

БЛОК -6**РАЗДЕЛ - 2**

ВЗАИМНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ. СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Содержание ОК	№ ОК	§ § учебника
Тема 46	ОК-46	§70
1.Испарение и конденсация		
2.Насыщенный пар		
3.Свойства насыщенного пара		
Тема 47	ОК-47	§71
1.Кипение		
2.Особенности жидкости при кипении		
Тема 48	ОК-48	§72
1.Влажность воздуха		
2.Приборы для измерения влажности		
Тема 49	ОК-49	§73
1.Свойства твердых тел		
2.Анизотропия. Изотропия		
3.Виды кристаллических решеток		
Тема 50	ОК-50	-----
1.Деформация		
2.Закон Гука		
3.Диаграмма растяжений		
Урок взаимоконтроля «Повторим теорию»		ВЗК-6
Тренировочные задания к БЛОКУ-6 «Фазовые переходы»		

БЛОК -6

ОК -46

ВЗАИМНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

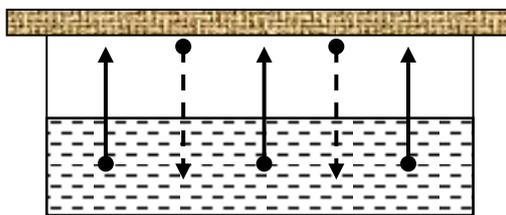


Скорость испарения зависит от

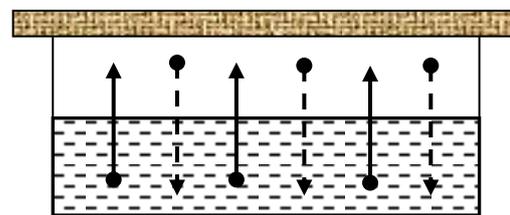
- рода жидкости
- температуры
- от S поверхности
- от V воздуха

При испарение происходит понижение T

Насыщенный пар



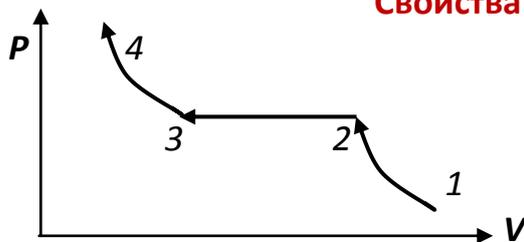
(нет равновесия)



(динамическое равновесие)

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

Свойства насыщенного пара



1-2 – ненасыщенный

2-3 - насыщенный

3-4 - жидкость

1. Реальный газ можно перевести в жидкость
2. При $T = \text{const}$, n – не зависит от V , след-но, что P не зависит от V
(участок 2-3, закон Бойля-Мариотта не выполняется)
3. $P_{\text{нас. пара}}$ ЗАВИСИТ ОТ **рода жидкости**
4. $P_{\text{нас. пара}}$ ЗАВИСИТ ОТ **температуры**

Пояснения к ОК-46

1.Испарение и конденсация

Явление перехода вещества в пар называется *парообразованием*. Парообразование с открытой поверхности называется *испарением*, происходит с поглощением Q при постоянной температуре.

Рассмотрим процесс испарения жидкостей. Так же как диффузия, испарение происходит вследствие непрерывного хаотического движения молекул жидкости. Всякая молекула, движущаяся из глубины жидкости к ее поверхности, испытывает в поверхностном слое действие силы, препятствующей вырыванию молекулы с поверхности жидкости. Чтобы пройти сквозь поверхностный слой, молекула должна обладать достаточной величиной кинетической энергии для совершения работы выхода с поверхности жидкости.

Скорости молекул жидкости, как и молекул газа, различны. Жидкость покидают наиболее "быстрые" молекулы, вследствие чего средняя кинетическая энергия оставшихся молекул уменьшается, что ведет к понижению температуры жидкости. Для поддержания постоянной температуры жидкости ей необходимо сообщать энергию извне, например, в виде теплоты.

Количество теплоты Q , необходимое для превращения в пар 1кг жидкости при постоянной температуре, называется *удельной теплотой парообразования*.

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

После того как молекула жидкости переместилась от границы поверхностного слоя на расстояние большее, чем радиус действия молекулярных сил жидкости, она становится молекулой пара. Молекулярные силы, действуют на сравнительно коротких расстояниях (~ 10 нм).

В результате хаотического движения над поверхностью жидкости молекула пара, попадая в сферу действия молекулярных сил, вновь возвращается в жидкость. Этот процесс называется *конденсацией*.

При конденсации пара некоторой массы выделяется столько энергии, сколько затрачивается при испарении жидкости такой же массы.

Испарение жидкости происходит при любой температуре. Интенсивность испарения зависит:

- от рода жидкости
- от температуры
- от площади поверхности
- от скорости воздушного потока.

Если жидкость находится в открытом сосуде, то молекул испаряется больше, чем конденсируется, и масса жидкости уменьшается.

2.Насыщенный пар.

Пусть жидкость находится в замкнутом сосуде, из которого откачан воздух. В начале число молекул, испарившихся из жидкости, растет, но чем больше число молекул пара, тем больше молекул конденсируется.

В случае, если число молекул пара все же увеличивается, пар, находящийся над жидкостью, называется *ненасыщенным*.

В случае, когда число испаряющихся и конденсирующихся за одно и то же время молекул пара одинаково, число молекул пара над жидкостью будет оставаться постоянным. Такое состояние называют *динамическим равновесием пара и жидкости*.

Пар, находящейся в динамическом равновесии с жидкостью, называется *насыщенным*.

Число молекул, покинувших жидкость за ед.времени	Число молекул, вернувшихся в жидкость за ед.времени
100	-20
100	-35
100	-40
100	-100

Давление насыщенного пара.

Рассмотрим, как зависит давление насыщенного пара при неизменной температуре от его объема.

Исследуемый газ помещают в очень прочный прозрачный цилиндр с подвижным поршнем. Так как при сжатии газ нагревается, то для отвода тепла и поддержания температуры газа цилиндр помещают в термостат.

В начале опыта давление газа изменяется в соответствии с законом Бойля-Мариотта. На графике этот момент изображен изотермой 1-2. Но начиная с некоторого момента (т.2) дальнейшее уменьшение объема газа уже не приводит к увеличению давления.

В этот момент можно заметить появление на поверхности стенок цилиндра капелек жидкости. Следовательно, часть газа превратилась в жидкость и теперь в цилиндре находятся одновременно жидкость и газ. При этом газ и жидкость находятся под одинаковым давлением и имеют одинаковую температуру, т.е. газ и жидкость находятся в термодинамическом равновесии. *Поэтому такой газ называют насыщенным паром своей жидкости.*

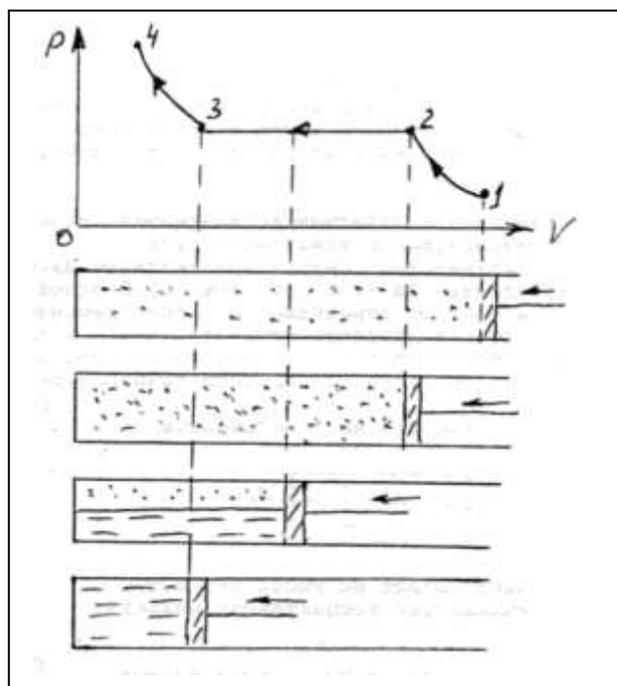
Дальнейшее сжатие газа приводит к уменьшению его массы и к увеличению массы жидкости. Давление при этом остается постоянным (изобара 2-3). Наконец весь газ превратится в жидкость. Попытка сжать жидкость приводит к тому, что давление очень резко возрастает.

Переход газа в жидкость с молекулярной точки зрения объясняется тем, что при достаточном сближении молекул вступают в действие силы их взаимного притяжения. Молекулы как бы слипаются, и вещество переходит в жидкое состояние.

1 – 2 – ненасыщенный пар

2 – 3 – насыщенный пар

3 – 4 - жидкость



1. Описанный опыт по сжижению газа говорит о том, что реальный газ может быть превращен в жидкость, что газ и жидкость – это два состояния (две фазы) одного и того же вещества.

В этом и заключается **основное отличие** реальных газов от идеального, который всегда, при любых давлениях остается газом.

2. Концентрация молекул, а, следовательно, и давление насыщенного пара над испаряющейся жидкостью при **$T = \text{const}$** не зависят от объема.

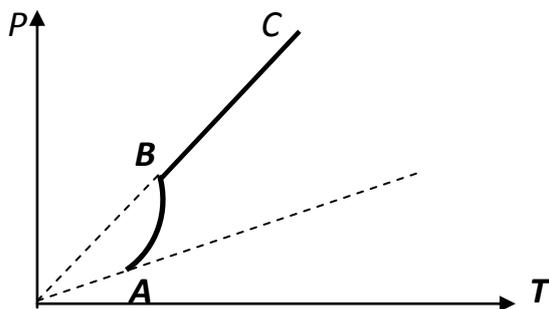
3. Давление насыщенного пара зависит от рода жидкости.

Жидкость	Давление нас. пара, кПа	Давление нас. пара, мм.рт.ст	Температура, °С
Вода	1,2	17,5	20
Спирт	3,2	44	
Эфир	38,7	437	

БЛОК -6

ОК - 47

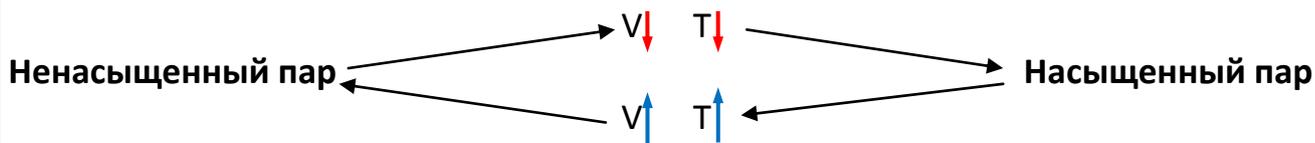
Зависимость давления насыщенного пара от температуры



АВ — насыщенный пар - закон Шарля не выполняется

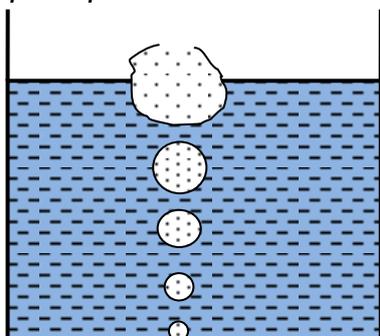
ВС — ненасыщенный пар - закон Шарля выполняется

Условия перехода



КИПЕНИЕ

- парообразование со всего объема жидкости при определенной температуре



1. Пузырьки ($t \uparrow - P_{н.п.} \uparrow - V \uparrow - F_A \uparrow$)

2. Шум (пузырьки лопаются)

3. Пар

4. Жидкость кипит ($P_{н.п.} = P_{внешнему}$)
(вода — $P_{атм.} = 10^5 \text{ Па}$, $P_{н.п.} = 10^5 \text{ Па}$, $t_{кип.} = 100^\circ \text{ C}$)

Особенности жидкости при кипении

1. Чем выше $P_{атм.}$, тем выше $t_{кип.}$

- паровой котел $P_{атм.} = 1,6 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $t = 200^\circ \text{ C}$ — вода не кипит!

- автоклавы (стерилизация медицинских инструментов)

2. Чем меньше $P_{атм.}$, тем ниже $t_{кип.}$

- откачать воздух и вода кипит при комнатной температуре

- на высоте 7134 м, $t_{кип.} = 70^\circ \text{ C}$

3. Различие температур кипения жидкостей определяется различием в $P_{н.п.}$

- при $t = 100^\circ \text{ C}$ — $P_{н.п.}$ воды = 760 мм.рт.ст., а ртути — 0,28 мм.рт.ст.

- $t_{кип.}$ ртути = $356,58^\circ \text{ C}$

4. Температура кипения зависит от наличия примесей

- если вода содержит 40% соли, $t_{кип.} = 108^\circ \text{ C}$

Пояснения к ОК-47

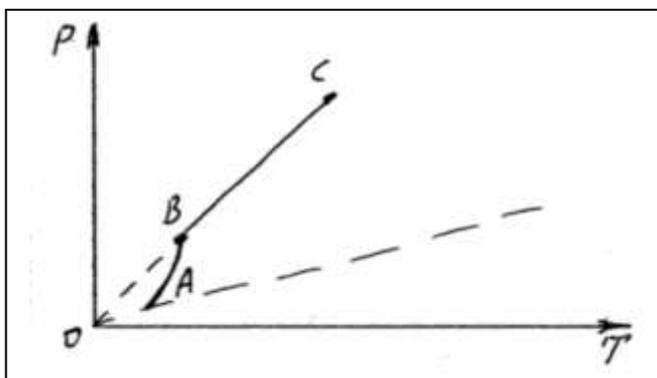
Зависимость давление насыщенного пара от температуры

При увеличении температуры из жидкости станет испаряться большее число молекул. Динамическое равновесие нарушится. Концентрация молекул пара будет расти, пока снова не установится динамическое равновесие. Следовательно, с возрастанием температуры давление насыщенных паров увеличивается.

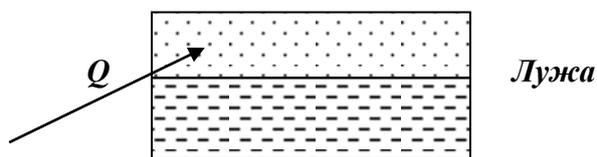
Однако эта зависимость, найденная экспериментально, не является прямо пропорциональной, как у идеального газа.

С увеличением температуры давление насыщенного пара растет быстрее, чем у идеального газа (*участок АВ*). В основном увеличение давления при повышении температуры определяется именно увеличением концентрации.

Когда вся жидкость испарится, пар при дальнейшем нагревании перестанет быть насыщенным и его давление при постоянном объеме будет возрастать прямо пропорционально абсолютной температуре (*участок ВС*).

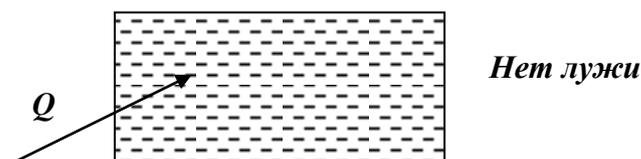


Участок АВ – насыщенный пар



Закон Шарля не выполняется, т.к. изменяется концентрация молекул.

Участок ВС – ненасыщенный пар



Закон Шарля выполняется.

Ненасыщенный пар можно теоретически описывать с помощью уравнения состояния идеального газа при обычных для реальных газов ограничениях: давление пара должно быть не слишком велико (практически $p \leq (10^6 - 10^7)$ Па), а его температура выше некоторого определенного для каждого вещества значения.

К насыщенному пару также можно приближенно применять законы идеального газа.

Пар можно перевести из ненасыщенного в насыщенный: уменьшив объем, понизив температуру (потеют стекла, стены в ванной комнате и т.п.).

Из насыщенного в ненасыщенный можно перевести: увеличив объем, повысив температуру.

Критическая температура.

Опыты, аналогичные описанному выше, впервые были проведены в конце XVIII в. голландским ученым ван Марумом. Ван Марум, проводя опыты с аммиаком, обнаружил, что при давлении в 7 атм ($1 \text{ атм.} = 10^5 \text{ Па}$), аммиак переходит в жидкое состояние.

После опытов ван Марума многие ученые предпринимали попытки превратить газы в жидкое состояние.

Особенно больших успехов достиг Фарадей. Он первым из ученых стал не только сжижать газ, но и одновременно охлаждать его. Этим способом Фарадей перевел в жидкое состояние большинство из известных в то время газов.

Однако ему не удалось перевести в жидкое состояние - *водород, кислород, азот, окись углерода, метан, гелий*

Эти газы были названы "*вечными газами*".

Анализируя опыты Фарадея, Д.И.Менделеев в 1860г. высказал предположение, что каждое вещество характеризуется строго определенной температурой, выше которой это вещество при любом давлении может находиться только в газообразном состоянии.

Эту температуру Менделеев назвал критической температурой.

При $T = T_{кр.}$ исчезают различия в физических свойствах между жидкостью и насыщенным паром.

При $T = T_{кр.}$ плотность насыщенного пара и давление насыщенного пара становятся максимальными, а плотность жидкости минимальной.

С ростом температуры уменьшается удельная теплота парообразования L , а при критической температуре она равна нулю.

Если $T > T_{кр.}$, то газ нельзя обратить в жидкость при любом давлении.

Таким образом, газ обращается в жидкость, если $T < T_{кр.}$ и повышается давление.

Менделеев предположил, что для сжижения "вечных газов" их необходимо охлаждать до температуры, которая была бы ниже критической, а затем сжать.

И действительно, в 1869г. в результате исследований английского ученого Т.Эндрюса предположение подтвердилось.

Уже в 1877г. этим путем были сжижены кислород, азот, углекислый газ, в 1898г. был сжижен водород и, наконец, в 1908г. был получен в жидком состоянии последний - гелий.

Неудача Фарадея была связана с тем, что в то время еще не были известны способы глубокого охлаждения газов.

Кипение

По мере увеличения температуры жидкости интенсивность испарения увеличивается. Наконец жидкость начинает кипеть.

При кипении по всему объему жидкости образуются пузырьки пара, которые всплывают на поверхность.

Температура кипения при этом остается постоянной.

Выясним условия, при которых начинается кипение.

В жидкости всегда присутствуют растворенные газы.

Пары жидкости, которые также находятся внутри пузырьков, являются насыщенными.

С увеличением температуры давление насыщенных паров возрастает, и пузырьки увеличиваются в размерах.

Под действием выталкивающей силы они всплывают вверх. Достигая свободной поверхности воды, пузырьки лопаются и выбрасывают содержащийся в них пар в воздух. Этот процесс сопровождается шумом.

Пузырек пара может расти, когда давление насыщенного пара внутри превосходит давление в жидкости.

Кипение жидкости начинается при температуре, когда давление насыщенного пара в пузырьках равно внешнему давлению.

Например, для воды при 100°C , $p_{н.п.}=10^5\text{ Па}$, $p_{атм}=10^5\text{ Па}$.

Чем больше внешнее давление, тем выше температура кипения.

1. так при давлении в паровом котле $1,6 \cdot 10^6\text{ Па}$ вода не кипит и при температуре 200°C .

2. в медицинских учреждениях кипение воды в герметически закрытых сосудах происходит при повышенном давлении.

Такие сосуды называют автоклавы, применяют их для стерилизации хирургических инструментов и т.п.

Наоборот, уменьшая давление, мы понижаем температуру кипения.

1. откачивая воздух насосом можно заставить кипеть воду при комнатной температуре.

2. при подъеме в горы атмосферное давление уменьшается, поэтому уменьшается температура кипения.

Пик Ленина на Памире имеет высоту 7134 м и там температура кипения составляет 70°C .

Разные жидкости имеют различные температуры кипения.

- Самая низкая температура - жидкий гелий - $4,215\text{ K}$
- водород кипит при 20 K
- кислород - при 90 K
- железо - при 3145 K

Различие температур кипения жидкостей определяется различием в давлении их насыщенных паров.

Чем выше давление насыщенного пара, тем ниже температура кипения.

Например, вода - $t_{\text{кип.}}=100^{\circ}\text{C}$, а $P_{\text{н.п.}}=760\text{мм.рт.ст.}$
ртуть - $t_{\text{кип.}}=357^{\circ}\text{C}$, а $P_{\text{н.п.}}=0,88\text{мм.рт.ст.}$

Перегретая жидкость

Пузырьки, образующиеся при кипении жидкости, легче всего возникают на пузырьках воздуха или других газов, обычно присутствующих в жидкости. Такие пузырьки-центры кипения - чаще всего прилипают к стенкам сосуда, поэтому кипение раньше начинается у стенок.

Но если жидкость свободна от газов, то образование в ней пузырьков пара затруднено. Такую жидкость можно перегреть, т.е. нагреть выше температуры кипения без того, чтобы она вскипела.

Если в такую перегретую жидкость ввести ничтожное количество газа или твердых частичек, к поверхности которых прилип воздух, то она мгновенно и очень бурно закипит.

Температура жидкости при этом падает до температуры кипения.

БЛОК -6

ОК - 48

ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА*- содержание водяного пара в атмосфере(1%)***1 год – $4,25 * 10^{14}$ т**

1. Парциальное давление (P) – давление, которое производил бы водяной пар при отсутствии остальных газов.

2. Абсолютная влажность – показывает количество водяного пара в ед. объема (т.е. плотность водяного пара)

$$\rho = \frac{m}{V} - \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

3. Относительная влажность – величина, равная отношению P при данной температуре, к давлению насыщенного пара P_н при той же температуре

$$\varphi = \frac{P}{P_H} * 100\%$$

или

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_H} * 100\%$$

4. Точка росы (t_p) – температура, при которой водяной пар становится насыщенным

Если $t = t_p$, то конденсация паров (туман, роса)

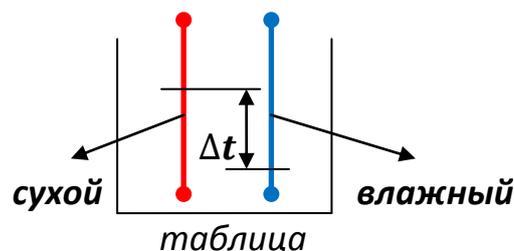
Пример: $t_{\text{воздуха}} = 25^{\circ}\text{C} - P_0 = 3,17 * 10^3 \text{ Па}$ (таблица)

$t_{\text{росы}} = 10^{\circ}\text{C} - P_1 = 1,22 * 10^3 \text{ Па}$ (таблица)

$$\varphi = \frac{1,22 * 10^3 \text{ Па}}{3,17 * 10^3 \text{ Па}} * 100\% = 40\%$$

5. Приборы для определения влажности

1. Гигрометр волосной (φ)
2. Гигрометр Ламбрехта (t_p, φ)
3. Психрометр (гр. «психриа» - холод)



6. Субъективное ощущение влажности человеком

Сухо

< 40%

Норма

40 – 60%

Влажно

> 60%

7. Учет и использование

1. Погода. 2. Самочувствие. 3. Музеи. 4. Жизнь растений

*Пояснения к ОК-48***1.Водяной пар в атмосфере**

В воздухе всегда есть водяной пар (~1%).Он образуется в результате испарения воды с поверхности морей, океанов, озер, рек. В течение года образуется $4,25 \cdot 10^{14}$ т.

От количества водяного пара, содержащегося в воздухе, зависит погода, самочувствие человека, жизнь растений, сохранность технических объектов. Перемещение воздушных масс приводит к тому, что в одних местах нашей планеты испарение преобладает над конденсацией, в других наоборот.

Водяной пар, содержащейся в воздухе, обычно является ненасыщенным.

Если бы водяной пар - был насыщенным, то поверхность Земли и все на ней было бы покрыто капельками жидкости и никогда не высыхало.

Чем дальше водяные пары, содержащиеся в воздухе, находятся от насыщения, тем, воздух суше.

Содержание водяного пара в воздухе - называется влажностью воздуха.

Количество водяного пара в воздухе можно выразить при помощи следующих величин.

2.Парциальное давление водяного пара

Атмосферный воздух представляет собой смесь различных газов и водяного пара. Каждый из газов вносит свой вклад в суммарное давление, производимое воздухом.

Давление, которое производил бы водяной пар, если бы все остальные газы отсутствовали, называется парциальным давлением (**P**).

3.Абсолютная влажность

Абсолютная влажность воздуха показывает количество водяного пара в единице объема.

$$\rho = \frac{m}{V} - \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

т.е. плотность водяного пара при данной температуре.

4. Относительная влажность

По парциальному давлению водяного пара еще нельзя судить о том, насколько водяной пар далек от насыщения.

Поэтому вводят величину, показывающую насколько водяной пар далек от насыщения - относительную влажность.

Относительной влажностью воздуха φ называется величина, равная отношению парциального давления P водяного пара, при данной температуре, к давлению P_H насыщенного пара при той же температуре, выраженному в %.

$$\varphi = \frac{P}{P_H} * 100\%$$

$$\text{Если } P = \frac{\rho RT}{M}, \text{ то } P = \frac{\rho RT}{M}; P_H = \frac{\rho_H RT}{M} \rightarrow \varphi = \frac{\rho}{\rho_H} * 100\%$$

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_H} * 100\%$$

т.е. относительная влажность это отношение плотности водяного пара при данной температуре к плотности насыщенного пара при той же температуре.

5. Точка росы

Охлаждение пара при постоянном давлении рано или поздно превратит его в насыщенный.

Температуру, при которой водяной пар становится насыщенным, называется точкой росы.

При охлаждении воздуха до точки росы начинается конденсация паров: появляется туман, роса.

Точка росы характеризует влажность воздуха, т.к. она позволяет определить парциальное давление и относительную влажность.

Если точка росы t_p известна, то тем самым известно парциальное давление (см. график P_1). Его можно найти с помощью таблицы.

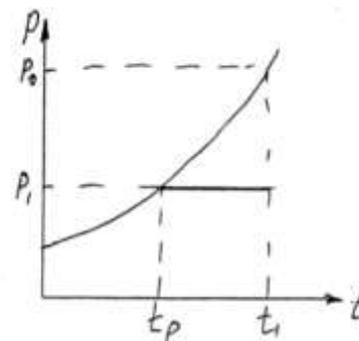
Давление насыщенного пара (см. график P_0) соответствующее температуре t_1 , можно определить по таблице.

Например:

$$t_{\text{воздуха}} = 25^{\circ}\text{C} \quad P_0 = 3,17 * 10^3 \text{ Па (по табл.)}$$

$$t_{\text{росы}} = 10^{\circ}\text{C} \quad P_1 = 1,22 * 10^3 \text{ Па (по табл.)}$$

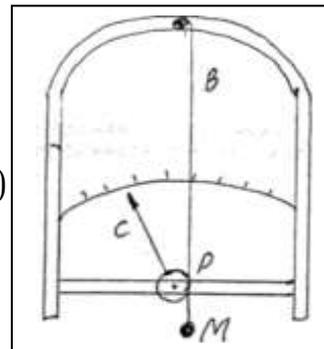
$$\varphi = \frac{1,22 * 10^3 \text{ Па}}{3,17 * 10^3 \text{ Па}} * 100\% = 40\%$$



6. Приборы для определения влажности воздуха.

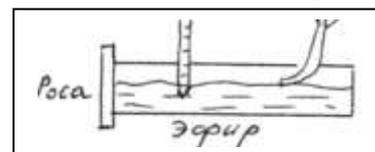
а. волосной гигрометр.

Основная часть прибора - обезжиренный человеческий волос (В), обладающий способностью удлиняться при увеличении относительной влажности воздуха. Волос (В) навит на ролик (Р) и держится в натянутом состоянии грузиком М. При изменении влажности меняется длина волоса, ролик вращается и движет стрелку (С).



б. гигрометр Ламбрехта.

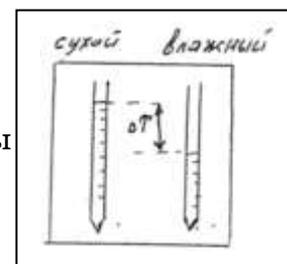
Основной частью является металлический сосуд в форме цилиндра, ось которого занимает горизонтальное положение. Одна сторона цилиндра сделана снаружи блестящей. Внутри цилиндра входит трубка, которая присоединяется к какому-либо воздуходувному устройству, например, к резиновой груше. Внутри цилиндра наливают эфир.



Продувая через эфир воздух, ускоряют процесс испарения. Испаряясь, эфир охлаждается и охлаждает цилиндр. Когда температура цилиндра становится равной температуре точки росы, его поверхность "запотевает". Для измерения температуры внутри цилиндра вставляют термометр.

в. психрометр (от греческого "психриа"-холод)

Психрометр состоит из двух термометров, шарик одного из них обмотан тканью, нижний концы которой опущены в сосуд с дистиллированной водой. Сухой термометр регистрирует температуру воздуха, а влажный температуру испаряющейся воды. Чем суше воздух (т.е. меньше относительная влажность), тем интенсивнее испаряется вода. Разность показаний сухого и влажного термометров зависит от относительной влажности воздуха. Зная эту разность определяют относительную влажность по психрометрической таблице.



7.Значение влажности

а. для хорошего самочувствия и здоровья необходимо, чтобы относительная влажность была в пределах от 40 до 60%. Однако в наших домах и школах в зимние месяцы относительная влажность часто не превышает 10 или 20%. Такие условия вызывают быстрое испарение и высыхание слизистой оболочки носа, гортани, легких, что приводит к простудным и другим заболеваниям. Поэтому в зимнее время необходимо увлажнять воздух в жилых помещениях с помощью специальных приспособлений (например, с помощью пористых увлажнителей).

б. большое значение имеет знание влажности в метеорологии для предсказания погоды. Хотя количество водяного пара в атмосфере невелико, роль его в атмосферных явлениях значительна. Конденсация водяного пара приводит к образованию облаков и последующему выпадению осадков. При этом выделяется большое количество теплоты. Испарение воды сопровождается, наоборот, поглощением теплоты.

в. в ткацком, кондитерском и других производствах для нормального течения процесса необходима определенная влажность.

г. хранение произведений искусства и книг требует поддержания влажности воздуха на необходимом уровне. Поэтому на стенах в этих помещениях можно увидеть психрометры.

Дополнительный материал

1. Поверхность жидкости
2. Поверхностный слой
3. Сила поверхностного натяжения
4. Работа силы поверхностного натяжения
5. Собственная форма жидкости
6. Смачивание
7. Значение смачивание
8. Капиллярные явления
9. Учет смачивания в природе и технике

1. Поверхность жидкости

Жидкости занимают промежуточное положение между газами и твердыми телами. До 30-х годов нашего столетия считалось, что жидкости по своей структуре подобны газам, и отличаются от них лишь меньшими расстояниями между частицами и большими силами взаимодействия.

Наиболее характерным свойством жидкого состояния является наличие резкой границы, разделяющей жидкость и ее пар.

Поверхностный слой представляет собой переход от жидкости к пару. Он отличается особыми свойствами.

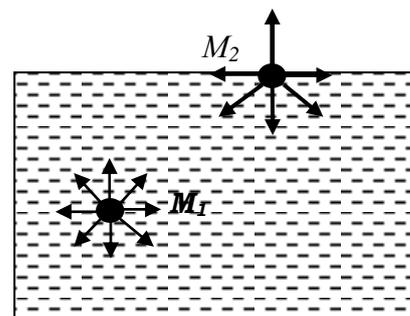
1. Дети хорошо знают, что "куличики" можно построить только из мокрого песка. Сухие песчинки не пристают друг к другу. Не пристают друг к другу песчинки, целиком погруженные в воду.

2. Когда во время купанья человек окунется с головой в воду, его волосы расходятся в воде во все стороны, но стоит высунуть голову из воды, как волосы тотчас лягут на голове слипшимися слоями.

2. Поверхностный слой

На каждую молекулу жидкости действуют силы притяжения к окружающим ее молекулам, удаленным от нее на расстояние порядка 10 нм.

Рассмотрим молекулу M_1 , расположенную внутри жидкости. Со всех сторон эту молекулу окружают такие же молекулы и силы притяжения уравновешиваются. Рассмотрим молекулу M_2 , находящуюся на поверхности жидкости.



Результирующая сила притяжения этой молекулы к молекулам пара меньше результирующей силы её притяжения к молекулам жидкости. Благодаря этому появляется равнодействующая сила, направленная внутрь жидкости, т.е. молекула стремится уйти внутрь жидкости.

Поверхностный слой жидкости напоминает растянутую упругую пленку. Причиной такого свойства - является то, что молекулы в поверхностном слое **жидкости** обладают дополнительной энергией по сравнению с молекулами внутри жидкости.

1. Если лезвие бритвы аккуратно положить на воду, то поверхностный слой прогнется, но не потонет.

2. А если вспомнить, как прыгают водомерки по поверхности воды.

Стремление жидкости уменьшить свою свободную поверхность хорошо проявляется в различных явлениях и опытах.

1. Прежде всего, об этом говорит шарообразная форма, которую принимают маленькие капли жидкости.

а. капли ртути на горизонтальной поверхности,

б. капли воды на раскаленной плите,

в. капли воды на пыльной дороге.

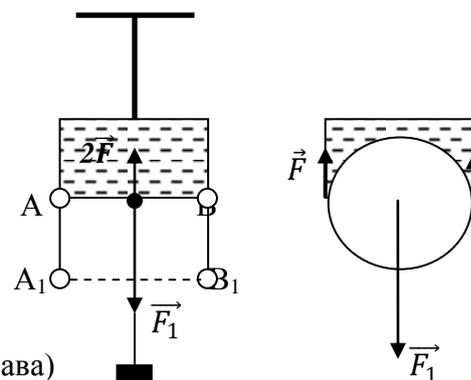
2. Если на стеклянной трубке при разламывании образовался острый зубец, то его легко можно оплавить, т.е. сделать круглым, размягчив стекло на пламени.

3. Сила поверхностного натяжения

Свойство жидкости сокращаться, можно объяснить наличием сил, стремящихся сократить эту поверхность.

Силы, действующие в горизонтальной плоскости, как бы стягивают поверхность жидкости. Эти силы действуют вдоль поверхности жидкости и стремятся сократить поверхность жидкости до минимума. *Эти силы называются силами поверхностного натяжения.* Рассмотрим один из способов измерения сил поверхностного натяжения.

Если опустить в мыльную воду проволочный каркас, изображенный на рис., то вынув его из воды, легко заметить, что верхняя часть каркаса затянута мыльной пленкой. Если потянуть за подвижную сторону **АВ** этой рамки вниз, то пленка растянется, а если подвижную сторону отпустить, то пленка сократится.



Пленка, образовавшаяся на рамке, представляет слой жидкости и имеет две свободные поверхности (рис. справа)

Обозначим силу, действующую на подвижную сторону каркаса со стороны поверхностного слоя, через F . Тогда общая сила поверхностного натяжения обоих поверхностных слоев будет равна $2F$. Её можно уравновесить силой упругости F_1 пружины динамометра.

$$2F = -F_1 \rightarrow F = \frac{|F_1|}{2}$$

Если взять проволоку в два раза больше длины, то значение силы поверхностного натяжения окажется вдвое больше.

Отношение F_n к длине есть величина постоянная.

Эту величину называют *коэффициентом поверхностного натяжения*.

$$\sigma = \frac{F_{\text{нат.}}}{l} = \frac{H}{m}$$

Коэффициент поверхностного натяжения различен для разных жидкостей и зависит от температуры.

Обычно коэффициент поверхностного натяжения уменьшается с возрастанием температуры и обращается в нуль при критической температуре, когда исчезает различие между жидкостью и ее насыщенным паром.

Опыт показывает, что сила поверхностного натяжения, несмотря на увеличение поверхности, остается постоянной. Сила $F_{\text{нат.}}$ одна и та же при любом значении перемещения перекладины.

Этим поверхность жидкости отличается от упругих, например, резиновых пленок, по мере растяжения которых увеличивается расстояние между молекулами вдоль поверхности и упругая сила возрастает. Поверхностный слой не обладает упругими свойствами.

4.Работа, совершаемая силой поверхностного натяжения

Вернемся к рисунку.

Сила поверхностного натяжения, направленная вверх, равна

$$F = \sigma 2l \quad (l - \text{ширина рамки})$$

$2l$ – берется потому, что силы поверхностного натяжения действуют с обеих сторон пленки.

При сокращении пленки совершается работа

$$\Delta A = F \Delta h, \text{ но } F = \sigma 2l,$$

$$\text{тогда } A = F 2l \Delta h,$$

$$\text{но } 2l \Delta h = \Delta S - \text{изменение площади поверхностного натяжения}$$

следовательно

$$A = \sigma \Delta S,$$

или

$$\sigma = \frac{\Delta A}{\Delta S}$$

5. Собственная форма жидкости

Почему жидкость принимает форму шара?

Рассмотрим движение жидкости под действием только силы тяжести. Все частицы жидкости движутся с одинаковым ускорением, а следовательно с одинаковой скоростью. Поэтому расстояния между частицами жидкости не меняются, и жидкость находится в недеформированном состоянии. Т.е., если на жидкость действует одна лишь сила тяжести, то она на форму жидкости не влияет. Действие же молекулярных сил приводит к сокращению поверхности, и свободно падающая жидкость принимает форму шара. Такую форму жидкости наблюдали космонавты.

Шаровая форма-это и есть собственная форма жидкости, которую она принимает под действием межмолекулярных сил.

Почему жидкость всегда принимает форму сосуда?

На жидкость в сосуде, кроме силы тяжести действует сила реакции опоры. Каждый слой жидкости является опорой для вышележащего слоя, поэтому он действует с силой реакции на вышележащий слой, т.е. создает давление на него. Таким образом, внутри жидкости создается давление (гидростатическое), максимальное у нижнего слоя.

По закону Паскаля давление в жидкости на данной высоте одинаково во всех точках, а значит, по всем направлениям.

Почему жидкость на опоре растекается?

Силы гидростатического давления, действующие в горизонтальном направлении, приводят к ее растеканию. По этой причине жидкость на опоре не имеет сферической формы.

Если капля маленькая, сила тяжести мала. Поэтому мала и сила реакции опоры, и гидростатическое давление в капле. Значит, малы и силы давления, вызывающие ее растекание. Поэтому капли росы, ртути, практически сферичны.

Каков же минимальный радиус капли?

Потенциальная энергия капли равна

$$E_1 = mgh = \rho Vgr,$$

где V – объем шара,

ρ – плотность жидкости,

$h = r$ – высота центра тяжести капли над опорой.

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 \text{ или } E_1 = \frac{4}{3}\pi r^4$$

Поверхностная энергия этой капли равна

$$E_2 = \sigma S, \quad S = 4\pi r^2, \quad E_2 = 4\pi r^2$$

Рассчитаем радиус капли, при котором вклад обоих видов энергии одинаков

$$E_1 = E_2, \text{ или } \frac{4}{3}\pi\rho gr_k^4 = 4\pi\sigma r_k^2$$

$$r_k = \sqrt{\frac{3\sigma}{\rho g}}$$

Мы видим, что r_k зависит от свойств самой жидкости и от ускорения свободного падения.

Рассчитаем значение радиуса для капли воды, находящейся на опоре в земных условиях

$$g = 9.8 \frac{м}{с^2}, \quad \sigma = 7,3 * 10^{-2} \frac{Дж}{м^2}, \quad \rho = 10^3 \frac{кг}{м^3}$$

$$r_k = 4,7 * 10^{-3} м \approx 5 мм$$

Капли, у которых радиус меньше 5 мм, будут иметь форму, близкую к сферической, и тем точнее, чем радиус капли меньше.

Капля, имеющая радиус равный 5 мм будет несколько сплюснена, так как при этом вклад обоих видов энергии одинаков.

6.Смачивание

Рассмотрим ряд явлений в поверхностном слое жидкости на границе с твердым телом. Повседневный опыт убеждает, что капля воды растекается по чистой поверхности стола, но не растекается на жирной поверхности, а имеет форму почти правильного шара.

В первом случае говорят, что вода смачивает поверхность, а во втором - не смачивает.

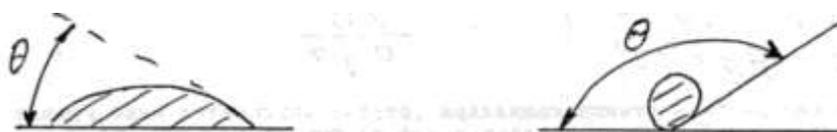
Смачивание - явление, возникающее вследствие взаимодействия молекул жидкости с молекулами твердых тел и приводящее к искривлению поверхности жидкости у поверхности твердого тела.

Форма поверхности зависит от того, какие силы притяжения больше:

- 1 . между молекулами жидкости и твердого тела или
- 2 . между молекулами самой жидкости.

В первом случае жидкость смачивающая, во втором - жидкость не смачивает твердую поверхность.

(Сплюсненность капельки жидкости - результат действия сил тяжести и взаимодействия молекул жидкости с молекулами твердого тела).



Мерой смачивания является угол θ между смачиваемой поверхностью и касательной к поверхности жидкости. Этот угол называют *углом смачивания*.

- Если θ - острый - смачивание,
 если θ - тупой – несмачивание,
 если $\theta = 0^0$ - полное смачивание,
 если $\theta = 180^0$ - полное несмачивание.

7.Значение смачивания

Явление смачивание и несмачивания имеет важное значение в быту и технике.

1. Хорошее смачивание необходимо при крашении, стирке, обработке фотоматериалов.
2. Если бы вода не смачивала поверхность нашего тела, был бы бесполезен душ, купание, а процесс умывания был бы возможен только в присутствии моющих средств.
3. Склеивание деревянных, кожаных, резиновых и др. материалов.
4. Со свойством смачивания связана пайка. Чтобы расплавленный припой хорошо растекался на поверхности металлических предметов и прилипал к ним, надо эти поверхности очистить от жира, пыли.
5. Оловянным припоем хорошо паять детали из меди, латуни и др. Но алюминий не смачивается этим припоем. Поэтому для пайки алюминиевых изделий применяют припой из алюминия и кремния.

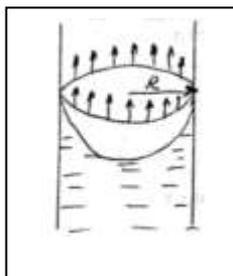
8.Капиллярные явления

Искривленную поверхность жидкости вблизи границы ее соприкосновения с твердым телом называют *мениском* (от греческого слова "менискос"- полумесяц). Особенно хорошо наблюдается искривление мениска жидкости в тонких трубках, называемых капиллярами ("капилляр"-волос).

Под капиллярными явлениями понимают подъем или опускание жидкости в узких трубках-капиллярах.

Смачивающая жидкость поднимается по капилляру. При этом, чем меньше радиус трубки, тем на большую высоту она поднимается.

В капиллярах изогнутую поверхность жидкости при полном несмачивании можно принять за полусферу, радиус которой r .



Вдоль границы поверхностного слоя, имеющей форму окружности, на стенки трубки действует сила поверхностного натяжения направленная вниз.

По III - закону Ньютона такая же сила по модулю действует на жидкость со стороны стенок трубки вверх. Эта сила и заставляет жидкость подниматься.

$$F = \sigma l, (l = 2\pi r); F = 2\sigma\pi r$$

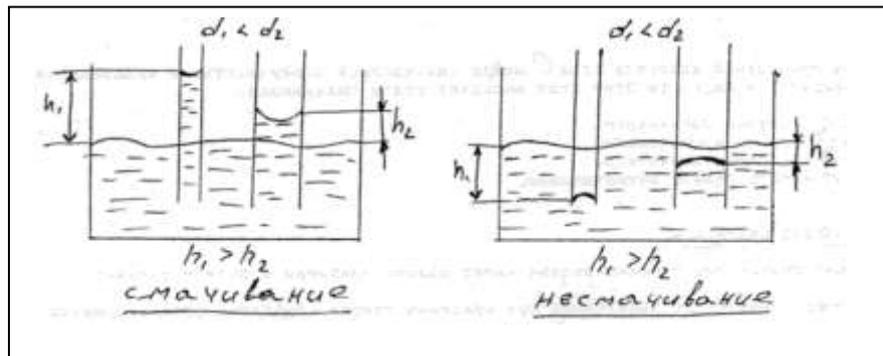
Поднятие жидкости прекращается, когда сила уравновесится силой тяжести.

$$mg = \rho gr = \rho g\pi r^2 h$$

$$2\sigma\pi r = \rho g h \pi r^2$$

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$$

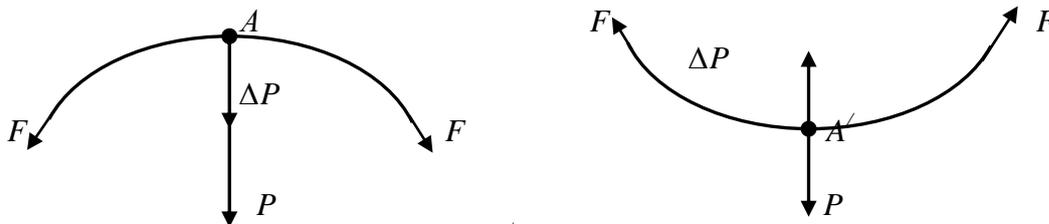
Жидкость, не смачивающая стенки капилляра (напр.ртуть) опускается ниже уровня жидкости. Глубина опускания определяется той же формулой.



Если поверхность жидкости не плоская, а искривленная, то силы поверхностного натяжения создают дополнительное давление на жидкость, которое прибавляется к давлению, с которым поверхностный слой действует на остальную массу жидкости. Добавочное давление, вызванное кривизной поверхности жидкости, определяется формулой Лапласа.

$$\Delta p = \pm \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

где R_1 и R_2 – радиусы кривизны двух взаимно перпендикулярных сечений поверхности жидкости (знак «+» - для выпуклого мениска, знак «-» для вогнутого мениска).



Суммарное давление в точках А и А' равно соответственно

$$P_A = P_{\Pi} + \Delta P; \quad P_{A'} = P_{\Pi} - \Delta P$$

где ΔP – лапласовское или капиллярное давление

P_{Π} – давление поверхностного слоя

В том случае, когда $R_1 = R_2 = R$ (сферическая поверхность) $\Delta P = \frac{2\sigma}{r}$

Для тонкостенной полой сферы (пузыря) $\Delta P = 2 \frac{2\sigma}{R} = \frac{4\sigma}{R}$

т.к. полая сфера имеет две поверхности – внешнюю и внутреннюю.

9.Значение капиллярности

Тела, пронизанные большим числом тонких каналов, активно впитывают в себя воду и другие жидкости - только необходимо, чтобы жидкость смачивала поверхности этих тел.

1.Проникновение влаги из почвы в растения, стебли и листья обусловлено капиллярностью. По капиллярам почвы поднимается вода из глубины слоев в поверхностный слой. Уменьшая диаметр почвенных капилляров путем уплотнения почвы можно усилить приток воды к поверхности почвы, и этим ускорить высыхивание почвы. Наоборот, разрыхляя поверхность почвы и разрушая тем самым систему почвенных капилляров, можно задержать приток воды к зоне испарения и замедлить высыхивание почвы.

2.Процесс кровообращения также связан с капиллярностью. Кровеносные сосуды являются капиллярами.

3.На явление капиллярности основано использование промокательной бумаги, полотенца.

БЛОК -6

ОК - 49

СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

ТВЁРДЫЕ

КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ

АМОРФНЫЕ

стекло, бетон, пластмассы

Свойства

1. Нет кристалл. структуры
2. «Ближний» порядок
3. Изотропны
4. Не имеют пост. T плавления
5. При повышении T – «текут»
6. При низких T – св-ва тв. тел
7. При высоких T – св-ва жидк.

Монокристаллы

кварц, алмаз

Поликристаллы

металлы,
сахар-рафинад,
поваренная соль

Анизотропия

зависимость физических свойств от выбранного в кристалле направления
(графит, слюда)

Изотропия

одинаковые физ. свойства по всем направлениям
(газы, жидкости)

Свойства

1. Правильная кристаллическая форма
2. «Дальний порядок»
3. Определенная T плавления
4. Постоянство углов между ребрами

Виды кристаллических решеток

- атомные (алмаз)
- ионные (NaCl)
- металлические (Cu)
- молекулярные (лёд)

Пояснения к ОК-49

Твердое состояние вещества характеризуется наличием постоянной формы и объема. В физике под твердыми телами подразумевают вещества, которых имеется кристаллическое строение.

1. Кристаллические тела

В зависимости от структуры различают тела кристаллические и аморфные. Кристаллические тела характеризуются правильным расположением атомов, молекул и ионов, совершающих колебательное движение относительно положения равновесия.

Для кристаллических тел, характерен "дальний порядок", т.е. правильная повторяемость положений узлов кристаллической решетки на любых расстояниях в кристалле.

Кристаллические тела имеют определенную температуру плавления, неизменную при постоянном давлении.

Существенным внешним признаком любого кристалла в природных условиях служит его правильная форма. Все вы видели геометрически правильные узоры, образуемые кристалликами льда на поверхности оконных стекол, и правильные формы снежинок.

Легко обнаружить правильную форму кристаллов поваренной соли, горного хрусталя и др.

Рассматривая отдельные кристаллы, можно убедиться, что они ограничены плоскими как бы шлифованными гранями в виде правильных многоугольников.

Кристаллы одного и того вещества могут иметь различную форму, так как она зависит от условий их образования. Они могут отличаться и цветом. Известно, например, что кристаллы кварца бывают бесцветными, розовыми, черными, фиолетовыми, темно-вишневыми, золотистыми. Однако для кристаллов каждого вещества характерно постоянство углов между их ребрами и соответственно между их гранями.

Так, кристаллы поваренной соли встречаются в виде кубов, параллелепипедов или призм и даже тел неправильной формы, но всегда в вершине каждого кристалла сходятся три ребра, образующие между собой прямые углы.

Измерив, углы между всеми гранями неизвестного кристалла, можно по специальному каталогу определить, кристалл какого вещества исследуется.

Основы кристаллохимического анализа, т.е. способа определения химического состава вещества по форме его кристаллов (по значению углов между гранями) разработал русский ученый Е.С.Федоров (**1853-1919**). Он произвел множество кристаллографических измерений и доказал, что может существовать только 230 кристаллов.

2.Монокристаллы и поликристаллы

Монокристаллы - это одиночные кристаллы. Таковы, например, кусочки сахара в сахарном куске, кусочки соли, кристаллы кварца, алмаза и т.д. В других случаях тела состоят из множества сросшихся между собой кристаллы.

Примером может служить "морозные узоры" на окнах, узоры цинка на оцинкованном железе, сахар-рафинад, поваренная соль и пр.

Кристаллическое строение имеют все металлы в твердом состоянии. Кристаллы некоторых из них можно увидеть даже невооруженным глазом, например, внимательно присмотревшись к излому чугуна или закаленной стали.

Тело, состоящее из множества беспорядочно расположенных мелких кристаллов, называют поликристаллическим или *поликристаллом*.

Таким образом, *все металлы являются поликристаллическими веществами*.

3.Анизотропия кристаллов

Правильная внешняя форма не самое главное следствие упорядоченного строения кристаллов.

Главное-это зависимость физических свойств, таких как скорость распространения света, коэффициент теплопроводности, модуль упругости и др. от выбранного в кристалле направления.

Такое явление *называется анизотропией*.(гр.слово:"анизос"-неравный, «тропос» -направление).

Тела, свойства которых одинаковы по всем направлениям, *называются изотропными*.

Анизотропия проявляется только в монокристаллах. Рассмотрим в качестве примера строение кристалла графита. Атомы углерода в этом кристалле располагаются в плоскостях, которые находятся друг от друга на некотором определенном расстоянии между атомами, расположенными в одной плоскости, меньше расстояния между плоскостями; значит, и силы взаимодействия между атомами, лежащими в одной плоскости, больше сил взаимодействия между атомами различных плоскостей. Поэтому бросается в глаза различная механическая прочность кристалла по всем направлениям. Если попробовать сломать грифель карандаша, то нужно приложить усилие. Но когда мы пишем карандашом, то происходит расслоение графита и тонкие слои графита остаются на бумаге.

Рассмотрим теперь поликристалл. Каждый из монокристаллов анизотропен, но т.к. кристаллики ориентированы хаотически, то в целом поликристаллическое тело является изотропным.

Изотропными являются газы, большинство жидкостей, металлы.

Широкое применение в современной физике и технике получили монокристаллы. Почти все полупроводниковые приборы представляют собой монокристаллы со специально введенными примесями, сообщающими им те или иные свойства.

Возникшая в последние годы новая отрасль электроники - молекулярная электроника - основывается на создании в монокристалле при его выращивании участков с различными свойствами, сочетание которых дает многие узлы электронных схем и даже целые схемы.

Крупные кристаллы в природе встречаются очень редко. Потребность промышленности, науки и технике в кристаллах велика, они находят широкое применение в радиотехнике, оптике и др. Например, кристаллы рубина используются в квантовых генераторах света - лазерах, с помощью кристаллов сегнетовой соли получают ультразвуковые колебания.

В настоящее время искусственно изготавливаются монокристаллы многих веществ: кварца, алмаза, корунда, рубина и др. Чтобы вырастить кристаллы, нужны особые условия. Например, для получения алмаза требуется давление 10^4 МПа и температура 2000°C .

4.Аморфные тела.

Аморфные тела не обладают кристаллической структурой. По своему строению аморфные тела близки к жидкостям. Отличаясь от них лишь меньшими расстояниями между молекулами и большими силами молекулярного притяжения.

Аморфные тела не обладают определенной температурой плавления, а переходят в жидкое состояние путем постепенного размягчения.

Аморфные тела - изотропны. При низкой температуре аморфные тела напоминают по своим свойствам твердые тела. Но по мере повышения температуры постепенно размягчаются и их свойства приближаются к свойствам жидкостей.

Если рассматривать некоторый атом аморфного тела как центральный, то ближайšie к нему атомы будут располагаться в определенном порядке, но по мере удаления от "центрального" атома этот порядок нарушается, и расположение атомов будет различным, т.е. случайным.

В аморфных телах в отличие от кристаллических существует "ближний порядок" во взаимном расположении соседних атомов.

К аморфным телам относятся стекло, пластмассы, бетон, смолы и т.д.

В таблицах температур плавления различных веществ вы не найдете температур плавления этих веществ.

Резкое отличие механических свойств аморфного и кристаллического тела (например, графита и алмаза) объясняется тем, что их кристаллические решетки имеют разное строение, а силы сцепления между молекулами зависят от взаимного расположения молекул.

При медленном охлаждении жидкого металла образуется кристаллическая структура при мгновенном охлаждении - аморфная.

5. Типы кристаллических решеток

В тех случаях, когда температура тела такова, что средняя кинетическая энергия составляющих его атомов (молекул) меньше потенциальной энергии их взаимодействия, образуются кристаллы.

Кристаллом называют однородное тело, в котором атомы или молекулы расположены в пространстве упорядоченно.

В кристаллических телах расположение атомов соответствует минимальному значению потенциальной энергии.

Это является условием устойчивого равновесия. В зависимости от характера сил взаимодействия и природы частиц, находящихся в узлах кристаллической решетки, различают четыре типа кристаллических решеток.

А. Атомные кристаллы.

В узлах кристаллической решетки находятся нейтральные атомы. Между ними существует связь, имеющая электрический характер. Эта связь осуществляется электронными парами, причем от каждого атома в ней участвует только по одному электрону. Число связей определяется его валентностью. Вещества с атомной кристаллической решеткой наиболее прочны, отличаются большой твердостью и тугоплавкостью.

Примерами атомных кристаллов являются алмаз, графит, германий и кремний.

Б. Ионные кристаллы.

В узлах кристаллической решетки этих кристаллов находятся ионы разных знаков. Связь между ними обусловлена электрическими силами взаимодействия между разноименными ионами.

Кристаллы с ионной решеткой обладают значительной прочностью. Примером ионной решетки служит кристалл каменной соли $NaCl$.

В. Металлические кристаллы.

В узлах кристаллической решетки находятся положительные ионы металла, между которыми движутся свободные электроны, образующие электронный газ. Связь в металлических кристаллах обеспечивается силами притяжения между положительными ионами, находящимися в узлах решетки, и отрицательным электронным газом. Эти силы притяжения уравниваются силами отталкивания, действующими между одноименными ионами. При этом наблюдается устойчивая конфигурация.

Наличие свободных электронов в металле обеспечивает хорошую электропроводность и теплопроводность этих веществ.

Г. Молекулярные кристаллы.

В узлах кристаллической решетки помещаются молекулы, ориентированные определенным образом. Между молекулами действуют силы притяжения, характерные для взаимодействия молекул. К молекулярным кристаллам относятся нафталин, парафин, сухой лед, лед.

БЛОК -6

ОК - 50

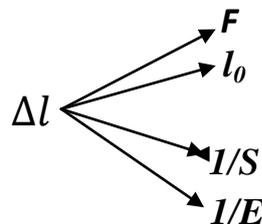
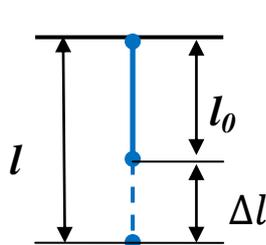
ДЕФОРМАЦИЯ

- изменение формы и объёма тела под действием внешних сил

1.Виды деформаций

растяжение	сжатие	сдвиг	кручение	изгиб
Тросы, Канаты, Цепи	Колонны, Заклепки, Фундамент	Болты, Заклёпки, (если угол большой, то срез)	Гайки, Валы, оси	Нейтральный слой! (экономия металла) Прогиб зависит от сечения. «ЧЕМПИОН»

2.Закон Гука (1660г.-экспериментально!)



$$\Delta l = \frac{F l_0}{E S}$$

$$\frac{F}{S} = \frac{\Delta l E}{l_0}$$

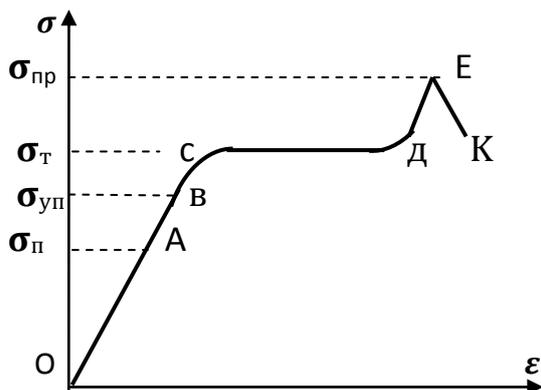
$$\sigma = \frac{F}{S} \text{ — механическое напряжение}$$

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} \text{ — отн. удлинение}$$

$$\sigma = |\epsilon| E$$

- при малых деформациях механическое напряжение прямо пропорционально относительному удлинению

3.Диаграмма растяжений



σ_{π} –(OA) – упругая деформация, закон Гука выполняется
 $\sigma_{уп}$ – (AB) – σ непропорционально ϵ
 σ_T – (CD) – материал «течет»
 если участок значителен, то материалы пластичные (медь, золото,пластилин),
 если (сд) отсутствует - хрупкий материал (бетон,кирпич,чугун)
 $\sigma_{пр}$ -(т.Е) –предел прочности-разрушение

Пояснения к ОК-50

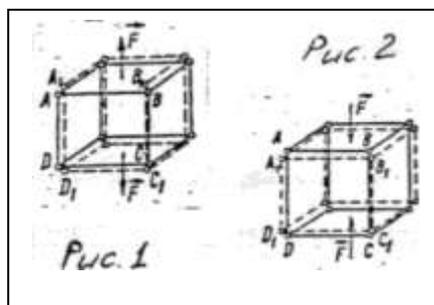
1. Поведение кристаллической решетки при внешнем воздействии

Каждая частица в кристалле (молекула, атом или ион) находится в определенном положении равновесия, в котором силы отталкивания и притяжения, действующие на нее со стороны других частиц, составляющих кристалл, равны.

Но если какая-то внешняя сила (или другое внешнее воздействие типа нагревания или охлаждения) сдвинет частицу немного в сторону от ее положения равновесия, то сразу же какая-либо из этих сил превысит остальные.

Если, например, тело растягивать, то расстояния между частицами кристалла увеличиваются; при этом силы притяжения начинают превышать силы отталкивания и стремятся вернуть частицы в прежнее положение равновесия (рис.1).

Наоборот, если тело сжимать и тем самым сближать атомы или молекулы кристалла, то начнут преобладать силы отталкивания, стремящиеся вернуть частицы в первоначальное положение равновесия (рис.2).



Наблюдать и непосредственно измерять силы, действующие на отдельные молекулы, атомы или ионы, нельзя.

Но если внешние силы смещают конечную часть тела, изменяя его форму и размеры (т.е. вызывая деформацию тела), то и противодействующие им внутренние силы (известные как силы упругости) будут действовать на ту же часть тела, стремясь ликвидировать вызванное внешними силами изменение его формы или размеров.

При расчете конструкций машин, станков, различных сооружений, при обработке различных материалов важно знать, как будет деформироваться та или иная деталь под действием сил, при каких условиях ее деформация не будет влиять на работу машины в целом, при каких нагрузках наступит разрушение детали и т.д.

Изучением этих важных для техники вопросов занимаются многие технические науки: сопротивление материалов, детали машин и механизмов, материаловедение и т.д.

Рассмотрим лишь некоторые основы учения о деформациях тел.

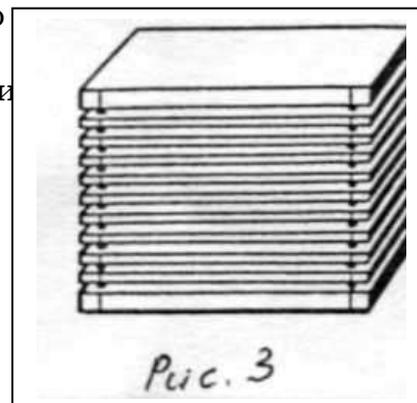
2. Виды деформаций

Недеформируемых тел в природе не существует. В то же время часто приходится иметь дело со столь малыми деформациями, что их трудно обнаружить.

Например, если наступить на кирпич, то его высота уменьшится примерно на $1/20000$ см. При такой деформации соседние атомы сближаются примерно на $2 \cdot 10^{-14}$ см!

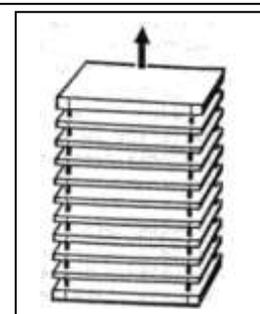
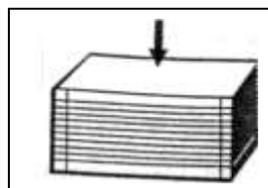
Среди деформаций, возникающих в твердых телах, можно выделить пять основных видов: растяжение, сжатие, сдвиг, кручение и изгиб.

Для демонстрации этих видов деформаций можно воспользоваться моделью, состоящей из нескольких деревянных пластин, скрепленных пружинами (рис.3). Каждая пластина изображает слой атомов (молекул) в кристаллической решетке, пружины моделируют действие сил связи.



а. растяжение (сжатие)

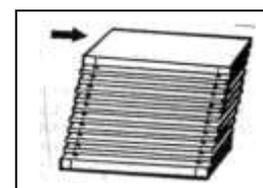
При деформации сжатия (рис.4) и растяжения (рис.5) пластины остаются параллельными друг к другу и расстояния между каждой парой соседних пластин изменяется на одну и ту же величину.



Такого вида деформацию испытывают тросы, канаты, цепи в подъемных устройствах, стяжки между вагонами, струны музыкальных инструментов. Сжатию подвергаются колонны, стены и фундаменты зданий.

б. деформация сдвига.

Деформацию сдвига можно получить, смещая верхнюю пластину параллельно самой себе и удерживая нижнюю неподвижной. При этом все пластины сместятся так, что расстояния между ними останутся неизменными.



(рис.б). При деформации сдвига не происходит изменение объема тела.

Деформацию сдвига испытывают заклепки и болты, соединяющие металлические конструкции. Сдвиг на большие углы может привести к разрушению тела - срезу.

Срез происходит при работе ножниц, зубила, зубьев пилы.

в. деформация кручения.

Деформацию кручения можно наблюдать при повороте верхней пластины модели вокруг вертикальной оси (рис.7). При этом расстояния между пластинами не меняются, но точки пластин, ранее лежавшие на одной прямой, смещаются в сторону друг от друга. Деформации кручения возникают при завинчивании гаек, при работе валов машин, при сверлении и т.п.

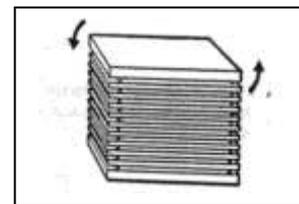


Рис.7

г. деформация изгиба.

Деформацию изгиба можно наблюдать, закрепив один конец балки, а к другому подвесив груз (рис.8). Или изгиб можно смоделировать с помощью стержня, один конец которого закреплен, а на другой действует сила (рис.8), или с помощью стержня, оба конца которого закреплены, а нагрузка приложена к его середине (рис.9). При изгибе выпуклые части тел всегда растягиваются, а вогнутые - сжимаются, т.е. деформация изгиба сводится к деформациям растяжения и сжатия, причем средние слои стержня практически не деформируются.

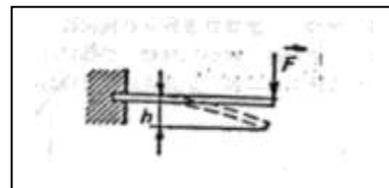


рис.8

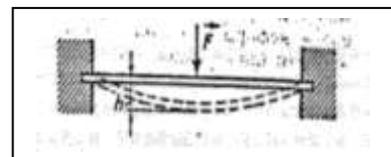


рис.9

Таким образом, наличие среднего (нейтрального) слоя практически не влияет на сопротивляемость тела изгибу и его можно выбросить и таким образом уменьшить массу тела.

Замена сплошных стержней и брусков трубами и балками, у которых частично удален средний слой, дает экономию материала и значительно снижает массу конструкций без ухудшения их механических свойств. В результате длительной эволюции кости животных, птиц и человека приобрели трубчатое строение. Такое же строение имеют также и стебли некоторых растений (бамбук, тростник и др.).

Прогиб балки зависит от формы сечения балки. Однако "чемпионом" станет балка в виде трубы. Например, трубка с внешним радиусом $H=1,2\text{см}$ и внутренним $h = 0,75\text{см}$ прогибается так же, как сплошной брусок квадратного сечения со стороной $a=2\text{см}$. А ведь количество материала, пошедшее на такую трубку в 1,5 раза меньше, чем на брусок той же длины.

На многих деталях машин, например, кузовов автомобиля, делают ребра жесткости.

Из рассмотренных деформаций основными являются растяжение и сдвиг, а две другие - кручение и изгиб - сводятся к ним. В большинстве случаев на практике наблюдаются комбинации этих простейших видов деформаций и разделение их чисто условное.

3. Механические свойства твердых тел. Закон Гука

При действии внешней силы (деформирующей силы) тело удлиняется на величину Δl , которую называют *абсолютным удлинением*.

Изменяя деформирующую силу можно обнаружить прямо пропорциональную зависимость между абсолютным удлинением и деформирующей силой:

$$\Delta l \sim F$$

Если повторить опыты с упругими телами разной длины, то можно обнаружить прямо пропорциональную зависимость между абсолютным удлинением и первоначальной длиной:

$$\Delta l \sim l$$

Теперь можно взять тела такой же длины, но сложенными вдвое, втрое, что равносильно увеличению площади поперечного сечения в 2 или 3 раза. При этом можно обнаружить обратно пропорциональную зависимость между абсолютным удлинением и площадью поперечного сечения:

$$\Delta l \sim \frac{1}{S}$$

И наконец, осталось провести опыты с телами из разного материала при прочих равных условиях, и обнаружить зависимость между абсолютным удлинением и величиной характеризующей упругие свойства материала. Эту величину называют *модулем Юнга (E)*.

$$\Delta l \sim \frac{1}{E}$$

Объединив результаты проделанных опытов, можно записать:

$$\Delta l \sim \frac{Fl}{SE}$$

Для перехода от знака пропорциональности к знаку равенства надо ввести коэффициент пропорциональности. Однако, если для измерения всех величин, входящих в формулу, мы будем применять единицы одной и той же системы, то этот коэффициент будет равен единицы и можно тогда записать:

$$\Delta l = \frac{Fl}{SE}$$

Эта зависимость была установлена в 1660г. английским физиком Р.Гуком и носит название *закона Гука*.

Деформации, подчиняющиеся закону Гука, называются *упругими*.

Характерным признаком упругих деформаций является то, что после снятия нагрузки тело через некоторое время восстанавливает свою первоначальную форму и размеры.

Такого типа деформации испытывают *резиновые шнуры, пружины, стальные шарики при столкновении*.

Деформации, которые не исчезают после прекращения действия внешних сил, называются *пластическими*. Пластическую деформацию испытывают пластилин, глина, воск, свинец.

Сущность упругих и неупругих деформаций твердого тела объяснить следующим образом. В случае упругой деформации происходит незначительное изменение формы элементарных ячеек кристалла (рис.10).

При этом изменение расстояний между узлами таково, что оно не приводит к нарушению равновесия сил взаимодействия.

частиц в кристалле. Каждая частица решетки остается в окружении прежних своих "соседей". Изменение расстояний

между частицами приводит к возникновению сил упругости, восстанавливающей первоначальную форму и размеры тела после снятия нагрузки.

При неупругой деформации происходит значительное искажение элементарных ячеек, одни ячейки скользят относительно других. Нарушается связь между частицами.

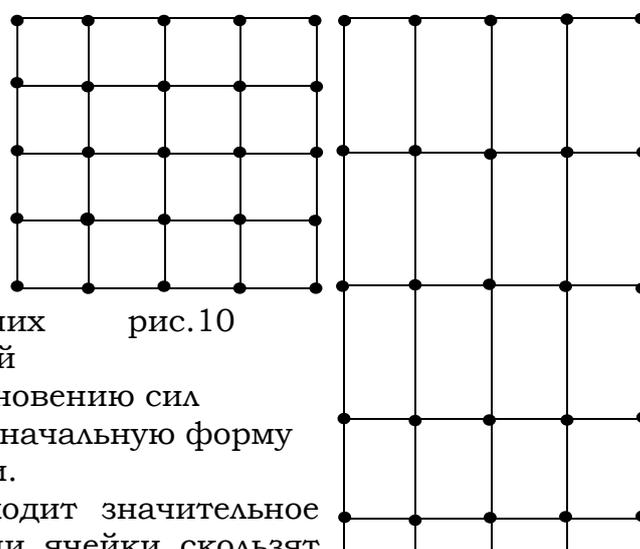


рис.10

Так как величины l , S , u E для данного тела постоянны, то и дробь $\frac{l}{ES}$ тоже постоянна. Обозначив ее через $\frac{1}{k}$, тогда получим

$$|\Delta l| = \frac{1}{k} E$$

т.е. абсолютное удлинение стержня при упругих деформациях прямо пропорционально деформирующей силе.

Модуль Юнга характеризует сопротивляемость материала упругой деформации растяжения или сжатия. Для большинства материалов модуль Юнга определен экспериментально. Чем больше модуль Юнга, тем меньше деформируется стержень при прочих равных условиях.

Перепишем последнее уравнение в следующем виде:

$$\frac{F}{S} = \frac{|\Delta l| E}{l}$$

В левой части мы видим отношение модуля силы упругости F к площади поперечного сечения S тела. Эта величина получила название – *механическое напряжение*, которая характеризует состояние деформированного тела.

$$\frac{F}{S} = \sigma$$

В правой части – обозначим отношение $\frac{|\Delta l|}{l} = \varepsilon$ и назовем *относительным удлинением*. В результате получим следующее:

$$\sigma = \varepsilon E$$

Эта другая запись закона Гука, которая читается так:

При малых деформациях механическое напряжение прямо пропорционально относительному удлинению.

Относительное удлинение в формуле взято по модулю, так как закон Гука справедлив как для деформации растяжения, так и для деформации сжатия.

4. Диаграмма растяжения

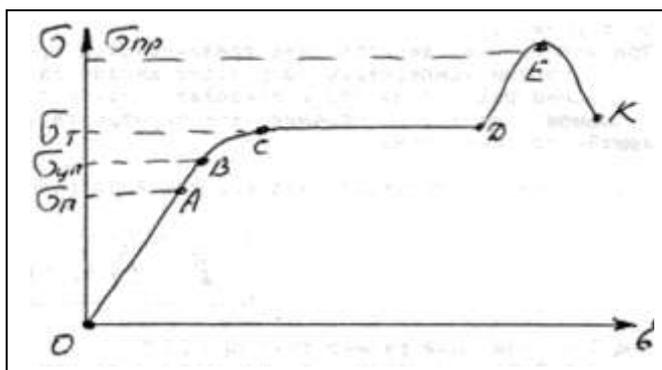
Зависимость относительного удлинения образца от приложенного к нему напряжения является одной из важнейших характеристик механических свойств твердых тел.

Графическое изображение этой зависимости называется диаграммой растяжения.

При небольших напряжениях относительное удлинение прямо пропорционально напряжению, а после снятия нагрузки размеры тела полностью восстанавливаются.

Такая деформация и называется *упругой*. Именно для этого участка и справедлив закон Гука.

Максимальное напряжение $\sigma_{п}$, при котором деформация еще остается упругой, называется *пределом пропорциональности (m.A)*.



Если еще увеличивать нагрузку, то деформация становится нелинейной, напряжение перестает быть прямо пропорциональным относительному удлинению. Тем не менее, при небольших нелинейных деформациях после снятия нагрузки форма и размеры тела практически восстанавливаются (*участок АВ*). Максимальное напряжение, при котором еще не возникают заметные остаточные деформации, называют пределом упругости $\sigma_{уп}$. Предел упругости превышает предел пропорциональности лишь на сотые доли процента.

При напряжениях, превышающих предел упругости $\sigma_{уп}$, образец после снятия нагрузки не восстанавливает свою форму или первоначальные размеры.

Такие деформации называют *остаточными или пластическими (участок ВС)*. На этом участке деформация происходит не пропорционально увеличению напряжения.

На горизонтальном **участке СД** материал "течет"-деформация возрастает при неизменном напряжении. Напряжение, при котором материал "течет", называют пределом текучести σ_T .

Если снять напряжение с тела, то его размеры не будут равны первоначальным. Разгрузка изображается пунктирной кривой. Материалы, у которых область текучести **СД** значительна, могут без разрушения выдерживать большие деформации. Такие материалы называют *пластичными*. Пластичны - пластилин, медь, золото.

Если же область текучести почти отсутствует, то материал без разрушения может выдерживать лишь небольшие деформации. Такие материалы называют *хрупкими*. Например, стекло, кирпич, бетон, чугун. Далее с увеличением деформации кривая напряжений возрастает и достигает точки **Е**. Затем напряжение быстро падает и образец разрушается в точке **К**. Разрыв происходит после того, как напряжение достигает максимального значения $\sigma_{пр}$, называемого *пределом прочности*.

Для того чтобы машины, различные сооружения, здания, мосты были надежными, при их проектировании необходимо учитывать необходимый запас прочности. Очевидно, что все эти сооружения должны работать в области упругих деформаций.

5. Тепловое расширение твердых тел и жидкости

При повышении температуры линейные размеры твердых тел увеличиваются, а при понижении - уменьшаются.

Увеличение линейных размеров тела и его объема называется *тепловым расширением*.

При нагревании твердого тела увеличиваются средние расстояния между атомами, т.к. с ростом температуры возрастает амплитуда колебаний атомов около положений равновесия, что и приводит к увеличению размеров тел.

Линейное тепловое расширение характеризуется *температурным коэффициентом линейного расширения*.

При нагревании твердого тела его линейные размеры l изменяются по закону.

$$l = l_0(1 + \alpha\Delta T)$$

где l_0 - линейный размер тела при 273 К,

$\Delta T = T - T_0$ - изменение температуры тела при его нагревании от $T_0=273\text{К}$ до T ,

α - коэффициент линейного расширения, К.

При нагревании твердого тела его объем V изменяется по закону

$$V = V_0(1 + \beta\Delta T)$$

где V_0 - объем тела при 273 К,

β - коэффициент объемного расширения

Между α и β существует соотношение

$$\beta = 3\alpha \quad (\text{т. к. } V = l^3)$$

При нагревании жидкости возрастает средняя кинетическая энергия хаотического движения ее молекул. Это приводит к увеличению расстояния между молекулами, а следовательно, и к увеличению объема.

Тепловое расширение жидкостей, как и твердых тел, характеризуется температурным коэффициентом объемного расширения. Объем жидкости при нагревании определяется по формуле

$$V = V_0(1 + \beta\Delta T)$$

Жидкости расширяются при нагревании больше, чем твердые тела. Одна из жидкостей – **вода** - представляет исключение. Оказывается, что вода в интервале температур от 0 до 4⁰С при нагревании сжимается, а при охлаждении расширяется. Вода имеет наибольшую плотность при 4⁰С. Это объясняется особенностями строения кристаллической решетки льда.

Как при нагревании, так и при охлаждении воды, взятой при 4⁰С, ее объем возрастает, а плотность уменьшается. Этой особенностью теплового расширения воды объясняется тот факт, что водоемы зимой не промерзают до дна. При охлаждении, пока температура поверхностного слоя не достигнет 4⁰С, плотность теплой воды ниже холодной, поэтому теплая вода поднимается вверх, а холодная опускается вниз.

БЛОК -6**ВЗК-6****Повторим теорию!****Взаимные превращения жидкостей и газов.****Свойства твёрдых тел**

1. Что называется испарением и конденсацией? Как происходит испарение? Что можно сказать о температуре при испарении?
2. От чего зависит скорость испарения?
3. Какой пар называется насыщенным?
4. Опишите механизм превращения пара в жидкость. Приведите при этом зависимость давления от объёма.
5. Каковы свойства насыщенного пара?
6. Как можно перевести насыщенный пар в ненасыщенный и наоборот?
7. Какой процесс называется кипением? Каковы признаки кипения? При каком условии жидкость кипит?
8. Что можно сказать о температуре кипения в зависимости от давления?
9. Почему разные жидкости имеют равную температуру кипения? Зависит ли температура кипения от примесей?
10. Что называют влажностью воздуха?
11. Что называют парциальным давлением?
12. Что называют абсолютной влажностью?
13. Что называют относительной влажностью?
14. Что называют точкой росы? При каком условии появляются туман, роса?
15. Расскажите об устройстве гигрометра Ламбрехта.
16. Расскажите об устройстве психрометра.
17. На какие два вида можно разбить твёрдые тела?
18. Какие тела называют аморфными, что к ним относится, какими свойствами они обладают?
19. Что такое анизотропия, каким веществам она присуща?
20. Что такое изотропия, каким веществам она присуща?
21. Какими свойствами обладают кристаллические тела?
22. Виды кристаллических решеток.
23. Что называют деформацией?
24. Виды деформаций, какие детали испытывают эти виды?
25. Что называется относительным удлинением?
26. Что называется механическим напряжением?
27. Закон Гука.
28. Диаграмма растяжений.