одинаковы по влиянию на результат, их сумму можно считать гауссовой случайной величиной. Широко распространённые методы расчёта «стандартного отклонения среднего» основаны именно на такой модели. Насколько она разумна? Ну, если речь идёт о хорошей лабораторной установке, где причины больших возможных ошибок устранены и остались только неустранимые флуктуации, то такая модель вполне подходит. А вот в «школьном» эксперименте с не очень точными и никогда не проверяемыми приборами предположение о гауссовой случайной погрешности вовсе не является разумным и часто приводит к очень заниженным оценкам погрешностей. В нашем случае измерений «с линейкой» сама по себе измеряемая величина не очень чётко определена, поэтому мы не вычисляем погрешность её измерения, а просто уменьшаем влияние факторов разброса.

Пример 3. Измерение веса небольшого куска бумаги

Оборудование: небольшой кусок миллиметровки (или купюры 10 руб), разновес массой 1г, круглый незаточенный карандаш.

Проще всего взвесить кусок бумаги на весах, но их использовать нельзя – в списке оборудования весы отсутствуют. Наличие разновеса известной массы подсказывает способ с применением рычага – но в данной ситуации ничего похожего на рычаг нет – карандаш плохо подходит для этой цели, да

и применять его можно только для рисования. Единственная вещь, из которой можно попробовать сделать рычажные весы, – сам кусок бумаги. Правда он совсем мягкий и гнётся – но это не беда, его можно сложить в несколько раз, сделать полоску и отогнуть края.

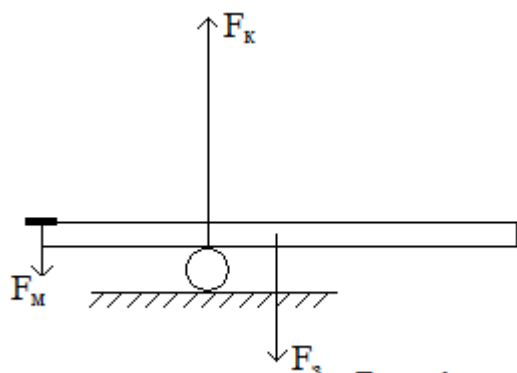


Рис. 1

Получится этакий «швеллер» из бумаги – довольно жёсткий и лёгкий. Эту полоску можно уравновесить на пальце, на карандаше, на ещё одной конструкции, изготовленной из бумаги, и т.п. Важно только точно отметить положение прямой, относительно которой наступает

равновесие. Далее можно поступить таким образом: укрепить монетку на краю полоски и снова её уравновесить. Все расстояния можно измерять прямо по миллиметровым отметкам на полоске, смещение двух осей равновесия и длина прямоугольной полоски дают возможность рассчитать отношение масс полоски и монетки, т. е. найти массу бумажки. Разумеется, полезно сделать несколько измерений при разных положениях монеты относительно полоски. На рис. 1 показаны силы, действующие на бумажный швеллер со стороны других тел: монеты, карандаша, Земли.

Если сравнить результаты грамотно проведённых измерений и результат прямого взвешивания на точных весах (т.е. используя для проверки результата весы) есть возможность оценить точность полученных результатов. Точность получается довольно хорошей, погрешность составляет порядка 3-5%. Этот способ интересен для взвешивания совсем лёгких тел – зёрна риса, таракана – отдельная проблема возникает, если таракан ещё жив, – и т.п.

Учет погрешности измерений

При измерениях физических величин возникает множество проблем. Некоторые измерения можно делать «напрямую» – измерение температуры воды в стакане термометром, измерение напряжения батарейки вольтметром, измерение длины карандаша линейкой, измерение длительности урока секундомером. Такие измерения называют прямыми, они достаточно просты. Впрочем, трудности могут появиться и в этих случаях – при попытке измерить маленький интервал времени (например, время падения шарика с высоты 20 см), при измерении диаметра шара – не так просто приложить к нему линейку, при измерении напряжения в высокоомной цепи (подключение вольтметра может сильно изменить эту величину). Похожая ситуация возникает, когда мы пытаемся измерить температуру маленькой порции горячей воды в сосуде при помощи здорового термометра: он покажет нам температуру, даже довольно точно, если это точный термометр, но совсем не ту, что была у воды в пробирке до нашего измерения. Но чаще приходится иметь дело с измерениями, в которых результат получается при комбинировании напрямую измеренных величин. Например, при нахождении плотности материала, из которого сделан данный предмет, придётся измерить его массу и размеры, после чего мы сможем посчитать плотность. Такие измерения называют «косвенными».

Кстати, не всегда удаётся чётко определить, имеем ли мы дело с прямым или косвенным измерением – например, при измерении температуры обычным термометром мы наблюдаем изменение объёма жидкости при нагревании, точнее – разницу изменения внутреннего объёма сосуда, в который налита жидкость, и самой жидкости, просто термометр заранее «отградуирован» в единицах измеряемой температуры. Получается, что прямое измерение имеет место в случае, когда у нас есть специальный прибор для измерения данной величины. Впрочем, дело тут не в

определениях, важно понять, как можно оценить погрешность измерений – возможную неточность полученного нами результата. Разберёмся с погрешностями на простом примере.

Итак, мы хотим измерить плотность материала, из которого сделан выданный нам брусок, пусть это будет металлический сплошной брусок прямоугольной формы. Взвесив брусок на весах, получим его массу. Пусть в нашем случае получилось 74,3 г. Предположим, что мы измерили его длину, ширину и высоту при помощи обычной деревянной линейки и получили для них значения 32, 25 и 12 миллиметров соответственно. Какую точность следует приписать полученным числам? Если бы мы измеряли при помощи этой линейки расстояние между двумя чётко обозначенными точками на плоскости (поставленными твёрдым и хорошо заточенным карандашом или, что лучше, наколотыми тонкой иглой), мы могли бы считать, что погрешность определяется только точностью измерительного прибора – линейки, тогда можно взять «полделения» в качестве разумной оценки погрешности. Такой выбор не так уж плох – если изготовитель линейки разумен, он не станет увеличивать цену простого измерителя, нанося на него больше делений, чем необходимо для реализации его точности (размеры линейки из дерева изменяются со временем – она разбухает при увеличенной влажности, деформируется при высыхании, просто меняется со временем); металлические линейки лучше, однако и их размеры через некоторое время после изготовления становятся не очень точными, кроме того, толщина штриха на линейке не так мала, как хотелось бы. В том случае, когда размеры для измерения не так хорошо определены, – а в нашем случае это именно так, – погрешность получится выше, даже если форма тела очень близка к правильной, прямоугольной и мы расположили линейку точно вдоль граней.

В общем, если отнестись к точности наших измерений с некоторым оптимизмом, можно взять такие значения: длина 31-33 мм, ширина 24-26 мм,

высота 11-13 мм. Для нахождения погрешности определения объёма воспользуемся так называемым «методом границ» – смысл его вполне ясен из названия. Минимальное значение объёма определяется произведением наименьших величин, максимальное – наибольших:

$$V_{\text{мин}} = 31 \cdot 24 \cdot 11 = 8184 \text{ мм}^3, \quad V_{\text{макс}} = 33 \cdot 26 \cdot 13 = 11154 \text{ мм}^3.$$

Тогда $V = (9669 \pm 1485) \text{ мм}^3$, хотя лучше округлить и написать $V = (9,7 \pm 1,5) \cdot 10^3 \text{ мм}^3$.

Считая измеренное значение массы бруска 74,3 г точным (даже простые школьные весы обеспечивают очень высокую точность измерения массы, неточность измерения при аккуратном подходе не превысит 20-30 мг, что составляет $30 \cdot 10^{-3} / 75 \approx 4 \cdot 10^{-4} < 0,05\%$, что во много раз меньше ошибок при измерении размеров), мы получим верхнее значение плотности, разделив массу на наименьшее возможное значение объёма – нижнюю границу для измеренной нами величины, а нижнее значение плотности – разделив массу на наибольшее значение объёма.

Дальше всё просто – в качестве измеренного значения разумно взять полусумму полученных значений, а в качестве погрешности измерений – полуразность.

Нужно сказать вполне определённо – никакого более разумного способа, чем описанный, просто нет! Никакие изощрённые математические методы не могут улучшить точность грубых измерений!

Мы можем, конечно, сделать более оптимистическую оценку точности наших измерений. Эта оценка может опираться на предположение о том, что не стоит брать самые крайние вычисленные значения объёма, можно вместо них попробовать «наиболее вероятные» значения (обычно в таких случаях экспериментатор начинает быстро и убедительно говорить о том, что измерения длины, ширины и высоты – независимые, вряд ли ошибки получатся «в одну сторону» и т. п.). В общем, трудно помешать

экспериментатору обманывать себя самого, если он стесняется своих грубых измерений и хочет получить результаты «поточнее»... Но в таких случаях уже нельзя гарантировать «попадание» истинного значения измеряемой величины в указанный диапазон, а это плохо – выводы на основе наших измерений могут быть сомнительными.

В нашем случае после небольшого округления получим $\rho=(7,8\pm1,2)\text{г/см}^3$. Именно в таких границах лежит правильное значение измеренной нами величины. Точность получилась довольно плохой – с такими измерениями отличить даже один металл или сплав от другого можно не слишком уверенно. Главный вклад в погрешность дают измерения размеров – можно попробовать использовать штангенциркуль или микрометр, это позволило бы улучшить результат для тел правильной формы, хотя даже для цилиндрического тела измерить диаметр не так уж просто... Кстати, в тех случаях, когда точность измерительного прибора превышает возможность отсчёта по его грубой миллиметровой шкале, можно воспользоваться «нониусом», который есть и на штангенциркуле, и на микрометре.

Дело усложняется, если объём не удаётся определить прямыми измерениями размеров тела, например, для тела неправильной формы. В этом случае рекомендуют измерять объём, погружая тело в измерительную кювету с водой, – по повышению уровня воды. Эти измерения тоже не слишком точны. Главная проблема всё равно остаётся – мы определяем плотность по нескольким величинам, которые измерены с очень различающейся точностью. Известен способ намного более точного определения плотности тел произвольной формы – при помощи «гидростатического взвешивания». Метод сводится к двукратному взвешиванию тела – один раз в воздухе, другой – при погружении тела в воду целиком (в этом варианте можно определять плотность только у «тонущих»

тел, а для определения плотностей, меньших, чем у воды, способ нужно немного усложнить, привязав к лёгкому телу гирьку). Чашка школьных весов легко поворачивается на 90° вокруг горизонтальной оси и в этом положении позволяет привязать тело нитью к весам. По результатам двух измерений легко определить плотность – точнее говоря, отношение плотности тела к плотности воды, а плотность воды известна довольно точно. При таких измерениях объём тела определять не нужно, поэтому и дополнительного ухудшения точности из-за неточно известных размеров тела не будет. Впрочем, грамотно провести измерения не так просто – нужно позаботиться о том, чтобы нитка, на которой тело подвешено, не намокла, чтобы не пришлось учитывать не такой уж малый добавленный вес воды, с поверхности тела придётся тщательно удалить прилипшие пузырьки воздуха – для грубых измерений всё это несущественно, а в нашем случае жалко терять точность из-за факторов, о которых легко заранее позаботиться.

Для специальных случаев, например для определения плотности тел чуть тяжелее воды, можно придумать специальные способы: растворить в известном объёме воды известное количество соли, подобранное так, чтобы тело не тонуло и не всплывало, – таким образом можно довольно точно измерить небольшие отклонения плотности от плотности воды. А если предмет чуть легче воды, можно прикрепить к нему несколько маленьких гирек – пока не начнёт тонуть. В этих случаях можно даже не взвешивать тело. Очень полезно соорудить из пробирки, нескольких дробинок и пластилина простой ареометр для нахождения плотности жидкости – получившийся прибор можно проградуировать по нескольким растворам, а затем сравнить результаты с расчётными.

Скажем ещё несколько слов о применении жидкостей: при помощи обычной ванны можно взвешивать довольно точно громоздкие и тяжёлые предметы (для тел поменьше годится не ванна, а большая кастрюля). В

специально приготовленную «лодочку» помещают взвешиваемый предмет и отмечают на боковой стенке уровень воды. Вынув предмет из лодочки (он должен был плавать с лодочкой, а не тонуть), будем доливать воду мерным стаканом – пока уровень не станет равен отмеченному. Масса влитой воды равна массе вынутого из лодочки предмета. Обратим внимание на то, что это измерение проводится «методом замещения» – влитая вода «замещает» интересующий нас предмет, точность измерений определяется точностью отсчёта уровня воды, форма ванны (кастрюли) роли не играет. Кстати, тут возможен и ещё один хороший способ – не доливать в ванну воду, а замещать взвешиваемый предмет гирями, если их будет достаточно. На этих примерах видно, как анализ погрешностей может подсказать необходимость изменить метод измерений; иногда этот анализ помогает и при выборе конкретной методики измерений.

На практике разброс результатов при нескольких измерениях может существенно превышать вычисленную «приборную» ошибку. В этих случаях можно утверждать, что в процесс измерений вторгается неучтённый дополнительный фактор, который неизвестным для нас способом то увеличивает, то уменьшает (или по-другому увеличивает) измеряемую величину. Собственно, именно по наличию разброса мы можем этот фактор увидеть – если бы он просто увеличивал измеренную нами плотность, скажем, на 2 г/см^3 , мы могли бы его влияния и не заметить... Как же поступать в таких случаях, когда мы фиксируем разброс результатов при нескольких измерениях? Если этот разброс находится в пределах приборных ошибок, на него можно просто не обращать внимания. Но часто он получается довольно большим.

Конечно, лучше всего проанализировать ситуацию, найти причину разброса и устранить её. Например, каждое следующее измерение длины проволоки линейкой даёт результат больше предыдущего – тут всё понятно,

не надо было так сильно тянуть, выбросьте этот кусок проволоки и повторите измерения – только аккуратнее. Или другой случай: при измерениях силы трения, действующей на деревянный кубик со стороны стола, разброс может быть связан с тем, что в процессе измерений кубик опирался на стол то одной, то другой гранью или двигался иногда «вдоль волокон», а иногда поперёк. В этом случае достаточно сделать процесс измерений единообразным (ещё лучше – исследовать зависимость силы трения от ориентации волокон). Но чаще всего в условиях нехватки времени причину установить не удаётся либо её не удаётся устранить. Что делать в таких случаях? Можно провести статистическую обработку результатов измерений. Представим себе, что мы каждый раз получаем точный результат, но по причине постороннего вмешательства результат искажается – к нему то прибавляется значение некоторой случайной величины, то ещё одно значение вычитается. Можно ли по результатам нескольких независимых измерений (нужно и в самом деле проводить измерения снова и снова, а не просто несколько раз смотреть на шкалу амперметра) оценить эту добавку, затем каким-то образом уменьшить её влияние и, наконец, грамотно записать ответ? Можно, и в большинстве случаев физики-экспериментаторы так и поступают.

Итак, алгоритм наших действий таков: производим эксперимент несколько раз – если разброс мал, то всё хорошо и ничего больше делать не надо. Если разброс велик – тут всё и начинается. Вычислим среднее значение измеренного параметра и найдём для каждого результата измерений «отклонение от среднего». Оценим такое отклонение – это как раз та самая «прибавляемая величина». Считать среднее значение этой величины бессмысленно – непременно получится нуль. Приходится поступать иначе – ведь для нас одинаково важны и отрицательные, и положительные отклонения. Найдём «среднеквадратичное» значение этих отклонений:

вначале возведём разности во вторую степень, просуммируем их и разделим сумму на число слагаемых. Осталось вычислить квадратный корень из этой величины, и мы получим разумную оценку того случайного влияния на результаты, о котором шла речь.

Например: результаты измерения роста трёх школьников 1 м, 2 м и 3 м. Среднее значение получается $\frac{1+2+3}{3} = 2\text{м}$. Теперь найдём разности: -1, 0, +1, среднее значение квадратов этих величин $\frac{1^2+0+(-1)^2}{3} = \frac{2}{3}$. Квадратный корень составляет 0,83 (точные вычисления тут не нужны, мы подсчитываем не слишком чётко определённую величину).

Означает ли это, что наша «случайная погрешность» равна этой величине? Нет, ведь это ошибка для одного измерения, а мы в качестве ответа выбрали среднее значение нескольких измерений, ошибка этой величины явно меньше, ведь при усреднении отклонения суммировались, часть отклонений были положительными, часть – отрицательным, они должны были хоть как-то скомпенсироваться. Так и должно быть. Вопросы эти многократно исследовались математиками, их выводы таковы: если разброс результатов измерений связан с общим действием множества факторов примерно одинаковой интенсивности, то ошибка среднего меньше ошибки одиночного измерения примерно в «корень из n» раз, то есть, проведя сотню измерений, мы могли бы изрядно снизить влияние факторов разброса – примерно в $\sqrt{100} = 10$ раз.

Правда, в этом случае можно получить и более точную оценку для «погрешности однократного измерения» – оказывается, при её нахождении делить сумму квадратов нужно не на число измерений N, а на величину N-1, и при этом получается более точная (так называемая «несмещённая») оценка.

В нашем случае погрешность одного измерения будет равна $\sqrt{\frac{1^2+0+(-1)^2}{2}} = 1$

и погрешность среднего составит $\frac{1}{\sqrt{3}} \approx 0,6$. Мы могли бы теперь записать:

средний рост $H_{\text{ср}} = (2 \pm 0,6)$ м.

Пример не слишком хорош – числа взяты «с потолка», но зато понятно, как нужно считать. Разумеется, для получения хорошего результата в условиях «случайных помех» нужно проводить побольше независимых измерений, но на практике может просто не хватить отведённого на эксперимент времени. Нам придётся в самом начале измерений оценить приборную ошибку и провести два – три независимых измерения, чтобы грубо оценить разброс. Теперь нужно сравнить эти величины и принять решение – следует ли проводить длинную серию измерений, или разброс поглощается приборной ошибкой. Например, для случая приборной ошибки 5% и разброса 2% серия измерений не понадобится, а при разбросе 20% нужно статистической обработкой эту величину уменьшать. Хорошо бы провести такую длинную серию, чтобы «пересчитанный» разброс оказался хотя бы вдвое меньше приборной погрешности; в нашем случае для этого будет нужна серия длины $\left(\frac{20}{0,5 \cdot 5}\right)^2 = 64$. Конечно, это очень много – можно не успеть. Зато понятно, к чему следует стремиться. И если мы успели провести только 10 измерений, то мы не добились поглощения ошибок разброса – «случайных ошибок», поэтому придётся в общей оценке погрешностей учесть как приборную, так и случайную ошибки. Обычно это делают по формуле

$$\Delta_{\text{общ}} = \sqrt{\Delta_{\text{приб}}^2 + \Delta_{\text{разб}}^2} = \sqrt{0,05^2 + \frac{0,2^2}{10}} \approx 0,08 = 8\%$$

Можно было считать и прямо «в процентах»:

$$\sqrt{5^2 + \frac{20^2}{10}} = \sqrt{25 + 40} \approx 8\%$$

Хочется привести интересный пример: в работе «Измерение периода колебаний математического маятника» ученик измерил период колебаний при длине нити 40 см, затем – при длине 60 см и, наконец, при длине нити 80 см. Полученные результаты (0,9 с, 1,1 с и 1,8 с) отличались друг от друга, далее он нашёл среднее значение периода 1,27 с, а по приведённым выше формулам посчитал «разброс среднего значения». После этого он записал ответ: «Период колебаний математического маятника $T=(1,27\pm0,14)$ с».

Понятно, что это чушь! Вместо того чтобы (как и полагалось) исследовать зависимость периода колебаний маятника от длины нити, экспериментатор счёл эту зависимость результатом действия посторонних, мешающих факторов – и устранил влияние этих факторов статистической обработкой. В результате он нашёл значение периода для некоторой «средней» длины нити, при этом эта самая длина вовсе не равна среднему значению длин в эксперименте, она остаётся неизвестной.

Скажем несколько слов о приборных ошибках обычных измерителей. Линейка даёт погрешность порядка половины деления шкалы – но только в случае измерения расстояния между чётко обозначенными точками. Если сама «точка» представляет собой кляксу размером 3 мм, ожидать объявленной точности не приходится. Погрешность обычного термометра тоже можно считать равной половине деления, но есть и дополнительные источники ошибок измерения температуры – термометр показывает свою температуру, а она может отличаться от температуры исследуемого тела (не успел установиться режим равновесия – нужно анализировать время установления теплового равновесия в системе, при измерении температуры куска металла или дерева термометр вообще может показывать что угодно), есть и другие причины грубых ошибок измерения температуры (вспомним

про «температуру воздуха в тени»). Время измеряется секундомером довольно точно, но само нажатие кнопки всегда запаздывает (попытки нажать кнопку пораньше, чтобы «скомпенсировать время реакции», дают вообще непредсказуемые результаты).

Но для периодических процессов всё сильно упрощается – измерять нужно время не одного периода, а, скажем, 20 – время реакции можно при этом «разложить» на множество периодов и в несколько раз уменьшить соответствующую погрешность. Используя этот принцип электронные частотомеры (измеряющие огромное – миллионы – число периодов), позволяют получить ошибки измерения периода (или частоты) быстропротекающих периодических процессов всего порядка тысячных, а то и десятитысячных долей процента. Погрешность обычного, стрелочного вольтметра может достигать до 4% (для школьных измерительных приборов), причём эти проценты нужно считать не от измеряемой величины, а от максимального значения шкалы. Это означает, что, измерив обычным вольтметром (максимальное значение на шкале 6 В) напряжение батарейки и получив результат 1,5 В, следует записать ответ: $U=(1,5\pm0,24)$ В, погрешность при этом достигает 16%! Цифровые измерительные приборы обеспечивают куда лучшую точность, погрешность обычного «китайского мультиметра» при измерении напряжений составляет примерно полпроцента плюс дополнительная ошибка при отображении результата на дисплее прибора (обычно её оценивают как плюс-минус две – три единицы младшего отображаемого разряда, то есть при показаниях вольтметра 12,06 В, указанная неточность может составить дополнительно $\pm0,03$ В. В этом случае погрешность 0,5% от измеряемой величины составит примерно $\pm0,06$ В и практически определит точность измерений. Но при измерении токов или сопротивлений такой мультиметр может давать куда большие погрешности и первого (до 2-3%) вида, и второго (в некоторых случаях до 10-15 единиц

младшего разряда) – для уточнения стоит прочитать подробное описание конкретного прибора.

Разумеется, приведённые рецепты не слишком обоснованы и строги, в многочисленных пособиях даются самые разные советы по поводу оценки приборных ошибок, расчётов погрешностей косвенных измерений и статистической обработки результатов измерений. Не следует думать, что правильными могут быть только те варианты, в которых применяют непонятные математические методы (и чем непонятнее – тем правильнее), проблемы тут не столько в способах счёта, сколько в анализе причин как приборного, так и «случайного» разброса.

Задания для самостоятельного решения

1. Два одинаковых по массе шарика погружены один – в чистую, другой – в сильно солёную воду. Рычаг, к которому они подвешены, находится в равновесии. Определите, в каком сосуде чистая вода. Пробовать воду на вкус нельзя.
2. Из куска доски необходимо изготовить плот грузоподъёмностью 3Н. Рассчитать размер плота, чтобы он не затонул.
3. Как различить, имея в распоряжении пружину (или полоску резины), шпагат и кусок железа, в какой из двух непрозрачных сосудов налит керосин, а в каком – керосин с водой?
4. Измерьте площадь крышки стола.

Оборудование: нить, груз, штатив, секундомер

5. Вам даны два одинаковых резиновых мячика. Как доказать, что один из мячиков подпрыгнет выше другого, если их уронить с одинаковой высоты? Бросать мячи, сталкивать между собой, поднимать со стола, катать по столу – нельзя.

6. Гидростатическое взвешивание: измерить плотность пластилина, плотность мела (мел не мочить), массу деревянной линейки. Оборудование: деревянная линейка 40см, пластилин, кусок мела, мерный стакан, лезвие бритвы, штатив.
7. Допустим, что вам нужно наполнить водой большой бак известного объема с помощью гибкого шланга, снабженного цилиндрической насадкой. Вы хотите знать, сколько времени продлится это скучное занятие. Нельзя ли его вычислить, располагая только линейкой?
8. Оцените размер и массу пробкового спасательного круга, способного удержать на воде человека вашего веса.
9. Оцените среднюю плотность человеческого тела.
10. Разработайте метод определения объема комнаты с помощью достаточно длинной и тонкой нити, часов и гирьки.
11. Известно, что вес груза колеблется в пределах от 10 до 15Н. Как определить этот вес с помощью динамометра, предел измерения которого составляет 4Н.
12. Изготовьте модель механизма, сочетающего в себе рычаг с подвижным блоком, с помощью которого силой 1Н можно поднять груз массой 8Н. Проверить на опыте.
13. Измерить» с помощью линейки коэффициент трения. Оборудование: Деревянная линейка, брусок, шарик, коробочка с сухим песком
14. Имеется 8 совершенно одинаковых по размеру и виду шаров, изготовленных из одного материала. В одном из шаров имеется полость. Найти шар с полостью, пользуясь весами, причем разрешается произвести только два взвешивания. Найти минимальное число взвешиваний, при которых будет определен полый шар, находящийся в группе с произвольным числом шаров.
- Оборудование:* 8 шаров, весы.

15. Как вылить воду из банки, стоящей на столе, не прикасаясь к ней?
Оборудование: трёхлитровая банка, на $\frac{2}{3}$ заполненная водой, длинная резиновая трубочка.
16. Как измерить диаметр футбольного мяча с помощью жесткой (например, обычной деревянной) линейки?
17. Как найти диаметр небольшого шарика с помощью мензурки?
18. Вычислите внутренний радиус тонкой стеклянной трубочки, используя весы с разновесом, измерительную линейку, сосуд с водой.
19. Как найти скорость истечения воды из водопроводного крана, имея цилиндрическую банку, секундомер и штангенциркуль?
20. Как определить опытным путем конечную скорость, приобретаемую шариком, скатывающимся с наклонной плоскости.
21. Как определить положение центра масс гладкой палки, не пользуясь никакими инструментами?
22. Как определить, горизонтальное ли положение занимает плоский лист фанеры.
23. Как разделить содержимое цилиндрического стакана, до краев наполненного жидкостью, на две одинаковые части, располагая еще одним сосудом, но другой формы и несколько меньшего объема?
24. Как с помощью весов, набора гирь и сосуда с водой определить плотность камня, если его объем невозможно измерить непосредственно?
25. Как с помощью гирьки известной массы, легкого шнура, двух гвоздей, молотка, кусочка пластилина, математических таблиц и транспортира определить массу некоторого предмета?
26. Листок бумаги накройте книгой и рывком поднимите её. Почему за ней поднимается листок?
27. Как с помощью линейки можно определить в солнечную погоду высоту дерева, не влезая на него?

28. Линейкой «взвесить» воздух в физическом кабинете, т. е. с помощью линейки определить массу воздуха в кабинете физики.

29. Линейкой «измерить» время падения шарика с лабораторного стола на пол.

Оборудование: линейка, металлический шарик.

30. Линейкой «измерить» давление воды в мензурке на ее дно.

Оборудование: линейка, стеклянная цилиндрическая мензурка, сосуд с водой, полоска цветной липкой ленты, которой фиксируют уровень жидкости или глубину.

31. Линейкой «измерить» внутреннюю энергию деревянного (соснового) бруска прямоугольной формы.

Оборудование: линейка, прямоугольный сосновый брусок.

32. Линейкой «измерить» полный объем бутылки, цилиндрическая часть которой плавно переходит в горлышко.

Оборудование: линейка, пластиковая бутылка.

33. Оцените число крупинок пшена, используемых для каши.

Оборудование: мензурка, пробирка, стакан с крупой, стакан с водой, линейка.

34. На баллоне лампы написано 60 Вт, 220 В. Определите сопротивление спирали. Рассчитайте длину спирали лампы, если известно, что она изготовлена из вольфрамовой проволоки диаметром 0,08 мм.

35. На катушках ниток пишут номера (№20, №40 и т.д.). Вычислить толщину ниток.

36. У вас игрушечный пистолет и линейка. Определите скорость вылета «пули» при выстреле.

37. Человек наступил нечаянно на лежащие вверх зубьями грабли. Оцените, с какой скоростью грабли ударят его по лбу.

38. Что необходимо сделать, чтобы кусочек пластилина плавал в воде?

39. Чтобы быстро вылить сок из банки, надо сделайте две дырки в крышке. Главное, чтобы, когда вы начинаете выливать сок из банки, они оказались одна сверху, другая диаметрально внизу. Почему нужны две дырки, а не одна?

40. Шкала весов, имеющихся в доме, проградуирована только до 500 г. Как с их помощью взвесить книгу, масса которой около 1 кг, располагая также катушкой с нитками?

41. Находясь в комнате, освещенной электрической лампой, нужно узнать, какая из двух собирающих линз с одинаковыми диаметрами имеет большую оптическую силу. Никаких специальных приборов для этой цели не дано.

42. Об основании города Карфагена сложено предание. Дидона, дочь тирского царя, потеряв мужа, убитого её братом, бежала в Африку. Там она купила у нумидийского царя столько земли, «сколько занимает воловья шкура». Когда сделка состоялась, Дидона разрежала воловью шкуру на тонкие ремешки и благодаря такой уловке охватила участок земли, достаточный для сооружения крепости. Так, будто бы, возникла крепость Карфаген, а впоследствии был построен и город. Попробуйте приблизительно определить, какую площадь могла занять крепость, если считать, что размер воловьей шкуры 4 м^2 , а ширина ремешков, на которые Дидона её разрежала, 1 мм.

43. Определите массу однородной картонки правильной формы (например, большого плаката), если у вас есть ножницы, линейка, весы, разновес.

44. Определите массу тела.

Оборудование: пружина, тело неизвестной массы, мензурка, штатив с муфтой и лапкой, сосуд с водой, линейка измерительная.

45. Определите на опыте среднюю скорость шарика, скатывающегося с наклонной плоскости. Покажите, зависит ли она от угла наклона плоскости. От чего зависит результат?

46. Определите плотность металла, находящегося в одном из двух кусков пластилина, если известно, что массы пластилина в обоих кусках одинаковы. Оцените точность полученного результата. Извлекать металл из пластилина не разрешается.

Оборудование: весы с разновесами, стакан с водой, штатив, два одинаковых по массе куска пластилина, небольшой кусок металла или моток проволоки, введенный внутрь одного из кусков пластилина.

47. Определите плотность растительного масла.

Оборудование: линейка, сосуд с водой, сосуд с маслом.

48. Определите площадь однородной картонки неправильной формы, если у вас есть ножницы, линейка, весы, разновес.

49. Определите скорость движения конца секундной стрелки ручных часов.

50. Определите толщину алюминиевой фольги, не пользуясь микрометром или штангенциркулем.

51. Определите толщину вашего волоса.

52. Определите, какой шарик имеет большую массу. (Шарики в руки брать нельзя.)

53. Определите, сколько капель воды содержится в стакане, если у вас есть пипетка, весы, разновес, стакан с водой, сосуд.

54. Определить жесткость пружины.

Оборудование: пружина, линейка, мензурка, нить, тело, сосуд с водой.

55. Определить жесткость пружины.

Оборудование: пружина, штатив, два груза известной массы, линейка.

56. Определить коэффициент жесткости пружины динамометра.

Оборудование: динамометр с заклеенной шкалой, нить суровая, шарик, линейка, штативы, лист копировальной бумаги, лист белой бумаги

57. Определить плотность картофельного клубня.

Оборудование: мерный стакан с водой, линейка, картофельный клубень.

58. Определить с помощью линейки массу тела правильной формы, т.е. с помощью линейки «взвесить» тело. Оборудование: линейка + штатив, рычаг-линейка, монеты старого образца достоинством 1,2,3,5 коп, тело правильной формы, нить

59. Определить коэффициент трения бруска о стол.

Оборудование: брусок, линейка, штатив, нитки, гири известной массы.

60. Определить коэффициент трения бумаги о дерево (деревянную линейку). Задачу решить несколькими способами.

Оборудование: рулон бумаги, две линейки (одна из которых деревянная).

61. Определить среднюю плотность листа бумаги.

Оборудование: 5-6 листов бумаги, линейка, весы с разновесами, ножницы.

62. Оцените длину нити на катушке, не разматывая её.

63. Оцените механическую работу, которую необходимо совершить для того, чтобы равномерно поднять плавающий в сосуде карандаш до уровня касания нижним его торцом поверхности воды. Считайте положение карандаша вертикальным. Плотность воды $\rho_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$.

Оборудование: круглый карандаш, почти полная бутылка с водой, линейка.

64. Оцените мощность зажженной спички. Сравнить ее с мощностью электрической лампочки в 60 Вт. Выполните необходимые расчеты.

65. Пластмассовую бутылку из-под газированной воды заполнили на 3/4 водой. Что нужно сделать, чтобы брошенный в бутылку шарик из пластилина тонул, но всплывал бы, если пробку закрутить и сжать стенки бутылки?

66. По листу бумаги катится шестиугольный карандаш, ширина грани которого 5 мм. Какова траектория движения его центра? Начертите.

67. В длинном коридоре, лишенном окон, висит электрическая лампа. Ее можно зажечь и погасить выключателем, установленным у входной двери в начале коридора. Это неудобно выходящему на улицу, поскольку до выхода

он вынужден пробираться в темноте. Впрочем, вошедший и включивший при входе лампу тоже недоволен: пройдя коридор, он оставляет горящую напрасно лампу. А нельзя ли придумать схему, позволяющую включать и выключать лампу из разных концов коридора?

68. Вам предложили найти плотность сахара. Как это сделать, располагая только бытовой мензуркой, если опыт нужно провести с сахарным песком?

69. Вычислите массу кирпича в стене дома.

70. Горизонтально расположенный стержень массой 0,5 кг лежит одним концом на опоре, а другим – на съёмном столике демонстрационного динамометра. Каковы показания динамометра?

71. Дана узкая стеклянная трубка, запаянная с одного конца. Трубка содержит воздух, отделенный от окружающей атмосферы столбиком ртути. Имеется также миллиметровая линейка. Определите с их помощью атмосферное давление.

72. Два полых шара, имеющих одинаковую массу и объем, покрашены одинаковой краской, царапать которую нежелательно. Один шар изготовлен из алюминия, а другой – из меди. Как проще всего узнать, какой шар алюминиевый, а какой – медный?

73. Два товарища отдыхали на балконе и размышляли над тем, как определить, не открывая спичечных коробков, в чьем коробке осталось меньше спичек. А какой способ можете предложить вы?

74. За окном снег, а в комнате тепло. К сожалению, измерить температуру нечем – нет термометра. Но зато есть батарея гальванических элементов, очень точные вольтметр и амперметр, сколько угодно медной проволоки и физический справочник. Нельзя ли с их помощью найти температуру воздуха в комнате?

75. Из деревянной палочки изготовить модель ареометра для определения плотностей жидкостей в пределах от 800кг/м^3 до 1200кг/м^3 .

76. Из неплотно прикрытого водопроводного крана тоненькой струйкой вытекает вода. Как с помощью только одной линейки можно определить скорость истечения воды, а также ее объемный расход (т. е. объем воды, вытекающий из крана в единицу времени)?

77. Изготовьте «карманные» весы для взвешивания жидкости.

78. Имеется деревянный прямоугольный параллелепипед, у которого одно ребро значительно превышает два других. Как с помощью одной только линейки определить коэффициент трения бруска о поверхность пола в комнате?

79. Имеется частично заполненный водой сосуд прямоугольного сечения, в котором плавает погруженное в воду тело. Как с помощью одной линейки найти массу этого тела?

80. Имеются две линзы с одинаковыми диаметрами: одна собирающая, другая рассеивающая. Как определить, какая из них обладает большей оптической силой, не прибегая к помощи приборов?

81. Имеются железный лист, прибитый к полу, легкая деревянная палка (стержень) и линейка. Разработайте способ определения коэффициента трения дерева о железо с применением только перечисленных предметов.

82. Исследуйте зависимость скорости истечения струи, вытекающей из сосуда, от высоты уровня воды в этом сосуде.

Оборудование: штатив с муфтой и лапкой, стеклянная бюретка со шкалой и резиновой трубкой; пружинный зажим; винтовой зажим; секундомер; воронка; кювета; стакан с водой; лист миллиметровой бумаги.

83. Как определить давление в футбольном мяче с помощью чувствительных весов и линейки?

84. Как определить массу некоторого тела с помощью однородной рейки с делениями и куска не очень толстой медной проволоки? Разрешено также пользоваться физическим справочником.

85. Как определить удельную теплоту парообразования воды, располагая домашним холодильником, кастрюлей неизвестного объема, часами и равномерно горящей газовой горелкой? Удельную теплоемкость воды считать известной.

86. Как оценить радиус вогнутого сферического зеркала (или радиус кривизны вогнутой линзы) с помощью секундомера и стального шарика известного радиуса?

87. Как с помощью стальной спицы и мензурки с водой найти плотность пробки?

88. Как узнать, намагничен ли стальной стержень, имея в распоряжении кусок медной проволоки и катушку с нитками?

89. Как, пользуясь весами и набором гирь, можно найти вместимость (т. е. внутренний объем) кастрюли?

90. Какое давление на пол оказывает кошка (собака)?

Оборудование: листок бумаги в клетку (из ученической тетради), блюдечко с водой, бытовые весы.

91. На поверхности круглого карандаша поставили точку. Карандаш установили на наклонную плоскость и дали возможность, вращаясь, скатиться. Нарисуйте траекторию движения точки относительно поверхности стола, увеличенную в 5 раз.

92. На столе лежат шар и куб, сделанные из стали. Массы их одинаковы. Вы подняли оба тела и прижали к потолку. Одинаковой ли потенциальной энергией они будут обладать?

93. На ученическом столе – тележка с грузом. Ученик слегка толкает её рукой, и тележка, пройдя некоторое расстояние, останавливается. Как найти начальную скорость тележки?

94. Найти центр тяжести тела неправильной формы.

Оборудование: тело неправильной формы, нить (прочность нити не позволяет повесить на ней тело), миллиметровая бумага

95. Необходимо возможно точнее узнать диаметр сравнительно тонкой проволоки, располагая для этой цели только школьной тетрадью «в клетку» и карандашом. Как следует поступить?

96. Нужно узнать мощность, потребляемую от городской сети телевизором (или другим электрическим прибором), с помощью настольной лампы, катушки с нитками, кусочка железа и электросчетчика. Как выполнить это задание?

97. Определите какая пружинка из двух с виду одинаковых имеет больший коэффициент жёсткости.

98. Определите коэффициент трения линейки о мягкий поролон.

Оборудование: три одинаковых линейки, скотч, полоска поролона, приклеенная к столу

99. Определите коэффициент трения скольжения стального шарика по дереву.

100. Определите фокусное расстояние F линзы. Постройте схему эксперимента так, чтобы фокусное расстояние можно было измерить напрямую с помощью линейки.

Оборудование: линза, зеркало, линейка, лист бумаги

101. Определите, какое давление оказывает металлический брусок, плотно лежащий на дне сосуда с водой.

102. Определить длину медного провода, из которого сделана обмотка катушки.

Оборудование: источник тока, резистор известного сопротивления, катушка, вольтметр, ключ, соединительные провода, измерительная линейка.

103. Определить отношение сопротивлений двух резисторов, располагая вольтметром с неизвестным внутренним сопротивлением.

Оборудование: плоская батарейка, вольтметр школьный, два резистора, соединительные провода.

104. Определить фокусные расстояния линз.

Оборудование: две различные линзы на стойках, экран с изображением геометрической фигуры, вертикальная проволока, укрепленная на стойке, измерительная лента

105. Оцените, на сколько дальше упадет граната, если спортсмен будет бросать ее с разбега.

106. Оцените, с какой скоростью летела капля воды, если при ударе о неподвижную стенку она оказывает на нее среднее давление порядка 1 МПа.

107. Перед вами кусок проволоки, измерительная линейка, кусачки и весы с разновесом. Как с одного раза отрезать два куска проволоки (с точностью до 1 мм), чтобы получить самодельные разновесы массой 2 и 5 г?

108. Предлагается определить ускорение свободного падения, наблюдая за струйкой воды, вытекающей из неплотно закрытого водопроводного крана. Как выполнить задание, располагая для этой цели линейкой, сосудом известного объема и часами?

109. Представьте себе, что для измерения высоты дома вам было предложено воспользоваться пустой консервной банкой и секундомером. Сумели бы вы справиться с заданием? Расскажите, как нужно действовать?

110. При обучении музыке, балетному искусству, в тренировке спортсменов и для некоторых других целей часто используется метроном – прибор, издающий периодические отрывистые щелчки. Длительность интервала между двумя ударами (щелчками) метронома регулируется перемещением грузика по специальной качающейся шкале. Как проградуировать шкалу метронома в секундах с помощью нити, стального шарика и рулетки, если это не сделано на заводе?

111. Сравните теплопроводности двух проволок одинакового размера, сделанных из разных материалов.

Оборудование: два куска проволоки одинакового размера из разных материалов, линейка и свеча.

112. Стеклянная пробка имеет внутри полость. Можно ли с помощью весов, набора гирь и сосуда с водой определить объем полости, не разбивая пробки? А если можно, то как?

Решение олимпиадных задач

Профессия ученого-исследователя очень увлекательна. Если Вы – настоящий исследователь, то для Вас, наряду с обычным миром проблем и катаклизмов, существует и другой: мир науки. Мир очень интересный, а главное, вполне реальный и весьма населенный. Как попасть в этот мир? Опыт показывает, что для этого нужно тренировать свои творческие возможности, нужны упорство и желание добиться своей цели. Первым шагом в научный мир может стать решение физических задач повышенной трудности, или олимпиадных задач. Каждая такая задача – это маленькая проблема, которую Вы должны решить самостоятельно. Олимпиадные задачи – это своего рода модели тех научных задач, которые встречаются в работе ученых.

Олимпиадные задачи по физике охватывают широкий круг природных явлений, поэтому решение требует обширных систематизированных знаний по всем разделам физики и математики.

Решение задачи – это активный познавательный процесс, в котором наибольшую трудность представляет вопрос с «чего начать», то есть не само использование физических законов, а выбор, какие именно законы и почему следует применять при анализе конкретного явления. Прежде всего, следует попытаться «угадать» ответ из «общих» соображений, найти его на полуинтуитивном уровне. По существу, здесь важно понимать, что может быть и чего не может быть в разбираемой физической ситуации. Даже если таким путем удастся найти решение конкретной задачи, то всегда полезно

решить ее и более «стандартным» образом, апеллируя к наиболее общим, фундаментальным физическим законам.

В процессе решения задачи можно условно выделить три этапа:

- физический;
- математический;
- анализ решения.

Физический этап предполагает, во-первых, обоснованный выбор идеализации изучаемого процесса, то есть разработку физической модели явления, сохраняющей его наиболее важные черты; во-вторых, выбор физических законов, которым удовлетворяет разработанная модель, и составление замкнутой системы уравнений, в число неизвестных которой входят искомые величины.

По итогам предыдущего этапа создается математическая модель явления, которая может оказаться не единственной в зависимости от использованных физических законов. На этом этапе принципиально важно выбрать адекватный математический аппарат.

Математический этап предусматривает получение общего решения задачи и нахождение числового ответа на вопрос.

На этапе анализа решения обязательно исследуются частные простые и предельные случаи, для которых ответ очевиден или может быть получен сразу независимо от общего решения; выясняется, при каких условиях осуществляется полученная зависимость; оценивается реальность результата; проверяется размерность полученной величины; при получении многозначного ответа исследуется соответствие полученных результатов

условию задачи. Очень полезен также поиск и разбор аналогий с другими задачами и явлениями, а также сравнение методов их анализа.

В сложных задачах явного деления на этапы может и не быть, однако общая последовательность действий прослеживается.

Для глубокого понимания физики необходимо четкое осознание степени общности различных физических законов, границ их применимости, их места в общей физической картине мира. Например, использование закона сохранения энергии часто позволяет взглянуть на разбираемую задачу с более общих позиций, чем при использовании конкретных законов, относящихся к определенному кругу явлений – механических, электрических, оптических... А иногда простое использование логики, житейского опыта и математического аппарата может привести к верному решению, без использования физических формул.

А теперь рассмотрим решение нескольких задач повышенной сложности из разных разделов физики. Следует заметить, что каким бы сложным ни казалось условие, большинство задач имеют довольно простое и короткое решение. Если подойти к ней с правильной стороны.

1. Кинематика

Пример 1. По шоссе движутся два автомобиля, каждый со своей неизменной скоростью. В 12 часов 00 минут один автомобиль находился на расстоянии 20 км до контрольного пункта, а другой на расстоянии 19 км. Контрольный пункт один автомобиль проехал в 12 часов 12 минут, а другой в 12 часов 15 минут. Каковы могут быть скорости этих автомобилей?

Решение: В условии задачи не указано, какой автомобиль проехал какую именно дистанцию и за какое время. Поэтому необходимо рассмотреть два возможных варианта:

а) автомобиль, проехавший 20 км, приехал первым, т.е. в 12 часов 12 минут. При этом автомобиль, проехавший 19 км, приехал вторым, в 12 часов 15 минут.

б) автомобиль, проехавший 20 км, приехал вторым, т.е. в 12 часов 15 минут. При этом автомобиль, проехавший 19 км, приехал первым, в 12 часов 12 минут. Этим двум ситуациям соответствуют искомые скорости:

Ответ: а) $v_1 = 20 \text{ км}/12 \text{ мин} = 100 \text{ км}/\text{час}$ и $v_2 = 19 \text{ км}/15 \text{ мин} = 76 \text{ км}/\text{час}$,

б) $v_1 = 20 \text{ км}/15 \text{ мин} = 80 \text{ км}/\text{час}$ и $v_2 = 19 \text{ км}/12 \text{ мин} = 95 \text{ км}/\text{час}$.

Пример 2. Коробки в форме куба с ребром h выбрасывают из окна по горизонтали с высоты H над землёй. Они летят поступательно, при ударе о землю останавливаются. Первая коробка упала на землю на расстоянии L по горизонтали. С какой наименьшей скоростью нужно бросить вторую коробку, чтобы она перелетела над первой, не зацепив её?

Решение: Критический случай – задний нижний угол 2-й коробки касается верхнего переднего угла первой. Тогда 2-я коробка пролетает по горизонтали расстояние $L+h$, а по вертикали на $H-h$.

Откуда

$$v = \frac{(L + h)}{t},$$

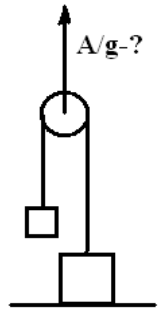
$$(H - h) = gt^2/2$$

и окончательно для наименьшей скорости

$$v = (L + h) \sqrt{\frac{g}{2(H - h)}}$$

2. Динамика.

Пример 3. Груз массы $M = 9$ кг лежит на столе. К нему привязана нерастяжимая нить, проходящая через невесомый блок без трения. На другом конце нити висит груз массы $m = 3$ кг. Блок начинают поднимать с постоянным ускорением A . При каком отношении A/g больший груз оторвётся от стола?



Решение: Условие отрыва для граничного значения натяжения

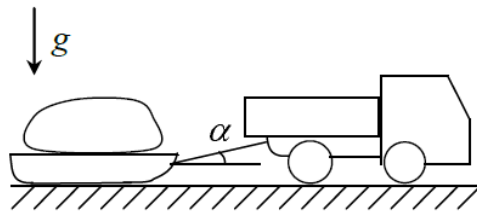
$T = Mg$. Груз M тогда неподвижен, а ускорение m тогда $a = 2A$ (из неизменности длины нити).

Из 2-го закона Ньютона в применении к меньшему грузу

$$ma = T - mg;$$

$$\text{откуда } A/g = (M - m)/2m = 1.$$

Пример 4. Грузовик (все колеса ведущие) тянет на тросе сани с грузом, общая масса которых равна массе грузовика. Трос образует угол с горизонталью. Найдите максимальное возможное ускорение, если коэффициенты трения саней и шин грузовика с дорогой равны μ . Ускорение свободного падения g .



Решение: Из равновесия по вертикали сила нормального давления саней на дорогу:

$$N = Mg - T \sin \alpha, \text{ где } T \text{ натяжение троса.}$$

Сила трения $F = \mu N$, действующая на сани направлена против ускорения.

Из 2-го закона Ньютона тогда имеем:

$$Ma = T \cos \alpha - \mu(Mg - T \sin \alpha).$$

Для грузовика

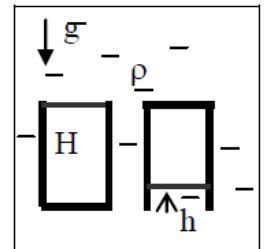
$$Ma = \mu(Mg + T \sin \alpha) - T \cos \alpha \quad (\text{вертикальная проекция натяжения}$$

увеличивает силу нормального давления, а сила трения направлена по ускорению).

$$\text{Окончательно } a = \mu^2 g \tan \alpha.$$

3. Механика жидкостей и газов.

Пример 5. Два одинаковых цилиндра высоты H удерживаются под водой на одной и той же неизвестной глубине. Один цилиндр перекрыт поршнем сверху, а другой – снизу. В них одинаковое количество воздуха при одинаковой температуре. Найдите давление воздуха в каждом из цилиндров, если в первом поршень находится на уровне открытого конца цилиндра, а во втором опрокинутом цилиндре поршень вдвинут в цилиндр на h . Трения нет, поршень тонкий и невесомый, ускорение свободного падения g . Плотность воды ρ .



Решение

Из уравнения состояния при равенстве числа молей и температуры

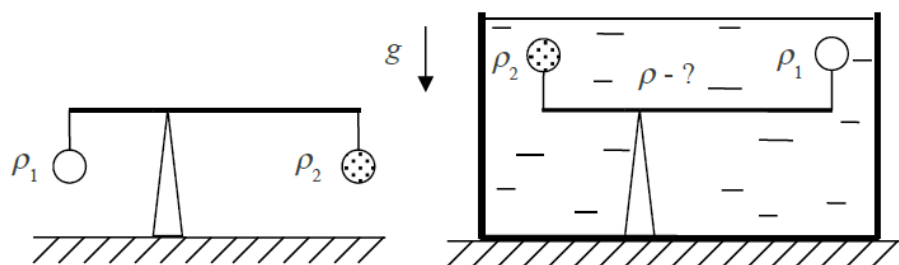
$$P_1 H = P_2 (H - h).$$

$$P_2 - P_1 = \rho g (H - h) \quad - \text{перепад давления в жидкости.}$$

$$\text{Отсюда находим } P_1 = \rho g (H - h)^2 / h;$$

$$P_2 = \rho g (H - h) H / h.$$

Пример 6. К концам тонкого невесомого рычага привязаны шары одинакового объёма с разными плотностями ρ_1 и ρ_2 , при этом рычаг оказался уравновешен. Когда рычаг с шарами поместили в жидкость, то равновесие нарушилось. Однако, после обмена шаров местами в жидкости, равновесие восстановилось. Какова плотность ρ жидкости?



Решение: Поскольку система рычагов в обоих случаях находится в равновесии, то можно записать равенство моментов сил. Пусть l_1 – длина левого плеча, l_2 – длина правого, V – объем шара.

Тогда в первом случае равенство моментов сил тяжести дает

$$\rho_1 g V l_1 = \rho_2 g V l_2.$$

Учитывая действие силы Архимеда для шаров в жидкости, запишем

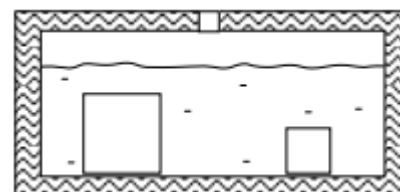
$$(\rho_1 g V - F_A) l_2 = (\rho_2 g V - F_A) l_1.$$

Решая систему, получим ответ.

Ответ: $\rho = \rho_1 + \rho_2$

4. Молекулярная физика и термодинамика.

Пример 7. Внутри теплоизолированного сосуда находится два медных кубика с длинами сторон 2 см и 4 см, соответственно, причем



меньший кубик имеет температуру на 90°C выше, чем больший. Для ускорения процессов теплового обмена школьник залил в сосуд воду комнатной температуры (25°C). Оказалось, что после установления теплового равновесия вода имела ту же температуру, что и вначале. Каковы были исходные температуры кубиков?

Решение.

Из условия следует, что внутренняя энергия залитой воды не изменилась. Значит, суммарная внутренняя энергия медных кубиков после установления теплового равновесия также осталась прежней, т.е. уравнение теплового баланса имеет вид:

$m_1 c T_1 + m_2 c T_2 = (m_1 + m_2) c T_0$, где T_1 и T_2 начальные температуры малого и большого кубиков, соответственно, т.е. $T_1 - T_2 = 90^{\circ}\text{C}$, конечные температуры кубиков равны $T_0 = 25^{\circ}\text{C}$.

Преобразование уравнения теплового баланса дает:

$$m_1 (T_1 - T_0) = m_2 (T_0 - T_2) \text{ или}$$

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{(T_1 - T_0)}{(T_0 - T_2)} = \frac{(90 - (T_0 - T_2))}{(T_0 - T_2)} = \frac{90}{(T_0 - T_2)} - 1$$

(возможны другие соотношения, которые могут быть использованы для определения температуры кубиков).

Массы кубиков отличаются в $(4/2)^3 = 8$ раз, т.е. $T_2 = T_0 - 10 = 15^{\circ}\text{C}$, $T_1 = 105^{\circ}\text{C}$.

Пример 8. По газопроводу газ транспортируется в Италию из Сибири. Давление газа на сибирском участке газопровода больше, чем на итальянском в 1,25 раза при том же сечении трубы. Во сколько раз скорость течения газа в Италии больше, чем в Сибири, если в Италии

температура $t_1 = +7^\circ\text{C}$, а в Сибири $t_2 = -23^\circ\text{C}$? У газопровода нет разветвлений и утечки газа и он работает в стационарном режиме.

Решение.

Уравнение непрерывности потока газа:

$\nu_1 v_1 = \nu_2 v_2$, где ν_1 и v_1 - число молей и скорость газа в Италии, а ν_2 и

v_2 - число молей и скорость газа в Сибири.

Из уравнения состояния идеального газа

$$\frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{P_1 T_2}{P_2 T_1}$$

.Откуда получаем ответ.

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{P_2 T_1}{P_1 T_2} = 1.4$$

5. Электричество и магнетизм.

Пример 9. Два маленьких заряженных медных шарика одинакового радиуса соединили слабо проводящей нитью. Сначала сила натяжения нити была $T_0 = 0,009 \text{ Н}$, затем она увеличивалась, пока не установилось значение $T_k = 0,025 \text{ Н}$. Во сколько раз начальный заряд одного шарика больше чем у другого?

Решение: Сила натяжения нити равна силе кулоновского отталкивания.

Если заряды шариков Q и q , то

$$T_0 = \frac{kqQ}{R^2}$$

где R расстояние между ними.

В конечном состоянии потенциалы шариков выравниваются и у них будут одинаковые заряды. В пренебрежении зарядом нити и из сохранения суммарного заряда конечный заряд каждого шарика $(Q + q)/2$.

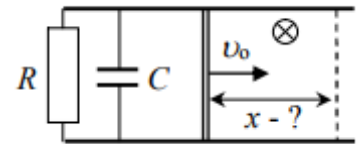
Тогда:

$$T = \frac{k(Q + q)^2}{4R^2}$$

$$\frac{(Q + q)^2}{Qq} = \frac{T_k}{T_0} = \frac{25}{9}$$

Откуда $\frac{Q}{q} = 9$

Пример 10. Резистор сопротивления R и конденсатор ёмкости C подсоединены к двум хорошо проводящим рельсам. Они замкнуты перемычкой с пренебрежимо малыми сопротивлением и массой. Система находится в однородном магнитном поле, перпендикулярном плоскости рисунка. Перемычку разгоняют до скорости v_0 и отпускают. Какое расстояние x она пройдёт после этого? Трения нет.



Решение: Используя закон Фарадея, имеем в произвольный момент

$$IR = vBL; \quad (B - \text{вектор магнитной индукции } L - \text{длина перемычки})$$

Так как $I = dQ/dt$ и $v = dx/dt$ отсюда находим связь начального заряда и перемещения

$$Q_0 R = xBL;$$

По начальной эдс находим начальный заряд $Q_0 = Cv_0 BL$.

После подстановки и сокращения получаем искомое $x = v_0 RC$.

Задачи для самостоятельного решения

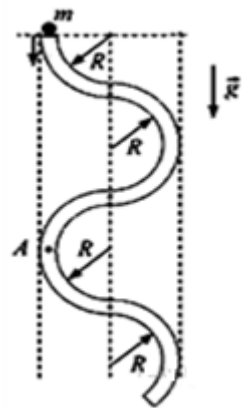
1. Два одинаковых маленьких шарика радиуса R последовательно бросают вертикально вверх с одного места и с одной и той же начальной скоростью. Перед ударом их относительная скорость равна v . Определите разность модулей скоростей шариков перед ударом. Ускорение свободного падения g . Влиянием воздуха пренебречь.

2. Парашютист обычно приземляется со скоростью $v = 8$ м/с. Если вам придет в голову потренироваться в приземлении с такой скоростью, спрыгивая с платформы, то на какой высоте h должна находиться платформа? Ускорение свободного падения считается равным 10 м/с².

3. Тележка с грузом привязана тросом к правому автомобилю. Трос проходит через блок, закреплённый на левом автомобиле. Автомобили движутся с одинаковыми по величине скоростями V в противоположные стороны. Найдите скорость тележки, если трос нерастяжим и его прямолинейные участки параллельны дороге.



4. В вертикальной плоскости расположена гладкая трубка, изогнутая периодически в виде дуг окружностей одинаковым радиусом R (см. рис.). В верхнее отверстие трубки без начальной скорости запускают шарик массой $m = 10$ г. С какой по модулю силой F шарик действует на трубку в точке A , в конце первого периода своего движения по трубке?



5. Два человека одновременно вступают на эскалатор с противоположных сторон и движутся навстречу друг другу с одинаковыми скоростями относительно эскалатора $V = 2$ м/с. На каком расстоянии от входа

на эскалатор они встретятся? Длина эскалатора $L=100$ м, его скорость $U=1,5$ м/с.

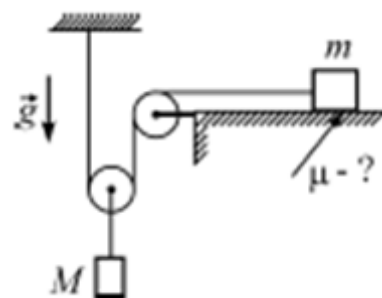
6. По двум параллельным путям равномерно движутся два поезда: товарный, длина которого $L_1=630$ м и скорость $V_1=48$ км/час, и пассажирский длиной $L_2=120$ м со скоростью $V_2=102$ км/час. Какова относительная скорость движения поездов, если они движутся: а) в одном направлении; б) в противоположных направлениях? В течение какого времени один поезд проходит относительно другого?

7. Небольшое тело соскальзывает без трения по наклонной плоскости, переходящей в «мертвую петлю», с высоты $3R$. На какой высоте h тело оторвется от петли?

8. Расстояние от пункта А до пункта В, расположенных на берегу реки, катер проходит за время $t_1=3$ ч, обратный путь у катера занимает $t_2=6$ ч. Какое время потребуется катеру, чтобы пройти расстояние от А до В при выключенном моторе? Скорость катера относительно воды постоянна.

9. Три улитки поспорили, кто из них быстрее ползает. Первая сказала, что она всего за 10 секунд проползает целый вершок, вторая сказала, что она тратит на 1 фут всего минуту, а третья вспомнила, что когда-то в молодости проползла полторы сажени за 12 минут. У какой из улиток была самая большая скорость?

10. В системе, изображённой на рисунке, масса груза, лежащего на шероховатой горизонтальной плоскости, равна $m = 2$ кг. При подвешивании к оси подвижного блока груза массой $M = 2,5$ кг он движется вниз с ускорением $a = 2$ м/с². Чему равен коэффициент трения μ между грузом массой m и плоскостью? Нити невесомы и нерастяжимы, блоки невесомы, трение в осях блоков и о воздух отсутствует.



11. Лодка качается на волнах, распространяющихся со скоростью 1,5 м/с. Расстояние между двумя ближайшими гребнями волн равно 6 м. Определите период колебаний лодки

12. Длина минутной стрелки часов (от оси вращения до конца) в полтора раза больше чем у часовой. Во сколько раз скорость конца минутной стрелки больше скорости конца часовой?

13. Венера обращается вокруг Солнца в ту же сторону, что и Земля, опережая её. Она оказывается вновь на ближайшем расстоянии до Земли через 1,6 земных года. А каков этот промежуток времени в венерианских годах?

14. Мяч, катящийся по полу к стене со скоростью $v = 5$ м/с, после удара о стену покатился назад со скоростью $u = 4$ м/с и вернулся в исходную точку через время $T = 1,8$ с. Каково расстояние от исходной точки до стены?

15. Брусok объёма $V = 100 \text{ см}^3$ подвешен к концу тонкого невесомого рычага. Он уравновешен стальной гирей массы $m_1 = 500$ г на другом конце рычага. Если рычаг с бруском погрузить в воду, то он уравновешивается стальной гирей массы $m_2 = 516$ г. Найдите массу бруска, если плотность воды $\rho_0 = 1 \text{ г/см}^3$ а плотность стали $\rho = 7,8 \text{ г/см}^3$.

16. Электровоз, движущийся с постоянной скоростью, испустил короткий звуковой сигнал, а проехав расстояние $L = 75$ м – повторный сигнал. Сигналы услышали на станции с интервалом времени $\tau = 2$ с. Какова скорость электровоза, если он приближался к станции по прямой, а скорость звука в воздухе $c = 330$ м/с?

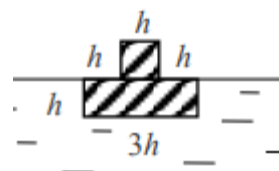
17. Максимальное расстояние, на которое солдат бросает гранату, равно 40 м. Через какое время она вернётся назад, если гранату с той же скоростью бросить вертикально вверх? Принять ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.

18. Ребенок качается на качелях, пролетая нижнюю точку со скоростью 4 м/с. Во сколько раз его вес при этом больше, чем в неподвижном положении? Расстояние от точки подвеса до сидения качелей 2 м.

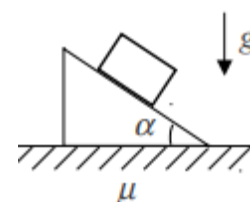
19. Тарелка глубиной $h = 5$ см стоит на столе, на дне её горошина. Тарелке толчком сообщают некоторую скорость. При каком её наименьшем значении горошина может выскочить наружу? Считать скорость тарелки после толчка неизменной, а ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Ответ дать в м/с.

20. На улице идёт дождь. В каком случае ведро, стоящее в кузове грузового автомобиля, наполнится быстрее водой: когда автомобиль движется, или когда стоит?

21. Сечение длинного деревянного бруска – прямоугольник со сторонами h и $3h$ с квадратным выступом $h \times h$. Брусок плавает в воде так, что широкая часть бруска находится полностью в воде, а выступ – полностью в воздухе. Брусок переворачивают выступом вниз. Насколько теперь выступает из воды широкая часть бруска?



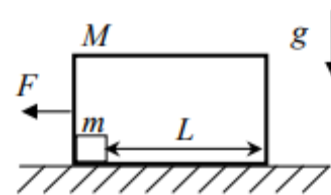
22. Клин с углом α при основании стоит на горизонтальном полу. Коэффициент трения между полом и клином μ . На клин ставят массивный брусок и отпускают его. Найдите ускорение бруска. Масса клина пренебрежимо мала, трения между бруском и клином нет. Ускорение свободного движения g .



23. Закрытую банку массы $m = 100$ г опустили в цилиндрический сосуд с водой. Из-за этого уровень воды в сосуде поднялся на $h = 1.2$ см. Банку вынули из воды, поместили внутрь груз, и снова закрыли, так что общая масса с грузом стала $M = 300$ г. Когда её опустили в тот же сосуд,

уровень воды в нём поднялся на $H = 3.0$ см. Найдите объём банки. Глубина воды в сосуде превышает размер банки.

24. В исходно неподвижной коробке массы M находится тело массы m , соприкасающееся с левой стенкой. Расстояние от этого тела до правой стенки равно L . К коробке приложили постоянную силу F , направленную влево. Через какие промежутки времени будут происходить соприкосновения тела с левой стенкой коробки? Трения нет, соударения тела с коробкой абсолютно упругие. Рассмотрите случаи: а) масса тела m много меньше массы коробки M , б) их массы равны ($m = M$).



25. Груз массы 3 кг поднимают и опускают при помощи лёгкой нити и блока, ось которого закреплена неподвижно. Однажды блок «заело» — он перестал вращаться вокруг своей оси. При этом удаётся поднимать груз силой 40 Н, приложенной к свободному концу нити, груз в этом случае движется вверх с постоянной скоростью 0,1 м/с. Какое количество тепла выделится в системе за 3 с подъёма?

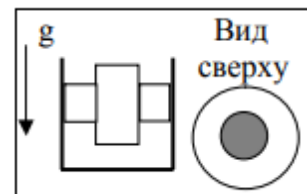
26. В баке с небольшим открытым отверстием при температуре $T_0 = 280$ К находится масса воздуха $m_0 = 1,5$ кг. Найдите массу воздуха m (в граммах), которая выйдет из бака при нагреве бака вместе с воздухом до температуры $T = 300$ К. Считайте, что атмосферное давление не изменилось.

27. Один моль идеального одноатомного газа участвует в процессе, в котором давление p пропорционально $\sqrt{T}$. Определите теплоемкость газа.

28. В герметически закрытом стеклянном пузырьке над жидкостью имеется воздух при атмосферном давлении $P_A = 10^5$ Па. Из пузырька через тонкую иглу начинают медленно набирать в шприц жидкость. Начальная минимальная сила, при которой поршень шприца начинает сдвигаться, $F_0 = 3$ Н. При смещении поршня требующаяся для его движения сила нарастает. Если теперь, набрав жидкость, поршень отпустить, то он начинает двигаться

в обратную сторону, пока в шприце не останется объем жидкости $V = 2$ мл. Каков исходный объем $V_{\text{воздуха}}$ в миллилитрах был в пузырьке? Сечение поршня $S = 1,5 \text{ см}^2$. Влиянием тяжести пренебречь, температуру считать неизменной.

29. Вертикальный цилиндр герметически закрыт круговой шайбой, в отверстие которой вставлена цилиндрическая пробка из того же материала. Выше этого составного поршня воздух, ниже жидкость. Во



сколько раз плотность жидкости больше плотности материала поршня, если трения нет, а пробка одинаково выступает из шайбы снизу и сверху?

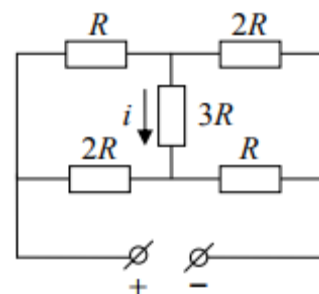
30. В закрытом сосуде с нагревательным элементом температура воды повышается от 80°C до 81°C за 6 секунд. При двойной массе воды и удвоенной мощности нагревательного элемента температура повышается от 80°C до 81°C за 5 секунд. За какое время (в секундах) температура понизится от 81°C до 80°C при двойном количестве воды, если нагревательный элемент отключить? Теплоемкостью самого сосуда пренебречь.

31. В осеннем парке с деревьев с постоянной интенсивностью падают листья. В начале каждого часа дворник выходит подметать парковую дорожку. Он проходит с одной и той же скоростью от начала дорожки до её конца, а затем обратно, сметая все листья перед собой. Каждый раз на пути от начала до конца дорожки он сметает 1100 листьев, а на обратном пути всего 100. Сколько листьев падает в одну минуту на всю дорожку? Какое время тратится на подметание дорожки (в одну сторону)? Сколько листьев остается на дорожке сразу после того, как дворник уходит?

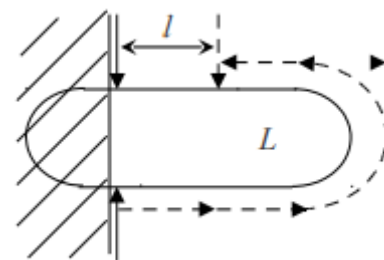
32. Маятник, состоящий из жесткого невесомого стержня длиной l и закрепленного на его конце груза массой m с зарядом $-q$, подвешен в точке O . Над точкой O на расстоянии a от нее находится заряд $+Q$. В каком случае

состояние равновесия, при котором груз массой m находится в нижнем положении, является устойчивым?

33. На схему с указанными сопротивлениями резисторов подано напряжение. Ток, идущий по вертикальному резистору с сопротивлением $3R$, равен $i = 0,1$ А. Найдите токи I_1 и I_2 в верхнем и нижнем резисторах с сопротивлениями R .



34. Часть проволоочной петли замурована в стене и недоступна. Длина доступной части петли $L = 3$ м. Контакты омметра подсоединили к точкам проволоки вблизи стены, и он показал сопротивление $r = 0,15$ Ом. После этого один контакт омметра стали двигать вдоль петли, пока его показания снова стали $0,15$ Ом при длине проволоки между контактами $l = 1$ м. Найдите длину замурованного участка петли и сопротивление метрового отрезка проволоки.



35. Тонкий стержень длины l и массы m подвесили за концы на двух одинаковых легких нерастяжимых проводящих нитях длиной L в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией B так, что его ось горизонтальна, а нити вертикальны. Затем через нити пропустили заряд q столь быстро, что стержень практически не сместился от положения равновесия. Найти максимальный угол отклонения нитей подвеса от вертикали.

36. Амперметр «тепловой» системы измеряет текущий через него ток по выделяемому в его внутреннем сопротивлении количеству тепла. В проводимом эксперименте текущий через амперметр ток периодически меняет и величину и направление: в течение $0,2$ с он равен 2 А, следующие $0,1$ с ток течёт в другую сторону и равен 1 А. Затем снова 2 А, потом 1 А и т. д. Какой ток показывает при этом амперметр?

37. Электрический элемент с вольтамперной характеристикой $I=AU^2$ ($A=\text{const}$, $U>0$) подключили к источнику ЭДС. Найти ток в цепи, если ЭДС источника равна ε , а внутреннее сопротивление источника – r .

38. Два проводящих шарика одинакового размера заряжены разноименно и покоятся на некотором расстоянии друг от друга. После того, как их отпустили, электростатическое притяжение вызвало сближение шариков с последующим столкновением. После столкновения шарики стали разлетаться в противоположные стороны. Причем, когда они оказались на первоначальном расстоянии, обнаружилось, что модуль силы их электростатического взаимодействия в этот момент меньше в три раза первоначального модуля силы притяжения. Определите отношение их первоначальных зарядов.

39. В постоянном магнитном поле с индукцией B_0 заряженная частица движется по окружности радиусом R_0 . Когда индукцию магнитного поля стали медленно увеличивать, обнаружилось, что скорость частицы изменяется так, что её кинетическая энергия прямо пропорциональна индукции поля. Чему будет равен радиус орбиты в магнитном поле с индукцией B ?

40. «Электромагнитная пушка» представляет из себя две параллельные проводящие шины, замкнутые перемычкой-снарядом, которая может свободно перемещаться вдоль шин. Вся конструкция расположена в однородном магнитном поле с индукцией B , линии индукции которого ориентированы перпендикулярно плоскости шин. Выстрел происходит при пропускании электрического тока через шины. Найти скорость снаряда, вылетающего из такой пушки при горизонтальной ее ориентации, если длина шин L , масса снаряда-перемычки m , расстояние между шинами d , сила тока в шинах I .

Решение задач на расчет тепловых процессов

С теплом прежде всего у нас связано ощущение летнего солнечного дня, домашнего уюта, комфорта. Особенно сильно мы это чувствуем дождливой осенью или зимой. Даже в оценке человеческих отношений мы часто используем это понятие, говоря: тепло человеческих отношений, тепло человеческих сердец, теплый прием, теплые чувства.

Тепло — это не только приятное ощущение, но и необходимое условие для жизни. Жизнь большинства людей мира немыслима без отапливаемого дома. Да и тем, кто живет в теплых странах, тепло нужно для приготовления пищи, для многих хозяйственных дел.

Если в обыденной жизни тепловое состояние тел определяется по ощущениям, то в физике — по их температуре. Температура характеризует степень нагретости тел относительно друг друга и их внутреннюю энергию. Тела, окружающие нас: дома, автомобили, стол в комнате, горящая электрическая лампочка, текущая из крана вода, горящий в плите газ,— могут иметь разную температуру и соответственно разную внутреннюю энергию. Температура — одна из важных характеристик внешней среды, определяющих условия жизни. Климат или погоду мы прежде всего связываем с температурой воздуха, от температуры воды в реке или озере зависит разнообразие и активность водной жизни.

Нагревание, охлаждение, испарение, кипение, конденсация — некоторые примеры того, какие тепловые явления происходят вокруг нас. Никакие процессы сами по себе не происходят. У каждого из них есть свой

источник и механизм реализации. Любые тепловые явления в природе обусловлены получением тепла от внешних источников.

Для дальнейшего понимания того, что собой представляют тепловые явления, необходимо дать определение теплоты. *Теплота – энергетическая характеристика теплообмена, т.е. количества энергии, которое отдает (получает) тело или система при взаимодействии.*

В процессе взаимодействия тел друг с другом происходит передача тепла от горячего к холодному телу. *Процесс передачи тепла от тела с более высокой энергией к телу с меньшей энергией называется теплопередачей.* В качестве примера можно рассмотреть кипяток, налитый в стакан. Через некоторое время стакан станет горячим, т. е. произошел процесс передачи тепла от горячей воды к холодному стакану.

Однако тепловые явления характеризуются не только теплопередачей, но и таким понятием, как теплопроводность. Что оно означает, можно пояснить на примере. Если поставить сковородку на огонь, то ее ручка, хоть и не соприкасается с огнем, нагреется так же, как и вся остальная сковорода. Подобный нагрев обеспечивается теплопроводностью. Нагрев осуществляется в одном месте, а затем нагревается все тело. Или не нагревается – это зависит от того, какой теплопроводностью оно обладает. Если теплопроводность тела высокая, то тепло легко передается от одного участка к другому, если же теплопроводность низкая, то передачи тепла не происходит.

При нагревании различных тел количество затраченной теплоты зависит от массы и рода тела и определяется с помощью известной формулы.

$$Q = c_{уд} \cdot m \cdot \Delta t \quad \dots 1$$

где $c_{\text{уд.}}$ – удельная теплоёмкость вещества (обычно берется из специальной таблицы), m – масса тела, $\Delta t = t_2 - t_1$ – изменение температуры тела.

Если тело, в твердом состоянии, получило достаточно большое количество тепла (энергии), то это может привести к разрушению кристаллической решетки. *Процесс перехода тела из кристаллического твёрдого состояния в жидкое, то есть переход вещества из одного агрегатного состояния в другое, называется плавлением.*

Количество теплоты, которое требуется, чтобы расплавить вещество массой m , находящееся при температуре плавления, зависит от рода вещества и от массы тела и определяется известной формулой:

$$Q = \lambda \cdot m \quad \dots 2,$$

где λ – удельная теплота плавления вещества, берется из специальной таблицы. Необходимо помнить, что плавление и отвердевание – это взаимнообратные процессы, поэтому при отвердевании вещества выделится такое же количество теплоты, что и затрачено при плавлении.

При дальнейшем поглощении теплоты жидкостью, когда её температура достигает определенного значения, большая часть подводимой теплоты начинает расходоваться на разрыв связей между частицами вещества, остальная часть – на работу, совершаемую при расширении пара. Вещество в очередной раз изменяет свое агрегатное состояние. Происходит переход вещества в газообразное состояние. *Кипение – это интенсивное парообразование, которое происходит при нагревании жидкости не только с поверхности, но и внутри неё.*

Количество теплоты, необходимое для испарения вещества массой m , при температуре кипения, определяется формулой:

$$Q = r \cdot m \quad \dots 3,$$

где r – удельная теплота парообразования, берется из специальной таблицы. Следует помнить, так как испарение и конденсация – это взаимнообратные процессы, что при конденсации жидкости выделится такое же количество теплоты, что и за тратилось при испарении.

Тепловой процесс (термодинамический процесс) — это изменение макроскопического состояния термодинамической системы.

Система, в которой идёт тепловой процесс, называется рабочим телом.

Тепловые процессы можно разделить на равновесные и неравновесные. *Равновесным называется процесс, при котором все состояния, через которые проходит система, являются равновесными состояниями.*

Тепловые процессы можно разделить на обратимые и необратимые. *Обратимым называется процесс, который можно провести в противоположном направлении через все те же самые промежуточные состояния.*

Для осуществления тепловых процессов нагревания, плавления, кипения необходимо некоторое количество теплоты. Оно может быть получено от сгорания различного топлива. Количество теплоты, выделяющееся при сгорании топлива, зависит от рода топлива и

определяется его массой. Для расчета количества теплоты, выделяющегося при сгорании топлива, используется следующая формула:

$$Q = q \cdot m, \dots 4$$

где q – удельная теплота сгорания топлива (показывает количество теплоты, выделяющееся при сгорании 1 кг топлива), m – масса топлива.

Можно выделить несколько простых, но широко распространённых на практике, тепловых процессов:

- *Адиабатный процесс* — без теплообмена с окружающей средой;
- *Изохорный процесс* — происходящий при постоянном объёме;
- *Изобарный процесс* — происходящий при постоянном давлении;
- *Изотермический процесс* — происходящий при постоянной температуре;

В технике важны круговые процессы (циклы), то есть повторяющиеся процессы, например, цикл Карно. Теория тепловых процессов применяется для проектирования двигателей, холодильных установок, в химической промышленности, в метеорологии.

Машина для преобразования тепловой энергии в механическую работу называется тепловым двигателем. В тепловом двигателе происходит расширение газа, который давит на поршень, заставляя его перемещаться, или на лопатки колеса турбины, сообщая ему вращение. Примерами поршневых двигателей являются паровые машины и двигатели внутреннего сгорания (карбюраторные и дизельные).

Коэффициентом теплового двигателя называется величина, характеризующая эффективность работы двигателя (или механизма).

Вычисляется КПД по известной формуле:

$$\eta = \frac{A_{\text{полезная}}}{Q} \dots 5,$$

где η – коэффициент полезного двигателя,

$A_{\text{полезная}}$ – полезная работа, совершаемая двигателем («полезной» называют ту работу, ради совершения которой и создается двигатель),

Q – количество теплоты, которое необходимо затратить (получить от нагревателя), чтобы совершить полезную работу.

Решение задач термодинамики основано на уравнении закона сохранения и превращения энергии с учетом формул изменения внутренней энергии тел и некоторых уравнений механики. Умение правильно применять закон сохранения энергии к конкретным физическим процессам представляет основную трудность при решении задач на теплоту. Особое внимание здесь нужно обратить на различие между количеством теплоты и изменением внутренней энергии и на выбор системы тел (или тела), для которой составляется основное уравнение. Нередко возникают затруднения при числовых расчетах в задачах, связанных с превращением одного вида энергии в другой. Здесь нужно помнить, что в уравнении закона сохранения и превращения энергии:

$$Q = \Delta U + A$$

все три величины **количество теплоты Q , изменение внутренней энергии ΔU и работы A** должны быть выражены в одних единицах.

Задачи об изменении внутренней энергии тел можно разделить на три группы.

В задачах первой группы рассматривают такие явления, где в изолированной системе при взаимодействии тел изменяется лишь их внутренняя энергия без совершения работы над внешней средой. Одни из тел, участвующих в теплообмене, при этом охлаждаются, другие — нагреваются. Согласно закону сохранения и превращения энергии (1) для тел, внутренняя энергия которых уменьшается, можно записать:

$$Q_{\text{отд}} = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \dots + \Delta U_n = \sum_{i=1}^n \Delta U_i \quad (2)$$

поскольку ни сами тела, ни над телами работу не совершают ($A = 0$).

Аналогично для тел, энергия которых возрастает, мы получим:

$$Q_{\text{полук}} = \Delta U'_1 + \Delta U'_2 + \dots + \Delta U'_m = \sum_{k=1}^m \Delta U'_k \quad (2')$$

Из определения понятия количества теплоты и закона сохранения энергии

как

следствие

вытекает:

$$Q_{\text{отд}} = Q_{\text{полук}} \quad \text{или} \quad \sum_{i=1}^n \Delta U_i = \sum_{k=1}^m \Delta U'_k \quad (3)$$

Перенеся все члены в левую часть равенства, уравнение (3) представим в ином виде:

$$\sum_{i=1}^n \Delta U_i - \sum_{k=1}^m \Delta U'_k = 0,$$

или короче:

$$\sum \Delta U = 0. \quad (3')$$

Последнее уравнение является очевидным следствием первого начала термодинамики — в изолированной системе тел, где происходят только процессы теплопередачи, внутренняя энергия системы не изменяется и, следовательно, алгебраическая сумма изменений энергии отдельных тел равна нулю.

Уравнение (3) называют **уравнением теплового баланса**, оно обычно служит основным расчетным соотношением для всех задач **первой группы**.

Правила решения задач первой группы:

1. Прочитав условие задачи, нужно установить, у каких тел внутренняя энергия уменьшается, у каких — возрастает. Особое внимание следует обращать на то, происходят ли в процессе теплообмена агрегатные превращения или нет.
2. Составить уравнения (2) для тел, энергия которых уменьшается, и (2') — для тел, энергия которых возрастает, и приравнять полученные суммы.
3. При записи уравнения теплового баланса в виде (3) нужно **в выражении**

$$c \cdot m(t_2 - t_1)$$
для изменения внутренней энергии всегда вычитать из большей температуры тела меньшую и суммировать все члены арифметически, если же уравнение записывается в виде (3'), необходимо вычитать из конечной температуры тела начальную и суммировать члены с учетом получающегося знака.
4. В ряде задач задается к.п.д. (η) — теплообмена; в этом случае его всегда нужно ставить сомножителем перед $Q_{\text{отд}}$.

В задачах второй группы рассматривают явления, связанные с превращением одного вида энергии в другой при взаимодействии двух тел. Результат такого взаимодействия — изменение внутренней энергий одного тела вследствие совершенной им или над ним работы. Теплообмен между телами здесь, как правило, не учитывают. Уравнение закона сохранения и превращения энергии в этом случае имеет вид:

$$0 = \Delta U + A \quad (4)$$

Решение задач второй группы удобно проводить по следующей схеме:

1. Анализируя условие задачи, нужно прежде всего установить, у какого из двух взаимодействующих тел изменяется внутренняя энергия и что является причиной этого изменения — работа, совершенная самим

телом, или работа, совершенная над телом. Кроме того, следует убедиться, что в процессе взаимодействия тел теплота извне к ним не подводится, т.е. действительно ли $Q = 0$.

2. Записать уравнение (4) для тела, у которого изменяется внутренняя энергия, учтя знак перед A и КПД (η) рассматриваемого процесса. При записи уравнения (4) с учетом к.п.д. удобно вступать так. Если по смыслу задачи работа совершается за счет уменьшения внутренней энергии одного из тел и по каким-либо причинам лишь часть ее идет на совершение работы A , то

$$A = \eta \cdot \Delta U \quad (4')$$

Если же из условия видно, что внутренняя энергия тела увеличивается за счет работы, совершенной над телом, и по каким-либо причинам лишь часть ее идет на увеличение U , то

$$\eta \cdot A = \Delta U \quad (4'')$$

3. Составив уравнение (4') или (4''), нужно найти выражение для A и ΔU . Для A возможно одно из следующих соотношений:

$$A = F \cdot s;$$

$$A = N \cdot \tau;$$

$$A = W_2 - W_1.$$

Здесь F – сила, s – перемещение, N – мощность, τ – время выполнения работы, W – энергия.

4. Для ΔU чаще всего достаточно использовать одну из формул:

$$\Delta U = q \cdot m \quad (\text{сжигание топлива});$$

$$\Delta U = c \cdot m \cdot \Delta t + \lambda \cdot m \quad (\text{нагрев и плавление тела});$$

$$\Delta U = c \cdot m \cdot \Delta t + r \cdot m \quad (\text{нагрев и испарение}).$$

Подставляя в исходное уравнение вместо A и ΔU их выражения, получим окончательное соотношение для определения искомой величины. Если в условиях задачи даются дополнительные условия, то к основному уравнению следует, как обычно, добавить вспомогательные.

5. Далее нужно выписать числовые значения известных величин, проверить число неизвестных в уравнениях и решить систему уравнений относительно искомой величины.

Задачи третьей группы объединяют в себе две предыдущие. В этих задачах рассматривают взаимодействие трех и более тел. В процессе такого взаимодействия к одному из тел подводится некоторое количество теплоты Q , в результате чего изменяется его внутренняя энергия и совершается работа.

Для решения этих задач надо **составить полное уравнение закона сохранения** и превращения энергии (1). Составление такого уравнения включает в себя приемы, описанные в пп. а-б.

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

Удельная теплоемкость вещества

$$c = \frac{Q}{m\Delta T};$$

где c – удельная теплоемкость вещества, Q – количество теплоты, m – масса вещества, ΔT – изменение температуры.

Удельная теплота парообразования

$$L = \frac{Q}{m};$$

где L – удельная теплота парообразования, Q – количество теплоты, необходимое для превращения в пар жидкости массой m , находящейся при температуре кипения.

Удельная теплота плавления

$$\lambda = \frac{Q}{m};$$

где λ – удельная теплота плавления, Q – количество теплоты, необходимое для плавления твердого тела массой m , находящейся при температуре плавления.

Уравнение теплового баланса

$$\sum Q_{\text{отд.}} = \sum Q_{\text{пр.}}.$$

где $\Sigma Q_{отд}$ – количество теплоты, отдаваемое более нагретыми телами при теплообмене, $\Sigma Q_{получ}$ – количество теплоты, получаемому более холодными.

Работа газа при изобарном процессе

$$A = p\Delta V;$$

где A – работа газа при изобарном процессе, p – давление идеального газа, V – объем идеального газа, T – абсолютная температура идеального газа, m – масса идеального газа, M – молярная масса, R – универсальная газовая постоянная.

Первое начало термодинамики

$$Q = \Delta U + A;$$

где Q – количество теплоты, полученной системой, ΔU – изменение внутренней энергии системы, A – работа, совершенная системой.

КПД тепловой машины

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1};$$

где η – КПД тепловой машины, A – полезная работа, совершенная рабочим телом, Q_1 – количество теплоты, полученное рабочим телом от нагревателя, Q_2 – количество теплоты, отданное рабочим телом холодильнику.

КПД идеальной тепловой машины

$$\eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

где $\eta_{\max}$ – КПД идеальной тепловой машины, T_1 – температура нагревателя, T_2 – температура холодильника.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача. В чайник налили воду при температуре 10 °С и поставили на нагреватель. Через 10 минут вода закипела. Через сколько минут после закипания она полностью выкипит?

Решение: Решение данной задачи будет очень сложным, если не использовать следующую формулу: $N = \frac{Q_1}{T_1}$,

где N – полезная мощность нагревателя (постоянная для каждого нагревателя величина),

Q_1 – количество теплоты, которое потребовалось для нагревания воды до кипения. Тогда $Q_2 = NT_2$, где Q_2 – количество теплоты, которое потребовалось для полного выкипания воды.

$$\text{Тогда } T_2 = \frac{Q_2}{N} = \frac{Q_2}{Q_1} T_1 = \frac{rmT_1}{c_{\text{вод}}m\Delta T} = \frac{rT_1}{c_{\text{вод}}\Delta T}.$$

В получившееся выражение подставляем числовые значения величин, вычисляем и получаем ответ 61 минута.

Задача. Стальной шарик массой 10 г вынут из печи и опущен в воду при температуре 10 °С. При этом температура поднялась до 25 °С. Какова была температура печи, если масса воды равна 50 г?

Решение: Считая, что вся теплота от нагретого шарика пошла на нагревание воды (потерь тепла нет) запишем уравнение теплового баланса, используя формулу:

$$c_1 m_1 (t_{\text{печи}} - t_2) = c_2 m_2 (t_2 - t_1)$$

Откуда выражаем искомую температуру печи

$$t_{\text{печи}} = t_2 + \frac{c_2 m_2}{c_1 m_1} (t_2 - t_1),$$

подставляем в неё числовые значения, вычисляем и получаем ответ 855 °С.

Задача. Для приготовления ванны емкостью 200л смешали холодную воду при 10°С с горячей при 60°С. Сколько литров холодной воды нужно взять, чтобы в ванне установилась температура 40°С?

Решение: Закон сохранения энергии при теплообмене между телами теплоизолированной системы имеет вид:

$Q_1 + Q_2 + \dots = 0$ - (уравнение теплового баланса).

При этом положительной считаются теплота, полученная телом, отрицательной – отданная, уравнение теплового баланса записывается автоматически для любого числа тел:

$$c_1 m_1 (t^* - t_1) + c_2 m_2 (t^* - t_2) + \dots = 0,$$

где t^* - температура теплового равновесия. В данной задаче, учитывая, что $m_1 = \rho V_1$ и $m_2 = \rho V_2$, получим

$$c V_1 (t^* - t_1) + c V_2 (t^* - t_2) = 0.$$

Учитывая, что

$$V_1 + V_2 = V,$$

где V- объем ванны, находим

$$V_1 = V \frac{t_2 - t^*}{t_2 - t_1} = 80 \text{ л.}$$

Задача. В латунный калориметр массой 0,15 кг, содержащий 0,20 кг воды при 15 °С, опустили железную гирю массой 0,26 кг при температуре 100 °С. Найти общую установившуюся температур. Потери тепла не учитывать.

Решение. Составим уравнение теплового баланса. Количество тепла, отданное железной гирей:

$$Q_2 = c_2 m_2 (T - \theta).$$

Количество тепла, полученное водой:

$$Q_6 = c_6 m_6 (\theta - T_1).$$

Количество тепла, полученное калориметром:

$$Q_K = c_K m_K (\theta - T_1).$$

На основании закона сохранения энергии

$$Q_2 = Q_6 + Q_K,$$

или

$$c_2 m_2 (T - \theta) = (c_6 m_6 + c_K m_K) (\theta - T_1).$$

Находим из уравнения теплового баланса окончательную температуру:

$$\theta = \frac{c_1 m_1 T + (c_6 m_6 + c_K m_K) T_1}{c_1 m_1 + c_6 m_6 + c_K m_K}.$$

Подставляя числовые значения величин, получаем

$$\frac{460 \cdot 0,26 \cdot 373 + (4187 \cdot 0,2 + 380 \cdot 0,15) \cdot 288}{460 \cdot 0,26 + 4187 \cdot 0,2 + 380 \cdot 0,15} \frac{(\text{Дж} / \text{кг} \cdot \text{К}) \cdot \text{кг} \cdot \text{К}}{(\text{Дж} / \text{кг} \cdot \text{К}) \cdot \text{кг}} = 298 \text{ К}$$

Ответ: Окончательная температура 298 К (25°С).

Задача. Стальной снаряд, летевший со скоростью 200 м/с, ударяется в земляную насыпь и застревает в ней. На сколько градусов повысится температура снаряда, если на его нагревание пошло 60 % кинетической энергии?

Решение. Из всей кинетической энергии снаряда на его нагревание ушла часть энергии $\frac{1}{2} \kappa m v_0^2$.

Увеличение внутренней энергии снаряда равно

$$cm\Delta T.$$

Составим уравнение теплового баланса:

$$cm\Delta T = \kappa \frac{mv_0^2}{2}.$$

Из составленного уравнения теплового баланса:

$$\Delta T = \frac{\kappa v_0^2}{2}.$$

Подставляя числовые значения, получаем

$$\Delta T = \frac{0,6 \cdot 40000 \text{ м}^2 / \text{с}^2}{2 \cdot 460 \text{ Дж} / (\text{кг} \cdot \text{К})} \approx 26 \text{ К}$$

Ответ. Температура снаряда повысилась примерно на 26 К.

Задача. На сколько километров пути хватит автомобилю 40 л бензина, если сила тяжести автомашины 35,3 кН, общее сопротивление движению составляет 0,050 этой силы, к.п.д. двигателя 18 %. Движение считать равномерным.

Решение. Пройденный путь можно найти из формулы для работы, совершенной двигателем:

$$s=A/F.$$

Работу A двигатель совершает, используя часть (Q_1) всей энергии Q , полученной при сжигании топлива:

$$\eta=Q_1/Q, \text{ откуда } Q_1=Q\eta.$$

Энергия, выделяющаяся при сгорании топлива,

$$Q=qm, \text{ где } m=\rho V.$$

Отсюда

$$A=Q_1= Q\eta= qm\eta=q\rho V\eta.$$

Сила тяги при равномерном движении равна силе сопротивления движению F , которая по условию составляет 0,050 силы тяжести машины, т.е.

$$F=0,050 P.$$

Полученные нами выражения для A и F подставляем в формулу для s :

$$s=\frac{q\rho\eta V}{0.050P}.$$

Подставляя числовые значения и вычисляя, получаем

$$s=\frac{4,6 \cdot 10^7 \text{ Дж / кг} \cdot 700 \text{ кг / м}^3 \cdot 0,040 \text{ м}^3 \cdot 0,18}{0,050 \cdot 35300 \text{ Н}} \approx 130000 \text{ м} \approx 130 \text{ км}.$$

Ответ. Бензина хватит примерно на 130 км.

Задача. Вычислите КПД газовой горелки, если в ней используется газ с теплотой сгорания 36 Мдж/м^3 , а на нагревание 3 л воды в чайнике от 10°C до кипения было израсходовано 60 л газа. Теплоёмкость чайника $600 \text{ Дж/(кг}^\circ\text{C)}$, удельная теплоёмкость воды $4200 \text{ Дж/(кг}^\circ\text{C)}$

Решение: КПД тепловой машины вычисляется по формуле $\eta = \frac{A_{\text{полезная}}}{Q}$,

полезной работой в этой ситуации будет работа совершаемая горелкой при нагревании чайника и при нагревании непосредственно воды. При этом сгорит некоторое количество газа и при горении выделится количество теплоты Q .

$$A_{\text{полезная}} = Q_{\text{нагр.чайника}} + Q_{\text{чайника}}$$

$$\eta = \frac{c_{\text{воды}} m \Delta t + C_{\text{чайника}} \Delta t}{q V_{\text{газа}}}, \text{ где } m_{\text{воды}} = \rho V_{\text{воды}}$$

Подставляем исходные данные, производим вычисления и получаем ответ 55%.

Задача. С какой высоты (в км) должен падать оловянный шарик, чтобы при ударе о поверхность он полностью расплавился? Считать, что 50% энергии шарика идет на его нагревание и плавление. Начальная температура шарика 32°C . Температура плавления олова 232°C , его удельная теплоемкость $200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$, удельная теплота плавления 58 кДж/кг . $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Решение: Уменьшение механической энергии при падении и неупругом ударе шарика равно его начальной потенциальной энергии. В соответствии с законом сохранения энергии именно настолько возросла внутренняя энергия системы воздух-шарик-Земля: $\Delta U = mgh$.

Половина этой энергии идет на приращение внутренней энергии шарика, в результате чего происходит его нагревание и плавление:

$$\frac{1}{2} mgh = c m \Delta t + \lambda m,$$

где $\Delta t = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - разница между температурой плавления и начальной температурой шарика. Получаем:

$$h = \frac{2(c\Delta t + \lambda)}{g} = 20 \text{ км}.$$

Задача. На электроплитке мощностью 600 Вт за 35 мин нагрели 2,0 л воды от 293 до 373 К, причем 200 г воды обратилось в пар. Определить к.п.д. электроплитки.

Решение: По определению к.п.д. нагревателя равен

$$\eta = (Q_1/Q) \cdot 100\%,$$

где $Q_1 = c_e \cdot m_e (T_2 - T_1) + rm$ - количество тепла, израсходованное на нагревание воды и на превращение части её в пар, $Q = Pt$ - тепловая энергия, израсходованная электроплиткой.

Подставим выражения для Q_1 и Q в формулу для к.п.д.:

$$\eta = \frac{c_e m_d (T_2 - T_1) + rm}{Pt}.$$

Подставляя числовые значения, получаем

$$\eta = \frac{4187 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K}) \cdot 2 \text{ кг} \cdot 80 \text{ K} + 2,26 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{кг} \cdot 0,2 \text{ кг}}{600 \text{ Вт} \cdot 2100 \text{ с}} \approx 0,89.$$

Ответ: Коэффициент полезного действия электроплитки приблизительно равен 89%.

Задача. У какого количества воды можно понизить температуру от 20 до 0°С, охлаждая её 200 г серного эфира с начальной температурой 20°С, испаряющегося под уменьшенным давлением? Удельную теплоту испарения эфира считать не зависящей от температуры. К.п.д. установки 80%.

Решение. Задача решается с помощью уравнения теплового баланса. Испаряющийся при пониженном давлении эфир должен поглотить количество тепла qm . Так как при этом он охлаждается от T_1 до T_2 , количество тепла, поглощенное им извне, будет равно $qm - mc(T_1 - T_2)$. Из-за несовершенства теплоизоляции тепло будет поступать и от окружающего атмосферного воздуха; по условию от охлаждаемой воды будет взята лишь часть $Q_1 = \eta[r m - mc(T_1 - T_2)]$ необходимо для испарения эфира тепла. На основании закона сохранения энергии имеем

$$\eta m = [r - c(T_1 - T_2)] = c_e m_e (T_1 - T_2).$$

Подставляя числовые значения, получим

$$m_e = \frac{0,8 \cdot 0,2 \text{ кг} \cdot [3,52 \cdot 10^5 \text{ Дж / кг} - 2330 \text{ Дж / (кг} \cdot \text{K)} \cdot 20 \text{ K}]}{4187 \text{ Дж / (кг} \cdot \text{K)} \cdot 20 \text{ K}} \approx 0,58 \text{ кг}$$

Ответ. Масса воды, у которой можно понизить температуру, равна примерно 0,58 кг.

Задача. К. п. д. холодильника равен 80 %. Какое количество холодильного агента (фреона -12) должно испариться для обращения в лед 150 г воды с начальной температурой 289?

Решение: Задача решается с помощью уравнения теплового баланса. Количество теплоты, которое отдает вода при охлаждении и замерзании,

$$Q_1 = c_в m_в (T_1 - T_2) + \lambda m_в$$

Количество теплоты, затраченное на испарение фреона,

$$Q_2 = r_ф m_ф.$$

Величины Q_1 и Q_2 связаны между собой формулой

$$\eta = Q_1 / Q_2.$$

На основании закона сохранения энергии составляем уравнение теплового баланса:

$$c_в m_в (T_1 - T_2) + \lambda m_в = r_ф m_ф \eta.$$

Решив это уравнение относительно $m_ф$, найдем

$$m_ф = \frac{c_в m_в (T_1 - T_2) + \lambda m_в}{r_ф \eta}.$$

Подставляя числовые значения, получаем

$$m_ф = \frac{0,150 \text{ кг} \cdot [4187 \text{ Дж} / (\text{кг} \cdot \text{К}) \cdot 16 \text{ К} + 3632 \cdot 10^5 \text{ Дж} / \text{кг}]}{1,68 \cdot 10^6 \text{ Дж} / \text{кг} \cdot 0,80}.$$

Ответ. Масса испарившегося фреона равна примерно 0,044 кг.