

**Департамент образования и социально-правовой защиты детства
администрации города Нижнего Новгорода
муниципальное образовательное учреждение Лицей № 40**

603006, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Варварская д. 15 а, тел.: 433-19-49 факс: 433-21-61,
e-mail: lycee40@sandy.ru <http://www.lic40nn.edusite.ru/>

Методическое объединение учителей физики, основ
физического эксперимента и астрономии

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
И СБОРНИК ЗАДАЧ
ПО ФИЗИКЕ
ДЛЯ УЧАЩИХСЯ 8-Х КЛАССОВ**

**Часть I
ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ**

Авторы: А.В. Беликович
В.Ю. Ковалев
Р.Н. Шилков

Нижний Новгород, 2024г.

Беликович А.В., Ковалев В.Ю., Шилков Р.Н.

Методические рекомендации и сборник задач по физике для учащихся 8-х классов. Часть I ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ – Нижний Новгород: ЛИЦЕЙ 40, 2024. с.

В пособии приведены методические рекомендации по обучению физики в 8-м классе для школ с углубленным изучением предмета, приведены примеры решения задач и большое количество задач для самостоятельной работы по теме «Тепловые явления», а также методические рекомендации по обработке результатов экспериментов при проведении лабораторных работ.

Авторы и издательство приносят свои извинения за неточности, ошибки, опечатки и пр., допущенные при наборе и верстке текста

Компьютерный набор: Лапин Сергей

Компьютерная верстка: Шилков Р.Н., Беликович А.В.

©Беликович А.В., Ковалев В.Ю., Шилков Р.Н.

©издательство ЛИЦЕЙ 40

Глава 1. Изменение внутренней энергии в процессах теплопередачи.

§1. Основные положения МКТ.

Фундаментом молекулярно-кинетической теории (МКТ) является *гипотеза*, что все тела в природе состоят из мельчайших структурных единиц - атомов и молекул (комбинаций атомов). Атомистическая гипотеза зародилась 2500 лет назад в Древней Греции (Левкипп и Демокрит из Абдеры) и была окончательно сформулирована в трудах европейских ученых XIX в. Выдающийся русский ученый-энциклопедист М. В. Ломоносов еще в XVIII в. рассматривал тепловые явления как результат движения частиц, образующих тела.

Молекула — это мельчайшая частица вещества, сохраняющая его химические свойства.

Основные положения молекулярно-кинетической теории (МКТ):

- 1) Все тела состоят из структурных единиц—молекул, атомов и ионов.

Размеры атомов (молекул) равны 10^{-10} - 10^{-9} м. Число атомов (молекул) в единице объема вещества (твердого тела или жидкости) порядка 10^{22} частиц в 1 см^3 . Сложные многоатомные молекулы могут иметь размеры в сотни и тысячи раз больше.

- 2) Все молекулы, атомы и ионы хаотично и непрерывно движутся.

Наиболее яркое доказательство - *броуновское движение* (ботаник Р. Броун, 1827 г.)хаотичное непрерывное движение мелких частиц,

взвешенных в жидкости, происходящее из-за непрерывных беспорядочных соударений этих частиц с молекулами жидкости.

Броуновское движение — беспорядочное движение микроскопических видимых взвешенных частиц твёрдого вещества в жидкости или газе, вызываемое тепловым движением частиц жидкости или газа.

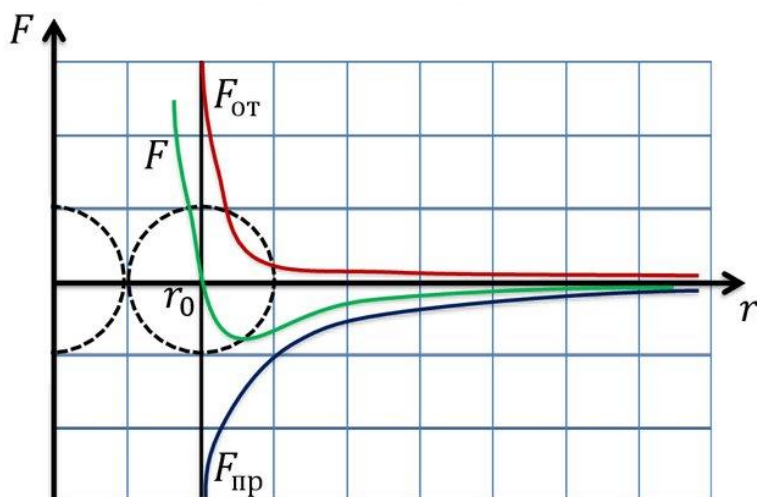
Другой простой экспериментальный факт, доказывающий тепловое движение атомов вещества, - **диффузия**.

Диффузия - это процесс проникновения молекул одного вещества между молекулами другого.

Скорость молекулы- составляет от 500м/с до 1100м/с при комнатной температуре

- 3) Все структурные единицы взаимодействуют между собой: на больших расстояниях притягиваются, на малых отталкиваются.

Частицы взаимодействуют друг с другом силами, имеющими электрическую природу. Гравитационное взаимодействие между частицами пренебрежимо мало. Взаимодействие включает одновременно силы притяжения и отталкивания. На расстоянии, которое считают диаметром молекулы, силы компенсируют друг друга и суммарная сила



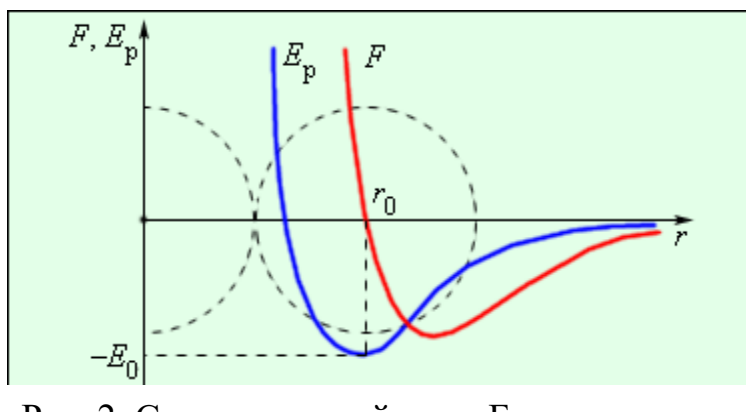
r_0 — положение устойчивого равновесия — положение, при котором сила отталкивания равна силе притяжения.

Рис.1.

равна нулю. С увеличением расстояния частицы притягиваются (сила притяжения падает $\sim r^{-7}$ медленнее, чем сила отталкивания $\sim r^{-9}$). При расстояниях меньше радиуса молекулы превалирует сила отталкивания.

Согласно математической связи между потенциальной энергией и силой взаимодействия, ноль в значении силы соответствует минимуму потенциальной энергии. Потенциальная энергия взаимодействия молекул при $r = r_0$ минимальна.

Зависимости результирующей силы F (суммы сил отталкивания и притяжения) и потенциальной энергии E_p взаимодействия между молекулами от расстояния между их центрами качественно изображены на рисунке. Чтобы удалить друг от друга две молекулы, находящиеся на расстоянии r_0 , нужно сообщить им дополнительную энергию E_0 . Величина



E_0 называется глубиной потенциальной ямы или энергией связи.

Рис .2. Сила взаимодействия F и потенциальная энергия взаимодействия E_p двух молекул. $F > 0$ – отталкивание, $F < 0$ – притяжение.

§1.1 Зависимость характера теплового движения от агрегатного состояния вещества.

Хаотическое непрерывное движение молекул (и других структурных единиц) тела называют тепловым движением. Характер теплового движения молекул зависит от того, в каком агрегатном состоянии (твердом, жидком или газообразном) находится вещество.

В твердом теле атомы или молекулы совершают беспорядочные колебания около фиксированных центров (положений равновесия). Эти центры могут быть расположены в пространстве нерегулярным образом (*аморфные тела*) или образовывать упорядоченные объемные структуры (*кристаллические тела*). Поэтому твердые тела сохраняют и форму, и объем. У *кристаллических* твердых тел центры атомов (молекул) образуют пространственную решетку, в узлах которой находятся атомы вещества. *Аморфные* твердые тела не обладают жесткой структурой и скорее напоминают застывшие жидкости (в частности, под действием определенной силы аморфное тело может течь как жидкость).

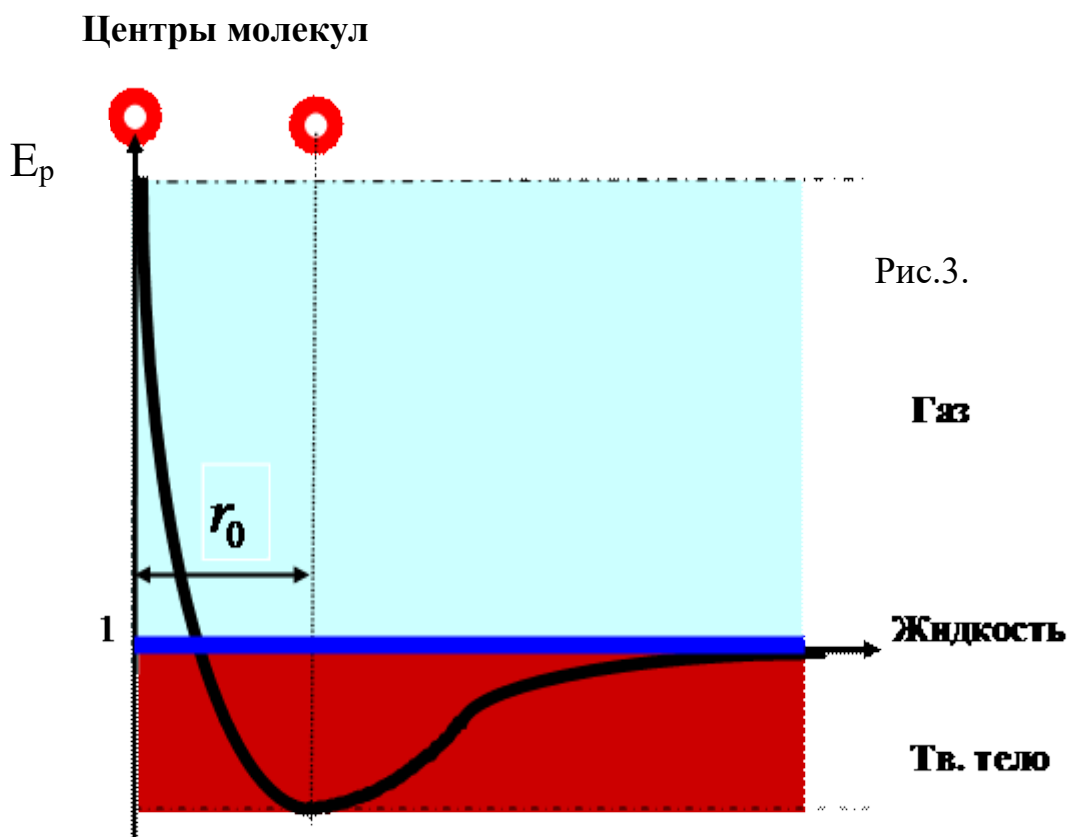
В жидкости молекулы расположены достаточно близко друг к другу, так что при попытке сжатия жидкости возникают большие силы отталкивания. Отсюда малая сжимаемость жидкостей. С другой стороны, всякая внешняя сила заставляет молекулы жидкости перемещаться, что объясняет текучесть жидкости. В жидкостях молекулы имеют значительно большую свободу для теплового движения, чем в твердых телах. Они не привязаны к определенным центрам и могут перемещаться по всему объему. Этим объясняется текучесть жидкостей. Ближко расположенные молекулы жидкости также могут образовывать упорядоченные структуры, содержащие несколько молекул. Это явление называется ближним порядком в отличие от дальнего порядка, характерного для кристаллических тел.

В газах расстояния между молекулами обычно значительно больше их размеров. Силы взаимодействия между молекулами на таких больших расстояниях малы, и каждая молекула движется вдоль прямой линии до очередного столкновения с другой молекулой или со стенкой сосуда. Среднее расстояние между молекулами воздуха при нормальных условиях порядка 10^{-8} м, т. е. в десятки раз превышает размер молекул. Слабое

взаимодействие между молекулами объясняет способность газов расширяться и заполнять весь объем сосуда.

§1.2. Зависимость характера теплового движения от средней энергии молекул.

Графики изменения потенциальной энергии молекул в зависимости от расстояния между ними у различных веществ имеют индивидуальные характеристики, но одну форму. Этот график позволяет понять причину существования вещества в определённых агрегатных состояниях и причину фазовых переходов, например, испарение и конденсацию. На (рис.3) показаны зоны твёрдого, жидкого и газообразного агрегатного состояния для любых веществ.



Каждая молекула имеет потенциальную и кинетическую энергию. Кинетическая энергия не может быть отрицательной, следовательно молекулы могут находиться только на таких расстояниях, когда средняя энергия молекулы больше потенциальной. Ноль потенциальной энергии выбираем, исходя из того, что на бесконечно больших расстояниях она стремится к нулю.

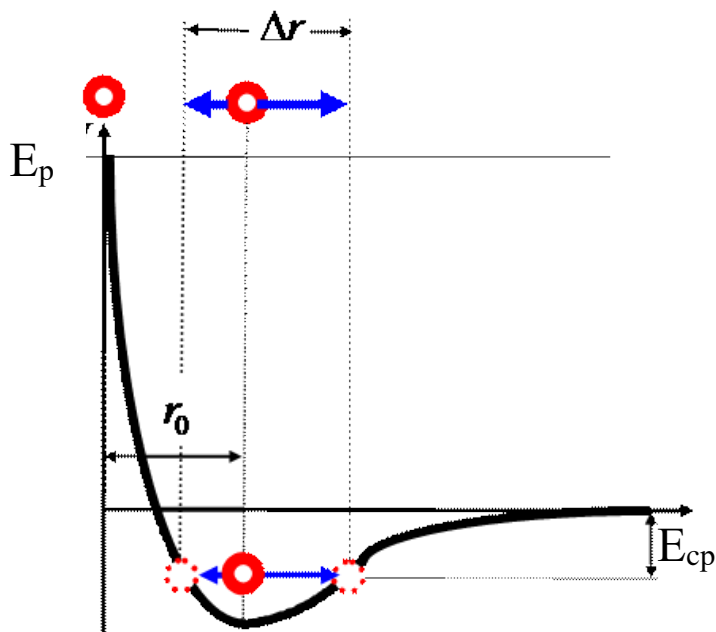


Рис.4. Взаимодействие двух молекул вещества в твёрдом агрегатном состоянии.

Молекулы твёрдого вещества могут находиться недалеко от точки минимума потенциальной энергии, колеблются вокруг неё.

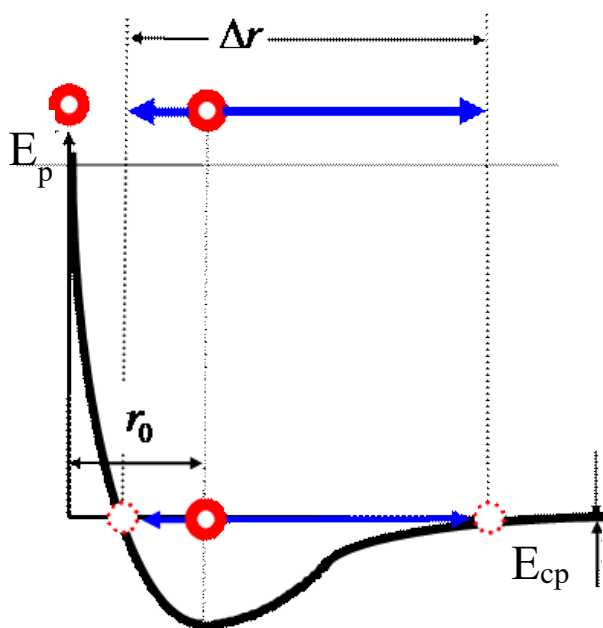


Рис.5. Взаимодействие двух молекул вещества в агрегатном состоянии жидкости.

Молекулы жидкости не могут приближаться друг к другу на расстояния больше, чем молекулы твёрдого тела,, поэтому жидкости мало сжимаемы. Удаляться они могут на значительные, но не очень большие расстояния, они перескакивают, что объясняет текучесть жидкости.

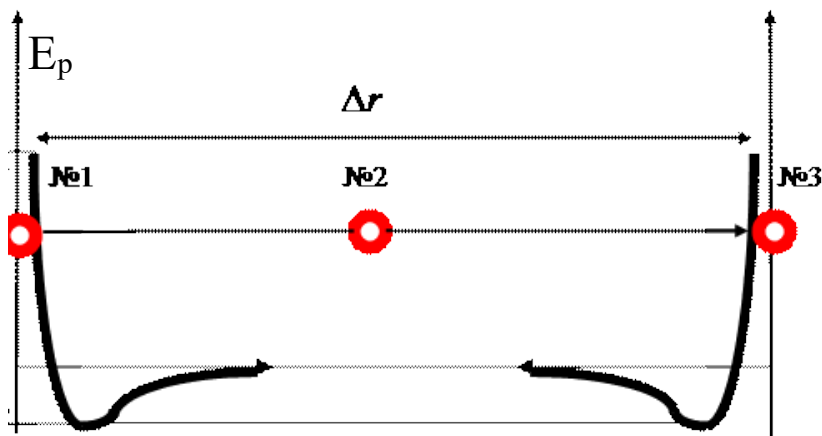


Рис.6.

Взаимодействие молекул в газообразном агрегатном состоянии вещества.

На (рис. 6) молекула №2 движется от молекулы №1, с которой уже произошло упругое столкновение, до молекулы №3, с которой столкновение предстоит. Величина свободного пробега молекулы №2 составляет Δr . После столкновения с молекулой №3 молекула №2 будет двигаться к другой молекуле (№4) и т.д. Ничто не ограничивает возможности молекул разлетаться, удаляясь друг от друга.

§2. Внутренняя энергия и её изменение.

Каждая молекула вещества обладает кинетической и потенциальной энергией, поэтому всякое тело (наряду с механической энергией) обладает внутренней энергией.

Кинетической энергией материальной точки массы m называется энергия, определяемая скоростью v материальной точки в данной инерционной системе отсчета.

Потенциальной энергией называется энергия, которая определяется взаимным расположением взаимодействующих тел или их частей.

Внутренняя энергия — это сумма кинетических энергий теплового хаотического движения молекул и потенциальных энергий их взаимодействий.

$$U = E_K + E_P$$

Температура – это физический параметр, одинаковый для всех тел, находящихся в тепловом равновесии. Тепловое равновесие – это такое состояние системы тел, находящихся в тепловом контакте, при котором не происходит теплопередачи от одного тела к другому, и все макроскопические параметры тел остаются неизменными.

Температура есть мера средней кинетической энергии хаотического поступательного движения молекул. Средняя кинетическая энергия хаотического движения молекул газа прямо пропорциональна абсолютной температуре. Абсолютная температура измеряется по шкале Кельвина, которую называют «газовой» шкалой. её ноль совпадает с абсолютным нулём (-273° С), а один кельвин(1К) равен одному градусу Цельсия.

Существует два способа изменения внутренней энергии: механической работа и теплопередача.

Изменение внутренней энергии и передача ее от одного тела к другому происходит в процессе взаимодействия тел. Возможны два способа такого взаимодействия. Первый – когда внутренняя энергия одного тела изменяется за счет изменения энергии упорядоченного движения другого тела (механической работы), второй – когда изменение внутренней энергии происходит вследствие соударения хаотически движущихся молекул соприкасающихся тел

Процесс изменения внутренней энергии тела, обусловленный передачей теплового движения молекул без совершения работы внешней средой, называется процессом *теплопередачи*.

Теплопередача—процесс изменения внутренней энергии без совершения работы, теплопередача возможна только от тела с большой температурой к телу с меньшей температурой.

Мерой изменения внутренней энергии тел, происходящего при теплообмене, является *количество теплоты*.

Механическая работа— это скалярная величина, равная произведению модуля силы на модуль перемещения и косинус угла между ними.

Первый закон термодинамики:

Количество теплоты, подведенное к телу, идет, в общем случае, на изменение внутренней энергии тела и на совершение телом работы над внешней средой (закон сохранения и превращения энергии):

$$Q = \Delta U + A$$

Количеством теплоты Q , переданное телу, считается при этом положительным, отданное телом – отрицательным. Работа считается положительной, если тело совершает работу над внешней средой (угол между силой и перемещением острый), отрицательной, если работа совершается над телом (угол тупой).

Количество теплоты и работа являются мерами изменения внутренней энергии, первая – в процессе теплопередачи, вторая – в процессе превращения механической энергии в теплоту.

Единицей количества теплоты является *джоуль* (Дж).

$$[Q] = Дж = \frac{кг \cdot м^2}{с^2}$$

5. Существуют *три вида теплопередачи*: конвекция, теплопроводность и излучение.

Конвекция – передача тепла струями жидкости или газа

Теплопроводность– передача теплоты от более нагретой части тела к менее нагретой или от более нагретого тела к менее нагретому при непосредственном контакте.

Излучение – процесс передачи теплоты на расстоянии с помощью электромагнитных волн инфракрасного спектра..

§2.1. Внутренняя энергия. Качественные задачи.

Задача 1. Закрытую пробирку поместили в горячую воду. Изменилась ли кинетическая и потенциальная энергия молекул воздуха в пробирке? Если изменилась, то как?

Задача 2 . В один стакан налита холодная вода, в другой – кипяток. В каком стакане вода обладает большей внутренней энергией?

Задача 3. Два медных бруска массами 100 и 500 г, взятых при комнатной температуре, погрузили в горячую воду на одинаковое время. Изменилась ли их внутренняя энергия? Одинаково ли изменилось значение внутренней энергии этих брусков относительно друг друга? Ответ обоснуйте.

Задача 4. В сосуде нагрели воду. Можно ли сказать, что внутренняя энергия воды увеличилась? Можно ли сказать, что воде передано некоторое количество теплоты? Ответ обоснуйте.

Задача 5. После обработки на точильном круге зубило стало горячим. Зубило, вынутое из горна, тоже горячее. Одинакова ли причина повышения температуры зубила?

Задача 6 В закрытой трубке находится капля ртути. Трубку с одного конца нагрели. Объясните, за счет какой энергии совершается работа по перемещению ртути в трубке.

Задача 7. При трении головки спички о коробок спичка воспламеняется. Объясните явление.

Задача 8. Спичка загорается при трении ее о коробок. Она вспыхивает и при внесении ее в пламя свечи. В чем сходство и различие причин, приведших к воспламенению спички?

Задача 9. Можно ли сказать (см. предыдущую задачу), что внутренняя энергия спичечной головки увеличилась, что ей передано некоторое количество теплоты, что она нагрелась до температуры воспламенения?

Задача 10. Почему воспламеняется горючее в капсуле патрона при ударе по ней бойком во время выстрела?

Задача 11. В пробирку наливают немного воды, затыкают пробкой и нагревают воду. Спустя некоторое время пробка вылетает. Какие превращения энергии происходят в опыте?

Задача 12. Со дна водоема всплывает пузырек воздуха. За счет чего увеличивается его потенциальная энергия?

Задача 13. Объясните, почему происходит изменение внутренней энергии: а) при сжатии и расширении воздуха; б) при нагревании воды в кастрюле; в) при сжатии и растяжении резины; г) при таянии льда.

Задача 14. Приведите примеры изменения внутренней энергии тела в процессе совершения работы при: а) трении; б) ударе; в) сжатии.

Задача 15. В одном сосуде разреженный газ. В другом таком же сосуде - сжатый. Какой газ имеет большую потенциальную энергию взаимодействия молекул и почему?

Задача 16. Почему пила нагревается, если ею пилить длительное время?

Задача 17. Объясните, на каком физическом явлении основан способ добывания огня трением.

Задача 18. Почему коньки легко скользят по льду, а по стеклу, поверхность которого более гладкая, на коньках катится невозможно?

Задача 19. Почему при вбивании гвоздя его шляпка нагревается слабо, а когда гвоздь уже вбит, достаточно нескольких ударов, чтобы сильно нагреть шляпку?

Задача 20. Какие превращения энергии происходят при торможении движущегося автомобиля?

Задача 21. Как изменяется внутренняя энергия газа в пузырьке, который поднимается со дна водоема?

Задача 22. Почему шариковые подшипники у машин нагреваются меньше, чем подшипники скольжения?

Задача 23. Что является причиной сильного нагревания и сгорания искусственных спутников Земли при вхождении их в нижние плотные слои атмосферы?

Задача 24. При скоростной обработке металла температура в точках отделения стружки от изделия повышается на $800 - 900\text{ }^{\circ}\text{C}$. Объясните причину явления.

Задача 25. При опиловке металла один ученик за 5 мин снял слой толщиной 2 мм. Другой ученик при обработке такой же детали за то же время снял слой толщиной 3 мм. Почему повысилась температура деталей? У какого из учащихся деталь после обработки приобрела более высокую температуру? Почему?

Задача 26. Как объяснить, что при откачивании воздуха из баллона внутренняя энергия оставшейся части воздуха уменьшилась?

§2.2. Виды теплопередачи. Качественные задачи.

Задача 27. В стакан налит горячий чай. Как осуществляется теплообмен между чаем и стенками стакана?

Задача 28. Как изменится внутренняя энергия нагретого тела при опускании его в холодную воду? Почему?

Задача 29. Железная и медная заклепки имеют одинаковую массу и температуру. Заклепки опустили в холодную воду. Какая из них быстрее охладится?

Задача 30. Приведите примеры изменения внутренней энергии тела в процессе теплообмена (теплопередачи).

Задача 31. Каким образом будет происходить теплообмен, если кипяток из стакана вылить в бочку, наполненную холодной водой? Когда этот процесс прекратится?

Задача 32. Зачем канализационные и водопроводные трубы зарывают в землю на значительную глубину?

Задача 33. Зачем ствол винтовки покрывают деревянной ствольной накладкой?

Задача 34. В медный и стеклянный сосуд налили жидкость. Какой из стаканов быстрее примет температуру налитой жидкости?

Задача 35. Почему вы обжигаете губы, когда пьете чай из металлической кружки и не обжигаете, когда пьете чай из фарфоровой кружки (температура чая одинакова)?

Задача 36. В каком чайнике вода скорее нагреется: в новом или в старом, на стенках которого имеется накипь?

Задача 37. Если температура в комнате 16°C , то нам не холодно, но если войти в воду, температура которой 20°C , то мы ощущаем довольно сильный холод. Почему?

Задача 38. При одинаковой температуре гранита и кирпича кирпич на ощупь кажется теплее гранита. Какой из этих строительных материалов обладает лучшей теплопроводностью?

Задача 39. Зимой на улице металл на ощупь холоднее дерева. Какими будут казаться на ощупь металл и дерево в тридцатиградусную жару? Почему?

Задача 40. Почему шерстяная одежда сохраняет теплоту лучше, чем хлопчатобумажная?

Задача 41. Зачем на зиму приствольные круги земли у плодовых деревьев покрывают слоями торфа, навоза или древесных опилок?

Задача 42. Прежде чем налить в стакан кипятка, в стакан опускают чайную ложку. Для чего это делают?

Задача 43. Зачем в южных широтах нашей Родины местные жители во время сильной жары носят шапки-папахи и ватные халаты?

Задача 44. Какой дом теплее – деревянный или каменный, если толщина стен одинакова?

Задача 45. Почему все пористые строительные материалы (пористый кирпич, пеностекло, пенистый бетон и др.) обладают лучшими теплоизоляционными свойствами, чем плотные стройматериалы?

Задача 46. Почему в безветрие пламя свечи устанавливается вертикально?

Задача 47. Объясните, почему радиаторы центрального отопления ставят обычно под окнами.

Задача 48. Зачем в верхних и нижних частях корпусов проекционных аппаратов, больших электрических фонарей, киноаппаратов делают отверстия?

Задача 49. В промышленных холодильниках воздух охлаждается с помощью труб, по которым течет охлажденная жидкость. Где надо располагать эти трубы – вверху или внизу помещения?

Задача 50. Сильная струя воздуха, которая идет от вентилятора, создает прохладу. Можно ли этой струей сохранить мороженное в твердом виде?

Задача 51. Почему в печах с высокими трубами тяга выше, чем в печах с низкими трубами?

Задача 52. Почему в металлических печных трубах тяга меньше, чем в кирпичных трубах?

Задача 53. Возможны ли конвекционные потоки в жидкостях или газах в искусственном спутнике Земли в состоянии невесомости?

Задача 54. Почему грязный снег в солнечную погоду тает быстрее, чем чистый?

Задача 55. Зачем оболочку стратостата красят «серебряной» краской?

Задача 56. Какие почвы лучше нагреваются солнечными лучами: черноземные или подзолистые, имеющие более светлую окраску?

Задача 57. Зачем в железнодорожных вагонах-ледниках, служащих для перевозки фруктов, мяса, рыбы и других скоропортящихся продуктов, промежутки между двойными стенками заполняют войлоком или несколькими слоями каких-либо пористых веществ, а снаружи вагоны окрашивают в белый или светло-желтый цвет?

Задача 58. В каком платье летом менее жарко: в белом или в темном? Объясните почему.

Задача 59. Объясните назначение стеклянных рам в парниках.

Задача 60. Почему горячая вода, оставленная в термосе, со временем охлаждается?

Задача 61. Можно ли термос временно использовать как холодильник?

§3. Нагревание и охлаждение вещества

Рассмотрим изменение внутренней энергии тела без изменения агрегатного состояния.

Скалярная величина, равная количеству теплоты, которое требуется для изменения температуры тела на один градус без изменения агрегатного состояния, называется *общей теплоемкостью* C_0 .

$$[C_0] = \frac{\text{Дж}}{^\circ\text{C}}$$

Скалярная величина, равная количеству теплоты, которое требуется для изменения температуры тела массой 1 кг на 1°C градус без изменения агрегатного состояния, называется *удельной теплоемкостью* C .

$$[C] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Физический смысл : Удельная теплоемкость вещества равна X Дж/(кг·°C)– что это означает, что если телу массой 1 кг передать X Дж, то его температура изменится на 1 градус по Цельсию, без изменения агрегатного состояния.

Если внутренняя энергия тела изменяется без изменения агрегатного состояния, то изменение внутренней энергии тела массой m равно:

$$\Delta U = cm\Delta t^\circ, \text{ или } \Delta U = C_0\Delta t^\circ,$$

где $\Delta t = t_t - t_1$ - изменение температуры тела,

c – удельная, а C_0 – общая теплоемкость вещества.

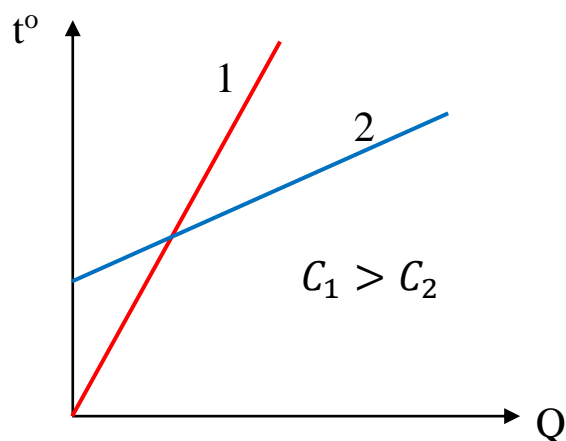


Рис.7. Графическая интерпретация зависимости температуры от количества переданного тепла.

Это процессы связанные с изменением температуры тела. Меняется как кинетическая энергия молекул, так и потенциальная, связанная с тепловым расширением.

§3.1. Задачи на расчет количества теплоты.

Задача 62. Почему нагретые детали в воде охлаждаются быстрее, чем на воздухе?

Задача 63. Как образуются бризы (местные ветры, дующие днем с моря на сушу, а ночью с суши на море)?

Задача 64. Почему вода в открытых водоемах нагревается солнечными лучами медленнее, чем суша?

Задача 65. Кубики, изготовленные из меди, стали и алюминия, массой 1 кг охлаждают на 1°C . На сколько Джоулей и как изменится внутренняя энергия каждого кубика?

Задача 66. На что больше расходуется энергии: на нагревание чугунного горшка или воды, налитой в него, если их массы одинаковы?

Задача 67. Алюминиевую и серебряную ложки одинаковой массы и температуры опустили в кипяток. Равное ли количество теплоты получили они от воды?

Задача 68. По стальной и свинцовой заготовкам равных масс ударили молотком равное число раз. Какая из них больше нагрелась? Ответ обоснуйте.

Задача 69. Термос, вместимость которого 3 л, наполнили кипятком. Через сутки температура воды в нем понизилась до 77°C . Определите, на сколько изменилась внутренняя энергия воды.

Задача 70. В алюминиевом чайнике нагрели воду и построили графики зависимости количества теплоты, полученной чайником и водой, от времени нагревания. Постройте эти графики зависимости для чайника и для воды в одних координатных осях. Объясните результат.

Задача 71. На одинаковых горелках нагревались вода, медь и железо равной массы. Постройте графики зависимости количества теплоты от

времени нагревания для воды, для меди и для железа в одних координатных осях. Объясните результат..

Задача 72. Для изменения температуры нафталина, никеля и фарфора массой 1 кг на 1°C соответственно требуется 130; 460; и 750 Дж энергии. Чему равна удельная теплоемкость этих веществ?

Задача 73. Для нагревания золота, бронзы, никеля, глицерина и молока массой 2 кг на 1°C соответственно расходуется 260; 760; 920; 4800 и 7800 Дж энергии. Чему равна удельная теплоемкость этих веществ?

Задача 74. Нагретый камень массой 5 кг, охлаждаясь в воде на 1°C , передает ей 2,1 кДж энергии. Чему равна удельная теплоемкость камня?

Задача 75. Какое количество теплоты потребуется для нагревания на 1°C воды объемом 0,5 л; олова массой 500 г; серебра объемом 2 см^3 ; стали объемом $0,5\text{ м}^3$; латуни массой 0,2 т?

Задача 76. Стальная деталь массой 20 кг при обработке на токарном станке нагревается на 50°C . Сколько энергии израсходовано двигателем на нагревание детали?

Задача 77. Стальное сверло массой 100 г при работе нагрелось от 15 до 115°C . Сколько энергии израсходовано двигателем на нагревание сверла?

Задача 78. В каком отношении нужно взять объемы свинца и олова, чтобы их теплоемкости были одинаковы?

Задача 79. Перед горячей штамповкой латунную болванку массой 15 кг нагрели от 15 до 750°C . Какое количество теплоты для этого потребовалось?

Задача 80. Какое количество теплоты отдаст стакан кипятка (250 см^3), остывая до температуры 14°C ?

Задача 81. Какое количество теплоты отдаст кирпичная печь массой $0,35 \text{ т}$, остывая с изменением температуры на 50°C ?

Задача 82. Какое количество теплоты выделилось при охлаждении чугунной болванки массой 32 кг , если ее температура изменилась от 1115 до 15°C ?

Задача 83. Какое количество теплоты потребуется, чтобы в алюминиевом котелке массой 200 г нагреть $1,5 \text{ л}$ воды от 20°C до кипения?

Задача 84. В алюминиевой кастрюле, масса которой 800 г , нагревается вода, объем которой 5 л , от 10°C до кипения. Какое количество теплоты пойдет на нагревание кастрюли и воды?

Задача 85. В железный душевой бак, масса которого 65 кг , налили холодной колодезной воды объемом 200 л . В результате нагревания солнечным излучением температура воды повысилась от 4 до 29°C . Какое количество теплоты получили бак и вода?

Задача 86. Рассчитайте, какое количество теплоты отдаст кирпичная печь, сложенная из 300 кирпичей, при остывании от температуры 70 до 20°C . Масса одного кирпича 5 кг .

Задача 87. Какое количество теплоты пойдет на нагревание воды от 15 до 25°C в бассейне, длина которого 100 м , ширина 6 м и глубина 2 м ?

Задача 88. Для изменения температуры металлической детали массой 100 г от 20 до 40°C потребовалось 280 Дж энергии. Определите, из какого металла сделана деталь.

Задача 89. При охлаждении куска олова массой 100 г до температуры 32°С выделилось 5 кДж энергии. Определите температуру олова до охлаждения.

Задача 90. До какой температуры остынет 5 л кипятка в кастрюле, отдав в окружающее пространство 1680 кДж энергии?

Задача 91. При охлаждении медного паяльника до 20°С выделилось 30,4 кДж энергии. До какой температуры был нагрет паяльник, если его масса 200 г?

§4. Уравнение теплового баланса.

В задачах этой группы рассматривается теплообмен между телами системы. При этом предполагается, что внешним теплообменом можно пренебречь. Со стороны тел, не входящих в систему, над телами системы работа не совершается. Систему можно считать замкнутой, внутренняя энергия системы не изменяется.

$$\Delta U = 0$$

Внутри системы в процессе теплообмена одни тела получают энергию, другие получают. Однако, суммарное количество теплоты, полученное системой равно нулю:

Уравнение теплового баланса: сумма количеств тепла в замкнутой системе равна нулю

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = 0, \quad (1)$$

где $Q_1; Q_2 \dots Q_n$ – количество теплоты, полученное или отданное телами системы в процессе внутреннего теплообмена.

Правило знаков:

Количеством теплоты Q , переданное телу, считается при этом положительным, отданное телом – отрицательным.

Уравнение (1) называется **уравнением теплового баланса** и является основным расчетным уравнением для задач этой группы.

Пример решения задачи.

До какой температуры была нагрета стальная фреза массой 0,2 кг, если после погружения ее в алюминиевый калориметр массой 100 г, содержащий 178 г воды при 16°C , установилась температура 22°C ?

Дано: $m_1=0,2$ кг, $C_1=500 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$, $m_2=0,1$ кг, $C_2=920 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$,
 $m_3=0,178$ кг, $C_3=4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$, $t_2^\circ=16^\circ\text{C}$, $\theta^\circ=22^\circ\text{C}$

Найти: t_1°

Анализ:

Так как мы пренебрегаем внешним теплообменом, то можно записать уравнение теплового баланса в виде:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$$

$Q_1 = C_1 m_1 (\theta^\circ - t_1^\circ)$ - количество теплоты, которое отдает стальная фреза, остывая от температуры t_1° до *равновесной температуры* θ° .

$Q_2 = C_2 m_2 (\theta^\circ - t_2^\circ)$ - количество теплоты, которое получает алюминиевый калориметр, нагреваясь от температуры t_2° до *равновесной температуры* θ° .

$Q_3 = C_3 m_3 (\theta^\circ - t_2^\circ)$ - количество теплоты, которое получает вода, нагреваясь от температуры t_2° до *равновесной температуры* θ° .

Отсюда:

$$C_1 m_1 (\theta^\circ - t_1^\circ) + C_2 m_2 (\theta^\circ - t_2^\circ) + C_3 m_3 (\theta^\circ - t_2^\circ) = 0$$

$$C_1 m_1 t_1^\circ = (\theta^\circ - t_2^\circ)(C_2 m_2 + C_3 m_3) + C_1 m_1 \theta^\circ$$

$$t_1^\circ = \frac{(\theta^\circ - t_2^\circ)(C_2 m_2 + C_3 m_3) + C_1 m_1 \theta^\circ}{C_1 m_1}$$

Вычисления:

$$t_1^\circ = \frac{(22 - 16)(910 \cdot 0,1 + 4200 \cdot 0,178) + 500 \cdot 0,2 \cdot 22}{500 \cdot 0,2} = 77^\circ C$$

§4.1. Решение задач на уравнение теплового баланса.

Задача 92. Для аквариума смешали 20 кг воды при 8°C , 6 кг воды при 50°C и 10 кг воды при 40°C . Определить температуру смеси.

Задача 93. Смешали 39 л воды при 20°C и 21 л воды при 60°C . Определить температуру смеси.

Задача 94. Смешали 6 кг воды при 42°C , 4 кг воды при 72°C и 20 кг воды при 18°C . Определить температуру смеси.

Задача 95. Сколько литров воды при 95°C нужно добавить к 30 л воды при 25°C , чтобы получить воду с температурой 67°C ?

Задача 96. Смешали $0,4\text{ м}^3$ воды при 20°C и $0,1\text{ м}^3$ воды при 70°C . Какова температура смеси при тепловом равновесии?

Задача 97. В ванну налито 80 л воды при температуре 10°C . Сколько литров воды при 100°C нужно добавить в ванну, чтобы температура смеси была 25°C ?

Задача 98. Чтобы охладить 2 л воды, взятой при 80°C , до 60°C , в нее добавляют холодную воду при 10°C . Какое количество холодной воды требуется добавить?

Задача 99. Для приготовления ванны нужно смешать холодную воду при $t_1 = 11^{\circ}\text{C}$ с горячей при $t_2 = 66^{\circ}\text{C}$. Какое количество той и другой воды необходимо взять для получения $V = 110$ л воды при $t_3 = 36^{\circ}\text{C}$?

Задача 100. В каком отношении нужно смешать две массы воды при температурах 50°C и 0°C , чтобы температура смеси была 20°C ?

Задача 101. Необходимо смешать воду при 20°C с водой при 100°C для получения 300 л воды при 40°C . Сколько литров той и другой воды нужно взять?

Задача 102. Паровой котел содержит 40 м^3 воды при температуре 225°C . Какое количество воды при 9°C было добавлено, если установилась общая температура 200°C ?

Задача 103. В паровой котел, содержащий 50 т воды при температуре 240°C , с помощью насоса добавили 3 т воды при температуре 10°C . Какая установится температура смеси?

Задача 104. Для ванны нужно приготовить 300 кг воды при 36°C . В водогрейной колонке температура воды 70°C , а в водопроводе температура воды 10°C . Сколько той и другой воды нужно взять для приготовления ванны?

Задача 105. В стеклянный стакан массой 0,12 кг при температуре 15°C налили 0,2 кг воды при 100°C . Какая температура воды установилась в стакане?

Задача 106. В стеклянный стакан массой 100 г налито 200 г воды. Температура воды и стакана 75°C . На сколько понизится температура воды при опускании в нее серебряной ложки массой 80 г при 15°C ?

Задача 107. Стальную деталь машины массой 0,3 кг нагрели до высокой температуры, а затем погрузили для закалки в масло, взятое при 10°C . Определить начальную температуру стальной детали, если масса масла 3 кг, а конечная температура установилась 30°C (удельная теплоемкость масла равна $1,88 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$).

Задача 108. Определить удельную теплоемкость свинца, зная, что 100 г свинца при 100°C погрузили в алюминиевый калориметр массой 40 г, содержащий 240 г воды при 15°C , и температура смеси установилась 16°C . Проведите подобный опыт.

Задача 109. В латунный калориметр массой 80 г, содержащий 200 г воды при температуре 20°C , был опущен кусочек алюминия массой 40 г при температуре 100°C . Температура смеси стала равной 23°C . Определить удельную теплоемкость алюминия.

Задача 110. До какой средней температуры нагрелась стальная фреза массой 0,2 кг, если после погружения ее в алюминиевый калориметр массой 100 г, содержащий 178 г воды при температуре 16°C , установилась температура 22°C ?

Задача 111. Для определения температуры топки котла в нее внесли стальной шарик массой 20 г. Затем перенесли шарик в алюминиевый калориметр массой 60 г, содержащий 200 г воды при температуре 18°C . Температура смеси установилась 26°C . Определить температуру топки.

Задача 112. Стальной резец массой 400 г нагрели до 800°C и погрузили для закалки в 5 кг воды при 20°C . До какой температуры охладился резец?

Задача 113. До какой температуры нагрелась во время работы стальная фреза массой 1 кг, если после опускания ее в калориметр температура 1 л воды повысилась от $11,3$ до 30°C ? Теплоемкость калориметра не учитывать.

Задача 114. В сосуд, содержащий 2,35 кг воды при 20°C , опускают кусок олова, нагретого до 230°C ; температура воды в сосуде повысилась на 15°C . Вычислить массу олова. Испарением воды пренебречь.

Задача 115. Как велика масса стальной детали, нагретой предварительно до 500°C , если при опускании ее в сосуд, содержащий 18,6 л воды при 13°C , последняя нагрелась до 35°C ? Испарением воды пренебречь.

Задача 116. Чугунный брусок массой 0,2 кг, предварительно нагретый, опускают в сосуд, содержащий 0,8 кг керосина при 15°C . Окончательная температура керосина установилась 20°C . Определить первоначальную температуру бруска.

Задача 117. Для определения удельной теплоемкости вещества проводят следующий опыт: пластинку массой 0,3 кг, предварительно нагретую до 85°C , опускают в алюминиевый калориметр массой 0,03 кг, содержащий 0,25 кг воды при 22°C . Общая конечная температура, установившаяся в калориметре, равна 28°C . Определить удельную теплоемкость вещества пластинки.

Задача 118. В стеклянной колбе, масса которой 50 г, находилось 185 г воды при 20°C . В колбу вылили некоторое количество ртути при 100°C , и температура воды в колбе повысилась до 22°C . Определить массу ртути.

Задача 119. Для определения температуры печи нагретый в ней стальной болт массой 0,3 кг бросили в медный сосуд массой 0,2 кг, содержащий 1,27 кг воды при 15°C . Температура воды повысилась до 32°C . Вычислить температуру печи.

Задача 120. В латунный калориметр массой 200 г влили 400 г воды при 17°C и опустили тело из серебра массой 600 г при 85°C . Вода нагрелась до 22°C . Определить удельную теплоемкость серебра.

Задача 121. После опускания в воду, имеющую температуру 10°C , тела, нагретого до 100°C , через некоторое время установилась общая температура 40°C . Какой станет температура воды, если, не вынимая первого тела, в нее опустить еще одно такое же тело, нагретое до 100°C .

Задача 122. Для измерения температуры воды, имеющей массу 66 г, в нее погрузили термометр, который показал $32,4^{\circ}\text{C}$. Какова действительная температура воды, если теплоемкость термометра $1,9 \text{ Дж}/^{\circ}\text{C}$ и перед погружением в воду он показывал температуру помещения $17,8^{\circ}\text{C}$?

Задача 123. В стакане содержится 250 см^3 воды. Опущенный в стакан термометр показал 78°C . Какова действительная температура воды, если теплоемкость термометра $20 \text{ Дж}/^{\circ}\text{C}$, а до опускания в воду он показывал 20°C ?

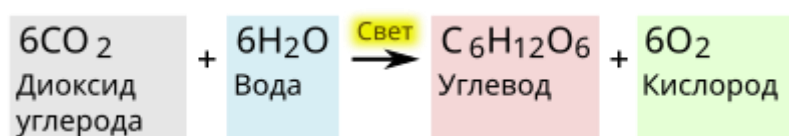
Задача 124. В калориметре смешиваются три химически не взаимодействующие жидкости массами 1 кг, 10 кг, 5 кг, имеющие соответственно температуры: 6°C , -40°C , 60°C . Удельные теплоемкости жидкостей равны соответственно $2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$, $4 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$, $2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$. Определить температуру смеси.

Задача 125. В каком отношении должны быть взяты массы m_1 и m_2 двух жидкостей с удельными теплоемкостями c_1 и c_2 , начальными температурами T_1 и T_2 ($T_1 > T_2$), чтобы общая температура после их смешения

получилась равной T_0 ? Теплоемкость сосуда, в котором находятся жидкости, не учитывать.

§5. Сгорание топлива.

В процессе фотосинтеза растения превращают углекислый газ (диоксид углерода CO_2) и воду в кислород и углеводы. Процесс требует затрат энергии, в качестве которой используют солнечный свет:



Углеводы идут на строительство тканей растений и животных, питающихся растениями. Кислород выделяется в атмосферу.

Сжигание углеводов является обратным процессом и сопровождается выделением энергии, углекислого газа и водяных паров. Углеводы фактически позволяют запастись энергией солнца

Основные виды топлива: нефть, газ, каменный уголь. Все они являются преобразованными под действием высокого давления и температур остатками погибших животных и растений. Другие виды топлива получают при их переработке, перегонке и т.д.

В условиях древних тёплых морей, богатых питательными веществами, остатки погибшего зоопланктона и водорослей поступали на дно быстрее, чем могли разложиться. При погружении этих захоронений на глубину 3-6 км с

повышением температуры свыше +50°С органическое вещество подвергается термическому распаду, при котором образовывалась нефть.

При опускание пласта органических остатков на глубину более 4,5км и при подъёме температуры до +180—250° С образуется природный газ (смесь метана, пропана и др.)

Торф образуется в процессе естественного отмирания и неполного распада болотных растений в условиях избыточного увлажнения и затруднённого доступа воздуха. Здесь они разлагаются не полностью, как в почве, а только частично, их остатки из года в год накапливаются. Каменный уголь образуется из торфа, перемещённого на глубину и подвергшегося там изменениям в условиях высокого давления окружающих пород земной коры и сравнительно высокой температуры.

Удельной теплотой сгорания топлива q называется скалярная величина, равная количеству теплоты, которое выделит топливо массой 1 кг при полном сгорании.

$$[q] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

Физический смысл: Удельная теплота сгорания топлива равна X Дж/кг— это значит, что при полном сгорании 1 кг топлива , выделяется количество тепла , равное X Дж.

При полном сгорании топлива массы m внутренняя энергия теплового движения молекул возрастает на величину

$$\Delta U = Q = qm ,$$

где q – удельная теплота сгорания топлива .

Коэффициентом полезного действия (КПД) нагревателя (горелки) называется скалярная величина, равная отношению полезного количества теплоты к полученному при сгорании топлива:

$$\eta = \frac{Q_{\text{п}}}{Q_{\text{з}}} ,$$

где $Q_{\text{п}}$ – полезное количество теплоты, $Q_{\text{з}}$ – количество теплоты, выделяемое при сгорании топлива.

§5.1. Решение задач на сгорание топлива.

Задача 126. Вычислите, сколько энергии выделится при полном сгорании древесного угля массой 15 кг; керосина массой 200 г.

Задача 127. Какое количество теплоты выделится при полном сгорании бензина массой 5 кг; каменного угля массой 10 кг?

Задача 128. Какое количество теплоты выделится при полном сгорании пороха массой 25 г; торфа массой 0,5 т; каменного угля массой 1,5 т?

Задача 129. Сколько теплоты выделится при полном сгорании сухих березовых дров объемом 5 м³?

Задача 130. Сколько теплоты выделится при полном сгорании керосина объемом 0,25 м³; спирта объемом 0,00005 м³; бензина объемом 25 л; нефти объемом 250 л?

Задача 131. На сколько больше теплоты выделится при полном сгорании бензина массой 2 кг, чем сухих березовых дров той же массы?

Задача 132. Во сколько раз больше выделится теплоты при полном сгорании водорода массой 1 кг, чем при полном сгорании сухих березовых дров той же массы?

Задача 133. Смешали бензин массой 2 кг и спирт массой 3 кг. Какое количество теплоты выделится при полном сгорании полученного топлива?

Задача 134. Смешали бензин объемом 1,5 л и спирт объемом 0,5 л. Какое количество теплоты выделится при полном сгорании этого топлива?

Задача 135. В печи сгорели сухие сосновые дрова объемом 0,01 м³ и торф массой 5 кг. Сколько теплоты выделилось в печи?

Задача 136. К зиме заготовили сухие сосновые дрова объемом 2 м³ и каменный уголь массой 1,5 т. Сколько теплоты выделится в печи при полном сгорании в ней заготовленного топлива?

Задача 137. При полном сгорании тротила массой 10 кг выделяется $1,5 \cdot 10^8$ Дж энергии. Чему равна удельная теплота сгорания тротила?

Задача 138. При сгорании пороха массой 3 кг выделилось 11400 кДж энергии. Вычислите удельную теплоту сгорания пороха.

Задача 139. Сколько надо сжечь каменного угля, чтобы выделилось $1,5 \cdot 10^8$ Дж энергии? $1,8 \cdot 10^5$ Дж энергии?

Задача 140. В топке котла парового двигателя сожгли торф массой 20 т. Какой массой каменного угля можно было бы заменить сгоревший торф (удельную теплоту сгорания торфа принять равной $1,5 \cdot 10^7$ Дж/кг)?

Задача 141. Сколько каменного угля нужно сжечь, чтобы получить столько же энергии, сколько ее выделяется при сгорании бензина объемом 6 м³?

Задача 142. Сколько спирта надо сжечь, чтобы изменить температуру воды массой 2 кг от 14 до 50 °С, если вся теплота, выделенная спиртом, пойдет на нагревание воды?

Задача 143. Сколько воды, взятой при температуре 14 °С, можно нагреть до 50 °С, сжигая спирт массой 30 г и считая, что вся выделяемая при горении спирта энергия идет на нагревание воды?

Задача 144. На сколько изменится температура воды объемом 100 л, если считать, что вся теплота, выделяемая при сгорании древесного угля массой 0,5, пойдет на нагревание воды?

Задача 145. На сколько изменится температура воды, масса которой 22 кг, если ей передать всю энергию, выделившуюся при сгорании керосина массой 10 г?

Задача 146. В чем заключается процесс сгорания топлива? В чем разница между сгоранием (нефти, угля) и взрывом (пороха, гремучего газа)?

Задача 147. Определить КПД примуса, зная, что при сжигании 300 г керосина можно вскипятить 15 л воды, взятой при 10 °С.

Задача 148. На спиртовке нагрели 224 г воды от 15°C до 75°C и сожгли при этом 5 г спирта. Определить КПД спиртовки. Проведите подобный опыт.

Задача 149. Каков КПД кузнечного горна, если для нагревания 2 кг стали на 1000°C расходуется 0,6 кг кокса?

Задача 150. На нагревание 2 л воды от 5 до 100°C затрачено 0,1 м³ природного газа. Определить КПД горелки.

Задача 151. Чтобы нагреть 1,8 кг воды от 18°C до кипения на горелке с КПД 25% потребовалось 92 г горючего. Какова удельная теплота сгорания горючего?

Задача 152. Определить КПД нагревателя, в котором израсходовано 80 г керосина для нагревания 3 л воды на 90°C .

Задача 153. Какое количество воды можно нагреть от 15°C до кипения на горелке с КПД 40%, если сжечь 100 л природного газа?

Задача 154. Сколько времени потребуется, чтобы нагреть 1,55 л воды от 20 до 100°C , если горелка потребляет 0,3 кг спирта в час, а КПД ее 24%?

Задача 155. На спиртовке нагревали воду массой 100 г от 16°C до 71°C . При этом был сожжен спирт массой 10 г. Найти КПД установки.

Задача 156. Для нагревания воды объемом 2 л, находящейся в алюминиевой кастрюле массой 400 г, от 15°C до 75°C был израсходован газ массой 30 г. Определить КПД газовой плиты, считая теплоту, израсходованную на нагревание сосуда, полезной. Как изменится результат,

если полезной считать только теплоту, израсходованную на нагревание воды?

Задача 157. Каково отношение масс спирта и бензина, если удельная теплота сгорания этих горючих веществ оказалась равной $4,2 \cdot 10^7$ Дж/кг? Удельная теплота сгорания спирта $2,7 \cdot 10^7$ Дж/кг и бензина $4,6 \cdot 10^7$ Дж/кг.

Глава 2. Изменение агрегатных состояний вещества.

Фазой называется физически однородная часть вещества, отделенная от остальных частей системы границей раздела (например лед, вода, пар и т.п.). Плавление твердого тела, отвердевание жидкости, испарение и конденсация пара представляют собой примеры **фазового перехода первого рода**. Переход из одной фазы в другую при заданном давлении происходит при строго заданной температуре.

§1. Кристаллические и аморфные вещества.

Твёрдые вещества делятся на две основные группы: кристаллические и аморфные.

Кристаллические вещества (изумруд , алмаз, кварц, металлы, кристаллы сахара).

Свойства:

- точная температура плавления;

- сохраняют форму;

-имеют дальний порядок (порядок расположения структурный единиц не меняется на большом расстоянии);

-полиморфизм - из одних и тех же атомов можно построить разные кристаллы (алмаз и графит)

-анизотропны (анизотропия- это явление в кристаллах, когда в разных направлениях кристаллы имеют разные свойства);

-имеют дефекты решетки.

Аморфные вещества (пластмасса, воск , стекло, леденец).

Свойства:

- нет определенной температуры плавления (постепенно размягчаются);

-медленно текут;

-имеют ближний порядок (порядок расположения структурных единиц сохраняется на малое расстояние);

-кристаллизуются . (с течением времени внутри аморфных тел начинают расти кристаллы);

-изотропны (изотропия- это явление , когда во всех направлениях свойства вещества одинаковы).

§2. Плавление и кристаллизация.

Плавлением называется переход из твердой фазы в жидкую. Обратный переход из жидкой фазы в твердую называется отвердеванием или кристаллизацией.

При постоянном давлении тело плавится и отвердевает при одно и той же температуре, которая называется *точкой плавления* или *температурой плавления*.

Для плавления необходимо передать телу некоторое количество теплоты. За счет этой теплоты потенциальная энергия атомов вещества, имеющего массу m , возрастает на величину

$$\Delta U = Q = \lambda m$$

λ —удельная теплота плавления.

Удельная теплота плавления — количество теплоты, необходимое для плавления единицы массы твердого кристаллического вещества при температуре плавления и постоянном давлении.

$$[\lambda] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

При кристаллизации потенциальная энергия молекул уменьшается на такую же величину и соответствующее количество теплоты отводится к окружающим телам.

$$\Delta U = Q = -\lambda m$$

Удельная теплота плавления всегда равна удельной теплоте кристаллизации

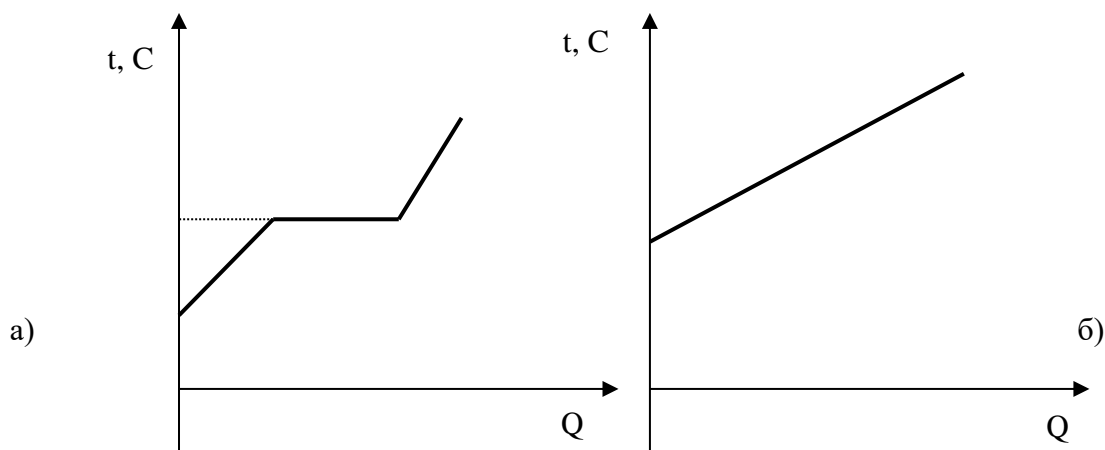
Физический смысл: Удельная теплота плавления равна X Дж/кг – это значит, что если кристаллическому телу массой 1 кг передать X Дж, то оно расплавится при температуре плавления

Физический смысл: Удельная теплота кристаллизации равна X Дж/кг – это значит, что если у жидкости массой 1 кг забрать X Дж, то она кристаллизуется при температуре кристаллизации (плавления)

Кинетическая энергия молекул при этом не меняется.

Для начала процесса кристаллизации необходимо наличие «зародышей» (центров кристаллизации). Это могут быть пылинки, пузырьки воздуха, вокруг которых начинает расти кристалл. Если их устранить, иногда при очень осторожном ведении процесса удается достичь «переохлаждения» - охлаждения жидкости до температуры ниже точки плавления без отвердевания. В этом случае малейший толчок ведет к образованию пузырьков и к кристаллизации.

Аморфные тела (стекло, воск, парафин, вар) не имеют определенной точки плавления. Они *размягчаются* постепенно. На рисунке показаны графики изменения температуры при подводе теплоты к кристаллическим (а) и аморфным (б) телам.



Почти все тела при плавлении увеличиваются в объеме, при отвердевании – уменьшаются (сжимаются). При увеличении давления, под которым находятся эти вещества, их температура плавления повышается. (Давление препятствует увеличению объема.) Исключения: вода (лед), чугун и некоторые другие вещества – при отвердевании они увеличиваются в объеме, при плавлении – уменьшаются. Их температура плавления понижается при увеличении давления.

Примеры решения задач.

Пример 1. Ванну емкостью 100 л необходимо заполнить водой, имеющей температуру $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, используя воду с температурой $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ и лед с температурой $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Определить массу льда, который придется положить в ванну. Теплоемкостью ванны и потерями тепла пренебречь. Удельная теплоемкость воды $4,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$, удельная теплоемкость льда $2,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$, его удельная теплота плавления $340 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.

Дано: $V = 100 \text{ л}$, $t_1^\circ = 80^\circ\text{C}$, $t_2^\circ = -20^\circ\text{C}$, $\theta^\circ = 30^\circ\text{C}$, $t_{\text{л}}^\circ = 0^\circ\text{C}$,

$$C_1 = 4,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}, \quad C_2 = 2,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}, \quad \lambda = 340 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}},$$

$$\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Найти: $m_{\text{л}}$

Анализ:

Так как мы пренебрегаем внешним теплообменом, составляем уравнение теплового баланса

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 0 \quad (1)$$

$Q_1 = C_2 m_{\text{л}} (t_{\text{л}}^\circ - t_2^\circ)$ - количество теплоты, полученное льдом при нагревании от t_2° до $t_{\text{л}}^\circ$.

$Q_2 = \lambda m_{\text{л}}$ - количество теплоты, необходимое для плавления льда.

$Q_3 = C_1 m_{\text{л}} (\theta^\circ - t_{\text{л}}^\circ)$ - количество теплоты, полученное водой, образовавшейся из льда при нагревании от $t_{\text{л}}^\circ$ до равновесной температуры θ° .

$Q_4 = C_1 m_{\text{в}} (\theta^\circ - t_1^\circ)$ - количество теплоты, отданное горячей водой при остывании от температуры t_1° до температуры θ° .

Общая масса воды в ванне

$$m = \rho V$$

Тогда масса горячей воды

$$m_{\text{г}} = m - m_{\text{л}} = \rho V - m_{\text{л}}$$

Подставляя все в уравнение теплового баланса (1), получим

$$C_2 m_{\text{л}} (t_{\text{н}}^{\circ} - t_2^{\circ}) + \lambda m_{\text{л}} + C_1 m_{\text{л}} (\theta^{\circ} - t_{\text{н}}^{\circ}) + C_1 (\rho V - m_{\text{л}}) (\theta^{\circ} - t_1^{\circ}) = 0$$

отсюда

$$m_{\text{л}} = \frac{C_1 \rho V (t_1^{\circ} - \theta^{\circ})}{C_2 (t_{\text{н}}^{\circ} - t_2^{\circ}) + \lambda + C_1 (\theta^{\circ} - t_{\text{н}}^{\circ}) + C_1 (t_1^{\circ} - \theta^{\circ})}$$

Вычисления:

$$m_{\text{л}} = \frac{4200 \cdot 10^3 \cdot 10^2 (80^{\circ} - 20^{\circ})}{2100 \cdot 20 + 340 \cdot 10^3 + 4200 \cdot 30 + 4200 (80^{\circ} - 30^{\circ})} = 30$$

кг.

Пример 2. Сколько надо сжечь дров в печке с КПД 20%, чтобы из 5 кг льда, взятого при температуре -20°C получить кипяток?

$$\text{Дано: } \eta = 20\%, \quad m_{\text{л}} = 5 \text{ кг}, \quad t_1^{\circ} = -20^{\circ}\text{C},$$

$$t_2^{\circ} = 100^{\circ}\text{C}, \quad q = 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}, \quad C_{\text{л}} = 2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}},$$

$$c_v = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}, \quad \lambda = 330 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Найти: $m_{\text{д}}$

Анализ:

$$\eta = \frac{Q_{\text{п}}}{Q_3}$$

$$Q_3 = qm_{\text{д}}$$

$$Q_n = Q_1 + Q_2 + Q_3 - \text{УТБ.}$$

$Q_1 = C_{\text{л}} m_{\text{л}} (t_n^\circ - t_1^\circ)$ - количество теплоты, необходимое для нагрева льда до температуры плавления.

$Q_2 = \lambda m_{\text{л}}$ - количество теплоты, необходимое для плавления льда.

$Q_3 = C_{\text{в}} m_{\text{л}} (t_2^\circ - t_n^\circ)$ - количество теплоты, необходимое для нагрева полученной из льда воды до точки кипения.

Отсюда:

$$\eta = \frac{m_{\text{л}} C_1 (t_{\text{п}}^\circ - t_1^\circ) + \lambda m_{\text{л}} + C_{\text{в}} m_{\text{л}} (t_2^\circ - t_{\text{п}}^\circ)}{qm_{\text{д}}}$$

$$m_{\text{д}} = \frac{m_{\text{л}} (C_1 (t_{\text{п}}^{\circ} - t_1^{\circ}) + \lambda + C_{\text{в}} (t_2^{\circ} - t_{\text{п}}^{\circ}))}{q\eta}$$

Вычисления:

$$m_{\text{д}} = \frac{5(2100 \cdot 20 + 3,3 \cdot 10^5 + 4200 \cdot 100)}{0,2 \cdot 10^7} \approx 10 \text{ кг.}$$

Пример 3. В калориметр налито 2 кг воды, имеющей температуру 5 °С, и положен кусок льда массой 5 кг, имеющий температуру -40 °С. Определить температуру θ и объем содержимого калориметра после установления теплового равновесия. Теплоемкостью калориметра и теплообменом с внешней средой пренебречь.

$$\text{Дано: } \rho_1 = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, \quad \rho_2 = 920 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, \quad C_1 = 4,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{С}},$$

$$C_2 = 2,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{С}}, \quad \lambda = 330 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}},$$

$$m_1 = 2 \text{ кг}, \quad t_1^{\circ} = 5^{\circ}\text{С}, \quad m_2 = 5 \text{ кг}, \quad t_2^{\circ} = -40^{\circ}\text{С}.$$

Найти: θ° , V.

Анализ:

Можно представить себе следующие случаи:

1. Весь лед растает, и температура смеси будет больше нуля.
2. Вся вода замерзнет, и температура смеси будет меньше нуля.
3. Температура смеси будет равна нулю, и часть льда растает.
4. Температура смеси будет равна нулю, и часть воды замерзнет.

Для того, чтобы понять, какой случай реализуется в данной задаче, необходимо сделать предварительные вычисления.

При охлаждении до $t_n^\circ = 0^\circ\text{C}$ вода отдает количество теплоты

$$Q_1 = C_1 m_1 (t_1^\circ - t_n^\circ) = 4200 \cdot 2 \cdot 5 = 42 \text{ кДж.}$$

При нагревании льда до температуры плавления лед поглощает количество теплоты

$$Q_2 = C_2 m_2 (t_n^\circ - t_2^\circ) = 2100 \cdot 5 \cdot 40 = 420 \text{ кДж.}$$

Если весь лед растает, он поглощает количество теплоты

$$Q_3 = \lambda m_2 = 330 \cdot 10^3 \cdot 5 = 1650 \text{ кДж.}$$

Если вся вода замерзнет, она отдаст количество теплоты

$$Q_4 = \lambda m_1 = 330 \cdot 10^3 \cdot 2 = 660 \text{ кДж.}$$

Так как $Q_2 > Q_1$, то лед не может таять, и могут осуществиться случаи 2 или 4. Для осуществления случая 2 необходимо, чтобы $Q_1 + Q_4 < Q_2$

$$Q_1 + Q_4 = 702 \text{ кДж}, \quad Q_2 = 420 \text{ кДж.}$$

Соответственно реализуется случай 4: температура смеси $\theta^\circ = 0^\circ\text{C}$ и часть воды замерзнет. Обозначим массу замерзшей воды m_3 , и составим уравнение теплового баланса:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$$

$Q_1 = C_1 m_1 (\theta^\circ - t_1^\circ)$ - количество теплоты, которое отдает вода, остывая до 0°C .

$Q_2 = -\lambda m_3$ - количество теплоты, которое отдает замерзающая вода.

$Q_3 = C_2 m_2 (\theta^\circ - t_2^\circ)$ - количество теплоты, полученное льдом при нагревании до 0°C .

Отсюда

$$C_1 m_1 (\theta^\circ - t_1^\circ) - \lambda m_3 + C_2 m_2 (\theta^\circ - t_2^\circ) = 0$$

Из этого выражения находим массу замерзшей воды

$$m_3 = \frac{C_1 m_1 (\theta^\circ - t_1^\circ) + C_2 m_2 (\theta^\circ - t_2^\circ)}{\lambda}$$

После установления теплового равновесия, масса воды

$m_B = m_1 - m_3$, и масса льда будет $m_L = m_2 + m_3$. Объем полученной смеси

$$V = \frac{m_B}{\rho_1} + \frac{m_L}{\rho_2} = \frac{(m_1 - m_3)}{\rho_1} + \frac{(m_2 + m_3)}{\rho_2}$$

Вычисления:

$$m_3 = \frac{-4200 \cdot 2 \cdot 5 + 2100 \cdot 5 \cdot 40}{330 \cdot 10^3} = 1,2 \text{ кг.}$$

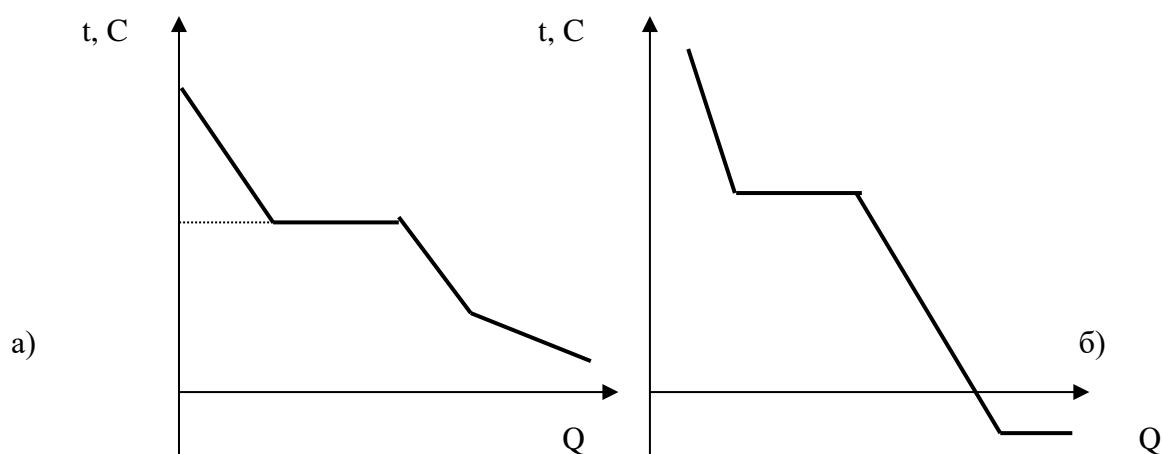
$$V = \frac{(2 - 1,4)}{1000} + \frac{(5 + 1,4)}{920} = 0,75 \text{ м}^3 = 7,5 \text{ дм}^3.$$

§2.1. Качественные задачи. Плавление и кристаллизация.

Задача 158. Почему лед не сразу начинает таять, если его внести с мороза в натопленную комнату?

Задача 159. Температура плавления стали 1400°C . При сгорании пороха в канале ствола орудия достигается температура 3600°C . Почему ствол орудия не плавится при выстреле?

Задача 160. Два тигля с одинаковой массой расплавленного свинца остывают в помещениях с разной температурой. Какой график (см. рис.) построен для теплого помещения и какой – для холодного? Найдите различия в графиках и объясните причины этих различий.



Задача 161. Почему зимой при длительных остановках воду из радиатора автомобиля выливают?

Задача 162. Оболочки космических кораблей и ракет делают из тугоплавких металлов и специальных сплавов. Почему?

Задача 163. При спаивании стальных деталей иногда пользуются медным припоем. Почему нельзя паять медные детали стальным припоем?

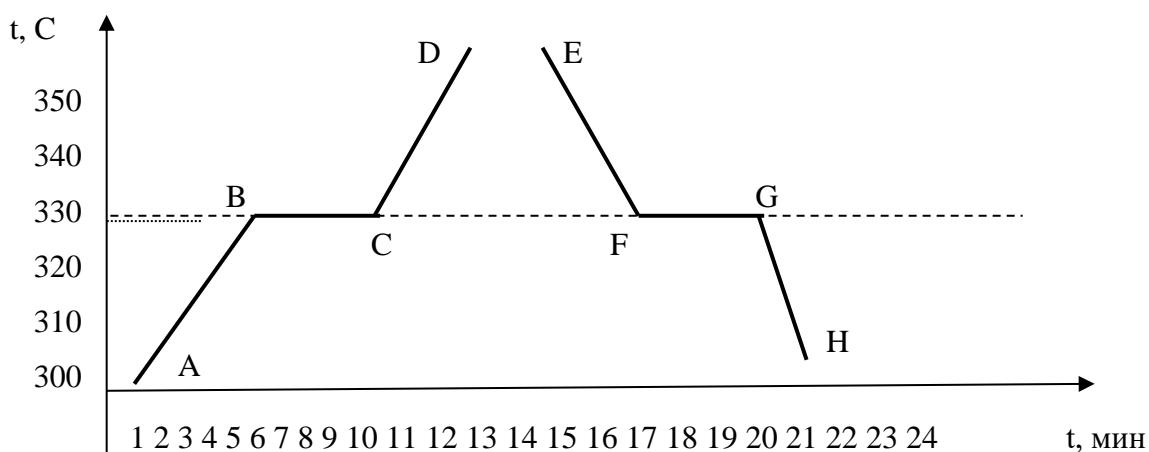
Задача 164. Почему невозможно пользоваться очень маленьким паяльником при пайке массивных кусков меди или железа?

Задача 165. Объясните на основании молекулярно-кинетической теории, почему не повышается температура в момент плавления и кристаллизации тела.

Задача 166. Два одинаковых сосуда из полиэтилена заполнили водой, температура которой 0°C . Один сосуд поместили в воду, другой – в измельченный лед, имеющих, как и окружающий воздух, температуру 0°C . Замерзнет ли вода в каком-нибудь из этих сосудов?

Задача 167. Можно ли заморозить воду расплавленным металлом?

Задача 168. На рисунке ниже показано, как со временем изменяется температура при нагревании и охлаждении свинца. Твердому или жидкому состоянию соответствуют участки графика АВ, ВС, CD, GH?



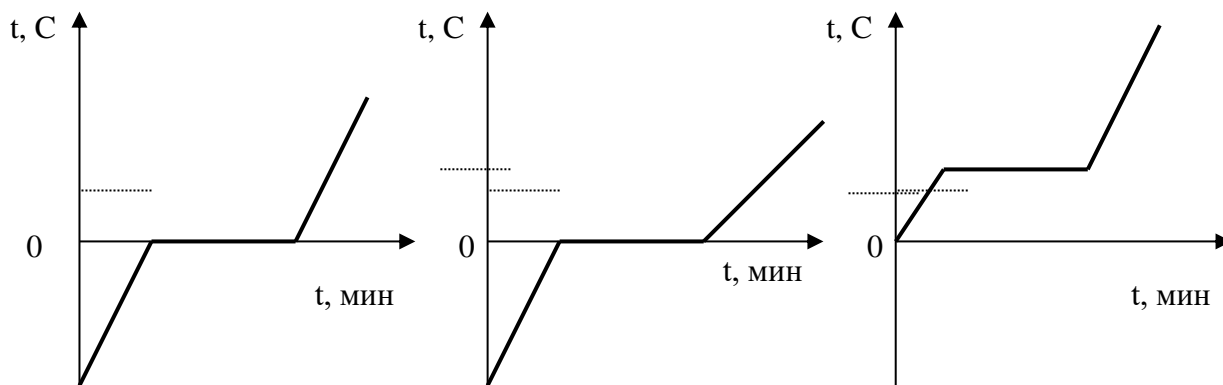
Что может быть причиной того, что участок GH круто падает вниз? Чему равны температуры плавления и кристаллизации свинца?

Задача 169. График, приведенный на рисунке ниже, выражает зависимость температуры вещества при его нагревании и плавлении от времени. а) Какую температуру имело вещество в первоначальный момент? б) Через сколько времени от начала наблюдения температура достигла 635°C ? в) Какова продолжительность перехода вещества из одного агрегатного состояния в другое? г) Какому веществу соответствует график?

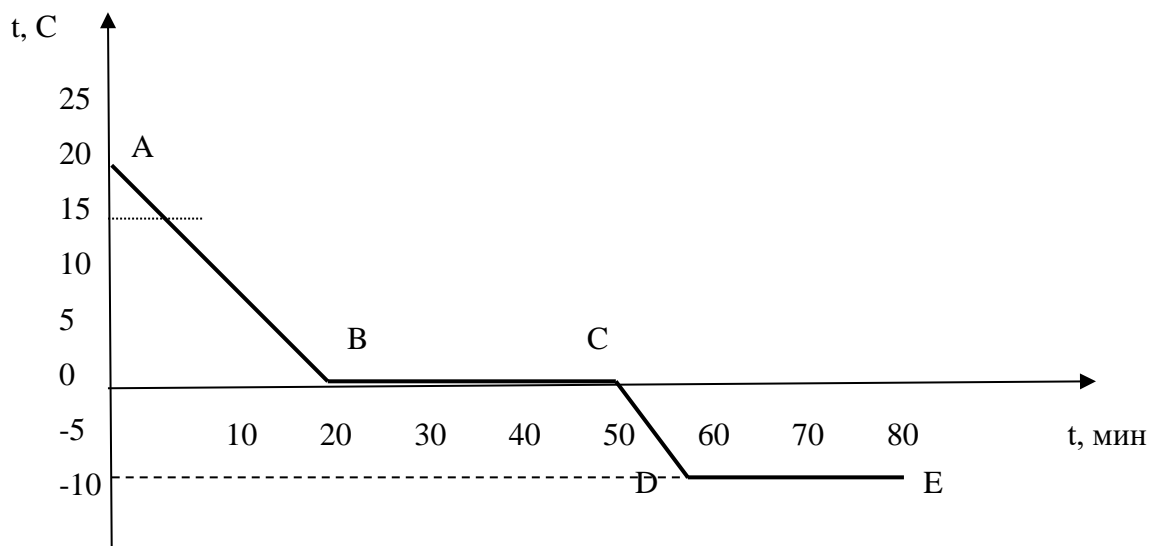
Задача 170. Начертите график плавления меди, откладывая по вертикальной оси температуру в масштабе 20°C в 1 см, а по горизонтальной – время в масштабе 10 мин в 1 см. Начальную температуру меди примите равной 1000°C , время нагревания до температуры плавления – 20 мин, а время перехода меди в жидкое состояние – 30 мин.

Задача 171. Постройте примерный график для нагревания, плавления и кристаллизации олова.

Задача 172. В сосуде находится лед при температуре -10°C . Сосуд поставили на горелку, которая дает в равные промежутки времени равное количество теплоты. Укажите, какой график (см. рисунок ниже) соответствует описанному случаю и в чем ошибочны другие графики.



Задача 173. Внимательно рассмотрев график охлаждения и кристаллизации вещества (см. рисунок ниже), ответьте: а) Для какого вещества составлен график? б) Сколько времени охлаждалось вещество от 20°C до температуры кристаллизации? в) Сколько времени длился процесс



кристаллизации? г) О чем говорит участок графика DE? д) Как приблизительно расположились бы точки A, B, C относительно друг друга и точки 0, если бы при той же температуре окружающей среды был бы составлен график для того же вещества, но большей массы?

Задача 174. Какому из двух тел одинакового объема – слитку алюминия или отливке из свинца – надо передать большее количество теплоты и во сколько раз, чтобы перевести их из твердого состояния в жидкое при их температурах плавления?

Задача 175. Возможно ли такое явление: физическое тело передает некоторое количество теплоты окружающей среде, но при этом не охлаждается (предполагается, что расход теплоты не восполняется).

Задача 176. Изменяется ли общая кинетическая энергия молекул тела, когда во время его плавления к нему подводится некоторое количество теплоты? Изменяется ли в этом случае внутренняя энергия тела?

Задача 177. Одинаковый ли физический смысл имеют выражения: «передача телу теплоты» и «нагревание тела»?

Задача 178. В чем проявляется закон сохранения и превращения энергии при плавлении и кристаллизации вещества?

Задача 179. На сколько увеличится при плавлении внутренняя энергия ртути, свинца, меди массой 1 кг, взятых при температурах плавления?

Задача 180. На сколько уменьшится внутренняя энергия при кристаллизации брусков из белого чугуна массой 2 кг; олова массой 1 кг; железа массой 5 кг; льда массой 10 кг, охлажденных до температуры их кристаллизации?

Задача 181. Масса какого металла – золота и серебра – должна быть больше и во сколько раз, чтобы количество теплоты, достаточное для плавления металла, было в каждом случае одинаковым?

§2.2. Расчетные задачи. Плавление и кристаллизация.

Задача 182. Во сколько раз требуется больше энергии для плавления льда при температуре 0°C , чем для изменения температуры той же массы льда на 1°C ?

Задача 183. Какое количество теплоты потребуется для плавления тел из нафталина, золота, платины массой 10 г, взятых при температуре плавления?

Задача 184. Какое количество теплоты необходимо затратить, чтобы расплавить лед массой 5 кг, если начальная температура льда 0; -1; -10 °C ?

Задача 185. Какое количество теплоты необходимо для плавления куска свинца массой 1 г, начальная температура которого равна 27 °C ? олова массой 10 г, взятого при температуре 32 °C ?

Задача 186. Сколько энергии требуется для плавления куска свинца массой 0,5 кг, взятого при температуре 27 °C ?

Задача 187. Сколько энергии необходимо для плавления бруска из цинка массой 0,5 кг, взятого при температуре 20 °C ?

Задача 188. Сколько энергии необходимо для плавления железного металлолома массой 4 т, если начальная температура железа равна 39 °C ?

Задача 189. Масса серебра 10 г. Сколько энергии выделится при его кристаллизации и охлаждении до 60 °C , если серебро взято при температуре плавления?

Задача 190. Сколько энергии выделится при кристаллизации и охлаждении от температуры плавления до 27 °C свинцовой пластинки размером $2 \times 5 \times 10$ см?

Задача 191. Из копытника вагранки для отливки детали выпустили расплавленное железо массой 50 кг. Какое количество теплоты выделилось при его кристаллизации и охлаждении до температуры $39\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Задача 192. Для приготовления пищи полярники используют воду, полученную из расплавленного льда. Какое количество теплоты потребуется для того, чтобы расплавить лед массой 20 кг и полученную воду вскипятить, если начальная температура льда $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Задача 193. Объем формы для пищевого льда 750 см^3 . Сколько энергии отдают вода и лед форме и окружающему ее воздуху в холодильнике, если начальная температура воды $12\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура образовавшегося льда $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Задача 194. Какое количество теплоты пошло на приготовление в полярных условиях питьевой воды из льда массой 10 кг, взятого при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, если температура воды должна быть равной $15\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Задача 195. Сколько энергии выделилось при отвердевании и охлаждении до $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ заготовки маховика массой 80 кг, отлитой из белого чугуна? Удельную теплоемкость чугуна принять равной удельной теплоемкости железа. Температура плавления чугуна $1165\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Задача 196. Свинцовая деталь массой 100 г охлаждается от $427\text{ }^{\circ}\text{C}$ до температуры плавления, отвердевает и охлаждается до $27\text{ }^{\circ}\text{C}$. Какое количество теплоты отдает деталь окружающим телам? (Удельную теплоемкость расплавленного свинца принять равной $170\text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$.)

Задача 197. В железной коробке массой 300 г мальчик расплавил 100 г олова. Какое количество теплоты пошло на нагревание

коробки и плавление олова, если их начальная температура была равна 32°C ?

Задача 198. Железная заготовка, охлаждаясь от температуры 800°C до 0°C , растопила лед массой 3 кг , взятый при 0°C . Какова масса заготовки, если вся энергия, выделенная ею, пошла на плавление льда?

Задача 199. Чтобы охладить $4,5\text{ л}$ воды от 30 до 10°C , в воду бросают кусочки льда при 0°C . Какое количество льда потребуется для охлаждения воды?

Задача 200. Для приготовления дроби расплавленный свинец при температуре плавления влили струями в воду с начальной температурой 17°C . Сколько потребовалось воды, чтобы охладить 40 кг свинцовой дроби при конечной температуре воды не выше 47°C ?

Задача 201. В сосуд, содержащий воду массой 100 кг при температуре 10°C , положили кусок льда, охлажденный до -50°C . После установления теплового равновесия температура ледяной массы оказалась равной -4°C . Какова масса куска льда?

Задача 202. В калориметр налита вода массой 2 кг при температуре 5°C и положен кусок льда массой 5 кг , имеющий температуру -4°C . Определите температуру и объем содержимого калориметра после установления теплового равновесия. Теплоемкостью калориметра и теплообменом со средой пренебречь.

Задача 203. В сосуд, содержащий 10 кг воды при температуре 10°C , положили кусок льда, охлажденный до -50°C , после чего температура образовавшейся ледяной массы оказалась равной -4°C . Какое количество льда было положено в сосуд?

Задача 204. Кусок свинца массой 1 кг расплавился наполовину при сообщении ему количества теплоты $54,5 \cdot 10^3$ Дж. Какова была начальная температура свинца?

Задача 205. Тигель, содержащий некоторое количество олова, нагревается электрическим током. Выделяемое в единицу времени количество теплоты постоянно. За 10 мин температура олова повышается от 20 до 70°C . Спустя еще 83 мин олово полностью расплавилось. Найти удельную теплоемкость олова.

Задача 206. Чтобы охладить 200 г воды, имеющей температуру 25°C , в нее бросают взятые из холодильника ледяные брусочки объемом $6,4 \text{ см}^3$, температура которых -5°C . Сколько надо бросить брусочков для охлаждения воды до 5°C ?

Задача 207. В стальной сосуд массой 300 г налили 1,5 л воды при 17°C . В воду опустили кусок мокрого снега массой 200 г. Когда снег растаял, установилась температура 7°C . Сколько воды было в комке снега?

Задача 208. В воду массой 1,5 кг положили лед, температура которого 0°C . Начальная температура воды 30°C . Сколько нужно взять льда, чтобы он весь растаял?

Задача 209. В калориметре находятся лед и вода при температуре 0°C . Масса льда и воды одинакова и равна 500 г. В калориметр вливают воду массой 1 кг при температуре 50°C . Какая температура установится в нем?

Задача 210. В углубление, сделанное во льду, вливают свинец. Сколько было влито свинца, если он остыл до температуры 0°C и

растопил лед массой 270 г? Начальная температура льда 0°C , свинца 400°C .

Задача 211. В термос с водой поместили лед при температуре -10°C . Масса воды 400 г, масса льда 100 г, начальная температура воды 20°C . Определите конечную температуру воды в термосе.

Задача 212. В медном сосуде массой 400 г находится вода массой 500 г при температуре 40°C . В воду бросили кусок льда при температуре -10°C . Когда установилось тепловое равновесие, остался нерасплавленный лед массой 75 г. Определите начальную массу льда.

Задача 213. Кусок льда массой 700 г поместили в калориметр с водой. Масса воды 2,5 кг, начальная температура 5°C . Когда установилось тепловое равновесие, оказалось, что масса льда увеличилась на 64 г. Определите начальную температуру льда.

Задача 214. В калориметр с водой объемом 1 л опустили мокрый снег. Масса снега 250 г, начальная температура воды 20°C . После плавления снега температура воды в калориметре стала равной 5°C . Сколько воды содержалось в снегу?

Задача 215. 1 кг льда, взятому при температуре -50°C , сообщили 520 кДж теплоты. Построить график зависимости температуры от времени поступления теплоты. Скорость поступления теплоты постоянная.

Задача 216. В сосуд с водой с общей теплоемкостью 1,5 кДж/К при температуре 20°C поместили 56 г льда при температуре -8°C . Какая установится температура?

Задача 217. В сосуд с водой с общей теплоемкостью $1,7 \text{ кДж/К}$ при 20°C поместили 100 г льда при -8°C . Какая температура установится в сосуде?

Задача 218. В медный калориметр массой 100 г , содержащий воду массой 50 г при температуре 5°C , опустили лед при температуре -30°C . Масса льда 300 г . Какая температура установится в калориметре?

Задача 219. При 0°C почва покрыта слоем снега толщиной 10 см и плотностью 500 кг/м^3 . Какой слой дождевой воды при 4°C расплавит весь слой снега?

Задача 220. Сколько потребуется каменного угля, чтобы расплавить 1000 кг серого чугуна, взятого при температуре 50°C ? Тепловая отдача вагранки 60% .

Задача 221. В плавильной печи сожгли $0,1 \text{ т}$ угля и расплавили 2 т меди, взятой при 23°C . Определить КПД печи.

Задача 222. Сколько керосина нужно сжечь в примусе с КПД 40% , чтобы расплавить 4 кг льда, взятого при -10°C , если $q = 42000 \text{ кДж/кг}$?

Задача 223. В 480 г воды при 22°C бросили кусок льда при температуре -8°C . Сколько бросили льда, если температура смеси установилась 12°C ?

Задача 224. Определить КПД вагранки, работающей на коксе, если кокса расходуется 300 кг , а серого чугуна расплавляется $1,5 \text{ т}$ при начальной температуре 20°C .

Задача 225. Сколько кокса потребуется для расплавления 4 т серого чугуна, взятого при температуре $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, если КПД вагранки 12%?

Задача 226. Сколько меди можно расплавить в плавильной печи с КПД 30%, сжигая 2 т кокса, если начальная температура меди $20\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Задача 227. Вода при соблюдении некоторых предосторожностей может быть переохлаждена до температуры $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Такое состояние воды неустойчиво, и при любом возмущении вода превращается в лед с температурой $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Какова масса льда, образовавшегося из переохлажденной воды, масса которой 1 кг? Считать, что удельная теплоемкость воды не зависит от температуры и равна ее табличному значению.

Задача 228. К воде, переохлажденной до температуры $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, бросили маленький кусочек льда. Какая часть массы воды превратится в лед?

Задача 229. Железный шарик радиусом 1 см, нагретый до $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, положили на лед. На какую глубину погрузится шарик в лед? Плотность льда и воды считать одинаковой. Температура окружающей воды $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Задача 230. До какой температуры надо нагреть алюминиевый куб, чтобы он, будучи положен на лед, полностью в него погрузился? Температура льда $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, плотность 920 кг/м^3 .

Задача 231. Для определения удельной теплоты плавления олова был проделан такой опыт: 100 г расплавленного олова при температуре $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ влили в алюминиевый калориметр массой 60 г, содержащий 200 г воды при $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Окончательная температура установилась $23\text{ }^{\circ}\text{C}$. Определить удельную теплоту плавления олова, принимая удельную

теплоемкость жидкого олова равной удельной теплоемкости твердого олова (СИ). Проведите подобный опыт в физическом кабинете.

Задача 232. При температуре -5°C каждый квадратный метр поверхности водоема теряет каждый час 168 кДж теплоты. Найти толщину слоя льда, образовавшегося за сутки, если температура воды на поверхности водоема 0°C .

Задача 233. При изготовлении льда в комнатном холодильнике требуется 5 мин для охлаждения воды от 4 до 0°C и еще 1 ч 40 мин, чтобы превратить ее в лед. Определить удельную теплоту плавления льда.

§3. Парообразование и конденсация. Кипение.

Переход из жидкой фазы в газообразную называется парообразованием. Обратный переход из газообразной фазы в жидкую называется конденсацией.

Парообразование происходит двумя путями – испарением и кипением.

Испарение происходит с поверхности жидкости **при любой температуре**. Испарение с поверхности жидкости происходит тем интенсивнее,

- чем больше свободная поверхность жидкости (так как при этом увеличивается количество молекул, вылетающих из жидкости в единицу времени),
- чем выше температура жидкости (так как при этом увеличивается скорость движение молекул жидкости и,

следовательно, их кинетическая энергия, т.е. увеличивается число молекул, способных преодолеть молекулярное притяжение жидкости) и

- чем меньше внешнее давление на свободную поверхность жидкости. Скорость испарения увеличивается также при удалении образовавшихся над жидкостью паров. Испарение происходит интенсивнее у тех жидкостей, у которых меньше силы сцепления между молекулами (летучие жидкости).

При испарении увеличивается потенциальная энергия вылетевших молекул за счет уменьшения кинетических энергий оставшихся. Следовательно, температура жидкости при испарении уменьшается (если нет внешнего подвода теплоты).

Механизм кипения состоит в следующем. В жидкости при ее нагревании образуются пузырьки растворенного воздуха, содержащие внутри пар жидкости, появляющийся при повышении ее температуры. С повышением температуры давление пара увеличивается. Под действием выталкивающей силы пузырьки поднимаются вверх и, пока верхние слои жидкости холоднее нижних, частично конденсируется. Когда вся жидкость прогревается достаточно, пузырьки пара достигают поверхности жидкости, давление в них достигает атмосферного, и пар из пузырьков, поднявшихся на поверхность жидкости, вырывается наружу. Парообразование, происходящее одновременно внутри и с поверхности жидкости, называется кипением. Каждое вещество при данном давлении кипит при вполне определенной температуре, которая остается неизменной во все время кипения.

Температура кипения или точка кипения – температура кипения жидкости при постоянном давлении. При увеличении внешнего давления температура кипения повышается, при уменьшении – понижается. Наличие в жидкости растворенного вещества меняет ее температуру кипения.

Кипение—это процесс парообразования во всём объёме жидкости.

Как и для кристаллизации, для кипения и конденсации необходимы центры кипения: пылинки, пузырьки воздуха или пара. Если очистить жидкость или пар от включений, то можно получить перегретую жидкость (с температурой выше точки кипения).

При парообразовании за счет подводимой теплоты потенциальная энергия молекул вещества, имеющего массу m , возрастает на величину

$$\Delta U = Q = Lm$$

L — удельная теплота парообразования.

Удельная теплота парообразования — количество теплоты, необходимое для превращения единицы массы жидкости в пар при температуре кипения.

$$[L] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

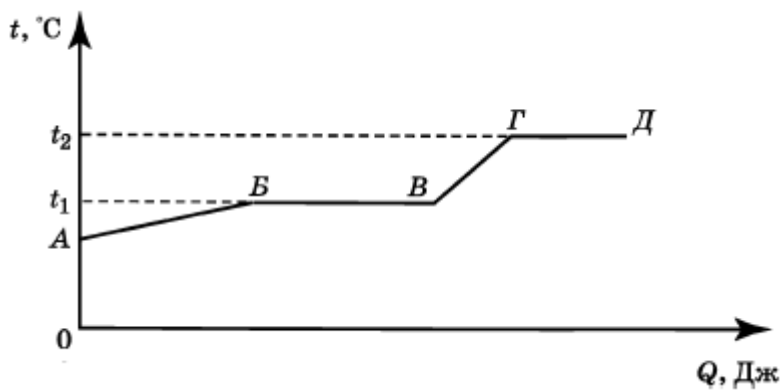
+ физический смысл + Удельная теплота парообразования . = X – что это означает? Смысл знака величины. – это значит, что если телу передать X Дж, то испарится 1 кг жидкости, при этом температура не будет меняться. / конденсации – это значит, что если у тела забрать X Дж, то 1 кг газа превратится в жидкость , при этом температура не будет меняться.

Удельная теплота парообразования уменьшается с повышением температуры испаряющейся жидкости. При решении школьных задач можно не учитывать это изменение.

При конденсации потенциальная энергия молекул уменьшается на величину

$$\Delta U = Q = -Lm$$

и соответствующее количество теплоты отводится и окружающим телам.



Примеры решения задач.

Задача 1. В калориметр, содержащий 100 г льда при 0°C , впускают пар при 100°C . Сколько воды окажется в калориметре непосредственно после того, как весь лед растает?

Дано: $m_1 = 0,1$ кг, $t_0^\circ = 0^\circ\text{C}$, $\lambda = 340 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$, $C = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$,

$L = 2,3 \frac{\text{мДж}}{\text{кг}}$, $t_1^\circ = 100^\circ\text{C}$.

Найти: m_0 .

Анализ:

В момент полного превращения льда в воду в калориметре окажется вода массой m_0 :

$$m_0 = m_1 + m_2, \quad (1)$$

где m_2 – масса сконденсировавшегося пара.

Пренебрегая внешним теплообменом, запишем уравнение теплового баланса

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0 \quad (2)$$

$Q_1 = -Lm_2$ - количество теплоты, которое выделяется при конденсации пара.

$Q_2 = Cm_2(t_0^\circ - t_1^\circ)$ - количество теплоты, которое выделяется при остывании воды.

$Q_3 = \lambda m_1$ - количество теплоты, необходимое для полного превращения льда в воду.

Тогда
$$m_1 \lambda - Lm_2 + Cm_2(t_0^\circ - t_1^\circ) = 0$$

и

$$m_2 = \frac{\lambda m_1}{L + C(t_1^\circ - t_0^\circ)}$$

Подставив это выражение в уравнение (1), получим:

$$m_0 = m_1 \left[1 + \frac{\lambda}{L + C(t_1^\circ - t_0^\circ)} \right]$$

Вычисления:

$$m_0 = 0,1 \left(1 + \frac{34 \cdot 10^4}{2,3 \cdot 10^6 + 4,2 \cdot 10^5} \right) = 0,112 \text{ кг.}$$

Задача 2. Определить массу воды, которая может быть превращена в лед при 0°C испарением эфира, масса которого 100 г, а температура 20°C . Теплообмен происходит только между эфиром и водой. Начальная температура воды также 20°C . Удельная теплота испарения эфира $3,8 \cdot 10^5$ Дж/кг.

Дано: $m_0 = 0,1$ кг, $t_1^\circ = 20^\circ\text{C}$, $C_1 = 2,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$, $t_2^\circ = 0^\circ\text{C}$,

$C_2 = 4,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$, $L = 3,8 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$, $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

Найти: m_1 .

Анализ:

Поскольку теплообмен происходит между эфиром и водой, т.е. внешнего теплообмена нет, можно записать уравнение теплового баланса:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 0.$$

$Q_1 = C_1 m_0 (t_2^\circ - t_1^\circ)$ - количество теплоты, выделяющейся при охлаждении эфира.

$Q_2 = C_2 m_1 (t_2^\circ - t_1^\circ)$ - количество теплоты, выделяющейся при охлаждении воды.

$Q_3 = -\lambda m_1$ - количество теплоты, выделяющейся при замерзании воды.

$Q_4 = L m_0$ - количество теплоты, поглощаемой испаряющимся эфиром.

Таким образом:

$$C_1 m_0 (t_2^\circ - t_1^\circ) + C_2 m_1 (t_2^\circ - t_1^\circ) - \lambda m_1 + L m_0 = 0$$

Отсюда

$$m_1 = \frac{m_0 (L + C_1 (t_2^\circ - t_1^\circ))}{\lambda + C_2 (t_1^\circ - t_2^\circ)}$$

Вычисления:

$$m_1 = \frac{0,1(3,8 \cdot 10^5 + 2,1 \cdot 10^3 (0^\circ - 20^\circ))}{3,3 \cdot 10^5 + 4,2 \cdot 10^3 (20^\circ - 0^\circ)} = 0,082$$

кг.

§3.1. Качественные задачи. Парообразование и конденсация.

Задача 234. Водяной пар при температуре $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ сконденсировался в воду той же температуры. Как изменились при этом объем, масса, сила тяжести, вес, плотность и внутренняя энергия вещества?

Задача 235. Будет ли кипеть вода в чашке, плавающей в кастрюле с кипящей водой? Объясните почему.

Задача 236. Космонавт, находясь на поверхности Луны, вскрыл ампулу с водой. Опишите поведение воды.

Задача 237. Где вода кипит при $120\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Задача 238. Почему температура воды в открытом стакане всегда бывает немного ниже температуры воздуха в комнате?

Задача 239. В один стакан налили эфир при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, в другой – воду при той же температуре. В стаканы опустили термометры. Какой из них будет показывать более низкую температуру?

Задача 240. Почему в комнате после мытья пола становится прохладнее?

Задача 241. Почему написанное тушью просыхает быстрее, чем написанное чернилами?

Задача 242. Почему после дождя становится холоднее?

Задача 243. Почему мокрое развешенное белье, скошенная трава высыхают быстрее в ветреную погоду?

Задача 244. Почему пловец, вышедший из воды, ощущает холод, и это ощущение особенно сильно в ветреную погоду?

Задача 245. Мокрое белье, вывешенное зимой во дворе, замерзает. Но через некоторое время оно становится сухим, даже при сильных морозах. Чем это можно объяснить?

Задача 246. Почему вода, пролитая на пол, высыхает значительно быстрее, чем такое же количество воды в стакане?

Задача 247. Зачем овощи и фрукты, предназначенные для сушки, нарезают на тонкие ломтики?

Задача 248. В листву дерева непрерывно поступает большое количество воды из почвы через корни и ствол дерева. Куда девается эта вода?

Задача 249. На чашки рычажных весов поставили и уравновесили стакан с холодной водой и стакан с горячим чаем. Почему равновесие быстро нарушилось?

Задача 250. Объясните на основе представления о молекулах такой факт: температура эфира значительно понижается, если его вылить из закрытой склянки в открытый сосуд.

Задача 251. Для музыкальных инструментов очень сухой воздух вреден. Объясните, почему в комнате, где находится пианино рекомендуется держать аквариум.

Задача 252. Зачем при скоростной обработке металлов на станках на резцы направляется струя распыленной жидкости?

Задача 253. Люди, плохо переносящие жару, пользуются летом на открытом воздухе зонтом, а в помещении – веером. Объясните охлаждающее действие этих предметов.

Задача 254. Почему летним утром туман «рассеивается» с первыми лучами солнца?

Задача 255. Подышите на зеркало и объясните, что произошло при этом на его поверхности.

Задача 256. Почему в банях и прачечных некоторые металлические трубы, по которым подается вода, покрыты капельками воды, тогда как поверхность других труб сухая?

Задача 257. При безоблачном небе выпадает, обычно, больше утренней росы, чем при пасмурном. Какова причина такого явления?

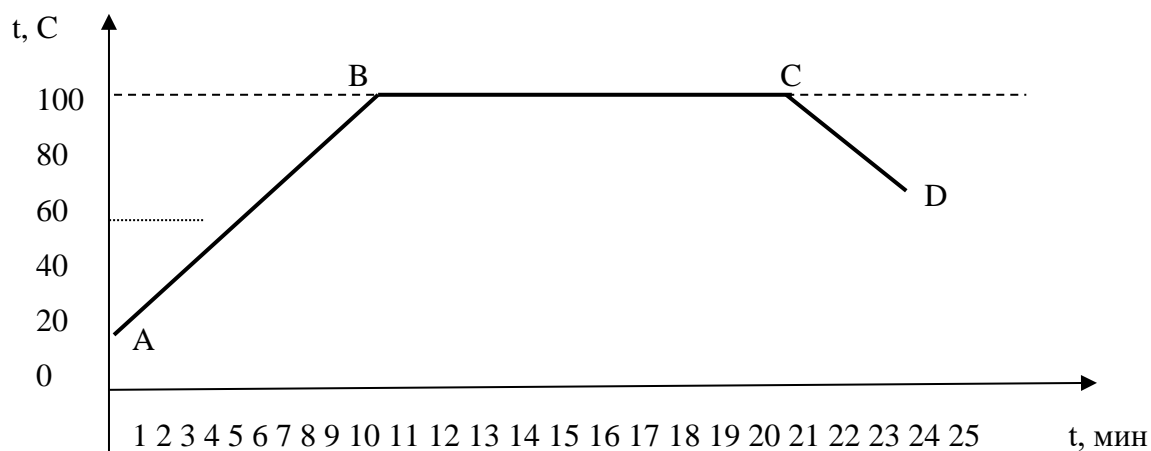
Задача 258. Над чайником с кипящей водой почти не видно пара, пока чайник стоит на пламени газовой плиты. Однако тотчас после выключения горелки пар на некоторое время становится виден. Объясните это явление.

Задача 259. Как объяснить на основании молекулярно-кинетической теории о строении вещества охлаждение жидкости при испарении?

Задача 260. Почему самовар с раскаленными углями не распаивается, когда в него налита вода, и распаивается, когда воды в нем нет?

Задача 261. В двух сосудах конической и сферической формы с одинаковой площадью дна налита вода одинаковой массы. В каком сосуде вода закипит быстрее, если их поставить на одну и ту же электрическую плиту?

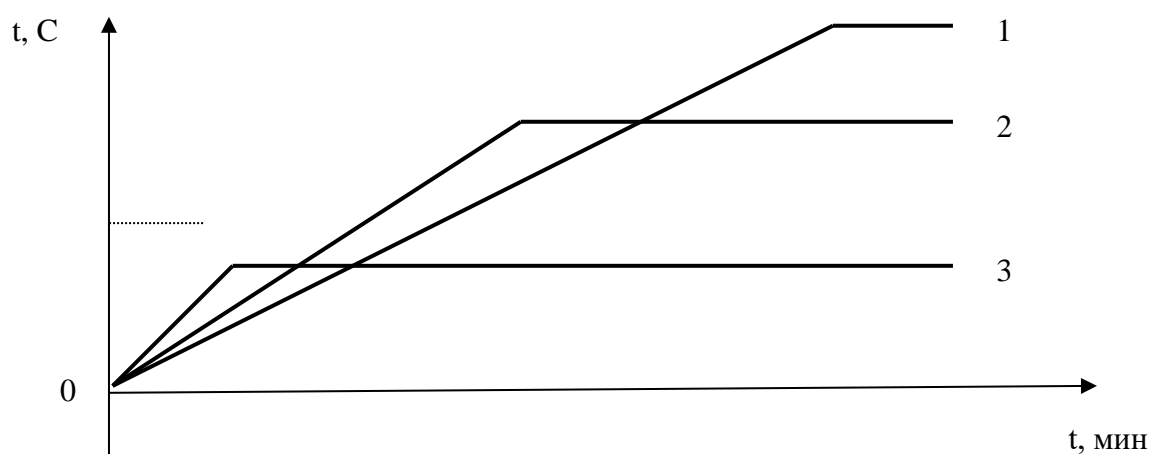
Задача 262. На рисунке показано, как со временем изменяется температура при нагревании и охлаждении воды. Какому состоянию воды соответствуют участки графика АВ, ВС? Объясните, почему участок ВС



параллелен оси времени.

Задача 263. В чем проявляется закон сохранения и превращения энергии при парообразовании и конденсации пара?

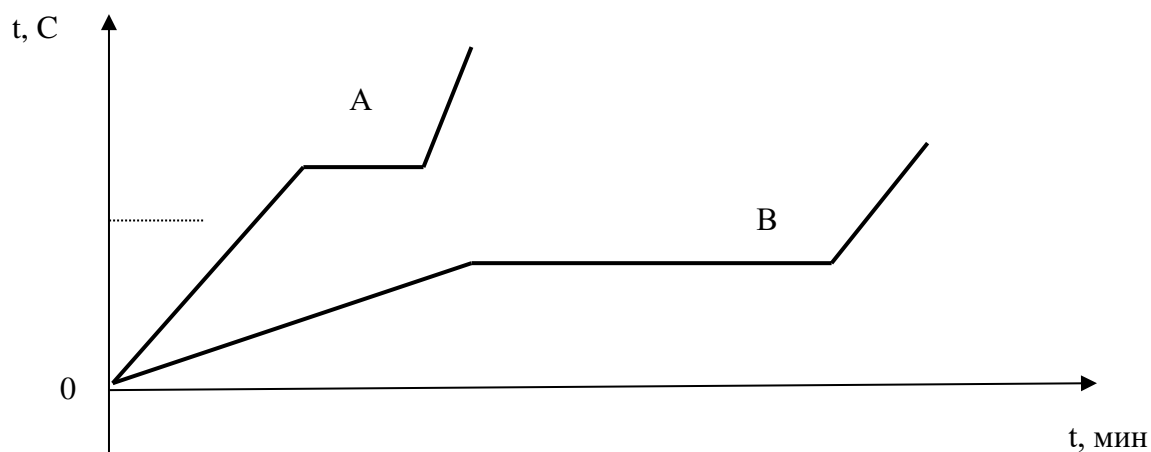
Задача 264. На рисунке даны графики нагревания и кипения жидкостей одинаковой массы: воды, спирта, эфира. Определите, какой график построен для воды, какой – для спирта, какой – для эфира.



Задача 265. Что обладает большей внутренней энергией: вода при температуре 100°C или ее пар той же массы при той же температуре?

Задача 266. Как и на сколько изменится внутренняя энергия пара массой 1 г при его конденсации, если он имеет температуру 100°C ?

Задача 267. Две жидкости (А, В) равных масс нагревают на



одинаковых горелках до кипения. Определите по графикам (см. рисунок), у какой жидкости выше температура кипения; больше удельная теплоемкость; больше удельная теплота парообразования.

Задача 268. Почему не кипит вода в открытой стеклянной пробирке, опущенной в кипящую воду?

Задача 269. В каком состоянии в жидком при 100°C или в газообразном при той же температуре 1 г воды имеет меньшую внутреннюю энергию: ?

Задача 270. Как заставить воду кипеть, подвергая ее охлаждению?

Задача 271. В каком агрегатном состоянии находится при нормальном давлении каждое из следующих веществ: спирт при 100°C , кислород при -200°C , железо при 2000°C , эфир при 45°C , вода при 173°C , цинк при 980°C ?

Задача 272. Закипит ли медь, если кусочек ее погрузить в жидкий свинец, нагретый до температуры его кипения? Изменится ли

ответ, если все будет сделано наоборот: кусочек свинца брошен в кипящую медь?

Задача 273. Можно ли получить золотой пар?

Задача 274. Почему для измерения температур, близких к $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше, применяются ртутные, а не спиртовые термометры?

Задача 275. Можно ли термометрами, у которых в канале над ртутью находится азот при повышенном давлении, измерять температуру выше $357\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Задача 276. Целесообразно ли запаивать оловом отверстия в дне: а) кастрюли, в которой варят пищу; б) сковороды, на которой поджаривают пищу?

Задача 277. При каком условии олово можно расплавить в горячей воде?

§3.2. Расчетные задачи. Парообразование и конденсация.

Задача 278. Какое количество теплоты выделяется при конденсации водяного пара массой $2,5\text{ кг}$, имеющего температуру $100\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Задача 279. Какое количество теплоты необходимо сообщить воде массой 10 г , взятой при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, для того, чтобы нагреть ее до температуры кипения и испарить?

Задача 280. Сколько температуры потребуется, чтобы 100 кг воды, взятой при 10°C , нагреть до 100°C и обратить в пар?

Задача 281. Сколько энергии израсходовано на нагревание воды массой 0,75 кг от 20°C до 100°C и последующее образование пара массой 250 г?

Задача 282. Какое количество теплоты выделяется при конденсации водяного пара массой 10 кг при 100°C и охлаждении образовавшейся воды до 20°C ?

Задача 283. Какое количество теплоты потребовалось для получения дистиллированной воды объемом 5 л, если вода в дистиллятор поступила при 14°C ? (Потерями энергии пренебречь.)

Задача 284. Какое количество теплоты необходимо, чтобы из льда массой 2 кг, взятого при -10°C , получить пар при 100°C ?

Задача 285. Сколько льда, взятого при 0°C , расплавится, если ему сообщить такое количество теплоты, которое выделится при конденсации водяного пара, масса которого 8 кг, а температура 100°C , при нормальном атмосферном давлении?

Задача 286. 200 кг водяного пара при 100°C пропустили через 4 т воды при 20°C . До какой температуры нагреется вода?

Задача 287. Сколько водяного пара при 100°C нужно пропустить через 8 т воды при 10°C , чтобы вода нагрелась до 40°C ?

Задача 288. К сосуду, в котором находилось 2 л воды при 20°C , было подведено 1050 кДж теплоты. Определить массу пара, образовавшегося при кипении воды. Теплоемкостью сосуда пренебречь.

Задача 289. Какое количество теплоты выделится при конденсации 20 г водяного пара при 100°C и охлаждении полученной воды до 20°C ?

Задача 290. В сосуд, содержащий 30 л воды, впускают 1,85 кг водяного пара при 100°C . После конденсации пара температура воды в сосуде повысилась до 37°C . Найти первоначальную температуру воды. Теплоемкостью сосуда пренебречь.

Задача 291. До какой температуры нагреется 0,8 л воды, находящейся в медном калориметре массой 0,7 кг и имеющей температуру 12°C , если ввести в калориметр 0,05 кг пара при 100°C ?

Задача 292. В сосуд, содержащий 1,5 кг воды при 15°C , впускают 200 г водяного пара при 100°C . Какая общая температура установится после конденсации пара?

Задача 293. Отработанный пар при 100°C направляют в 2 т воды при 20°C . Сколько пара необходимо пропустить для повышения температуры воды до 36°C ?

Задача 294. Через воду, имеющую температуру 10°C , пропускают водяной пар при 100°C . Сколько процентов составит масса воды, образовавшейся из пара, от массы всей воды в сосуде в момент, когда ее температура равна 50°C ?

Задача 295. Для опытного определения удельной температуры парообразования воды сухой пар, температура которого 100°C , пропустили через воду, налитую в медный калориметр. Масса воды 400 г, масса калориметра 200 г. После этого масса воды в калориметре выросла

до 421 г, а температура воды повысилась от 10 до 40 °С . Какое значение удельной теплоты парообразования было получено?

Задача 296. Через змеевик подогревателя, содержащего 12 л воды при 12 °С , пропускают водяной пар при 100 °С . Вытекающая из змеевика вода (конденсат) имеет в среднем температуру 60 °С . Какое количество пара нужно пропустить через змеевик, чтобы температура воды в нагревателе повысилась до 50 °С ?

Задача 297. В сосуд, содержащий 400 г воды при 17 °С , вводят 10 г пара, который превращается в воду. Определить конечную температуру воды. Потерями тепла и теплоемкостью сосуда пренебречь.

Задача 298. Алюминиевый калориметр массой 50 г содержит 250 г воды при 16 °С . Какое количество пара нужно ввести в калориметр, чтобы температура воды в нем повысилась до 90 °С ?

Задача 299. Для определения удельной теплоты парообразования воды был произведен следующий опыт: пар при 100 °С ввели в алюминиевый калориметр массой 50 г, содержащий 250 г воды при 10 °С . После пропускания пара в калориметре оказалось 259 г воды с температурой 30 °С . Вычислить по полученным данным удельную теплоту парообразования воды.

Задача 300. В баке кипятильника содержится 208 л воды при 15 °С . Сколько пара при 104 °С нужно пропустить через змеевик кипятильника, чтобы нагреть воду в нем до 92 °С ? Считать, что вода вытекает из кипятильника при той же температуре. КПД кипятильника 75%.

Задача 301. Пар поступает в змеевик подогревателя при 100°C , температура вытекающего из змеевика конденсата 90°C . В течение часа через подогреватель прошло 2 м^3 воды, имеющей начальную температуру 8°C , а из змеевика вытекло 360 л конденсата. До какой температуры нагрелась вода, если КПД подогревателя 80% ?

Задача 302. Кусок алюминия массой 537 г , нагретый до 200°C , погрузили в 400 г воды при 16°C . При этом часть воды испарилась, а другая приобрела температуру 50°C . Найти массу испарившейся воды.

Задача 303. Кусок железа массой 400 г , нагретый до 800°C , погрузили в алюминиевый калориметр массой 80 г , содержащий 200 г воды при 20°C , при этом вся вода нагрелась до температуры кипения и 25 г обратилось в пар. Определить удельную теплоту парообразования воды.

Задача 304. Какая масса воды окажется в смеси, если лед массой 150 г и воду массой 200 г , находящиеся в состоянии теплового равновесия, нагреть до 100°C , пропуская пар при 100°C ?

Задача 305. В теплоизолированном сосуде содержится смесь воды и льда. Масса воды 500 г , льда $54,4\text{ г}$. Вода и лед находятся в тепловом равновесии. В сосуд вводится сухой водяной пар массой $6,6\text{ г}$ при 100°C . Какой будет температура после установления теплового равновесия?

Задача 306. В смесь, состоящую из 20 л воды и 10 кг льда при 0°C , выливают свинец при температуре плавления. Вся смесь приобретает температуру 100°C и 200 г воды при этой температуре превращается в пар. Определить, сколько было вылито свинца.

Задача 307. В калориметр, содержащий лед массой 100 г при температуре 0°C , впустили пар, температура которого 100°C . Сколько воды окажется в калориметре после того, как весь лед растает?

Задача 308. Сколько водяного пара при 100°C надо ввести в латунный калориметр массой 100 г, в котором находится снег массой 150 г при -20°C , для того чтобы весь снег растаял?

Задача 309. Смесь, состоящую из 5 кг льда и 15 кг воды, имеющую общую температуру 0°C , нужно нагреть до 80°C паром при 100°C . Определить необходимое количество пара.

Задача 310. Быстро откачивая воздух из сосуда, в котором находится вода при 0°C , можно превратить ее в лед. Какая часть первоначального количества воды может быть обращена в лед при 0°C ? Принять удельную теплоту парообразования при 0°C $L = 2,3$ МДж/кг.

Задача 311. В сосуде находится смесь из 200 г воды и 130 г льда при 0°C . Какой будет окончательная температура, если в сосуд ввести 25 г стогоградусного пара?

Задача 312. В сосуде, из которого быстро откачивают воздух, находится вода массой m при 0°C . В результате быстрого испарения происходит замораживание воды. Какая часть первоначальной массы обратилась в лед?

Задача 313. Под колоколом воздушного насоса находится вода, масса которой 40 г, а температура 0°C . Воздух из-под колокола быстро откачивают. Благодаря интенсивному испарению части воды вся остальная вода замерзает. Определить массу образовавшегося льда, если его температура 0°C .

Задача 314. В сосуде, из которого интенсивно откачивают воздух, находится небольшое количество воды при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Благодаря интенсивному испарению воды остальная часть ее замерзает. Испарившаяся часть воды имеет массу $2,71\text{ г}$. Определить первоначальную массу воды.

Задача 315. В алюминиевый калориметр массой 300 г опустили кусок льда. Температура калориметра и льда $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Затем пропустили через калориметр водяной пар при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. После того, как температура смеси оказалась равной $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, измерили массу смеси, она оказалась равной 500 г . Найти массу сконденсировавшегося пара и массу льда, находящегося в калориметре в начале опыта.

Задача 316. В теплоизолированном сосуде содержится смесь воды массой 500 г и льда массой $54,4\text{ г}$ при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. В сосуд вводится сухой насыщенный пар массой $6,6\text{ г}$ при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Какой будет общая температура после установления теплового равновесия?

Задача 317. В прямоугольную кювету длиной 24 см и шириной 20 см , в которой находилась вода при $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, налили жидкий азот, взятый при температуре его кипения $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. После испарения азота вода охладилась до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и покрылась корочкой льда при той же температуре. Определить толщину ледяной корочки, если считать, что пары азота уходили от поверхности льда, нагревшись до его температуры и взяв от воды половину всего полученного им тепла. Объем воды в кювете был 1 л , масса азота $0,8\text{ кг}$. Удельная теплота парообразования азота $0,2\text{ МДж/кг}$, удельная теплоемкость газообразного азота $1,05\text{ кДж/(кг}\cdot^{\circ}\text{C)}$.

Задача 318. Какую массу нефти нужно сжечь в котельной установке с КПД 60%, чтобы 4,4 т воды, поступающей из водопровода при 7°C , нагреть до 100°C и 10% всей воды превратить в пар при 100°C ?

Задача 319. Сколько литров дистиллированной воды можно получить за 8 ч при помощи перегонного куба, потребляющего $1,5\text{ м}^3$ природного газа в час и имеющего КПД 70%? Температура поступающей в куб воды 16°C .

Задача 320. В радиаторе парового отопления за 5 ч сконденсировалось 10 кг водяного пара при 100°C и вода вышла из радиатора при 85°C . Какое количество теплоты радиатор передавал ежеминутно окружающей среде?

Задача 321. Колбу с 600 г воды при 10°C нагревают на спиртовке с КПД 35%. Через сколько времени вода закипит? Сколько воды ежесекундно обращается в пар при кипении, если в 1 мин сгорает 2 г спирта? Теплоемкость колбы $100\text{ Дж}/^{\circ}\text{C}$.

Задача 322. Алюминиевый чайник массой 400 г, в котором находится 2 кг воды при 10°C , помещают на газовую горелку с КПД 40%. Какова мощность горелки, если через 10 мин вода закипела, причем 20 г выкипело?

Задача 323. Сколько надо сжечь угля, чтобы 6 т воды, взятой при 10°C , нагреть до 100°C и 1 т обратить в пар, если КПД котла 70%?

Задача 324. Какое количество дистиллированной воды можно получить, если сжечь в топке перегонного куба 20 кг древесных чурок? КПД перегонного куба 35%, начальная температура воды 6°C .

Задача 325. В перегонный куб налито 20 л воды при 10°C . Какое количество дистиллированной воды можно получить, если израсходовать в топке куба 2 кг нефти? КПД куба 33%.

Задача 326. В дистиллятор было налито 30 л воды при 8°C . Для получения 5 л дистиллированной воды было израсходовано $1,6\text{ м}^3$ горючего (природного газа). Каков КПД дистиллятора?

Задача 327. Сколько теплоты потребуется для сушки 10 т свежих фруктов, если масса готовой продукции составляет 20% от массы свежих фруктов, начальная температура фруктов 20°C , температура в сушилке 80°C .

Задача 328. Сосуд с водой нагревают на электроплитке от 20°C до кипения за 20 мин. Сколько нужно времени, чтобы при тех же КПД и режиме работы плитки 20% воды обратилось в пар?

Задача 329. КПД холодильника, работающего на аммиачном газе, 75%. Сколько аммиака испарилось в трубах холодильника при охлаждении 0,86 кг воды от 20 до 0°C ?

§ 4. Насыщенный пар и влажность.

Пар—газ, который можно превратить в жидкость при постоянной температуре путём сжатия.

Насыщенный пар—пар находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью.

Точка росы - это температура, при которой пар становится насыщенным.

Насыщенный пар имеет максимально возможные величины давления и плотности при данной температуре.

С ростом температуры давление и плотность насыщенного пара растут.

Давление и плотность насыщенного пара зависят только от температуры и не меняются при сжатии и расширении. Если сжимать насыщенный пар, то часть конденсируется, превращаясь в жидкость.

Важная характеристика погоды—влажность воздуха.

Влажность бывает : абсолютная и относительная .

Абсолютная влажность —это парциальное давление или плотность водяного пара в воздухе .

Относительная влажность—это отношение абсолютной влажности к давлению или плотности насыщенного пара .

$$\varphi = \frac{P}{P_{\text{нп}}} = \frac{\rho}{\rho_{\text{нп}}}, \text{ где } \varphi \text{—относительная влажность}$$

P —давление водяного пара в воздухе,

$P_{\text{нп}}$ — давление насыщенного водяного пара,

ρ — плотность водяного пара в воздухе,

$\rho_{\text{нп}}$ — плотность насыщенного водяного пара.

§4.1. Расчетные задачи. Насыщенный пар и влажность.

Задача 330. Показания влажного термометра 22°C , показания сухого 27°C . Найти влажность воздуха.

Задача 331. Влажность 50%, влажный термометр показывает 16°C. Какая температура воздуха?

Задача 332. Латексный воздушный шарик надули и влили через трубочку полстакана воды. Подождали 1 час и сжали шарик, уменьшив объём в 2 раза. Как изменится давление влажного воздуха в шарике? Давление водяного пара в шарике? Вес шарика? Плотность водяного пара в шарике? Плотность влажного воздуха в шарике? Температура воздуха не меняется.

Задача 333. На улице мороз. Как изменится влажность воздуха, попавшего в тёплую комнату?

Задача 334. Почему летом ночью на берегу в Сочи не сохнут мокрые полотенца?

Разность показаний сухого и влажного термометра ($t_{\text{сух.}} - t_{\text{вл.}}$)																				
$t_{\text{сух}}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	91	80	67	53	36	18														
2	90	81	69	56	41	24	4													
3	90	79	72	59	45	29	11													
4	91	81	69	62	49	34	17													
5	92	82	71	59	52	39	23	5												
6	92	83	73	62	49	43	28	12												
7	93	84	75	64	52	38	33	18	1											
8	93	86	77	67	55	42	28	24	8											
9	94	86	78	69	58	46	33	17	14											
10	94	87	80	71	61	50	37	23	7											
11	94	88	81	73	64	53	41	28	13											
12	95	89	82	75	66	56	45	33	19	4										
13	95	90	83	76	68	59	49	38	25	10										
14	95	90	84	78	70	62	52	42	30	16	1									
15	96	91	85	79	72	64	55	45	34	22	8									
16	96	91	86	80	74	67	58	49	39	27	14									
17	96	92	87	82	76	69	61	52	43	32	19	6								
18	96	92	88	83	77	71	63	55	46	36	25	12								
19	97	93	89	84	79	73	66	58	50	40	30	18	5							
20	97	93	89	85	80	74	68	61	53	44	34	23	11							
21	97	94	90	86	81	76	70	63	56	48	38	28	17	4						
22	97	94	91	87	82	77	72	66	59	51	42	33	22	10						
23	97	94	91	87	83	79	73	68	61	54	46	37	27	16	4					
24	98	95	92	88	84	80	75	70	64	57	49	41	32	21	10					
25	98	95	92	89	85	81	77	71	66	59	52	45	36	26	16	4				
26	98	95	93	90	86	82	78	73	68	62	55	48	40	31	21	10				
27	98	96	93	90	87	83	79	75	70	64	58	51	44	35	26	16	4			
28	98	96	93	91	88	84	80	76	72	66	61	54	47	39	31	21	10			
29	98	96	94	91	88	85	82	78	73	68	63	57	50	43	35	26	16	5		
30	98	96	94	92	89	86	83	79	75	70	65	60	53	47	39	30	21	11		
31	98	97	94	92	90	87	84	80	76	72	67	62	56	50	43	35	26	16	6	
32	98	97	95	93	90	88	85	81	78	74	69	64	59	53	46	39	31	22	12	1
33	99	97	95	93	91	88	85	82	79	75	71	66	61	56	49	42	35	26	17	7
34	99	97	95	93	91	89	86	83	80	77	73	68	64	58	52	46	39	31	22	13
35	99	97	96	94	92	90	87	84	81	78	74	70	66	61	55	49	42	35	27	18
36	99	97	96	94	92	90	88	85	82	79	76	72	68	63	58	52	46	39	31	23
37	99	98	96	94	93	91	88	86	83	80	77	74	70	65	60	55	49	43	36	28
38	99	98	96	95	93	91	89	87	84	81	78	75	71	67	63	58	52	46	39	32
39	99	98	96	95	93	92	90	88	85	83	80	76	73	69	65	60	55	49	43	36
40	99	98	97	95	94	92	90	88	86	83	81	78	74	71	67	62	58	52	46	40

Рис. Психрометрическая таблица

Глава 3. Изменение внутренней энергии тел в процессе совершения работы. Тепловые двигатели.

§ 1. Превращение механической энергии во внутреннюю. Явление диссипации механической энергии.

Одно или несколько тел, выделенных нами из всей общей совокупности тел для решения данной задачи, называется **системой тел**.

Система тел называется *замкнутой*, если на данную систему не действуют никакие другие тела или поля.

Система тел называется *незамкнутой*, если действием внешних тел на данную систему пренебречь нельзя.

Воздействие внешних тел на незамкнутую систему может быть двух видов:

- в виде работы A , которую совершают внешние тела над телами системы.
- в виде количества теплоты Q , которое внешние тела передают телам системы в процессе теплообмена.

Полная энергия системы тел равна сумме **механической** и **внутренней** энергии системы.

$$E_0 = E_M + U$$

U – внутренняя энергия системы.

E_M – механическая энергия системы. Она складывается из кинетической и потенциальной энергии.

$$E_M = E_K + E_{\Pi}$$

Кинетическая энергия материальной точки есть часть механической энергии, которая зависит от скорости ее движения в данной инерциальной системе отсчета. Кинетическая энергия материальной точки массы m , движущейся в данной инерциальной системе отсчета со скоростью V равна

$$E_k = \frac{mV^2}{2}$$

Кинетическая энергия системы складывается из кинетических энергий всех материальных точек, входящих в систему.

Потенциальной энергией называется часть механической энергии, которая обусловлена взаимодействием между телами. В частности, материальная точка массы m , поднятая на высоту h обладает потенциальной энергией

$$E_p = mgh$$

Выбор **нулевого уровня потенциальной энергии** $h = 0$ может быть произвольным (в определенных пределах) и зависит от удобства решения конкретной задачи. Поэтому потенциальная энергия может быть положительной, отрицательной или равной нулю.

Изменение полной энергии незамкнутой системы тел в результате внешнего воздействия :

$$\Delta E_0 = A + Q$$

где $\Delta E_0 = E_{02} - E_{01}$ - изменение полной энергии системы.

A – работа над системой

Q – количество теплоты, полученное или отданное системой.

Если система замкнута, то $Q = 0$ и $A = 0$.

Следовательно $\Delta E_0 = 0$

$$\Delta E_M + \Delta U = 0$$

$$\Delta U = -\Delta E_M$$

Изменения внутренней энергии замкнутой системы равно изменению ее механической энергии, взятого с противоположным знаком.

Диссипация—переход части механической энергии или энергии электрического тока во внутреннюю энергию.

Коэффициент полезного действия термодинамического/механического процесса—отношение изменения внутренней энергии ΔU выбранного тела к изменению механической энергии замкнутой системы, взятому с противоположным знаком: $-\Delta E$.

$$\eta = \frac{\Delta U}{-\Delta E}$$

Пример решения задачи.

Свинцовая пуля, летящая со скоростью $V_1 = 400$ м/сек, пробивает доску, вследствие чего ее скорость уменьшается до $V_2 = 100$ м/сек. Температура пули в момент удара $t = 27^\circ$ С. Какая часть массы пули расплавится, если считать, что на нагрев пули расходуется 60% энергии?

Решение. При пробивании доски уменьшается скорость пули и, значит, уменьшается ее кинетическая энергия на величину

$$\Delta E = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2} = \frac{m}{2} (v_1^2 - v_2^2).$$

Эта кинетическая энергия затрачивается на нагревание пули массой m до температуры плавления свинца θ° и на плавление части пули массой m' (расплавленный свинец вылетает вместе с пулей). Следовательно, можно записать

$$\eta \frac{m}{2} (v_1^2 - v_2^2) = cm(\theta^\circ - t^\circ) + \lambda m'$$

где λ - удельная теплота плавления.

Разделив обе части равенства на m , получим

$$\frac{m'}{m} = \frac{\eta(v_1^2 - v_2^2) - 2c(\theta^\circ - t^\circ)}{2\lambda} \approx 0,318.$$

§1.1. Качественные задачи. Превращение механической энергии во внутреннюю.

Задача 335. Тетерев зимой, отправляясь ко сну, камнем падает с дерева и застревает в снегу. Что произошло с потенциальной энергией птицы?

Задача 336. В одном из двух полых стеклянных шаров создан вакуум, а в другом имеется воздух. Как, не используя никакие измерительные приборы, определить, в каком из шаров воздух?

Задача 337. Известно, что температура выхлопных газов мотоцикла на выходе из глушителя в несколько раз ниже температуры, достигаемой в цилиндре двигателя. Почему?

Задача 338. В один сосуд налита кипяченая вода, в другой – сырая. Как определить, в котором сосуде кипяченая вода?

Задача 339. В двух одинаковых узких трубках, запаянных с обоих концов, имеется капелька ртути. В одной из трубок воздух отсутствует. Трубки лежат на горизонтальной поверхности, и капельки ртути в них расположены посередине. Как, не прикасаясь к трубкам, определить, в какой из них нет воздуха?

Задача 340. Со дна водоема поднимается пузырек газа. Совершает ли газ работу?

Задача 341. Известно, что для кипения жидкости необходимо все время сообщать определенное количество теплоты. Объясните, откуда берется энергия, поддерживающая кипение воды в кофейнике в течение нескольких секунд после снятия кофейника с кипящей водой с плиты.

Задача 342. Изменится ли потенциальная энергия медного шара, лежащего на горизонтально расположенной поверхности стола, если повесить его температуру?

Задача 343. Зажженную свечу боковой поверхностью прикрепляют к кирпичной стене. Куда будет стекать стеарин – к стене или со стороны, противоположной стене? Ответ обоснуйте.

Задача 344. Мальчик заметил, что вода в стакане с опущенным в него электрокипятильником закипает быстрее, будучи поставленной не над батареей, а на подоконник, хотя над ней воздух теплее, чем над подоконником. Чем такое явление может быть вызвано?

Задача 345. Как может резать металл фрикционная пила, представляющая собой стальной диск без зубьев?

Задача 346. Почему, помешивая ложечкой горячий чай, мы вызываем его охлаждение? (В опыте Джоуля аналогичное действие приводит к нагреванию жидкости.)

Задача 347. Мука из-под жерновов выходит горячей. Хлеб из печи также вынимают горячим. Чем вызывается в каждом из этих случаев увеличение внутренней энергии тела (муки, хлеба)?

Задача 348. Почему слой воздуха, прилегающего к корпусу летящего в атмосфере Земли космического корабля, сильно разогревается? Почему большая часть метеоров не достигает Земли?

Задача 349. Известно, что удельная теплоемкость газа при постоянном давлении (C_p) значительно отличается от удельной теплоемкости того же газа при постоянном объеме (C_v). Какая из этих теплоемкостей больше? Почему?

§1.2. Расчетные задачи. Превращение механической энергии во внутреннюю.

Задача 350. На какую высоту можно было бы поднять гирию массой 1 кг за счет энергии, которую 240 мл воды отдают при охлаждении от 100 до 0° С?

Задача 351. Свинцовая пуля, летящая со скоростью 200 м/сек, ударяется о препятствие и останавливается. На сколько градусов повысилась температура пули при условии, что нагревается только пуля?

Задача 352. ИСЗ массой 1 т возвращается на Землю сквозь плотные слои атмосферы с высоты 30 км и нагревается. На сколько увеличится внутренняя энергия корпуса спутника в результате торможения?

Задача 353. Вода падает с высоты 1000 м. На сколько повысится температура воды, если на ее нагревание затрачивается 60 % работы силы тяжести?

Задача 354. С какой высоты должен упасть кусок олова, чтобы при ударе о землю он нагрелся до 100°C ? До температуры плавления? Считать, что на нагревание олова идет 40 % работы силы тяжести, а начальная температура равна 0°C .

Задача 355. Два шарика равной массы, медный и алюминиевый, сброшены с высоты 1000 м. Который из них нагреется больше и насколько? Потери тепла не учитывать.

Задача 356. С какой высоты должен падать град, чтобы градинки при ударе о землю расплавились? Сопротивление воздуха не учитывать.

Задача 357. С какой скоростью должен двигаться кусок льда, имеющий температуру 0°C , чтобы при ударе о каменную стену он полностью расплавился?

Задача 358. С какой высоты должны падать дождевые капли, температура которых 20°C , чтобы при ударе о землю они испарились? Сопротивление воздуха не учитывать.

Задача 359. С какой скоростью v должна вылететь из ружья свинцовая дробишка при выстреле вертикально вниз с высоты $h = 100$ м, чтобы при ударе о неупругое тело дробишка расплавилась? Считать, что выделившаяся теплота распределилась между телом и дробишкой поровну. Начальная температура дробишки $t^{\circ} = 227^{\circ}\text{C}$.

Задача 360. Свинцовая пуля пробивает деревянную стену, причем скорость в момент удара о стену была равна 400 м/с, а после прохождения стены – 300 м/с. Температура пули в момент удара 55°C . Какая часть пули расплавилась? Считать, что все выделившееся количество теплоты получает пуля.

Задача 361. Снежок, летящий со скоростью 20 м/с, ударяется в стену. Какая часть его расплавится, если температура окружающей среды равна 0°C , а вся кинетическая энергия передается снегу?

Задача 362. Стальной лом пневматического отбойного молотка обладает энергией удара 3,75 дж и делает 1000 ударов в минуту. Определить мощность, развиваемую молотком. На сколько градусов повысится температура лома после 3 мин работы, если на его нагревание затрачивается 15 % всей энергии? Масса лома 1,8 кг.

Задача 363. На сколько градусов нагреется при штамповке кусок стали массой 1,5 кг от удара молота весом 3920 н, если скорость молота в момент удара 7,0 м/с, а на нагревание стали затрачивается 60 % энергии молота?

Задача 364. Стальной молот массой 12 кг падает на лежащую на наковальне железную пластинку массой 0,2 кг. Высота падения молота 1,5 м. Считая, что на нагревание пластинки затрачивается 40 % кинетической энергии молота, вычислить, на сколько градусов нагреется пластинка после 50 ударов молота.

Задача 365. С помощью металлического молота весом 58,8 кн. обрабатывается железная поковка массой 205 кг. За 35 ударов поковка нагрелась от 10 до 18°C . Как велика скорость молота в момент удара? Считать, что на нагревание поковки затрачивается 70 % энергии молота.

Задача 366. Трамвайный вагон массой 12,5 т, имеющий скорость 28,8 км/ч, тормозит и останавливается. На сколько градусов нагреваются его 8 чугунных тормозных колодок, если масса каждой колодки 9 кг и на их нагрев затрачивается 60 % кинетической энергии вагона?

Задача 367. При сверлении металла ручной дрелью сверло массой 50 г за 3 мин непрерывной работы нагрелось на $70,5^{\circ}\text{C}$. Считая, что на нагревание сверла пошло 15 % всей затраченной энергии, определить развиваемую при сверлении мощность.

Задача 368. Одним из способов изготовления проволоки является метод выдавливания. Заготовку в нагретом состоянии помещают в цилиндр с отверстием, сечение которого соответствует сечению проволоки. Затем на заготовку производится давление движущимся в цилиндр поршнем. На сколько повысится температура килограммовой медной заготовки за 5 сек, если развиваемая при выдавливании мощность равна 6 л.с., а на нагревание заготовки идет 60 % энергии?

Задача 369. Автомобиль массой 1 т, движущийся со скоростью 36 км/ч, резко затормозил перед светофором. Какое количество теплоты выделилось при торможении автомобиля?

Задача 370. Какую надо совершить работу, чтобы расплавить трением друг о друга два куска льда массой 5 г? Температура льда 0°C .

Задача 371. С одинаковой высоты на кафельный пол падают три шарика равной массы: один шарик – медный, другой – стальной, третий – железный. 1) Какой из них нагреется до более высокой температуры? 2) Какой из двух шариков, железный или стальной, нагреется быстрее?

Задача 372. Свинцовая пуля, летевшая со скоростью 500 м/с, пробила стенку. Определить, на сколько градусов нагрелась пуля, если после стенки ее скорость снизилась до 400 м/с. Считать, что на нагревание пули пошло 50 % выделившейся теплоты.

Задача 373. Поезд массой 2000 т при торможении с ускорением $0,3 \text{ м/с}^2$ останавливается через 50 с после начала торможения. Какое количество теплоты выделится?

Задача 374. На сколько температура воды у основания водопада высотой 120 м больше, чем у его вершины?

Задача 375. Пневматический молот массой $2 \cdot 10^3$ кг кует железную болванку, масса которой 6 кг, причем скорость молота перед ударом 3 м/сек. На сколько нагреется болвана от одного удара? Считать, что вся энергия молота идет на нагревание болванки.

Задача 376. С какой минимальной скоростью относительно космического корабля должен двигаться железный метеор, чтобы в результате столкновения с кораблем он мог расплавиться? Температура до столкновения - 100°C . Считать, что количество теплоты, выделившейся в результате столкновения, распределилось поровну между метеором и кораблем.

Задача 377. Поток α - частиц, имеющих скорость $2 \cdot 10^7$ м/сек, бомбардируется свинцовая пластинка объемом 9 см^3 . До какой температуры нагреется пластинка, если в ней затормозилось 10^{15} α - частиц? Считать, что вся энергия движения α - частиц превращается в теплоту. Температура пластинки до опыта составляла 20°C . Масса α - частицы $6,64 \cdot 10^{-27}$ кг. Теплоотдачу пластинки не учитывать.

Задача 378. Поток медленных нейтронов облучается медная пластинка объемом 10 см^3 . На сколько градусов нагреется пластинка, если в ней полностью затормозилось 10^{21} нейтронов, летящих со скоростью $2 \cdot 10^4 \text{ м/сек}$? Масса нейтрона $1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$. Считать, что вся энергия движения нейтронов превращается в теплоту.

Задача 379. Космическая частица, летящая (относительно корабля) со скоростью U , вследствие столкновения с кораблем расплавилась и испарилась. Начальная температура частицы t_1 , температура плавления вещества частицы t_2 , а температура парообразования t_3 . Удельная теплоемкость вещества частицы в твердом состоянии c_1 , в жидком - c_2 . Определить удельную теплоту плавления вещества частицы, если она в 10 раз меньше удельной теплоты парообразования. Считать, что вся кинетическая энергия частицы идет на ее нагревание.

Задача 380. В ущелье с высоты 250 м падает камень. Вследствие трения о воздух и удара о землю камень нагревается на $1,5^\circ\text{C}$. Определите удельную теплоемкость камня, считая, что 50 % энергии камня расходуется на его нагревание.

Задача 381 . На какую высоту можно было бы поднять гирию массой 1 кг за счет энергии, которая выделяется при охлаждении при охлаждении до 0°C стакана кипятка объемом 196 см^3 ?

Задача 382. Двигатель мощностью 75 Вт в течение 5 мин вращает лопасти винта внутри калориметра, в котором находится вода массой 5 кг. Вследствие трения о воду лопастей винта вода нагревается. Считая, что вся выделенная при трении теплота пошла на нагревание воды, определите, на сколько градусов она нагрелась.

Задача 383. У поверхности воды мальчик выпускает камень, и он опускается на дно пруда на глубину 5 м. Какое количество теплоты выделится при падении камня, если его масса 500 г, а объем 200 см^3 ?

Задача 384. На зимней дороге при температуре снега -10°C автомобиль в течение 1 мин 6 с буксует, развивая мощность 12 кВт. Сколько снега растает при буксовании автомобиля, если считать, что вся энергия, которая выделилась при буксовании автомобиля, идет на нагревание и плавление снега?

Задача 385. Свинцовая пуля массой 20 г, летевшая со скоростью 500 м/сек, попадает в неподвижный медный шар массой 5 кг и застревает в нем. На сколько градусов нагреется шар, если считать, что вся кинетическая энергия пули затрачивается на нагревание?

Задача 386. При обработке детали слесарь совершил 46 движений стальным напильником, прикладывая среднюю силу 40 Н и перемещая напильник на 8 см при каждом движении. На сколько повысилась температура напильника, если он имеет массу 100 г и на увеличение его внутренней энергии пошло 50 % совершенной работы? Считать, что сила направлена по движению напильника.

Задача 387. С высоты h свободно падает кусок металла, удельная теплоемкость которого c . На сколько поднялась его температура при ударе о землю, если считать, что k механической энергии куска металла превращается во внутреннюю энергию?

Задача 388. Два одинаковых стальных шарика упали с одной и той же высоты. Первый упал в вязкий грунт, а второй, ударившись о камень, отскочил и был пойман рукой на некоторой высоте. Который из шариков больше нагрелся?

Задача 389. Свинцовая пуля, летящая со скоростью 200 м/с, попадает в земляной вал. На сколько повысилась температура пули, если 78 % кинетической энергии пули превратилось во внутреннюю энергию?

Задача 390. Стальной осколок, падая с высоты 500 м, имел у поверхности земли скорость 50 м/с. На сколько повысилась температура осколка, если считать, что вся работа сопротивления воздуха пошла на его нагревание?

Задача 391. При сверлении пушечного ствола, которое производили с помощью лошадей, Румфорд успел вскипятить в котле, поставленном на ствол, воду объемом 10 л. Минимальная температура воды была 20°C , за 6 мин вода массой 200 г обратилась в пар. Какая развилась мощность при сверлении, если 80 % всей выделенной теплоты пошло на нагревание воды и обращение ее в пар?

Задача 392. С какой высоты должен упасть молот массой 1000 кг на медную болванку массой 25 г, чтобы она полностью расплавилась? Считать, что болванке передается 50 % выделившейся теплоты. Начальная температура болванки 23°C .

Задача 393. Грузовой автомобиль массой 6,27 т, движущийся со скоростью 57,6 км/ч, остановлен тормозом. Какое количество теплоты выделилось при торможении? (СИ).

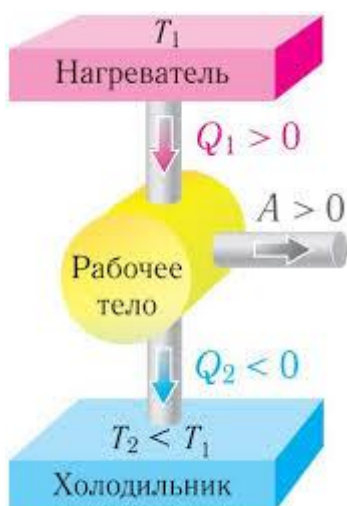
Задача 394. Паровой молот массой 8,54 т куёт железную болванку, масса которой 300 кг. Скорость молота при ударе 4 м/с. На сколько градусов нагреется болванка от одного удара молота, если удар практически неупругий и вся теплота, выделившаяся при ударе, поглотится болванкой? Принять ускорение свободного падения 10 м/с^2 . Применить внесистемные единицы и выразить результат в системе СИ.

Задача 395. На сколько градусов нагреется железная болванка массой 10 кг от удара молотом массой 427 кг, падающего с высоты 1,36 м, если болванка поглощает 80 % количества теплоты, выделяющейся при ударе? (СИ.)

§2. Тепловые двигатели.

Тепловым двигателем называется устройство, которое превращает внутреннюю энергию топлива в работу в циклическом процессе (повторяющемся во времени). Энергия, которая выделяется при сгорании топлива или при ядерных реакциях передается путем теплообмена газу или жидкости. При расширении их совершается работа и приводится в движение механизм.

Принципиальная схема теплового двигателя.



Нагреватель—источник тепла $Q_1=Q_n$, передаваемого рабочему телу. (Процесс сгорания паров бензина в ДВС, топка в паровом двигателе)

Рабочее тело—газ, расширяющийся под действием полученного тепла и совершающий механическую работу. (Горячий воздух в ДВС и перегретый пар в паровом двигателе)

Холодильник—атмосфера, куда сбрасывается оставшаяся часть тепла $|Q_2|=Q_x$.

Тепловой двигатель работает только при температуре нагревателя $T_1=T_n$ больше, чем температура холодильника (атмосферы) $T_2=T_x$.

Коэффициентом полезного действия (К.П.Д.) теплового двигателя называется отношение работы A , совершенной рабочим телом, к количеству теплоты Q_H , сообщенному рабочему телу нагревателем.

$$\eta = \frac{A}{Q_H}, \text{ где } A = Q_H - Q_x$$

Коэффициент полезного действия теплового двигателя – это скалярная физическая величина, равная отношению механической работы к количеству тепла, полученному в результате сгорания топлива.

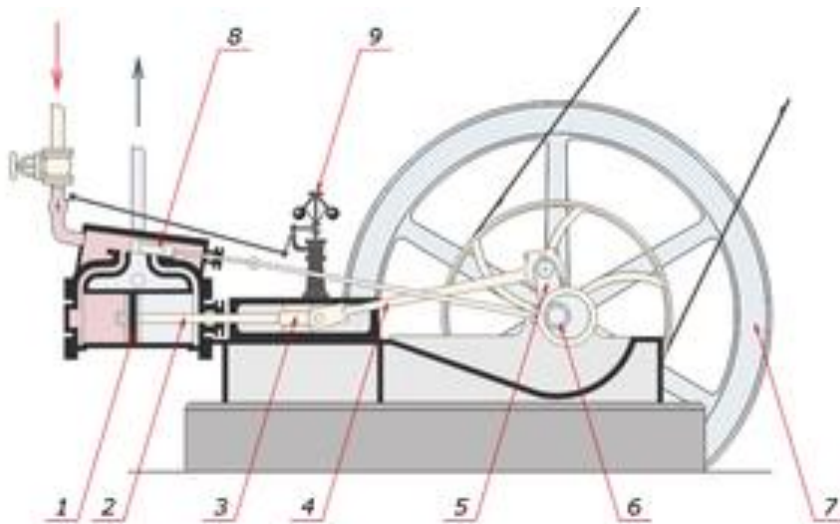
Максимально возможный КПД (идеального двигателя) зависит от температур нагревателя и холодильника:

$$\eta = \frac{T_H - T_x}{T_H}$$

КПД идеального теплового двигателя разности температур нагревателя и холодильника делённый на температуру нагревателя

Лошадиная сила—внесистемная единица мощности, равная 735,49875 Вт,

§2.1. Паровой двигатель

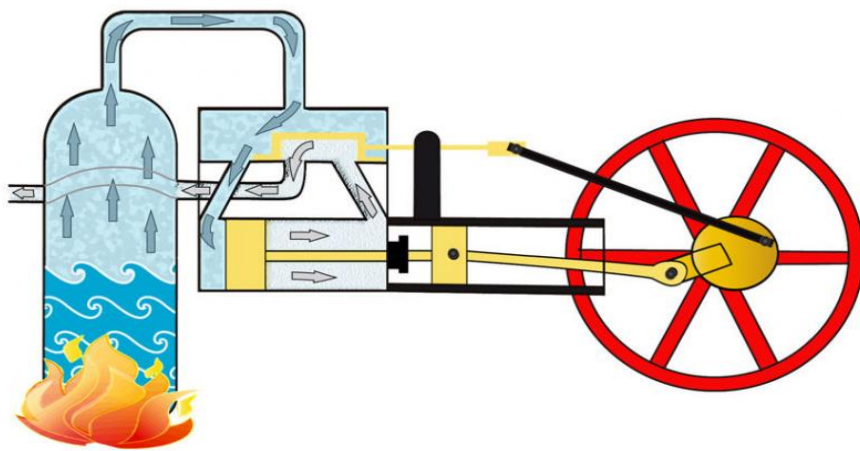


Для работы паровой машины необходим паровой котёл для перевода воды до состояния насыщенного пара и последующего перегрева пара (некоторые паровые двигатели работают и на насыщенном паре). Расширяющийся пар давит на поршень движение которого передаётся другим механическим частям обычно за счёт шатунно-кривошипного механизма.

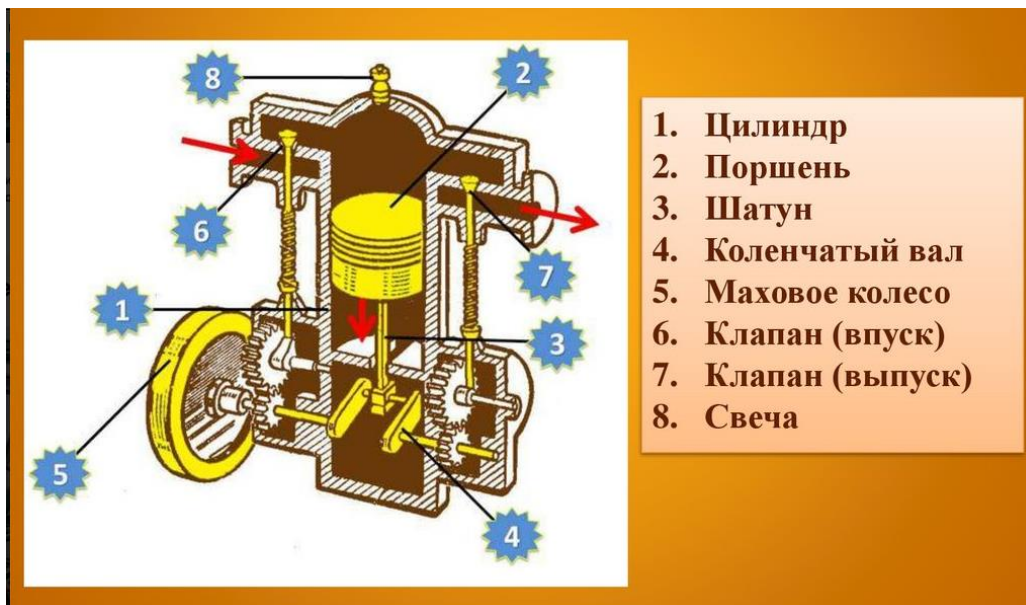
Принцип действия поршневой паровой машины показан на иллюстрации. Работа *поршня 1* посредством *штока 2*, *ползуна 3*, *шатуна 4* и *кривошипа 5* передаётся главному *валу 6*, несущему маховик 7, который служит для снижения неравномерности вращения вала. Эксцентрик, сидящий на главном валу, с помощью эксцентриковой тяги приводит в движение золотник 8, управляющий впуском пара в полости цилиндра. Пар из цилиндра выпускается в атмосферу. Для поддержания постоянного числа оборотов вала при изменяющейся нагрузке паровые машины снабжаются центробежным регулятором 9, автоматически изменяющим сечение прохода пара, поступающего в паровую машину.

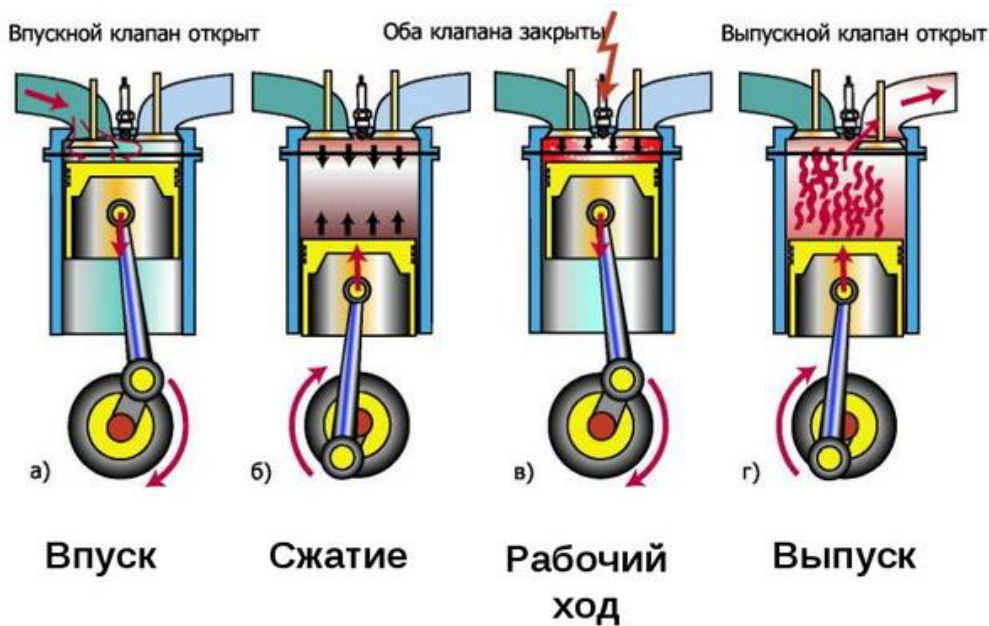
Поршень образует в цилиндре паровой машины две полости переменного объёма, в которых совершаются процессы сжатия и расширения. Пар, поступающий в цилиндр паровой машины, расширяется и перемещает поршень.

Возвратно-поступательное движение поршня преобразуется с помощью кривошипно-шатунного механизма во вращательное движение вала. Впуск и выпуск пара осуществляются системой парораспределения. Для снижения тепловых потерь цилиндры паровой машины окружаются паровой рубашкой.



§2.2. Двигатель внутреннего сгорания (ДВС).





§2.3. Тепловые двигатели. Качественные задачи.

Задача 396. Объясните причину вращения махового колеса в ДВС и паровом двигателе.. Какие преобразования происходят при этом?

Задача 397. Относится ли ружье к тепловому двигателю?

Задача 398. Каково назначение и действие вентилятора, находящегося у радиатора трактора?

Задача 399. Почему для охлаждения цилиндров мотоциклов используется воздушное охлаждение, а не водяное?

Задача 400. Выполняя задание, ученик записал: «Двигатель внутреннего сгорания используется в мотосанях, бензопилах, вертолете». Дополните эту запись другими примерами.

Задача 401. Почему двигатели внутреннего сгорания не используются в подводной лодке при погруженном в воду режиме плавания?

Задача 402. Рассмотрите изображенный в разрезе четырехтактный автомобильный двигатель внутреннего сгорания. Найдите рабочие цилиндры, поршни, коленчатый вал, рукоятку. В каком направлении – вверх или вниз – начнут перемещаться поршни в каждом цилиндре при повороте рукоятки?

Задача 403. Найдите на рисунке маховое колесо и объясните его значение для работы двигателя.

Задача 404. Сколько вспышек рабочей смеси происходит за 1 с в каждом цилиндре четырехтактного двигателя, вал которого совершает 3000 оборотов в минуту?

Задача 405. Определите число ходов, совершаемых всеми поршнями четырехтактного двигателя, имеющего 8 рабочих цилиндров, за время одного оборота коленчатого вала.

Задача 406. Сколько рабочих ходов происходит в 4-цилиндровом двигателе внутреннего сгорания за время одного оборота коленчатого вала?

Задача 407. В четырехтактном двигателе внутреннего сгорания на каждые 100 оборотов вала приходится 300 рабочих ходов поршней в цилиндрах. Сколько рабочих цилиндров имеет этот двигатель?

Задача 408. Рабочий ход в цилиндрах двигателя совершается в следующем порядке: в 1-м цилиндре, во 2-м, затем в 4-м, и, наконец, в 3-м. Определите, какой такт начался во 2-м, 3-м и 4-м цилиндрах, считая слева, в тот момент, когда в 1-м цилиндре начался рабочий ход.

Задача 409. В каком случае газ в цилиндре двигателя внутреннего сгорания обладает большей внутренней энергией: в начале такта «рабочий ход» или в конце его?

Задача 410. В каком случае газ в цилиндре двигателя внутреннего сгорания обладает большей внутренней энергией: к концу такта всасывания или к концу такта сжатия?

Задача 411. Почему температура газа в двигателе внутреннего сгорания в конце такта «рабочий ход» ниже, чем в начале этого такта?

Задача 412. Почему в паровой турбине температура отработанного пара ниже, чем температура пара, поступающего к лопаткам турбины?

Задача 413 Зачем в цилиндре двигателя внутреннего сгорания жидкое топливо подается в распыленном состоянии?

Задача 414. Во время каких тактов закрыты оба клапана в четырехтактном двигателе внутреннего сгорания?

Задача 415. Отражается ли неполное сгорание топлива в двигателе внутреннего сгорания на его КПД? на окружающую среду?

Задача 416. В одну из мощных паровых турбин пар поступает при температуре 480°C , в другую 550°C . Какая турбина имеет больший КПД, если отработанный пар имеет одинаковую температуру?

Задача 417. В одной из паровых турбин для совершения полезной работы используется 0,2 всей выделяющейся при сгорании топлива, в другой – 0,25. КПД какой турбины больше? Ответ обоснуйте.

Задача 418. Можно ли, израсходовав внутреннюю энергию тела, равную 1 Дж, совершить механическую работу в 1 Дж?

§2.4. Расчетные задачи. Тепловые двигатели.

Задача 419. Какая механическая работа (в кДж) совершается при расширении газа в цилиндре с поршнем, если площадь поршня 240 см^2 , ход поршня 25 см, а среднее давление газа 490 кН/м^2 ?

Задача 420. Вычислите работу расширения пара в цилиндре, производимую за каждую минуту, если среднее давление $980\,000 \text{ Н/м}^2$, ход поршня 0,52 м, площадь поршня 18 дм^2 и поршень делает за секунду два хода.

Задача 421. Определите среднее давление воздуха в цилиндре компрессора, площадь поршня в котором $0,025 \text{ м}^2$, ход поршня 48 см, а мощность, развиваемая при 110 ходах в минуту, равна 35 л.с.

Задача 422. Определите КПД двигателя трактора, которому для совершения работы $1,89 \cdot 10^7 \text{ Дж}$ потребовалось 1,5 кг топлива с удельной теплотой сгорания $4,2 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$.

Задача 423. Двигатель внутреннего сгорания совершил полезную работу, равную $2,3 \cdot 10^5 \text{ кДж}$, и израсходовал при этом 2 кг бензина. Вычислите КПД этого двигателя.

Задача 424 За 1,25 ч в двигателе мотороллера сгорело 2,5 кг бензина. Вычислите КПД двигателя, если за это время им было произведено $2,3 \cdot 10^4$ кДж полезной работы.

Задача 425. Двигатель внутреннего сгорания мощностью 36 кВт за 1ч работы израсходовал 14 кг керосина. Определите КПД двигателя.

Задача 426. Автомобиль прошел 300 км со средней скоростью 72 км/ч. При этом был израсходован бензин объемом 70 л. КПД двигателя автомобиля 25 %. Какую среднюю мощность развивал двигатель автомобиля во время пробега?

Задача 427. Какая масса пороха сгорает при выстреле из карабина? Масса пули 10 г, скорость пули при вылете из дула 700 м/с, КПД карабина 30 %.

Задача 428. Найти расход бензина автомобиля «Запорожец» на 1 км пути при скорости 60 км/ч. Мощность мотора равна 17 кВт, КПД равен 30 %.

Задача 429. Автомобиль «Москвич» расходует бензин массой 5,67 кг на 50 км пути. Определить мощность, развиваемую двигателем, если скорость движения 90 км/ч и КПД двигателя 22 %.

Задача 430. Двигатель мощностью 15 кВт потребляет в час нефть массой 15 кг. Определите КПД машины.

Задача 431. Пуля массой 9 г вылетает из ствола винтовки со скоростью 850 м/с; масса порохового заряда 4 г. Определите КПД выстрела.

Задача 432. Сколько горючего потребуется для тепловоза ТЭ-2, состоящего из двух секций с двигателями Дизеля по 1000 л.с. в каждой при КПД 28 %, чтобы пройти расстояние 1000 км со средней скоростью 72 км/ч?

Задача 433. Сколько угля требовалось для паровоза серии ФД-20, имеющего мощность 2000 л.с. при КПД 7,5 %, чтобы пройти 1000 км со средней скоростью 54 км/ч?

Задача 434. Определить мощность газогенератора, работающего на природном горючем газе и потребляющего за 3,5 ч работы 140 м³ газа. КПД установки 30 %.

Задача 435. Подвесной мотор «Вихрь» имеет мощность 18 л.с. и КПД 15 %. На сколько километров пути хватит ему 20 л бензина при скорости лодки 30 км/ч?

Задача 436. На тепловозе имеется 9000 кг нефти. При скорости поезда 60 км/ч тепловоз развивает среднюю мощность 3000 кВт. Определить, на какое расстояние хватит имеющегося запаса нефти, если КПД тепловоза 28 %.

Задача 437. Двигатели тракторов ДТ-250 и ДТ-54 работают на дизельном горючем; первый из них развивает мощность 300 л.с. и потребляет 0,17 кг горючего на 1 л.с. в час; второй развивает мощность 54 л.с. и потребляет 0,22 кг горючего на 1 л.с. в час. Определить КПД каждого двигателя.

Задача 438. Двигатель автомобиля «Волга» развивает мощность 75 л.с. и потребляет 0,23 кг на 1 л.с. в час. Определить КПД двигателя.

Задача 439. Речное судно на подводных крыльях «Метеор» развивает мощность 1500 кВт при КПД 30 %. Определить расход горючего на 1 км пути при скорости 72 км/ч. Теплота сгорания горючего 50 МДж/кг.

Задача 440. Реактивный самолет пролетает с постоянной скоростью 900 км/ч путь 1800 км, затрачивая при этом горючее массой 4 т. Мощность двигателя самолета равна 5900 кВт, КПД равен 23 %. Какова теплотворная способность горючего, применяемого самолетом?

Задача 441. Средняя мощность двигателя автомобиля «Волга» 60 л.с., а КПД 25 %. На пробег 250 км израсходовали 40 кг бензина. Определить среднюю скорость движения.

Задача 442. Автомобиль развивает скорость 72 км/ч, расходуя при этом бензин массой 80 г на 1 км. Какое количество бензина будет расходовать автомобиль при скорости 90 км/ч? Какую мощность он при этом разовьет? Сила сопротивления пропорциональна скорости. КПД двигателя 28 %.

Задача 443. С какой средней скоростью движется грузовик, двигатель которого при развиваемой мощности 76,5 кВт израсходовал на пути 120 км 64 л бензина? КПД двигателя 32 %.

Задача 444. На сколько километров пути хватит 10 л бензина для двигателя мотоцикла, развивающего при скорости 54 км/ч мощность 8,5 кВт и имеющего КПД 21 %?

Задача 445. Главная силовая установка морского теплохода состоит из двух двигателей Дизеля мощностью по 800 кВт каждый. Зная, что расход горючего составляет $245 \text{ г} / \text{кВт} \cdot \text{ч}$, определить КПД двигателей и расход горючего за время недельного плавания.

Задача 446. Какое количество бензина потребуется для двигателя автомобиля, чтобы проехать 300 км, если масса машины 5 т, КПД двигателя 22 %, а сопротивление движению составляет 0,050 веса машины? Найти силу тяги двигателя и мощность, развиваемую при скорости 108 км/ч.

Задача 447. Какой вид топлива используется в теплосиловой установке, в которой за 1,5 ч работы с КПД 0,2 при развиваемой мощности 25,2 кВт сожжено 33 кг горючего?

Задача 448. Двигатель реактивного самолета при полете со скоростью 1800 км/ч развивает силу тяги 88,2 кН и имеет КПД 20 %. Определить расход керосина за 1 ч полета и развиваемую мощность.

Таблицы

Удельная теплоемкость

Удельная теплоемкость (при 20 ⁰ С), $\cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$			
Твердые вещества			
Алюминий	0,89 - 0,92	Никель	0,5
Вольфрам	0,15	Олово	0,22 - 0,25
Древесина сухая		Свинец	0,13
сосна	2,39 - 2,7	Серебро	0,23 - 0,25
Железо (чистое)	0,46	Сталь	0,46
Золото	0,13	Стекло	0,83 - 0,84
Кирпич	0,75 - 0,92	Цинк	0,39 - 0,4
Латунь	0,38	Чугун (серый)	0,54
Лед (0 ⁰ С)	2,09 - 2,1		
Медь	0,38 - 0,39		
Жидкости			
Бензин	2,05	Нефть	1,67 - 2,09
Вода	4,19	Ртуть	0,1 - 0,13
Керосин	2,14		
Машинное масло	1,67		
Газообразные вещества (при давлении 101,3 кПа)			
Азот	1,038	Воздух	1,009
Водород	14,27	Гелий	5,238
Водяной пар	2,2	Кислород	0,917

Температура плавления

Температура плавления веществ (при давлении 101,3 кПа), ⁰ С			
Алюминий	660	Осмий	5500
Вольфрам	3420	Свинец	327
Железо (чистое)	1539	Серебро	960
Золото	1064	Сталь	1400 - 1500
Латунь	920 - 1000	Стекло	
Лед	0	Цинк	410 - 420
Медь	1083	Чугун (серый)	1150
Никель	1455		
Олово	232		

Удельная теплота плавления

Удельная теплота плавления веществ, $\cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$			
Твердые вещества			
Алюминий	3,8	Свинец	0,25
Вольфрам	1,84	Серебро	0,87
Железо (чистое)	2,7	Сталь	0,82 – 0,84
Золото	0,666	Стекло	
Лед	3,3 – 3,4	Цинк	1,12 – 1,2
Медь	1,75	Чугун (белый)	1,4
Олово	0,59	Чугун (серый)	0,96
Ртуть	0,12		

Температура кипения

Температура кипения веществ (при давлении 101,3 кПа), $^{\circ}\text{C}$			
Азот	-196	Льняное масло	318
Алюминий	2450	Медь	2590
Аргон	-186	Неон	-246
Бензин	40 - 205	Олово	2337
Вода	100	Ртуть	357
Водород	-253	Свинец	1750
Гелий	-269	Спирт	78
Железо	3050	Цинк	907
Керосин	150 - 300	Эфир	35
Кислород	-183		

Удельная теплота парообразования и конденсации.

Удельная теплота парообразования и конденсации жидкостей при точках кипения, $\cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$			
Аммиак	1360	Сероуглерод	350
Бензин	300	Скипидар	300
Вода	2260	Спирт	850
Железо	58	Ртуть	293 - 300
Керосин	209 - 230	Эфир	350

Удельная теплота сгорания

Удельная теплота сгорания топлива, $\cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$			
Бензин	42 – 46	Лигроин	43,3
Бурый уголь	9,3	Мазут	40 - 41
Водород	120	Нефть	46
Дерево (сухое)	8,4 – 15	Порох	3,8
Дизельное топливо	42,7	Спирт	25 – 27
Древесный уголь	31,5	Торф (сухой)	15
Каменный уголь	30	Условное топливо	30
Керосин	40,8 - 44		

ПРИЛОЖЕНИЕ Обработка результатов измерений при проведении лабораторных работ.

Основные термины, определения и обозначения.

ИЗМЕРЕНИЕ – нахождение значения физической величины опытным путем с помощью средств измерения.

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ – измерительные инструменты или приборы, позволяющие сравнивать измеряемую величину с мерой (однородной с измеряемой величиной и принятой за единицу измерения).

ПРЯМОЕ ИЗМЕРЕНИЕ – определение значения физической величины непосредственно с помощью средств измерения.

КОСВЕННОЕ ИЗМЕРЕНИЕ – определение значения физической величины по формуле, связывающей ее с другими физическими величинами, измеряемыми непосредственно (которые определяются прямыми измерениями).

Пусть A – измеряемая физическая величина

$A_{\text{пр}}$ – приближенное значение измеряемой физической величины, полученное путем прямых или косвенных измерений.

Например при прямом измерении бруска длиной A с помощью сантиметровой линейки, получим:

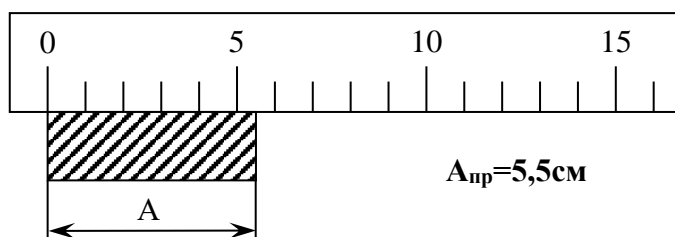


Рис. 1.

ΔA – абсолютная погрешность измерения физической величины. Она выражается в тех же единицах измерения, что и сама физическая величина.
 $\Delta_{ин} A$ – максимальная абсолютная инструментальная погрешность измерения (погрешность средств измерения). Может быть определена по таблице 1. или по классу точности электроизмерительного прибора.

γ – класс точности электроизмерительного прибора. Он показывает, сколько процентов составляет абсолютная инструментальная погрешность прибора $\Delta_{ин} A$ от всей действующей шкалы прибора A_{max} :

$$\gamma = \frac{\Delta_{ин} A}{A_{max}} \times 100(\%) .$$

Существуют следующие классы точности стрелочных электроизмерительных приборов:

0,1 0,2 0,5 1,5 2,5 4,0

(при указании класса точности знак ”%” не пишется)

Максимальная “абсолютная” инструментальная погрешность измерения физической величины электроизмерительным прибором определяется по формуле :

$$\Delta_{ин} A = \frac{\gamma \cdot A_{max}}{100} .$$

Допустимые инструментальные погрешности средств измерения

Таблица 1.

№ п/п	Средства измерения	Предел измерения	Цена деления	Допустимая инструментальная погрешность
1.	Линейки: ученическая	до 50 см	1 мм	± 1 мм

	чертежная	до 50 см	1 мм	± 0,2 мм
	инструментальная	20 см	1 мм	± 0,1 мм
	демонстрационная	100 см	1 см	± 0,5 см
2.	Лента измерительная	150 см	0,5 см	± 0,5 см
3.	Штангенциркуль	150 мм	0,1 мм	± 0,05 мм
4.	Микрометр	25мм	0,01 мм	± 0,005 мм
5.	Мензурка	до 250 мл	2 мл	± 1 мл
6.	Гири 4 класса точности	1 ÷ 100 г	–	< 0,04 г
7.	Динамометр учебный	4 Н	0,1 Н	± 0,05 Н
8.	Весы учебные	200 г	2 г	± 0,1 г
9.	Секундомер	0 ÷ 30 мин	0,2 с	±1 с за 30 мин
10.	Барометр aneroid	720 ÷ 780 мм рт ст	1 мм рт ст	± 3 мм рт ст
11.	Термометр лабораторный	0 ÷ 100°C	1°C	± 1°C
12.	Амперметр лабораторный	2 А	0,1 А	± 0,05 А
13.	Вольтметр лабораторный	6 В	0,2 В	± 0,15 В

$\Delta_0 A$ – абсолютная погрешность отсчета, равная в большинстве случаев половине цены деления измерительного инструмента (линейки) или прибора (секундомера, вольтметра и т.д.). Эта погрешность обусловлена недостаточно точным считыванием показаний средств измерения.

ε - относительная погрешность измерения физической величины, определяемая соотношениями:

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A_{np}} \times 100 \quad \text{- в процентах от целого,}$$

или
$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A_{np}} \quad \text{- в долях от целого.}$$

Методика определения абсолютных и относительных погрешностей

Абсолютная погрешность прямых измерений (при отсутствии других погрешностей) складывается из абсолютных погрешностей отсчета и инструментальной погрешности:

$$\Delta A = \Delta_u A + \Delta_o A$$

Абсолютная погрешность измерения обычно округляется до одной значащей цифры ($\Delta A = 0,17 \approx 0,2$). Приближенное значение физической величины округляют так, чтобы его последняя цифра оказалась в том же разряде, что и цифра погрешности ($A_{\text{пр}} = 10,332 \approx 10,3$). Относительная погрешность косвенных измерений определяется так, как показано в таблице 2.

Формулы для нахождения относительной погрешности косвенных измерений

Таблица 2.

Формула, по которой определяется физическая величина А	Формула для определения относительной погрешности ε (в долях от целого)
$A = B \cdot C \cdot D$	$\varepsilon = \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta D}{D}$
$A = \frac{B}{C \cdot D}$	$\varepsilon = \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta D}{D}$
$A = B \pm C$	$\varepsilon = \frac{\Delta B + \Delta C}{B \pm C}$
$A = B \sqrt{\frac{C}{D}}$	$\varepsilon = \frac{\Delta B}{B} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta C}{C} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta D}{D}$

Абсолютная погрешность косвенных измерений определяется по формуле:

$$\Delta A = A_{np} \cdot \varepsilon,$$

где ε - в долях от целого, выражается десятичной дробью.

РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЯ записывается в виде:

$$A = A_{np} \pm \Delta A ;$$

$$\varepsilon = \dots\%.$$

Методика сравнения результатов двух измерений одной физической величины.

1). Записать результаты 1-го и 2-го измерений по форме:

$$A_1 = A_{1np} \pm \Delta A_1$$

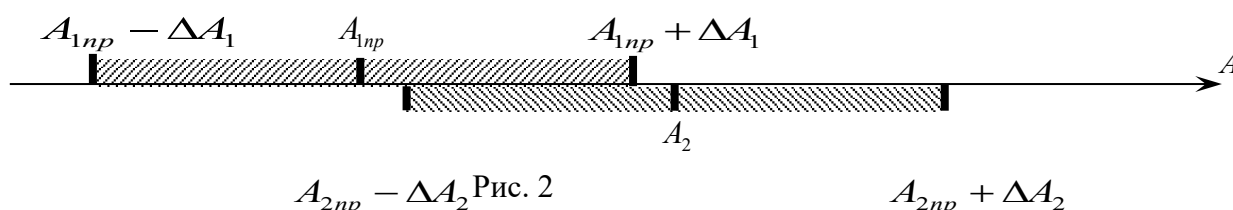
$$A_2 = A_{2np} \pm \Delta A_2$$

2). Записать результаты измерений в виде двойных неравенств:

$$A_{1np} - \Delta A_1 < A_1 < A_{1np} + \Delta A_1 ;$$

$$A_{2np} - \Delta A_2 < A_2 < A_{2np} + \Delta A_2 ;$$

- 3). Сравнить полученные интервалы значений: если полученные интервалы не перекрываются, то результаты считать не одинаковыми; если перекрываются (в нашем случае это интервал от $A_{2np} - \Delta A_2$ до $A_{1np} + \Delta A_1$) одинаковыми (см. Рис. 2):



При записи вывода об одинаковости результатов необходимо указать относительную погрешность измерений.

Методика построения графика по экспериментальным точкам.

1. Нанести на поле графика измеряемой величины Y зависящей от параметра X экспериментальные точки $Y_i(X_i)$.

2. Провести линию графика так, чтобы число экспериментальных точек с обеих сторон линии было приблизительно одинаковым (см.Рис.3). Экспериментальные точки, лежащие далеко от линии графика («выбросы») не учитываются и подлежат проверке.

3. Линия графика должна быть плавной. Для её проведения рекомендуется использовать лекала.

Y

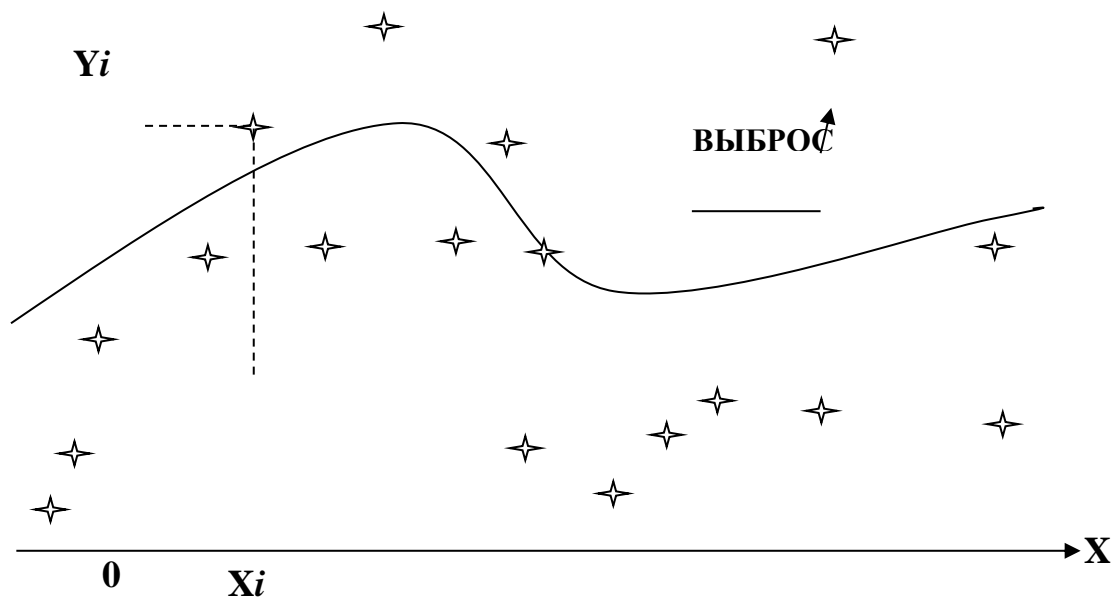


Рис. 3

Оглавление

Глава 1. Изменение внутренней энергии в процессах теплопередачи.	2
§1. Основные положения МКТ.	2
§1.1 Зависимость характера теплового движения от агрегатного состояния вещества. 4	
§1.2. Зависимость характера теплового движения от средней энергии молекул.	6
§2. Внутренняя энергия и её изменение.	8
§2.1. Внутренняя энергия. Качественные задачи.....	11
§2.2. Виды теплопередачи. Качественные задачи.	14
§3. Нагревание и охлаждение вещества	18
§3.1. Задачи на расчет количества теплоты.....	19
§4. Уравнение теплового баланса.	23
§4.1. Решение задач на уравнение теплового баланса.	26
§5. Сгорание топлива	31
§5.1. Решение задач на сгорание топлива.....	33
Глава 2. Изменение агрегатных состояний вещества.	38
§1. Кристаллические и аморфные вещества	38
§2. Плавление и кристаллизация.	39
§2.1. Качественные задачи. Плавление и кристаллизация.	48
§2.2. Расчетные задачи. Плавление и кристаллизация.	52
§3. Парообразование и конденсация. Кипение.	60
§3.1. Качественные задачи. Парообразование и конденсация.	67
§3.2. Расчетные задачи. Парообразование и конденсация.....	72
§ 4. Насыщенный пар и влажность.	80
§4.1. Расчетные задачи. Насыщенный пар и влажность.	81
Глава 3. Изменение внутренней энергии тел в процессе совершения работы. Тепловые двигатели.	84
§ 1. Превращение механической энергии во внутреннюю. Явление диссипации механической энергии.	84
§1.1. Качественные задачи. Превращение механической энергии во внутреннюю....	87
§1.2. Расчетные задачи. Превращение механической энергии во внутреннюю.....	89
§2. Тепловые двигатели.	97
§2.1. Паровой двигатель	98
§2.2. Двигатель внутреннего сгорания (ДВС).....	100
§2.3. Тепловые двигатели. Качественные задачи.	101
§2.4. Расчетные задачи. Тепловые двигатели.	104
Таблицы	109
ПРИЛОЖЕНИЕ Обработка результатов измерений при проведении лабораторных работ.	111
Основные термины, определения и обозначения.	111
Методика определения абсолютных и относительных погрешностей	113

Методика сравнения результатов двух измерений одной физической величины.	115
Методика построения графика по экспериментальным точкам.	116