



# **Виртуальный курс физики МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА**

**Лекция 8. Взаимные превращения газов,  
жидкостей и твердых тел.**

**ТЕОРИЯ, ЗАДАЧИ, ПОДГОТОВКА К ЕГЭ**



**Уважаемые друзья!**

**Вы выбрали Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I и поступили, несомненно, правильно!**

**Наш университет основан в 1809 году. Это старейший инженерный транспортный вуз России. Это "особенный институт" - так в манифесте назвал его Император Александр I.**

**Для того, чтобы успешно пройти вступительные испытания и стать студентом одного из лучших технических вузов России, необходимо иметь высокую подготовку по физике.**

**Как правило, уровень подготовки выпускников школ не всегда соответствует требованиям, предъявляемым к поступающим в высшие учебные заведения. Повысить этот уровень и качественно подготовиться к вступительным испытаниям по физике в технический университет помогут преподаватели факультета довузовской подготовки.**

**Факультет довузовской подготовки организует и проводит курсы по подготовке к поступлению в вуз по программам, соответствующим требованиям ЕГЭ.**

**Занятия проводятся по очной и заочной формам обучения. Занятия по очной форме обучения проводятся в дневное время - с 16.25 (тел. [457-84-04](tel:457-84-04)), и в вечернее время - с 18.00 (тел. [457-87-83](tel:457-87-83)). Мы с удовольствием ответим на все Ваши вопросы.**

**Факультет довузовской подготовки**

***Курс дистанционного обучения по физике  
изложен в авторской редакции доцента  
Петербургского государственного университе-  
та путей сообщения Императора Александра I  
Кытина Юрия Александровича***

# МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

## Взаимные превращения газов, жидкостей и твердых тел

### Лекция 8.

*Тема: Парообразование и конденсация. Кипение. Насыщенные и ненасыщенные пары. Влажность воздуха. Тепловое расширение твердых тел. Плавление и кристаллизация. Теплота сгорания топлива. Поверхностное натяжение.*

#### 8.1. Парообразование и конденсация. Кипение

**Парообразованием** называется процесс перехода вещества из жидкого состояния в газообразное.

**Паром** данной жидкости называется совокупность молекул, вылетевших из жидкости при парообразовании.

**Испарением** называется парообразование, происходящее при любой температуре со свободной поверхности жидкости.

Обратный процесс превращения пара в жидкость называется **конденсацией**.

Для превращения жидкости в пар ей необходимо сообщить определенное количество теплоты, которое идет на преодоления сил, удерживающих молекулы в жидкости.

**Удельной теплотой парообразования**  $r$  называется количество теплоты  $Q$ , необходимое для превращения в пар единицы массы жидкости, нагретой до температуры кипения:

$$r = \frac{Q}{m}.$$

Чтобы превратить в пар жидкость массы  $m$  необходимо сообщить количество теплоты равное:

$$Q = rm.$$

Из закона сохранения энергии следует, что при обратном процессе – конденсации пара в жидкость выделяется такое же количество теплоты.

**Кипением** называется процесс интенсивного парообразования не только со свободной поверхности, но и по всему объему жидкости внутри образующихся при этом пузырьков пара.

**Температурой (точкой) кипения** называется температура жидкости, при которой давление ее насыщенного пара равно или превышает внешнее давление. В процессе кипения температура жидкости остается постоянной, если не изменяется внешнее давление. При уменьшении внеш-

него давления температура кипения уменьшается, а при увеличении давления – увеличивается.

## 8.2. Насыщенные и ненасыщенные пары. Влажность воздуха

**Насыщенным (насыщающим)** называется пар, находящийся в динамическом равновесии с жидкостью, при котором число молекул жидкости, вылетающих из нее в единицу времени, равно числу молекул пара, попадающих в единицу времени в жидкость.

Если динамическое равновесие системы пар–жидкость отсутствует (например, при отсутствии жидкости), то пар будет **ненасыщенным**.

Масса водяных паров, содержащихся в  $1 \text{ м}^3$  воздуха при данной температуре и данном давлении, называется **абсолютной влажностью воздуха**, то есть абсолютная влажность представляет собой плотность водяных паров при данных условиях:

$$f = \rho_{\text{п}}.$$

В практических целях абсолютную влажность оценивают по **парциальному давлению** водяных паров, то есть давлению, которое производил бы водяной пар, если бы все остальные газы отсутствовали, и выражают в *мм. рт. ст.*:

$$f = p_{\text{п}}$$

**Относительная влажность** воздуха  $r$  есть отношение абсолютной влажности к парциальному давлению насыщенного пара  $p_{\text{нас}}$  при той же температуре, выраженное в процентах

$$r = \frac{p_{\text{п}}}{p_{\text{нас}}} \cdot 100\%.$$

При понижении температуры давление насыщенных паров уменьшается. Температура, при которой ненасыщенные пары с абсолютной влажностью  $p_{\text{п}}$  становятся насыщенными ( $p_{\text{п}} = p_{\text{нас}}$ ), называется **точкой росы**. В точке росы начинается конденсация пара, появляется туман, выпадает роса или образуется иней.

## 8.3. Тепловое расширение твердых тел

**Тепловым расширением** называется увеличение линейных размеров и объемов тел, происходящее при повышении их температуры. **Линейное тепловое расширение** характерно для твердых тел. **Объемное тепловое расширение** происходит как в твердых телах, так и в жидкостях. Количественно линейное и объемное тепловые расширения характеризуются коэффициентами расширения.

**Коэффициентом линейного теплового расширения**  $\alpha$  называется величина численно равная отношению удлинения тела  $\Delta l / l_0$  при нагревании его на  $1^\circ\text{C}$ :

$$\alpha = \frac{l - l_0}{l_0 t} = \frac{\Delta l}{l_0 t},$$

где  $l_0$  – длина тела при температуре  $0^\circ\text{C}$ ;

$l$  – длина тела при температуре  $t^\circ\text{C}$ ;

$\Delta l = l - l_0$  – удлинение тела при его нагревании на  $t$  градусов.

Длина  $l$  тела при температуре  $t$  определяется формулой:

$$l = l_0(1 + \alpha t).$$

Для большинства твердых тел  $\alpha \approx (10^{-5} \div 10^{-6})\text{град}^{-1}$  и можно считать, что  $\alpha$  практически не зависит от температуры.

**Коэффициентом объемного теплового расширения**  $\beta$  называется величина, численно равная отношению увеличению объема  $\Delta V / V_0$  тела при нагревании его на  $1^\circ\text{C}$ :

$$\beta = \frac{V - V_0}{V_0 t} = \frac{\Delta V}{V_0 t},$$

где  $V_0$  – объем тела при температуре  $0^\circ\text{C}$ ;

$V$  – объем тела при температуре  $t^\circ\text{C}$ ;

$\Delta V = V - V_0$  – увеличение объема тела при его нагревании на  $t$  градусов.

Объем тела  $V$  при температуре  $t$  определяется формулой:

$$V = V_0(1 + \beta t).$$

Коэффициенты линейного и объемного расширения связаны соотношением:

$$\beta \approx 3\alpha.$$

Коэффициенты объемного расширения для жидкостей несколько выше, чем для твердых тел, – от нескольких тысячных до нескольких десятитысячных единицы.

#### 8.4. Плавление и кристаллизация

**Плавлением** твердых тел называется их переход из твердого состояния в жидкое. За счет энергии, которая подводится к твердому телу при плавлении, происходит разрушение кристаллической решетки твердого тела. В процессе плавления твердого тела оно существует одновременно и в твердом, и в жидком состояниях.

Плавление происходит при определенной температуре, называемой **температурой (точкой) плавления**. Температура тела не изменяется при плавлении и остается все время постоянной, так как все количество теплоты, которое подводится к твердому телу, расходуется на разрушение кристаллической решетки и на работу против внешних сил.

**Удельной теплотой плавления**  $\lambda$  называется количество теплоты  $Q$ , необходимое для перехода единицы массы твердого тела, нагретого до температуры плавления, в жидкое состояние:

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

**Кристаллизацией** называется переход вещества из жидкого в твердое кристаллическое состояние. Для любой химически чистой жидкости (расплава) этот процесс идет при постоянной **температуре кристаллизации**, которая совпадает с температурой плавления. Кристаллизация единицы массы жидкости сопровождается выделением некоторого количества теплоты – **удельной теплоты кристаллизации**, – равной удельной теплоте плавления.

При плавлении (кристаллизации) вещества массы  $m$  поглощается (выделяется) количество теплоты

$$Q = \lambda m.$$

## 8.5. Теплота сгорания топлива

Энергия, выделяющаяся при полном сгорании топлива, называется **теплотой сгорания топлива**. Теплота сгорания топлива (или количество теплоты, выделяющееся при его сгорании) зависит от вида топлива и его массы.

**Удельной теплотой сгорания топлива**  $q$  называется количество теплоты  $Q$ , которое выделяется при полном сгорании единицы массы топлива

$$q = \frac{Q}{m}.$$

При полном сгорании топлива массы  $m$  выделяется количество теплоты

$$Q = qm.$$

## 8.6. Поверхностное натяжение

Опыт показывает, что на поверхности жидкости наблюдается **поверхностное натяжение**, которое проявляется в стремлении уменьшить площадь поверхности. Это явление обусловлено тем, что на поверхности жидкости, вблизи границы, разделяющей жидкость и ее пар, молекулы



испытывают межмолекулярное взаимодействие отличное от взаимодействия молекул, находящиеся внутри объема жидкости (рис. 8.1).

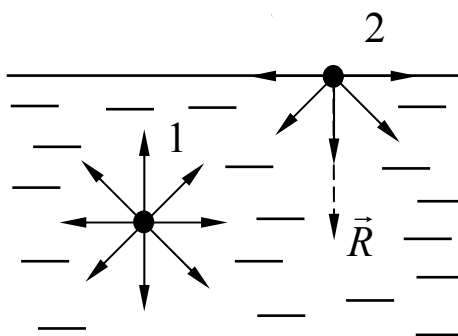


Рис. 8.1

Так как молекула 1, окруженная со всех сторон другими молекулами той же жидкости, испытывает одинаковые силы притяжения ко всем своим соседям, то равнодействующая этих сил равна нулю. Молекула 2, находящаяся на поверхности жидкости, испытывает меньшее притяжение вверх со стороны молекул пара и большее притяжение вниз со стороны молекул жидкости. В результате на молекулы, расположенные в поверхностном слое, действует направленная вниз равнодействующая сил  $\vec{R}$ .

Для перемещения молекул из глубины объема жидкости в ее поверхностный слой необходимо совершить работу на преодоление силы  $\vec{R}$ . Эта работа идет на увеличение поверхностной энергии.

**Поверхностной энергией** называется избыточная потенциальная энергия, которой обладают молекулы в поверхностном слое по сравнению с их потенциальной энергией внутри остального объема жидкости.

Всякая система стремится прийти в состояние с минимальной потенциальной энергией, поэтому поверхность жидкости стремится сжаться, так чтобы на поверхности жидкости оставалось как можно меньше молекул.

Поверхностное натяжение можно наблюдать на простом опыте. Пусть пленка жидкости (например, из мыльной воды) натянута на рамку  $abcd$ , одна сторона которой  $cd$  подвижна (рис. 8.2). Для удержания в покое подвижной стороны рамки  $cd$  должна действовать сила  $\vec{F}$ , направленная в сторону, противоположную силе поверхностного натяжения  $\vec{F}_\Pi$ , стремящейся уменьшить площадь поверхности пленки. Равновесие будет наблюдаться, когда

$$F = 2\sigma l,$$

где  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения;  $\sigma l$  – сила, с которой тянет подвижную сторону  $cd$  одна сторона жидкой пленки;  $2\sigma l$  – полная сила, с которой обе стороны пленки действуют на сторону  $cd$ .

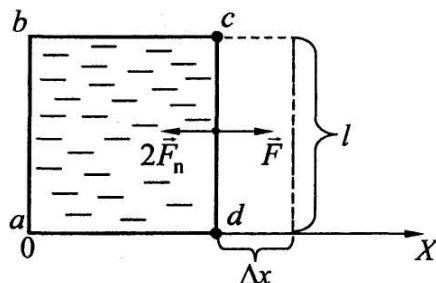


Рис. 8.2

Так как,  $F = 2F_n$ , то  $F_n = \sigma l$ . Таким образом, сила поверхностного натяжения направлена перпендикулярно периметру рамки, по касательной к поверхности жидкости и прямо пропорциональна длине стороны рамки.

Полученное выражение позволяет определить понятие коэффициента поверхностного натяжения, как величины численно равной силе, действующей на единицу длины периметра смачивания и направленной перпендикулярно к этому периметру:

$$\sigma = \frac{F_n}{l}.$$

В системе СИ коэффициент поверхностного натяжения измеряется в Н/м.

При увеличении площади свободной поверхности жидкости внешними силами на  $\Delta x$  должна быть совершена работа

$$A = 2\sigma l \Delta x = \sigma \Delta S,$$

где  $\Delta S = 2l \Delta x$  – изменение площади свободной поверхности жидкости. Отсюда

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

т. е. коэффициент поверхностного натяжения численно равен работе, которую надо совершить, чтобы увеличить площадь поверхности жидкости на единицу.

Эта работа идет на увеличение энергии  $\Delta W_n$  свободной поверхности жидкости

$$\Delta W_n = \sigma \Delta S.$$

Из последнего равенства вытекает еще одно определение коэффициента поверхностного натяжения. Коэффициент поверхностного

натяжения  $\sigma$  численно равен потенциальной энергии единицы поверхности пленки жидкости:

$$\sigma = \frac{\Delta W_{\text{п}}}{\Delta S}.$$

Для данной жидкости коэффициент поверхностного натяжения зависит от температуры (с повышением температуры он уменьшается), а также от степени загрязненности поверхности жидкости.

Силы поверхностного натяжения вызывают искривление поверхности жидкости в капиллярной трубке, что ведет к появлению избыточного давления  $\Delta p$  в жидкости по сравнению с давлением под плоской поверхностью. В случае сферической поверхности это давление связано с радиусом ее кривизны  $r$  формулой Лапласа:

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{r}.$$

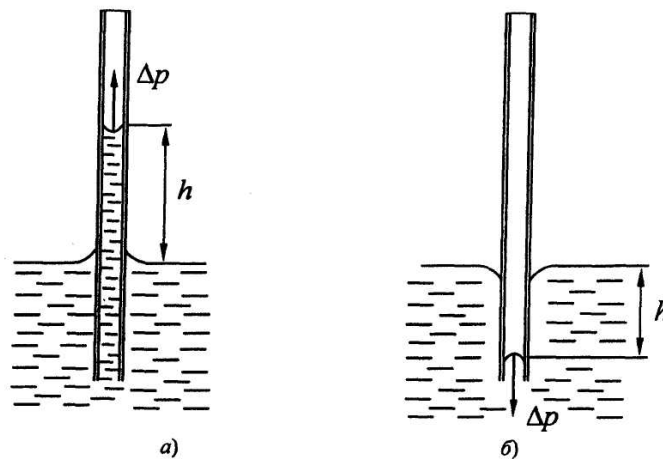


Рис. 8.3

Формулу Лапласа можно применять как к вогнутой (рис 8.3 а), так и к выпуклой (рис. 8.3 б) поверхности. В случае вогнутой поверхности нужно считать  $r < 0$  и соответственно  $\Delta p < 0$ ; для выпуклой, наоборот,  $r > 0$  и  $\Delta p > 0$ .

При выпуклом мениске  $\Delta p$  увеличивает то давление, которое существует под плоской поверхностью жидкости, что приводит к опусканию жидкости в капилляре относительно ее уровня в широком сосуде (рис. 8.3 б). При вогнутом мениске давление под плоской поверхностью уменьшается на величину  $\Delta p$ , что приводит к подъему жидкости в капилляре относительно ее уровня в широком сосуде (рис.8.3а).

Разность уровней  $h$  жидкости в капилляре и широком сосуде определяется из условия равновесия:

$$\Delta p = p_{\text{ст}},$$

где  $p_{\text{ст}} = \rho g h$  – гидростатическое давление столба жидкости высотой  $h$  плотностью  $\rho$ ;  $g$  – ускорение свободного падения.

Подставив в это равенство значения  $\Delta p$  и  $p_{\text{ст}}$ , получим

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

Измерение капиллярного поднятия (опускания) жидкости является одним из простых способов определения  $\sigma$ .

## ***От авторов***

***Возникли трудности в усвоении теоретического курса или в его применении при решении конкретных задач, тестов – записывайтесь на наши курсы и мы поможем Вам подойти к экзамену во всеоружии.***

***Наш адрес:***

***190031, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, дом 9, ПГУПС, факультет довузовской подготовки.***

***Наши телефоны отдела заочной формы обучения:***

***8 (931) 214-51-45;***

***8 (812) 457-88-07 .***