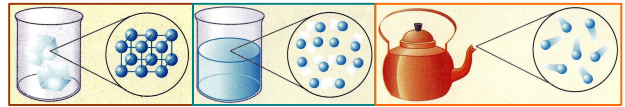


ГЛАВА 2. ИЗМЕНЕНИЕ АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЙ ВЕЩЕСТВА

§ 12. АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА



1⁰. Вы знаете (см. §§ 11 и 12 Пособия 7 кл.), что в зависимости от условий одно и то же вещество может находиться в различных *агрегатных состояниях*: в **твёрдом**, в **жидком** или в **газообразном**. Наглядным примером этому служат лёд, вода и водяной пар, *рис. 1.2*.



Рис. 1.2. Три агрегатных состояния одного вещества – воды (H₂O): а) твёрдое (лёд); б) жидкое (вода); в) газообразное (пар).

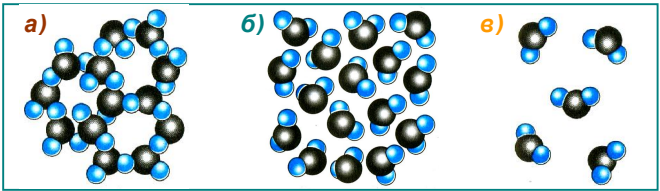


Рис. 2.2. Взаимное расположение молекул в различных агрегатных состояниях одного и того же вещества — воды (H₂O): а) лёд; б) жидкая вода; в) пар.

Сами молекулы одного и того же вещества в твёрдом, жидком и газообразном состояниях ничем не отличаются друг от друга, но их расположение, характер движения и взаимодействие различны, *рис. 2.2*.

2⁰. При определенных условиях вещества могут переходить из одного состояния в другое. Все возможные при этом переходы отображены на *рис. 3.2*, где буквы **Т**, **Ж** и **Г** обозначают **твёрдое**, **жидкое** и **газообразное** состояния вещества соответственно, а стрелки – направление, в котором протекает тот или иной переход.

Всего различают *шесть* переходных процессов, приводящих к агрегатным превращениям вещества.

Переход вещества из твёрдого состояния в жидкое называется **плавлением**, обратный процесс называется **отвердеванием**,

Пример плавления – таяние льда, обратный процесс происходит при замерзании (**кристаллизации**) воды, *рис. 4.2*.

Переход вещества из жидкого состояния в газообразное называется **парообразованием**. Обратный процесс называется **конденсацией**, (от латинского «конденсатио» уплотнение, сгущение).

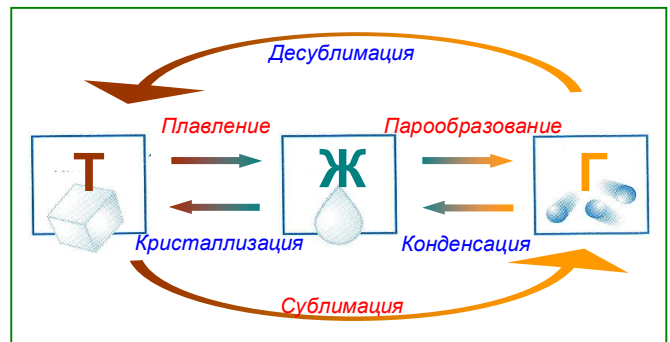


Рис. 3.2 Агрегатные превращения вещества

называется **кристаллизацией** или

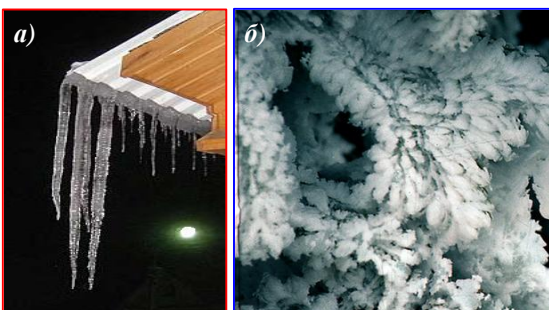


Рис. 4.2. Весенней ночью таят сосульки – лёд плавится (таит) (а). В морозную ночь влага на деревьях замерзает – кристаллизуется (б).

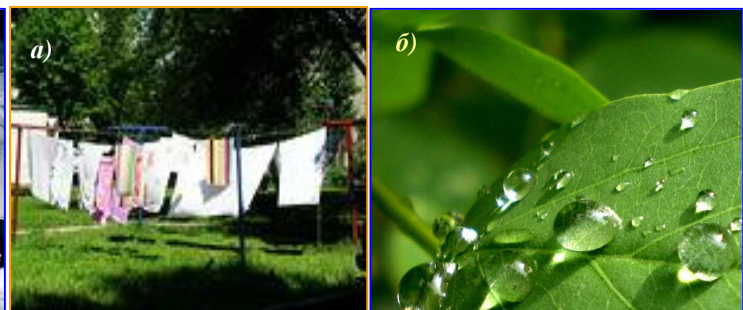


Рис. 5.2. При высыхании белья вода из него испаряется, (а). Прохладным утром водяной пар конденсируется на траве, листьях – выпадает утренняя роса (б).

Вытертая мокрой тряпкой школьная доска быстро высыхает – вода превращается в пар. Точно так же высыхают полы после мытья, мокрое бельё, *рис. 5.2а*.

Конденсацию водяного пара, находящегося в охлаждённом за ночь утреннем воздухе, можно наблюдать и при образовании утренней росы на траве и листьях, *рис. 5.2б*,

Переход вещества из твердого состояния в газообразное (минуя жидкое) называется **сублимацией** (от латинского слова «сублимо» возношу) или **возгонкой**, обратный процесс называется **десублимацией**.

Например, графит можно нагреть до тысячи, двух тысяч и даже трех тысяч градусов, и тем не менее в жидкость он не превратится: он будет **сублимироваться**, т. е. из твердого состояния сразу



Рис. 6.2. Сухой лёд **сублимируется** (возгоняется) из твёрдого состояния в газообразное (а). Ледяные узоры на окнах – **десублимация** воды,

переходить в газообразное. Сразу в газообразное состояние (минуя жидкое) переходит и так называемый «сухой лёд» (твердый оксид углерода CO_2), который можно увидеть в контейнерах для хранения и транспортировки мороженого, рис. 6.2а.

Все запахи, которыми обладают твердые тела (например, нафталин), также обусловлены возгонкой: вылетая из твердого тела, молекулы образуют над ним газ (или пар), который и вызывает ощущение запаха.

Примером десублимации может служить образование на окнах зимой узоров из кристалликов льда. Эти красивые узоры являются результатом десублимации

водяного пара, находящегося в воздухе, рис. 6.2б.

3⁰. Переходы вещества из одного агрегатного состояния в другое играют важную роль не только в природе, но и в технике.

Так, например, превратив воду в пар, мы можем использовать его в паровых турбинах на электростанциях (рис. 7.2а) и для многих других технических целей.

Расплавляя металлы на заводах, мы получаем возможность изготовить из них различные сплавы: сталь (рис. 7.2б), чугун, латунь и т. д. Расплавляя металлы, их можно **сваривать**, рис. 7.2в.

Конденсированными (сжиженными) газами пользуются в холодильных установках.

4⁰. Для понимания процессов, происходящих при изменении агрегатного состояния и умения управлять ими, необходимо знать, когда, при каких условиях вещество находится в том или ином агрегатном состоянии. Следует изучить свойства каждого из этих состояний, а также знать, при каких условиях происходит превращение одного агрегатного состояния вещества в другое.

То или иное агрегатное состояние вещества определяется кинетической энергией и характером взаимодействия молекул (см. рис. 2.2 и рис. 1.1, §1).

В газах при атмосферном давлении расстояния между молекулами много больше их размеров. Из-за этого взаимное притяжение молекул газа мало. Но их кинетическая энергия велика. Поэтому, если газу не мешают стенки сосуда, его молекулы разлетаются.

Плотность жидкостей и твердых тел во много раз больше плотности газа. Их молекулы расположены близко друг к другу, а кинетическая энергия невелика и недостаточна для преодоления сил молекулярного притяжения. Поэтому молекулы в жидкостях и, особенно, в твердых телах не могут далеко удаляться друг от друга. Твёрдые тела сохраняют форму.

Твёрдыми телами в физике обычно называют тела, имеющие кристаллическое строение: в них, в отличие от жидкостей и газов, частицы расположены упорядоченно. Чтобы перевести их из упорядоченного расположения в беспорядочное, надо совершить работу по преодолению сил молекулярного притяжения. При этом внутренняя энергия вещества изменяется.

Подробнее об этом речь пойдет ниже.



Вопросы

1. Назовите три агрегатных состояния вещества.
2. Перечислите все возможные процессы, при которых вещество переходит из одного агрегатного состояния в другое. Приведите примеры.
3. Какие практические применения агрегатных превращений вы знаете?
4. Приведите примеры различных агрегатных состояний вещества в природе.

5. Чем определяется агрегатное состояние вещества?

6. Каковы особенности молекулярного строения газов, жидкостей и твердых тел? Чем эти особенности обусловлены?

§13. ПЛАВЛЕНИЕ И ОТВЕРДЕВАНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕЛ.



1⁰. Передавая телу тепло, можно перевести его из твердого состояния в жидкое. Например, расплавить лед. Отнимая тепло, можно перевести тело из жидкого состояния в твердое. Например, заморозить воду.

Плавление – переход вещества из твердого состояния в жидкое.

Чтобы расплавить тело, нужно сначала нагреть его до определенной температуры.

Отвердевание (или **кристаллизация**) – переход вещества из жидкого состояния в твердое.

Чтобы началась кристаллизация (отвердевание) расплавленного тела, оно должно остыть до определенной температуры.

2⁰. Вещества плавятся и отвердевают всегда при одной и той же температуре – она называется **температурой плавления $t_{пл}$** .

Например, вода кристаллизуется (а лед плавится) при 0⁰C. Когда температура опускается ниже 0⁰C, реки покрываются льдом, а на карнизах образуются сосульки, рис. 8.2.

Одни кристаллические тела плавятся при низкой температуре, другие – при высокой, рис. 9.2. Лед, например, можно расплавить, внеся его в комнату. Чтобы расплавить олово, потребуется специальная посуда и горелка. Железо плавят в специальных печах, где достигается высокая температура. Из расплавленного металла делают различные отливки готовых деталей или их заготовок с



Рис. 8.2. Когда температура опускается ниже 0⁰C, реки покрываются льдом (а), а на карнизах образуются сосульки (б).



Рис. 9.2. Лёд плавится при внесении его в комнату (а); б) литьё расплавленного олова в форму; в) готовые (отвердевшие, остывшие и раскрашенные) оловянные солдатики; г) разливка расплавленной стали; д) затвердевшая, но не остывшая отливка крупной стальной заготовки; е) плавка золота в тигле.

помощью специальных форм.

В табл. 1.2 приведены значения температуры плавления некоторых веществ $t_{пл}$ ⁰C (при нормальном атмосферном давлении $p_{атм} \approx 101 \text{ кПа} = 760 \text{ мм. рт. ст.}$) Из неё видно, в каких широких пределах лежат температуры плавления $t_{пл}$ различных веществ.

Табл. 1.2.

Водород	-259	Нафталин	80	Золото	1064
Кислород	-219	Натрий	98	Медь	1085
Азот	-210	Олово	232	Чугун	1200
Спирт	-114	Свинец	327	Сталь	1500
Ртуть	-39	Янтарь	360	Железо	1539
Лед	0	Цинк	420	Платина	1772
Цезий	29	Алюминий	660	Осмий	3045
Калий	63	Серебро	962	Вольфрам	3387

Например, температура плавления металла цезия 29 ⁰C, т. е. его можно расплавить в теплой воде. Нафталин можно расплавить в пробирке, опущенной в кипяток. Олово уже придётся плавить на спиртовке. Металлы,

плавящиеся при температуре выше $1650\text{ }^{\circ}\text{C}$, называют тугоплавкими (титан, хром, молибден и др.). Самой высокой температурой плавления среди них обладает вольфрам (около $3400\text{ }^{\circ}\text{C}$). Тугоплавкие металлы и их соединения используют в качестве жаропрочных материалов в самолетостроении, ракетной и космической технике, атомной энергетике и т. д.

3⁰. Ряд веществ не имеют определённой температуры плавления, например, стекло, вар, асфальт. Такие вещества называют **аморфными** (см. Приложение к этой главе).



Вопросы

1. Какой процесс называют плавлением?
2. Какой процесс называют отвердеванием? Кристаллизацией?
3. Как называют температуру, при которой вещество плавится и отвердевает?
4. Какие вещества называют аморфными?
5. Чему равна температура плавления льда? олова? меди?
6. При какой температуре затвердевает жидкий азот? ртуть? расплавленное золото?



Упражнение

1. Сравните температуры плавления твердой ртути и твердого спирта. У какого из этих веществ температура плавления выше?
2. Какой из металлов, приведенных в табл. 3, самый легкоплавкий? самый тугоплавкий?
3. Будет ли плавиться свинец, если его бросить в расплавленное олово? Ответ обоснуйте.
4. Можно ли в алюминиевом сосуде расплавить цинк? Ответ обоснуйте.
5. Почему для измерения температуры наружного воздуха в холодных районах применяют термометры со спиртом, а не с ртутью?

§ 14. ГРАФИК ПЛАВЛЕНИЯ И ОТВЕРДЕВАНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕЛ

1⁰. Какие же явления происходят при плавлении и отвердевании?

Прделаем опыт. Наполним колбу мелкими кусочками льда. Вставив в нее термометр и, закрыв колбу пробкой, начнем ее нагревать (рис. 10.2). Мы увидим, что ни при $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, ни при $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, ни при $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ со льдом ничего особенного происходить не будет: он по-прежнему будет оставаться твердым. Изменения начнут происходить при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. С этого момента лед будет плавиться, превращаясь в воду, и, до тех пор пока весь лед не растает, его температура останется неизменной. Температура вещества в колбе вновь начнет повышаться лишь после того, как в ней останется одна вода. Когда эта вода нагреется до $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, выключим горелку.

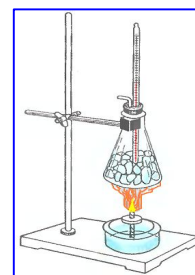


Рис. 10.2.
Колба со льдом

Если построить график зависимости температуры вещества в колбе от времени, то мы получим линию *ABCD*, изображенную на рис. 11.2 красным цветом.

Участок *AB* этого графика описывает нагревание льда от -20 до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Благодаря контакту с горячей колбой (нагреваемой горелкой) средняя кинетическая энергия молекул льда увеличивается и температура льда повышается.

На участке *BC* вся энергия, получаемая содержимым колбы, тратится на разрушение кристаллической решетки льда: его молекулы перестраиваются таким образом, что вещество становится жидким. Средняя кинетическая энергия молекул при этом остается неизменной. Неизменной поэтому оказывается и температура вещества. Это **температура, при которой плавится вещество. Она и является температурой плавления $t_{пл}$ этого вещества.**

Участок *CD* описывает нагревание воды, образовавшейся после плавления льда. Получая энергию от нагревателя, молекулы воды начинают двигаться все более и более интенсивно. Их средняя кинетическая энергия возрастает, и температура воды повышается. На рис. 11.2 справа (синяя линия *DEFK*) изображен график обратного процесса. Сначала вода, отдавая энергию, охлаждается от $+20$ до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этом ее молекулы движутся все менее и менее интенсивно. При $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ они начинают выстраиваться в определенном порядке, образуя кристаллическую решетку льда. Пока этот процесс (называемый **кристаллизацией**) не завершится, температура вещества не изменится.

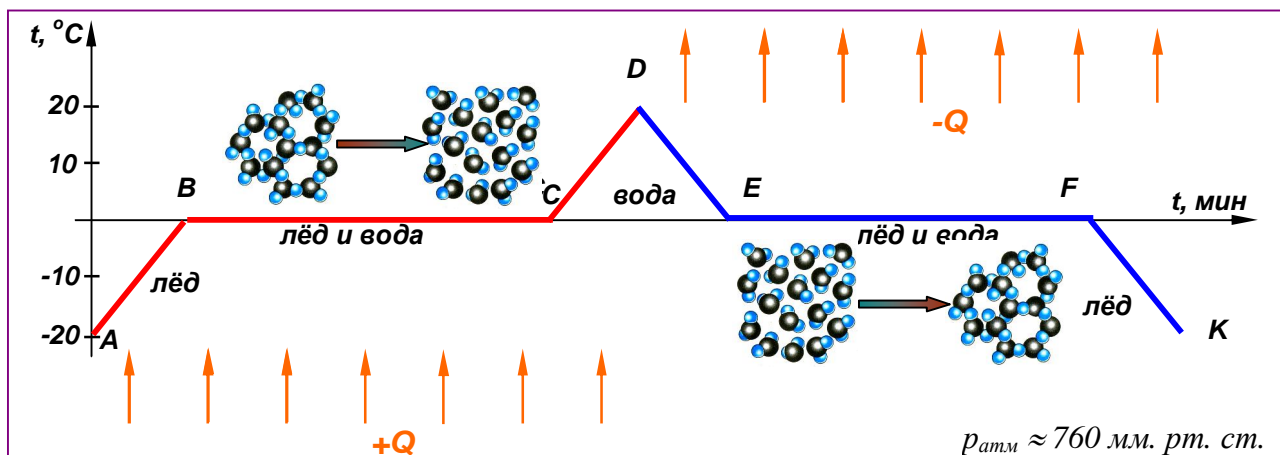


Рис. 11.2. График плавление и отвердевание воды (H_2O). BC – плавление льда при температуре $t_{пл}$. EF – отвердевание расплавленного льда при $t_{отв} = t_{пл} = 0^\circ C$. Красная линия – нагревание; синяя – охлаждение.

Из графика на рис. 11.2 видно, что температура, при которой вода превращается в лед, совпадает с температурой, при которой лед превращается в воду. Таким образом, опыт подтверждает, что **вещество кристаллизуется и плавится при одной и той же температуре $t_{пл}$** .

3^o. При плавлении вещество отдает энергию в окружающую среду, а при кристаллизации – поглощает.

Весной при таянии льда на большой реке или озере значительное количество тепла поглощается и наблюдается похолодание погоды, рис. 12.2.

Наоборот, поздней осенью можно заметить на льду, который покрывает реки и озера, стаи птиц. Их привлекает выделение тепла при образовании льда. Воздух над ним оказывается на несколько градусов теплее, чем в лесу на деревьях, и птицы этим пользуются (рис. 13.2).

По этой же причине во время снегопада теплеет, рис. 14.2.



Рис. 12.2. Весной при таянии льда на реке холодает – теплота поглощается.

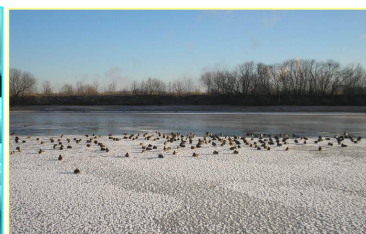


Рис. 13.2. Поздней осенью птицы греются у замерзающей реки – при образовании льда выделяется теплота.



Рис. 14.2. Снегопад, теплеет. Почему?



Вопросы

1. Пользуясь графиком на рис. 11.2, объясните, что происходит с водой в отрезки времени, соответствующие каждому из участков графика.
2. Как по графику можно судить об изменении температуры вещества при нагревании и охлаждении?
3. Какие участки графика соответствуют плавлению и отвердеванию льда? Почему эти участки параллельны оси времени?
4. Почему птицы греются на льду замерзающей реки?
5. Почему во время ледохода на реках наблюдается похолодание погоды?

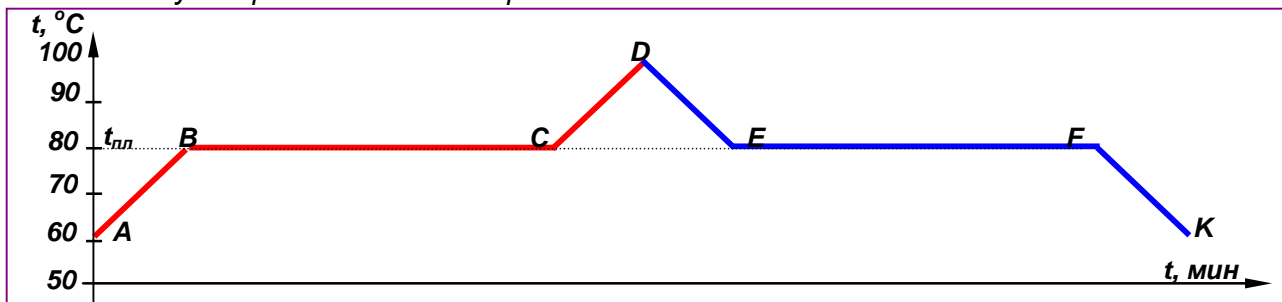
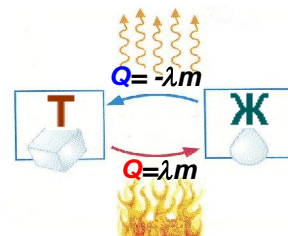


Рис. 15.2. Это график плавление и отвердевание нафталина. Какова его температура плавления $t_{пл}$? Чему соответствуют отрезки ломанной линии на этом графике? Где подводится и где отводится тепло?

§ 15. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕНИЯ

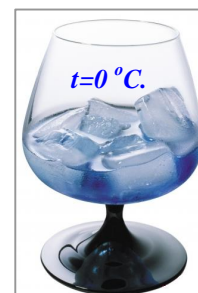
1⁰. В предыдущем параграфе мы рассматривали процессы и графики плавления и отвердевания льда.

Из графика на *рис. 11.2*, (отрезок *BC*) видно, что, пока лёд (кристаллическое тело) плавится, **температура не меняется**. И лишь после того как весь лёд расплавится, температура образовавшейся жидкости начинает повышаться (отрезок *CD*). Но ведь и во время процесса плавления лёд получает энергию от нагревателя (Солнца, горелки и т. п.). А из закона сохранения энергии следует, что она не может исчезнуть.



На что же расходуется энергия во время плавления?

Вы знаете, что в кристаллах микрочастицы вещества расположены в строгом порядке. Однако и в кристаллах они находятся в тепловом движении (колеблются). При нагревании тела возрастает их средняя кинетическая энергия, а значит и температура. На графике (*рис. 11.2*) это участок *AB*. Вследствие этого амплитуда (размах) *колебаний* молекул (атомов, ионов) *увеличивается*. Когда тело нагреется до температуры плавления, то **нарушится порядок в расположении частиц в кристаллах**. Кристаллы теряют свою форму. Вещество плавится, переходя из твердого состояния в жидкое.



*Рис. 16.2.
Равновесное состояние льда и воды.*

Следовательно, вся энергия, которую получает кристаллическое тело после того как оно уже нагрето до температуры плавления, **расходуется на разрушение кристалла**. В связи с этим температура тела перестает повышаться. В равновесии сосуществуют жидкое и кристаллическое вещество (*рис. 16.2*). На графике (*рис. 11.2*) это равновесие соответствует участку *BC*.

Физическая величина, показывающая, какое количество теплоты необходимо сообщить кристаллическому телу массой 1 кг, чтобы при температуре плавления полностью перевести, его в жидкое состояние, называется удельной теплотой плавления.

Опыты показывают, что для превращения различных кристаллических веществ одной и той же массы в жидкость при температуре плавления требуется разное количество теплоты.

2⁰. Удельную теплоту плавления обозначают λ (греч. буква «лямбда»). Ее единица измерения – 1 Дж/кг

Определяют удельную теплоту плавления на опыте. Так, было установлено, что удельная теплота плавления льда равна $\lambda_{\text{л}} = 3,4 \cdot 10^5$ Дж/кг.

Это означает, что для превращения куска льда массой 1 кг, взятого при 0 °С, в воду такой же температуры требуется затратить $3,4 \cdot 10^5$ Дж энергии. А чтобы расплавить брусок из свинца массой 1 кг, взятого при его температуре плавления, потребуется затратить $2,5 \cdot 10^4$ Дж энергии.

Значения удельной теплоты плавления λ для некоторых веществ приведены в табл. 2.2.

Следовательно, **при температуре плавления внутренняя энергия вещества в жидком состоянии больше внутренней энергии такой же массы вещества в твердом состоянии**.

Чтобы найти количество теплоты Q , необходимое для плавления кристаллического тела произвольной массы, надо удельную теплоту плавления этого тела λ умножить на его массу m :

$$Q = \lambda m > 0$$

[1.2]

Откуда

$$\lambda = Q/m; \quad m = Q/\lambda.$$

3⁰. При **отвердевании** вещества все происходит в обратном порядке.

Опыты показывают, что **при отвердевании кристаллического вещества выделяется точно такое же количество теплоты, которое поглощается при его плавлении**.

Так, при отвердевании воды массой 1 кг при температуре 0 °С выделяется количество теплоты, равное $3,4 \cdot 10^5$ Дж. Точно такое же количество теплоты требуется и для плавления льда массой 1 кг при температуре 0 °С.

Средняя кинетическая энергия (и скорость) молекул при охлаждении расплавленного вещества уменьшаются. Силы притяжения теперь могут удерживать медленно движущиеся молекулы друг около друга. Вследствие этого **расположение частиц**

становится упорядоченным - образуется кристалл. Выделяющаяся при кристаллизации энергия расходуется на поддержание постоянной температуры. На графике это участок ВС (рис. 11.2).

Кристаллизация облегчается, если в жидкости с самого начала присутствуют какие-либо посторонние частицы, например пылинки. Они становятся центрами кристаллизации. В обычных условиях в жидкости имеется множество центров кристаллизации, около которых и происходит образование кристаллов. При кристаллизации происходит выделение энергии и передача ее окружающим телам (рис. 13.2 и 14.2).

Из сказанного следует, что количество теплоты, выделяющееся при кристаллизации тела массой m , определяется по аналогичной формуле, но с отрицательным знаком, так как теплоты, выделяемое телом, считается отрицательным (см. §11):

$$Q = -\lambda m < 0 \quad [1.2^*]$$

Внутренняя энергия кристаллизующегося вещества уменьшается.

Следует помнить, что формулы [1.2] и [1.2*] можно применять только к таким телам, которые уже имеют температуру, равную температуре плавления $t_{пл}$. Если же она отличается от нее, то предварительно следует рассчитать то количество теплоты, которое необходимо для нагревания тела или которое выделяется телом при его охлаждении до температуры плавления $t_{пл}$.

Таблица № 2.2

Удельная теплота плавления λ некоторых веществ, Дж/кг (при температуре плавления и нормальном атмосферном давлении $p_a = 101 \text{ кПа} = 760 \text{ мм. рт. ст.}$)



Алюминий	$3,9 \cdot 10^5$	Сталь	$0,84 \cdot 10^5$
Лёд	$3,4 \cdot 10^5$	Золото	$0,67 \cdot 10^5$
Железо	$2,7 \cdot 10^5$	Водород	$0,59 \cdot 10^5$
Медь	$2,1 \cdot 10^5$	Олово	$0,59 \cdot 10^5$
Парафин	$1,5 \cdot 10^5$	Свинец	$0,25 \cdot 10^5$
Спирт	$1,1 \cdot 10^5$	Кислород	$0,14 \cdot 10^5$
Серебро	$0,87 \cdot 10^5$	Ртуть	$0,12 \cdot 10^5$

4. Пример. Для приготовления чая турист положил в котелок лед массой 2 кг, имеющий температуру 0°C , рис. 17.2. Какое количество теплоты необходимо для превращения этого льда в кипяток при температуре 100°C ? Энергию, израсходованную на нагревание котелка, не учитывать.

Какое количество теплоты понадобилось бы, если вместо льда турист взял из проруби воду той же массы при той же температуре?

Запишем условие задачи и решим ее.



Рис. 17.2. Лёд при $t = 0^\circ\text{C}$.

Дано:

$$m = 2 \text{ кг};$$

$$t_1 = 0^\circ\text{C};$$

$$t_2 = 100^\circ\text{C};$$

$$\lambda_{л} = 3,4 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг};$$

$$c = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)};$$

$$Q = ?$$

Решение:

Лёд прежде всего должен расплавиться, а для этого потребуется количество теплоты:

$$Q_1 = \lambda_{л} m = 3,4 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг} \cdot 2 \text{ кг} = 6,8 \cdot 10^5 \text{ Дж}$$

Для нагревания полученной из льда воды от 0 до 100°C

потребуется количество теплоты:

$$Q_2 = cm(t_2 - t_1) = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)} \cdot 2 \text{ кг} (100^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) = 8,4 \cdot 10^5 \text{ Дж}.$$

Общее количество теплоты:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 6,8 \cdot 10^5 \text{ Дж} + 8,4 \cdot 10^5 \text{ Дж} = 1,52 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

Ответ: $Q = 1,52 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$

Если бы вместо льда была взята вода массой 2 кг при температуре 0°C , то понадобилось бы количество теплоты, необходимое только для ее нагревания от 0 до 100°C , т. е. $Q_2 = 8,4 \cdot 10^5 \text{ Дж}.$



Вопросы

1. Как объяснить процесс плавления тела на основе учения о строении вещества?
2. На что расходуется энергия топлива при плавлении кристаллического тела, нагретого до температуры плавления?
3. Что называется удельной теплотой плавления тела?

4. Как объяснить процесс отвердевания на основе учения о строении вещества?
5. Как вычисляют количество теплоты, необходимое для плавления кристаллического тела, взятого при температуре плавления?
6. Как вычислить количество теплоты, выделяющееся при кристаллизации тела, имеющего температуру плавления?



Упражнение

1. На рис. 18.2 изображены графики зависимости температуры от времени двух тел одинаковой массы. У какого из тел выше температура плавления? У какого тела больше удельная теплота плавления? Одинаковы ли удельные теплоемкости тел? Если не одинаковы, то у какого тела она больше?
2. Тающий лед принесли в помещение, температура которого $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Будет ли лед в этом помещении продолжать таять?
3. В ведре с водой плавают куски льда t , мин. Общая температура воды и льда $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Будет ли лед таять или вода замерзает? От чего это зависит?
4. Сколько энергии нужно затратить, чтобы расплавить лед массой 4 кг при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$?
5. Сколько энергии надо затратить, чтобы расплавить свинец массой 20 кг при температуре плавления? Сколько энергии понадобится для этого, если начальная температура свинца $27\text{ }^{\circ}\text{C}$?

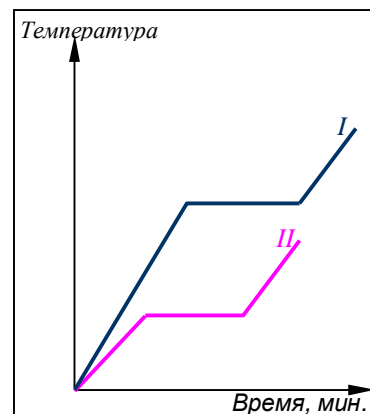


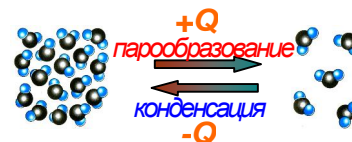
Рис. 18.2. Графики зависимости температуры от времени нагревания двух тел



Задание

Поставьте на плиту две одинаковые жестяные банки. В одну налейте воду массой $0,5\text{ кг}$, в другую положите снег той же массы. Заметьте, сколько времени потребуется, чтобы вода в обеих банках закипела. Напишите краткий отчет о вашем опыте и объясните его результаты.

§ 16. ИСПАРЕНИЕ. НАСЫЩЕННЫЙ И НЕНАСЫЩЕННЫЙ ПАР



1° . **Парообразование** — это переход жидкости в пар. Существуют два вида парообразования – **испарение** и **кипение**.

Испарение – это парообразование, происходящее со свободной поверхности жидкости.

Как происходит испарение? Вы знаете, что температура жидкости, как и твердого или газообразного тела, связана со скоростью движения молекул. Чем больше средняя скорость движения молекул, тем выше температура жидкости. Но отдельные молекулы жидкости движутся со скоростями как большими, так и меньшими, чем средняя скорость. Если какая-нибудь достаточно «быстрая» молекула окажется у поверхности жидкости, то она может преодолеть притяжение соседних молекул и вылететь из жидкости. Вылетевшие с поверхности жидкости молекулы образуют над жидкостью пар, рис. 19.2. Это явление перехода молекул с

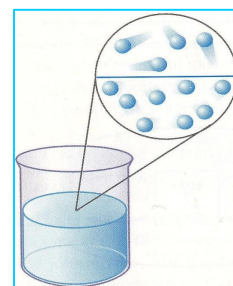


Рис. 19.2. Вылетевшие с поверхности жидкости молекулы образуют над жидкостью пар

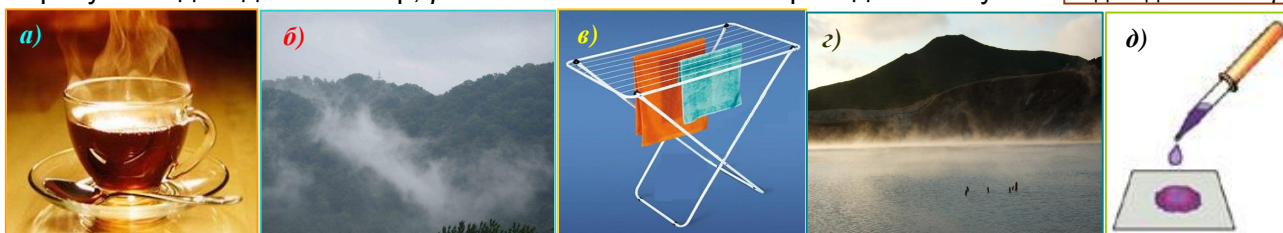


Рис. 20.2. Явление испарения. а) испарение чая; б) испарение влаги после дождя; в) после испарения воды бельё высыхает; г) испарение воды в озере; д) испаряясь, чернила высыхают.

поверхности жидкости в пар мы наблюдаем очень часто, рис. 20.2.

2⁰. **Скорость испарения** зависит от нескольких причин.

Если листок бумаги смочить в одном месте водой, а в другом спиртом, то мы заметим, что вода испарится медленнее, чем спирт. Ещё медленнее испаряется масло. Значит, **скорость испарения зависит от рода жидкости. Быстрее испаряется та жидкость, молекулы которой притягиваются друг к другу с меньшей силой.** Ведь в этом случае преодолеть притяжение и вылететь из жидкости может большее число молекул.



Рис. 22.2 Горячий суп испаряется быстрее, чем холодный

Так как некоторое число быстро движущихся молекул всегда имеется в жидкости, то **испарение должно происходить при всякой температуре.** Наблюдения подтверждают это. Например, водяные лужи, образовавшиеся после дождя, высыхают и летом в жару, и осенью, когда уже холодно. Но летом они высыхают быстрее. Дело в том, что, чем выше температура жидкости, тем больше доля быстро движущихся молекул, способных преодолеть силы притяжения окружающих молекул и вылететь с поверхности жидкости. Поэтому **испарение происходит тем быстрее, чем выше температура жидкости, рис. 22.2.**

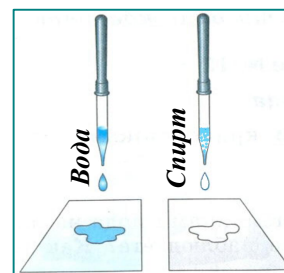


Рис. 21.2. Молекулы воды притягиваются друг к другу сильнее, чем молекулы спирта. Поэтому капля спирта испаряется быстрее, чем капля воды.

Если в узкий и широкий сосуды налить по одинаковому объему воды, то можно заметить, что в широком сосуде вода испарится значительно быстрее. Например, вода быстрее испаряется, когда она налита в блюдце, чем когда налита в стакан. Развешанное белье быстрее высыхает, чем скомканное, рис. 23.2. Ведь жидкость испаряется с поверхности, и чем больше её поверхность, тем больше молекул одновременно вылетает в воздух. **Испарение жидкости происходит тем быстрее, чем больше площадь ее поверхности.**

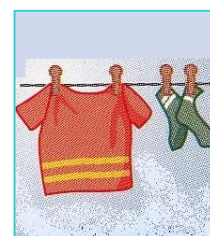


Рис. 23.2. Развешанное белье высыхает быстрее

3⁰. Одновременно с переходом молекул из жидкости в пар происходит и обратный процесс. Беспорядочно двигаясь над поверхностью жидкости, часть молекул, покинувших ее, снова в нее возвращается. Такой переход молекул из пара в жидкость называют **конденсацией** (от лат. «конденсаре» - сгущать).

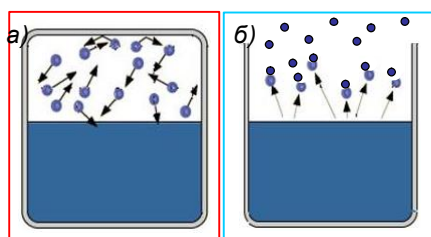


Рис. 24.2. В закрытом сосуде молекулы пара возвращаются в жидкость (а), а в открытом количество жидкости постепенно уменьшается (б).

Если испарение жидкости происходит в закрытом сосуде, то вначале число молекул, вылетевших из жидкости, будет больше числа молекул, возвратившихся обратно в жидкость. Поэтому плотность пара в сосуде будет постепенно увеличиваться. С увеличением плотности пара увеличится и число молекул, возвращающихся в жидкость. Довольно скоро число молекул, вылетающих из жидкости, станет равным числу

молекул пара, возвращающихся обратно в жидкость. С этого момента число молекул пара над жидкостью будет постоянным. Наступает так называемое **динамическое равновесие** между паром и жидкостью (рис. 24.2,а).

При динамическом равновесии масса жидкости в закрытом сосуде не изменяется, хотя жидкость продолжает испаряться.

Пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, называется **насыщенным паром.**

Пар, не находящийся в состоянии равновесия со своей жидкостью называется **ненасыщенным паром.**

Если в пространстве, содержащем пары какой-либо жидкости, может происходить дальнейшее испарение этой жидкости, то и пар, находящийся в этом пространстве, является **ненасыщенным паром.** Чем более ненасыщенным является пар, тем больше скорость испарения. По мере насыщения скорость испарения уменьшается, приближаясь к нулю.

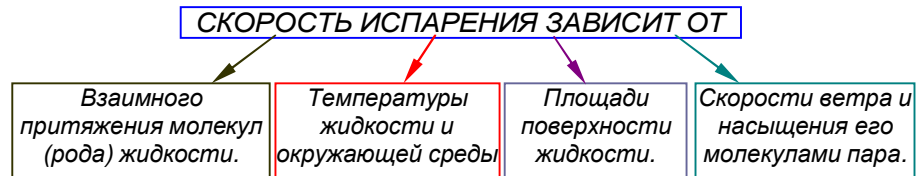


Рис. 25.2. При ветре испарение воды происходит быстрее

В открытом сосуде с жидкостью, над которой находится сухой воздух или воздух, содержащий ненасыщенный пар, количество жидкости вследствие испарения постепенно уменьшается, так как большинство молекул пара рассеивается в воздухе, не возвращаясь в жидкость. Только небольшая часть их возвращается обратно, замедляя этим испарение жидкости, рис. 24.2,б.

При ветре, который уносит молекулы пара, испарение жидкости происходит быстрее, рис. 25.2.

4⁰. Изложенное выше можно представить таблицей:



Зная, от каких причин зависит скорость испарения, мы можем объяснить теперь, зачем, например, переливают чай из стакана в блюдце, дуют на горячий суп или кашу, обмахиваются веером.

5⁰. Наблюдения и опыты показывают, что *испаряются и твёрдые тела*: происходит *сублимация*. Испарение некоторых твёрдых тел можно обнаружить по запаху. Например, испарение нафталина, камфары. Испаряется и лёд, вследствие чего на морозе можно сушить бельё: из обледеневшего оно становится сухим.

Если подогреть пробирку с небольшим количеством кристаллов йода на слабом пламени, то кристаллы начнут испаряться. Пары йода имеют густой фиолетовый цвет, поэтому их хорошо видно. При охлаждении пробирки из паров йода сразу образуются кристаллики. Происходит *десублимация* паров йода.



Вопросы

1. Как связана температура жидкости со скоростью движения молекул?
2. Какое явление называют испарением? Парообразованием?
3. Почему испарение жидкости происходит при любой температуре?
4. Как называют процесс перехода пара в жидкость?
5. Что такое насыщенный и ненасыщенный пар?
6. Назовите и объясните все причины, от которых зависит скорость испарения жидкости.
7. Что свидетельствует об испарении твёрдых тел? Что такое сублимация (возгонка) и десублимация?

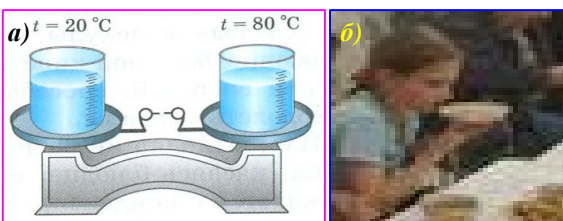


Рис. 26.2. а) Изменится ли равновесие весов со временем? Почему? б) Зачем дуют на чай, наливая его в блюдце?



Рис. 27.2. Почему лужи летом высыхают быстрее, чем осенью?

§17 ПОГЛОЩЕНИЕ ЭНЕРГИИ ПРИ ИСПАРЕНИИ ЖИДКОСТИ И ВЫДЕЛЕНИЕ ЕЕ ПРИ КОНДЕНСАЦИИ ПАРА

1⁰. При вылете из жидкости молекулы преодолевают силы притяжения со стороны оставшихся молекул, т. е. совершают работу против этих сил. Не все молекулы жидкости могут совершить необходимую работу, а только те из них, которые обладают достаточной для этого кинетической энергией, достаточной скоростью.

Но если из жидкости выходят при испарении наиболее быстрые молекулы, то средняя скорость остальных молекул жидкости становится



Рис.28.2. Мне холодно, потому что быстрые молекулы от меня улетают!

меньше, – следовательно, и средняя кинетическая энергия остающихся в жидкости молекул уменьшается. Это означает, что внутренняя энергия жидкости уменьшается. Поэтому, если нет притока энергии к жидкости извне, испаряющаяся жидкость (например, на шерсти мокрого котёнка, рис. 28.2) охлаждается.

2⁰. Выходя из воды даже в жаркий день, мы чувствуем холод. Вода, испаряясь с поверхности нашего тела, отнимает от него некоторое количество теплоты, рис. 29.2.

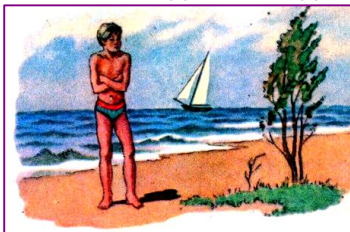


Рис. 29.2. Выходя из воды даже в жаркий день, чувствуешь холод

Однако при испарении воды, налитой в стакан, мы не замечаем понижения ее температуры. Дело в том, что испарение в этом случае происходит медленно и температура воды поддерживается постоянной за счет количества теплоты, поступающего из окружающего воздуха. Значит, чтобы испарение жидкости происходило без изменения ее температуры, жидкости необходимо сообщать энергию.

Так, чтобы испарить воду массой 1 кг при температуре 35 °С, требуется $2,4 \cdot 10^6$ Дж, а для испарения эфира массой 1 кг, взятого при той же температуре (35 °С), - $0,4 \cdot 10^6$ Дж энергии.

3⁰. Охлаждение жидкости при испарении можно наблюдать на опытах. Для этого можно обмотать конец термометра ватой (или кусочком материи) и опустить его в воду. Испаряющаяся вода отнимает часть внутренней энергии от термометра, вследствие чего температура его понижается, рис. 30.2а, б.

Капля эфира на датчике термоскопа испаряясь, охлаждает воздух в нём; его объём и давление уменьшаются, рис. 30.2, в.

Если эфиром смочить руку, то мы будем ощущать охлаждение руки.

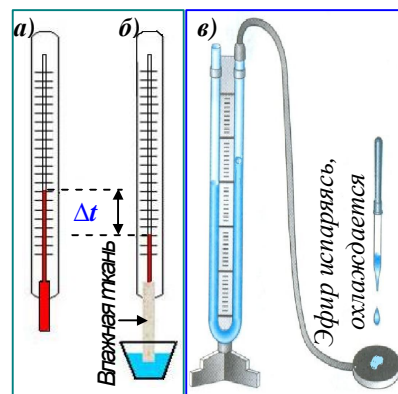


Рис. 30.2. Сухой (а) и мокрый (б) термометры; в) капля эфира, испаряясь, охлаждается.

4⁰. Испарение имеет большое значение в жизни человека и животных.

Для терморегуляции организма важную роль играет потоотделение. Влага, содержащаяся в организме, во время жары через поры в эпителии выходит наружу, рис. 31.2. Потоотделение обеспечивает постоянство температуры тела человека. За счёт испарения пота уменьшается внутренняя энергия тела, благодаря этому организм охлаждается.



Рис. 31.2. Излишки внутренней энергии у животных и человека происходят при испарении пота с поверхности тела и при дыхании.

Получается, потея, мы спасаем себя от перегрева. Затруднение испарения нарушает теплоотдачу и может вызвать перегревание тела.

5. Если пар соприкасается с холодным телом (твёрдым, жидким или газообразным), происходит его **конденсация**.

Конденсация пара сопровождается выделением энергии. Внутренняя энергия конденсирующейся жидкости увеличивается, температура повышается.

Следствием конденсации водяного пара в атмосфере являются образование облаков, росы, дождя. Пары воды, поднимающиеся над землей, образуют в верхних, более холодных слоях воздуха облака, состоящие из мельчайших капелек воды. Роса – это маленькие



Рис. 32.2. Конденсация воды (роса): а) на траве; б) на цветах; в) на паутине; г) на стекле окна; д) молекулы водяного пара, поднимающегося над землей, группируются в более холодных слоях атмосферы в мельчайшие капельки воды, скопления которых и представляют собой облака.

капельки воды, оседающие на траве, листьях и других телах при конденсации водяного пара (рис. 5.2б; рис. 32.2).

5⁰. Таким образом, при **испарении** жидкость охлаждается и, став более холодной, чем окружающая среда, начинает поглощать ее энергию. При **конденсации** же, наоборот, происходит выделение некоторого количества энергии в окружающую среду, и ее температура несколько повышается.

Конденсация – процесс, противоположный **испарению**.

Вопросы



1. Против каких сил совершают работу молекулы, выходящие из жидкости при испарении?
2. Как объяснить понижение температуры жидкости при ее испарении?
3. Как можно на опыте показать охлаждение жидкости при испарении?
4. Как можно объяснить, что при одних и тех же условиях одни жидкости испаряются быстрее, другие - медленнее?
5. При каких условиях происходит конденсация пара?
6. Какие явления природы объясняются конденсацией пара? Приведите примеры и объясните их.



Рис. 33.2. Как образуются облака?



Упражнение

1. В какую погоду скорее просыхают лужи от дождя: в тихую или ветреную? в теплую или холодную? Как это можно объяснить?
2. Почему горячий чай остывает скорее, если на него дуют?
3. Выступающий в жару на теле пот охлаждает тело. Почему?
4. Почему в сухом воздухе переносить жару легче, чем в сыром?
5. Чтобы получить прохладную воду в летнюю жару, ее наливают в сосуды, изготовленные из слабообожженной глины, сквозь которую вода медленно просачивается. Вода в таких сосудах холоднее окружающего воздуха. Почему?
6. Небольшое количество воды находится в стакане и такое же количество воды находится в блюде. Где быстрее вода испарится? Почему?
7. На стекло или доску кисточкой наносят мазки различных жидкостей: эфира, спирта, воды и масла. Наблюдая за мазками, замечают, что жидкости испаряются с разной скоростью. Прделайте такой опыт и объясните его.
8. Для чего летом после дождей или полива приствольные круги плодовых деревьев покрывают слоем перегноя, навоза или торфа?



Задание

В два одинаковых блюда налейте по одинаковому количеству воды (например, по три столовых ложки). Одно блюдо поставьте в теплое, а другое - в холодное место. Запишите, за какое время испарится вода в том и другом блюдах. Объясните разницу в скорости испарения.



§18. КИПЕНИЕ

1⁰. В отличие от испарения, которое происходит при любой температуре жидкости, другой вид парообразования – **кипение** возможен лишь при совершенно



Рис. 34.2. Явление кипения: а) кипение воды в чайнике; б) поверхность кипящей жидкости; в) кипение металла; д) кипящее озеро в горах; е) кипящая вода в гейзере.

определенной (при данном давлении) **температуре кипения**, рис. 34.2.

2°. Пронаблюдаем это явление на опыте (рис. 35.2). Начнем нагревать воду в открытом стеклянном сосуде, измеряя ее температуру.

При нагревании испарение воды с поверхности усиливается, иногда даже можно заметить над ней туман. Это водяной пар конденсируется в воздухе при охлаждении, образуя мельчайшие капельки (сам пар, конечно, невидим рис. 35.2а).

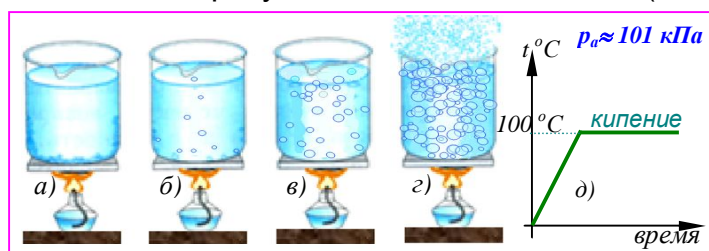


Рис. 35.2. Развитие процесса кипения:

а) начало подогрева; б) первые пузырьки, не увеличиваясь, конденсируются у поверхности; в) пузырьки, поднимаясь, увеличиваются; г) начало кипения д) при кипении $t = \text{const.}$

При дальнейшем повышении температуры мы заметим появление в воде многочисленных мелких пузырьков (рис. 35.2,б). Их размеры постепенно растут. Это пузырьки воздуха, который растворен в воде. При нагревании избышек воздуха выделяется из воды в виде пузырьков. В них содержится насыщенный водяной пар, так как вода испаряется внутрь этих

пузырьков воздуха.

Через некоторое время мы увидим, как дно и стенки сосуда покроются пузырьками, рис. 35.2в. Пузырьки образуются в результате расширения мельчайших пузырьков воздуха, существующих в углублениях и микротрещинах не полностью смачиваемых стенок сосуда.

По мере роста температуры интенсивность испарения воды внутрь этих пузырьков возрастает. Поэтому количество водяного пара, а вместе с ним и давление внутри пузырьков постепенно увеличиваются. При приближении температуры нижних слоев воды к 100°C давление внутри пузырьков сравнивается с давлением, существующим вокруг них, после чего пузырьки начинают расширяться. С увеличением объема пузырьков растет и действующая на них выталкивающая (архимедова) сила. Под действием этой силы наиболее крупные пузырьки отрываются от стенок сосуда и поднимаются вверх. Если верхние слои воды еще не успели нагреться до 100°C , то в такой (более холодной) воде часть водяного пара внутри пузырьков конденсируется и уходит в воду; пузырьки при этом сокращаются в размерах, и сила тяжести заставляет их снова опускаться вниз. Здесь они опять увеличиваются и вновь начинают всплывать вверх. Попеременное увеличение и уменьшение пузырьков внутри воды сопровождается возникновением в ней характерных звуковых волн: закипающая вода «шумит».

Когда вся вода прогреется до 100°C , поднявшиеся наверх пузырьки уже не сокращаются в размерах, а лопаются на поверхности воды, выбрасывая пар наружу. Возникает характерное бульканье: *вода кипит* (рис. 35.2,г).

Кипение - это интенсивный переход жидкости в пар, происходящий с образованием пузырьков пара по всему объему жидкости при определённой температуре. Кипение начинается, когда давление внутри пузырьков сравнивается с давлением в окружающей жидкости.

3°. Во время кипения температура жидкости и пара над ней не меняется, рис. 35.2д. Она сохраняется неизменной до тех пор, пока вся жидкость не выкипит.

Температура, при которой кипит жидкость, называется температурой кипения.

4°. Всем известно, что вода кипит при 100°C . Но не следует забывать, что это справедливо лишь при нормальном атмосферном давлении (примерно 101 кПа). **Температура кипения $t_{\text{кин}}$ зависит от давления, оказываемого на свободную поверхность жидкости.** При увеличении этого давления рост и подъем пузырьков

внутри жидкости начинается при большей температуре, при уменьшении давления – при меньшей температуре.

При увеличении давления температура кипения воды возрастает.



Рис. 36.2. Скороварка

Так, например, в кастрюлях-скороварках пищу варят под давлением около 200 кПа. Температура кипения воды при этом достигает 120°C. В воде такой температуры процесс «варения» происходит значительно быстрее, чем в обычной кипятке. Этим и объясняется название «скороварка», рис. 36.2.

Наоборот, **при понижении давления температура кипения воды становится меньше 100°C.**

Таким образом, **жидкость можно заставить кипеть двумя способами: подогревая её или создавая над ней вакуум, рис. 37.2.**

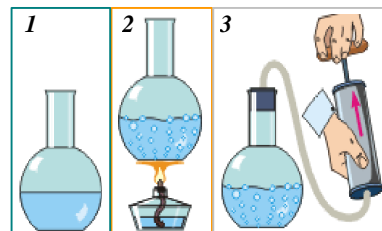


Рис. 37.2. Жидкость (1) можно заставить кипеть, подогревая её (2) или создавая вакуум (3).

Например, в горных районах (на высоте 3 км, где давление атмосферы составляет 70 кПа) вода кипит при 90°C. Поэтому жителям этих районов, использующим такой кипяток, требуется значительно больше времени для приготовления пищи, чем жителям равнин. А сварить в этом кипятке, например, куриное яйцо вообще невозможно, так как белок при температуре ниже 100°C не сворачивается.

Уменьшение температуры кипения жидкости может играть и полезную роль. Так, например, при нормальном атмосферном давлении жидкий фреон кипит при температуре около 30°C. При уменьшении же давления температуру кипения фреона можно сделать ниже 0°C. Это используется в испарителе обычного холодильника, который стоит у вас на кухне. Благодаря работе компрессора в нем создается пониженное давление, и фреон начинает превращаться в пар, отнимая теплоту от стенок камеры. Благодаря этому и происходит понижение температуры внутри холодильника.

5°. Из таблицы 3.2 видно, насколько сильно могут отличаться температуры кипения различных веществ. Например, жидкий кислород кипит при -183°C, а железо при 2750°C.

Таблица 3.2. Температура кипения $t_{кип}$ некоторых веществ, °C (при нормальном атмосферном давлении $p_a = 101325 \text{ Па} = 750 \text{ мм. рт. ст.}$).

6°. Различие в температурах кипения разных веществ находит широкое применение в технике, например в процессе перегонки нефти. При нагревании нефти до 360°C та ее часть (мазут), которая имеет большую температуру кипения, остается в ней, а те ее части, у которых температура кипения ниже 360°C, испаряются. Из образовавшегося пара получают бензин и некоторые другие виды топлива.

Важнейшие продукты, получаемые из нефти, указаны в табл. 4.2. А на рис. 38.2. показаны их температуры кипения.

Водород	-253	Вода	100
Кислород	-183	Ртуть	357
Эфир	35	Свинец	1740
Спирт	78	Медь	2567
Молоко	100	Железо	2750

Табл. 4.2. Важнейшие продукты, получаемые из нефти		
Нефть	Бензин	
	Лигроин	
	Керосин	
	Соляровое масло	
	Мазут	Смазочные масла: веретённое, машинное, цилиндрическое и др.
		Вазелин
Парафин		
	Гудрон	

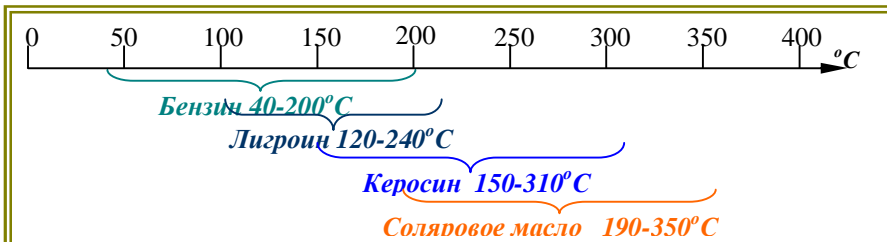


Рис. 38.2. Нефть — смесь углеводородов различного молекулярного веса, имеющих разные температуры кипения. Перегонкой её разделяют на отдельные нефтепродукты. Это бензин, содержащий наиболее лёгкие углеводороды, кипящие от 40 до 200°C; лигроин, содержащий углеводороды с большим числом атомов углерода, с температурой, кипения от 120 до 240°C; керосин с температурой кипения от 150 до 310°C и, далее, соляровое масло, кипящее от 190 до 350°C. После отгонки из нефти этих продуктов остаётся вязкая чёрная жидкость — мазут.

Бензин и лигроин применяется в качестве горючего для двигателей внутреннего сгорания. В зависимости от назначения это топливо подразделяется на два основных сорта: авиационное и

автомобильное. Бензин и лигроин используются также в качестве растворителей масел, каучука, для очистки тканей от жирных пятен и т. п.

Керосин применяется как горючее для тракторов. Он используется также для освещения.

Соляровое масло применяется в качестве горючего для двигателей Дизеля.

Из оставшегося мазута путём дополнительной перегонки получают смазочные масла для смазки различных механизмов. Перегонку ведут под уменьшенным давлением, чтобы снизить температуру кипения углеводородов и избежать разложения их при нагревании.

Кроме переработки на смазочные масла, мазут применяется в качестве топлива в заводских и паровозных топках, в которые он подаётся при помощи форсунок. Большие количества мазута подвергаются химической переработке в бензин и другие виды топлива.

Из некоторых сортов нефти выделяют твёрдые углеводороды. Это парафин идущий, например, на изготовление свечей, и вазелин — смесь жидких углеводородов с твёрдыми.

После перегонки мазута остаётся нелетучая тёмная масса — гудрон, идущая на асфальтирование улиц.



Вопросы

1. Что такое кипение?
2. Почему закипающая вода «шумит»?
3. Становится ли жидкость горячее в процессе кипения?
4. Где кипящая вода горячее: на уровне моря, на вершине горы или в глубокой шахте?
5. На чем основан принцип действия кастрюли-скороварки?
6. Используя рис. 37.2, объясните, как можно заставить кипеть воду при обычной комнатной температуре.
7. За счет чего происходит понижение температуры внутри холодильника?
8. Что такое перегонка нефти, и какие при этом получают продукты?

§ 19. ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА. СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

1⁰. Окружающий нас атмосферный воздух вследствие непрерывного испарения воды с поверхности водоемов и растительных покровов всегда содержит в себе водяные пары. Чем больше водяных паров находится в определенном объеме воздуха, тем ближе пар к состоянию насыщения. С другой стороны, чем выше температура воздуха, тем большее количество водяных паров потребуется для его насыщения – нагретый воздух способен содержать много влаги.

В зависимости от количества паров, находящихся при данной температуре в атмосфере, воздух бывает различной степени влажности.

Абсолютная влажность ρ показывает, сколько граммов водяного пара содержится в воздухе объемом 1 м^3 при данных условиях.

Чтобы судить о степени влажности воздуха, важно знать, близок или далек водяной пар, находящийся в воздухе, от состояния насыщения. Для этого вводят понятие *относительной влажности*.

Относительной влажностью воздуха φ называют отношение абсолютной влажности воздуха ρ к плотности ρ_0 насыщенного водяного пара при той же температуре, выраженное в процентах.

Относительную влажность воздуха можно определить по формуле:

$$\varphi = \rho / \rho_0 \cdot 100\%. \quad [2.2]$$

2⁰. Если влажный воздух охлаждать, то при некоторой температуре находящийся в нем пар можно довести до насыщения. При дальнейшем охлаждении водяной пар начнет конденсироваться в виде росы. Появляется *туман*, выпадает *роса*.

Температура, при которой пар, находящийся в воздухе, становится насыщенным, называется **точкой росы**. Итак, **точка росы характеризует влажность воздуха**.

3⁰. Для определения влажности используют приборы: **гигрометр** и **психрометр**.

Гигрометры бывают **конденсационные** и **волосные**, *рис. 39.2*.

Конденсационный гигрометр определяет абсолютную влажность воздуха по **точке росы**, *рис. 39.2, а*.

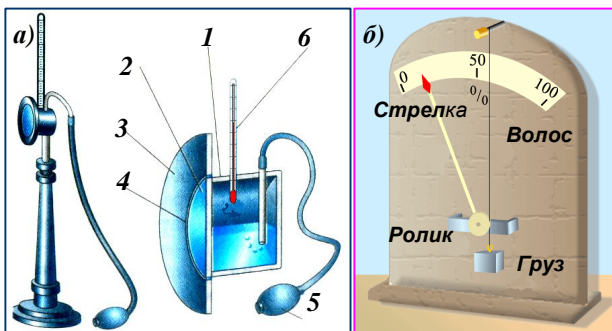


Рис. 39.2. а) Конденсационный гигрометр: 1 – металлическая коробка; 2 – отполированная передняя стенка; 3 – кольцо; 4 – прокладка теплоизолирующая; 5 – груша резиновая; 6 – термометр. б) Волосной гигрометр

Он представляет собой металлическую коробочку 1. Ее передняя стенка 2 хорошо отполирована и окружена отполированным кольцом 3. Между стенкой и кольцом расположена теплоизолирующая прокладка 4. К коробочке подсоединена резиновая груша 5 и вставлен термометр 6.

Если в коробку налить легко испаряющуюся жидкость (эфир), то, продувая воздух через коробку с помощью груши, можно вызвать сильное испарение эфира и быстрое охлаждение коробки. На полированной поверхности появляются капельки росы. По термометру замечают температуру, при которой они появляются. Это и есть точка росы, так как появление росы говорит о том, что пар стал насыщенным. По таблице плотности насыщенного водяного пара и определяют абсолютную влажность воздуха.

Действие **волосного гигрометра** (*рис. 39.2, б*) основано на свойстве человеческого волоса удлиняться при увеличении относительной влажности воздуха, и укорачиваться при её уменьшении. Стрелка по шкале указывает **относительную влажность воздуха**.

Прибор для определения влажности и температуры воздуха – **психрометр** показан на *рис. 40.2*. Он состоит из двух термометров. Один термометр (**сухой**) показывает температуру воздуха, а другой (**влажный**) обмотан тканью, конец которой опущен в воду. Поскольку вода испаряется, то термометр охлаждается. Чем больше относительная влажность, тем менее интенсивно идет испарение. Следовательно, разность показаний термометров будет меньше. По этой разности температур с помощью специальной **психрометрической таблицы** определяют относительную влажность воздуха.

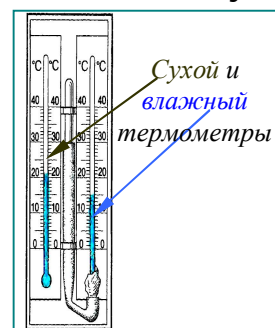


Рис. 40.2. Психрометр – прибор для измерения влажности и температуры воздуха

На *рис. 41.2* показаны некоторые современные приборы для измерения влажности.

Определение влажности имеет огромное значение при

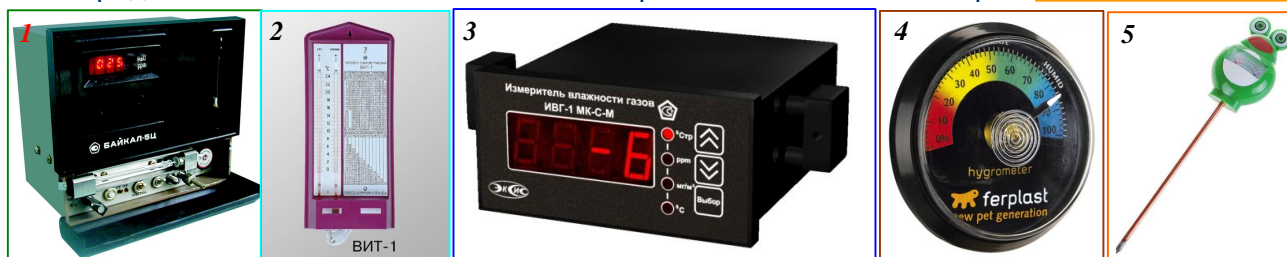


Рис. 41.2. Внешний вид некоторых современных приборов для измерения влажности. 1 – гигрометр; 2 – психрометр с таблицей; 3 – гигрометр ИВГ-1; 3 – гигрометр для террариума; 5 – измеритель влажности почвы «лягушка». Многие из этих приборов содержат микроэлектронные блоки обработки информации, что делает ненужным использование каких-либо таблиц.

исследовании различных явлений в атмосфере, для некоторых видов производства, для поддержания определенной влажности в библиотеках, музеях и пр.

Нормальная влажность воздуха в жилых помещениях около 60%. Днем с возрастанием температуры относительная влажность убывает. Ночью, наоборот, относительная влажность возрастает.

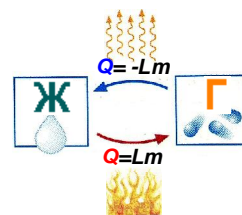
4⁰. Процесс испарения зависит от влажности окружающего воздуха. Нормальной считается влажность воздуха 40-60%. Когда окружающая среда имеет температуру более высокую, чем тело человека, то происходит усиленное потоотделение. Обильное выделение пота ведёт к охлаждению организма, помогает работать в условиях высокой температуры. Если же влажность окружающего воздуха высока – 70%, то жить и работать становится тяжело. Если влажность меньше 40% при нормальной температуре воздуха, это приводит к его обезвоживанию (пустыни, металлургические заводы).



Вопросы

1. Что называют относительной влажностью воздуха?
2. По какой формуле можно определить относительную влажность воздуха?
3. Что называется точкой росы?
4. Какие приборы используют для определения влажности воздуха?
5. Как определить точку росы с помощью конденсационного гигрометра?
6. Как, используя психрометр, можно узнать относительную влажность воздуха?
7. Почему при высокой температуре и влажности жить и работать становится тяжело?

§ 20. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПАРООБРАЗОВАНИЯ И КОНДЕНСАЦИИ



1⁰. Если, добившись кипения воды в сосуде, выключить под ним горелку, кипение воды быстро прекратится. Температура воды начнет понижаться, и через некоторое время она станет такой же, как у окружающего воздуха.

Для того чтобы вода не переставала кипеть, ее температура должна поддерживаться неизменной. Для этого вода должна непрерывно получать достаточное количество теплоты (рис. 42.2), которая идет **на образование пара – т. е. на разрыв связей между молекулами жидкости**.

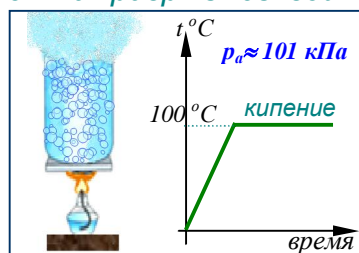


Рис. 42.2. Чтобы при 100°С кипение продолжалось, горелку выключать нельзя!

В этом случае вода будет продолжать кипеть, и это кипение не прекратится до тех пор, пока вся вода не обратится в пар,

2⁰. Опытами установлено, что для полного обращения в пар 1 кг воды (при температуре кипения и нормальном атмосферном давлении) необходимо затратить 2,3 МДж энергии.

Для обращения в пар других жидкостей той же массы требуется иное количество теплоты, Например, для спирта оно составляет 0,9 МДж.

Следовательно, при температуре кипения внутренняя энергия вещества в парообразном состоянии больше внутренней энергии такой же массы вещества в жидком состоянии.

Физическая величина, показывающая, какое количество теплоты необходимо для превращения в пар 1 кг жидкости при постоянной температуре кипения, называется **удельной теплотой парообразования**.

Удельную теплоту парообразования обозначают буквой **L** и измеряют в джоулях на килограмм (Дж/кг): **L – удельная теплота парообразования**.

С ростом давления температура кипения жидкости повышается, а удельная теплота парообразования уменьшается и наоборот.

3⁰. Удельная теплота парообразования L некоторых веществ (при температуре кипения и нормальном атмосферном давлении) приведена в табл. 4.2

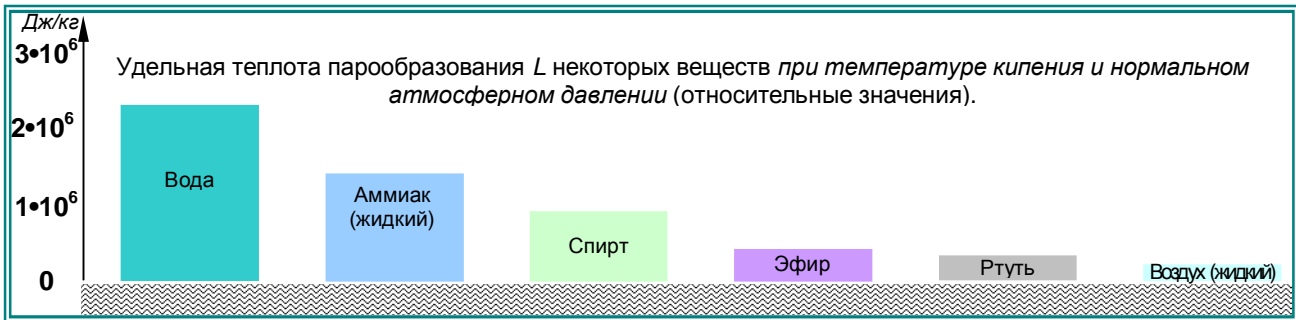
Вещество	L (Дж/кг)
Вода	$2,3 \cdot 10^6$
Аммиак (жидкий)	$1,4 \cdot 10^6$
Спирт	$0,9 \cdot 10^6$
Эфир	$0,4 \cdot 10^6$
Ртуть	$0,3 \cdot 10^6$
Воздух (жидкий)	$0,2 \cdot 10^6$

Из этой таблицы, например, видно, что удельная теплота парообразования эфира равна $0,4 \cdot 10^6$ Дж/кг.

Это число показывает, что для превращения в пар 1 кг эфира (при его температуре кипения) необходимо затратить $0,4 \cdot 10^6$ Дж энергии.

Точно такое же (по модулю) количество теплоты будет выделено парами эфира (той же массы и при той же температуре) при их конденсации.

Для превращения в пар 2 кг жидкости требуется в 2 раз большее количество теплоты, для превращения в пар 3 кг жидкости в 3 раза большее и т. д.



4⁰. Чтобы найти количество теплоты, необходимое для превращения в пар жидкости произвольной массы m , взятой при температуре кипения, надо удельную теплоту парообразования этой жидкости умножить на ее массу.

$$Q_{\text{п}} = L m, \quad [3.2]$$

Соприкасаясь с холодным предметом, водяной пар конденсируется (рис. 43.2). При этом выделяется энергия, поглощенная при образовании пара. Точные опыты показывают, что, **конденсируясь, пар отдает то количество энергии, которое пошло на его образование.**



Рис. 43.2. Соприкасаясь с холодными предметом, водяной пар конденсируется.

Количество теплоты, которое выделяет пар массой m , конденсируясь при температуре кипения, определяется той же формулой, но со знаком «минус» ($Q_{\text{к}} = - Q_{\text{п}}$):

$$Q_{\text{к}} = - L m, \quad [4.2]$$

При конденсации пара получается очищенная от солей – дистиллированная вода, рис. 44.2.

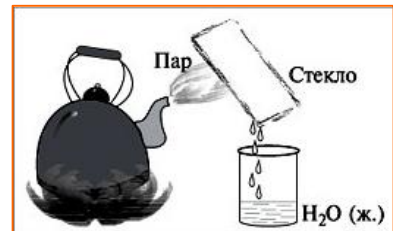


Рис. 44.2. «прибор» для дистилляции воды.

Освобождающаяся при конденсации пара энергия может быть использована. На крупных тепловых электростанциях отработавшим в турбинах паром нагревают воду. Нагретую таким образом воду используют для отопления зданий, в банях, прачечных и для других бытовых нужд.

5⁰. **Пример.** Какое количество энергии требуется для превращения воды массой 2 кг, взятой при температуре 20 °С, в пар?

Запишем условие задачи и решим ее.

Дано:

$$m = 2 \text{ кг}$$

$$t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$c = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$$

$$L = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$$

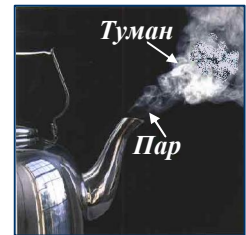
Решение:

Общее количество израсходованной энергии: $Q=Q_1+Q_2$,
 Где: Q_1 - энергия, которая необходима для нагревания воды от $20\text{ }^\circ\text{C}$ до $100\text{ }^\circ\text{C}$:
 $Q_1=cm(t_2 - t_1)$,
 Q_2 - энергия, необходимая для превращения воды в пар при $100\text{ }^\circ\text{C}$:
 $Q_2=Lm$.
 $Q = 4200\text{ (Дж/кг}\cdot\text{ }^\circ\text{C)} \cdot 2\text{ кг} (100\text{ }^\circ\text{C} - 20\text{ }^\circ\text{C}) + 2,3 \cdot 10^6\text{ Дж} \cdot 2\text{ кг/кг} = 5,3 \cdot 10^6\text{ Дж}$.
 Ответ: $Q = 5,3 \cdot 10^3\text{ кДж}$.



Вопросы

1. Почему после выключения нагревателя кипение жидкости прекращается?
2. На что расходуется энергия, подводимая к жидкости при кипении?
3. Что показывает удельная теплота парообразования?
4. Как можно показать на опыте, что при конденсации пара выделяется энергия?
5. Чему равна энергия, выделяемая водяным паром массой 1кг при конденсации?
6. Где в технике используют энергию, выделяемую при конденсации водяного пара?

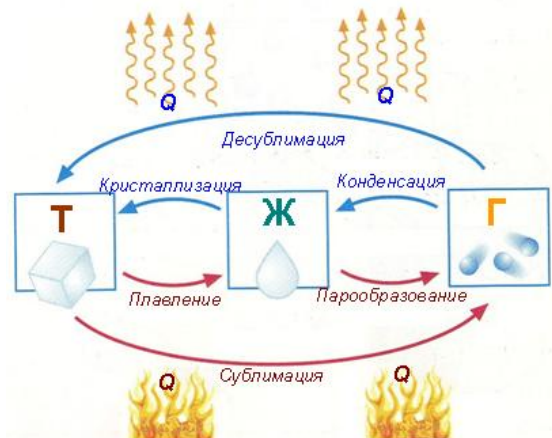


Почему струя пара, выходящая из кипящего чайника, превращается в туман?



Упражнение

1. Как понимать, что удельная теплота парообразования воды равна $2,3 \cdot 10^6\text{ Дж/кг}$?
2. Как надо понимать, что удельная теплота конденсации аммиака равна $1,4 \cdot 10^6\text{ Дж/кг}$?
3. У какого из веществ, приведенных в табл. 4.2, при превращении из жидкого состояния в пар внутренняя энергия увеличивается больше? Ответ обоснуйте.
4. Какое количество энергии требуется для обращения воды массой 150 г в пар при температуре $100\text{ }^\circ\text{C}$?
5. Какое количество энергии нужно затратить, чтобы воду массой 5 кг, взятую при температуре $0\text{ }^\circ\text{C}$, довести до кипения и испарить ее?
6. Какое количество энергии выделит вода массой 2 кг при охлаждении от 100 до $0\text{ }^\circ\text{C}$? Какое количество энергии выделится, если вместо воды взять столько же пара при $100\text{ }^\circ\text{C}$?
7. Справа представлена схема возможных изменений агрегатных состояний веществ. Объясните изображенные на ней процессы.



*Почему трещит лучина?
 «Лучина трещит и мечет искры – к ненастью».*

При повышенной влажности деревянные предметы отсыревают. При горении из них интенсивно испаряется влага. Увеличиваясь в объеме, пар с треском разрывает волокна древесины.

ПРИЛОЖЕНИЕ №1

АМОРФНЫЕ ТЕЛА. ПЛАВЛЕНИЕ АМОРФНЫХ ТЕЛ

1⁰. Существуют тела, которые принято также называть твердыми телами, хотя по многим физическим свойствам, да и по внутреннему строению они стоят ближе к жидкостям, чем к твердым телам. В естественных условиях они не обладают правильной геометрической формой. Такие тела называют **аморфными** (т. е. **бесформенными**) телами.

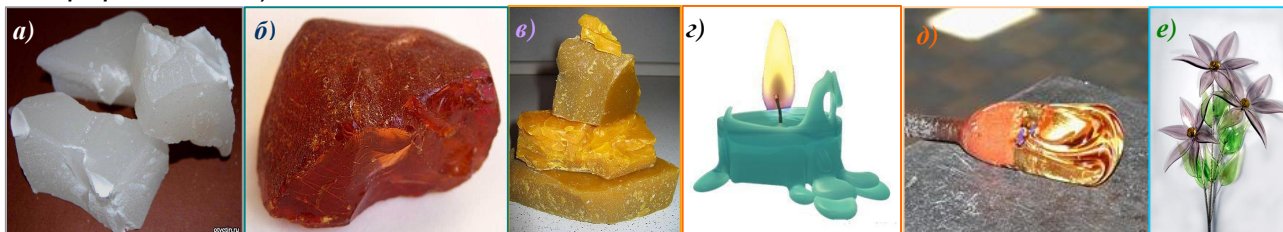


Рис. 1.1п. Примерами аморфных веществ являются: а) стеарин; б) янтарь (смола); е) пчелиный воск. Вам хорошо известны изделия из янтаря, стеариновые свечи (б). Изделия из стекла: г) расплавленное стекло; д) цветы из стекла. Аморфные тела при нагревании размягчаются постепенно.

К аморфным телам относятся: стеарин, твердая смола (вар, канифоль), стекло, рис. 1.1п, сургуч, эбонит, различные пластмассы.

Кусок твердой смолы от удара рассыпается на осколки, т. е. ведет себя как хрупкое тело, но вместе с тем обнаруживает и свойства, присущие жидкостям. Твердые куски смолы, например, медленно растекаются по горизонтальной поверхности, а находясь в сосуде, со временем принимают его форму. По описанным свойствам твердую смолу можно рассматривать как очень густую и вязкую жидкость.

Стекло обладает значительной прочностью и твердостью, т. е. свойствами, характерными для твердого тела. Однако стекло, хотя и очень медленно, способно течь, как смола.

2⁰. В отличие от кристаллических тел в аморфных телах атомы или молекулы расположены беспорядочно, как в жидкостях, рис. 2.2п.

Кристаллические твердые вещества плавятся и отвердевают при постоянной и строго определенной для каждого вещества температуре, при которой *сосуществуют твёрдое вещество и жидкость* (участки BC и EF на рис. 11.2 §14), а аморфные вещества (смола, воск, стекло) при нагревании постепенно размягчаются, разжижаются, превращаясь в жидкость. При этом их температура непрерывно увеличивается, рис. 3.2п. При отвердевании аморфных тел их температура также понижается непрерывно.

У аморфных веществ переход в жидкое состояние (и обратно) происходит постепенно: у них нет процессов плавления и отвердевания, при которых одновременно сосуществуют твёрдое вещество и жидкость.

3⁰. В аморфных твердых телах, как и в жидкостях, молекулы могут перемещаться друг относительно друга свободно.

При нагревании аморфного тела скорость движения молекул увеличивается, увеличиваются расстояния между молекулами, а связи между ними ослабевают. В результате аморфное тело размягчается, становится текучим.

При охлаждении аморфных тел всё происходит в обратном порядке: скорость молекул уменьшается, уменьшаются расстояния между молекулами, а

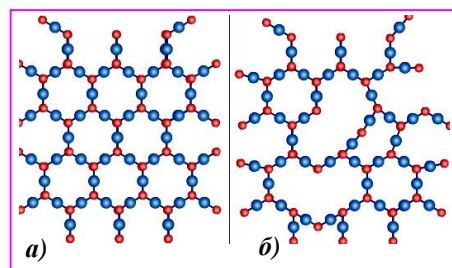


Рис. 2.1п. Строение кристаллического (а) и аморфного (б) веществ

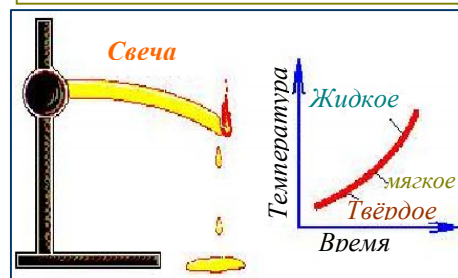


Рис. 3.1п. Изменение состояния аморфного тела при его нагревании

силы молекулярного притяжения увеличиваются. В результате аморфное тело густеет, а текучесть его уменьшается.

4⁰. **Одно и то же вещество может встречаться как в аморфном, так и в кристаллическом состоянии.** Оказывается, очень многое зависит от того, при каких условиях происходит затвердевание вещества. Например, сахарный песок – это мелкие прозрачные слипшиеся кристаллы. Кусок сахара спрессован из таких же частичек. Если расплавить сахар, он превратится в мутную густую жидкость. Если этот расплав будет остывать медленно, то образуются кристаллы. Если же остывание происходит быстро, образуется леденец - аморфное вещество.

Дело в том, что при быстром остывании частицы не успевают занять определенное место в узлах кристаллической решетки – подвижность их быстро уменьшается. Частицы вынуждены занять такие положения, в которых равновесие не является устойчивым. Частицы не удерживаются прочно в таких «промежуточных» узлах. Они могут перемещаться внутри вещества. И через достаточно большое время частицы все же перестроится в наиболее устойчивое положение – в кристалл. Поэтому **с течением времени аморфные тела перерождаются в кристаллические.**

Так, на леденце со временем появляется рыхлая корка, состоящая из множества мелких кристалликов. Обычное стекло тоже кристаллизуется. Очень старое стекло в музеях мутнеет, стеклянные вазы теряют прозрачность, что объясняется процессом кристаллизации стекла.

5⁰. Свойства аморфных веществ в ряде случаев используется. Так, только благодаря тому, что стекло размягчается и застывает постепенно, стеклодув может выдувать и лепить из него всевозможные изделия. Представьте себе, что стекло, подобно кристаллическим веществам, могло бы быть жидким либо твердым. В этом случае мы не могли бы иметь те изделия из стекла, которыми сейчас располагаем, *рис. 1.1п (д, е).*

Свойства аморфных тел:

1. Сохраняют свой объём и форму.
2. Не имеют строгого порядка в расположении молекул.
3. Изотропны.
4. Не имеют определённой температуры плавления.
5. Обладают текучестью даже при невысоких температурах.
6. Напоминают застывшие жидкости.
7. Со временем кристаллизуются.



Исчезла бы профессия стеклодува, если бы стекло было веществом кристаллическим?



Вопросы

1. В чем, состоит различие перехода в жидкое состояние кристаллических и аморфных тел? Объясните причину данного различия на основе МКТ.
2. Как это различие отражается на графике зависимости температуры от времени нагревания? Какие аморфные тела вы знаете?
3. Почему одно и то же вещество может встречаться в аморфном и кристаллическом состояниях? Объясните это с точки зрения МКТ.



ЭТО ИНТЕРЕСНО.

Возможно самый длительный физический эксперимент начал в университете австралийского города Брисбена профессор Томас Парнелл. В 1927 году он поместил в стеклянную воронку кусок твёрдой смолы — вара. Затем он нагрел воронку, чтобы вар слегка расплавился и затёк в носик воронки. В 1938 году первая капля смолы упала в подставленный лабораторный стакан. Вторая упала в 1947 году. Осенью 1948 года профессор скончался. Эксперимент продолжили его ученики. С тех пор капли падали в 1954, 1962, 1970, 1979, 1988 и 2000 годах. Любопытно, что ни разу капля не падала в присутствии кого-либо из наблюдателей. Опыт ещё далёк от завершения, но уже ясно, что вар в сто миллионов раз более вязок, чем вода.

ПРИЛОЖЕНИЕ №2

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ЛИТЬЯ

На свойстве веществ плавиться при нагревании и отвердевать при охлаждении, основано литейное производство. С помощью литья изготавливают самые разнообразные изделия.

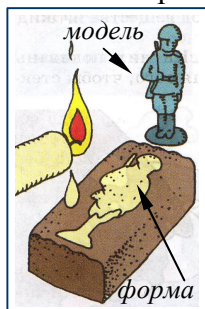


Рис. 1.2п.
Отливка
игрушечного
солдатика

В качестве примера изготовим отливку игрушечного солдатика по образцу, рис. 1.2п.

Положите солдатика-образец на плитку пластилина и вдавите его в пластилин, а затем аккуратно вытащите: на пластилине останется вмятина по форме солдатика. Это *литейная форма*. Зажгите свечку и держите её, чуть наклонив над вмятиной в пластилине. Через несколько секунд со свечи начнут падать капли жидкости. Что это за жидкость и откуда она появилась?

Когда капли жидкости заполнят всю вмятину и застынут, погасите свечу, аккуратно подцепите и вытащите из пластилиновой формочки готовую отливку солдатика.

Объясните, как изменилось состояние вещества при остывании жидкости.

Вместо солдатика-образца, можно взять любое изделие, копию которого вы хотите получить. Такое изделие называют «*литейной моделью*». *Литейная модель* – это приспособление, предназначенное для получения в *литейной форме* рабочей полости будущей отливки. Литейные модели изготавливают из дерева или пластмасс. Иногда применяют разовые литейные модели из легкоплавкого состава (например, воска). Для получения нужной рабочей полости их просто вылавляют (расплавленный воск при этом вытекает через специальную трубку), а потом в эту полость заливают вещество самой отливки.

В этих случаях, конечно, для изготовления *формы*, вместо пластилина, также используют другие, более прочные и термостойкие материалы.

Например, для отливки из металла какой-нибудь детали модель ставят в металлический ящик – *опоку* – и плотно забивают опоку влажной *формовочной землей*. Потом модель осторожно вынимают из опоки, формовочная земля сохраняет форму модели. Опоки для сложной модели делают из двух половинок. Опоки с оттиснутой формой модели просушивают в печах. Через отверстие, имеющееся в опоке, ее заливают расплавленным металлом, который заполняет всю приготовленную для него форму. Когда металл затвердеет, его вынимают из опоки. Учитывая, что при отвердевании большинство металлов сжимается, объем формы делают несколько больше, чем объем детали.

Примеры изделий, полученные методом литья, показаны на рис. 2.2п.



Рис. 2.2п. Здесь изображены изделия, полученные методом литья. а) деталь чугуновой ограды; б) чугуновая ограда; в) памятник из бронзы; г) изделия из стекла, полученные методом художественного литья; д) изделия, отлитые из пластмассы; е) оловянный солдатик; ж) деталь насоса; з) детали двигателя автомобиля; и) детали из пластмассы.