

# Молекулярная физика

## *Жидкость и пар*



---

Для изучения темы в  
курсе 10  
профильного класса

---



Учитель физики БОУ «Тарская гимназия №1  
им. А.М.Луппова» Гайсина И.В.



- ❑ Переходы вещества из одной фазы в другую при изменении состояния системы называют ***фазовыми превращениями*** (переходами). ***Фаза*** – равновесное состояние вещества, отличающееся по своим физическим свойствам от других состояний того же вещества.
- ❑ Основная характеристика фазовых превращений – ***температура***.

- **Пар** – газообразное состояние вещества при температуре ниже критической.
- **Критическая температура** – максимальная температура, при которой пар превращается в жидкость.
- Критическая температура зависит от потенциальной энергии взаимодействия молекул и поэтому различна для разных газов (из–за сильного взаимодействия молекул воды водяной пар можно превратить в воду при температуре 647К).



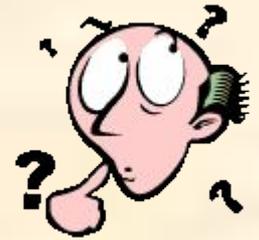
# *Испарение и конденсация*

---

- *Испарение* – парообразование со свободной поверхности жидкости.
- *Конденсация* – переход вещества из газообразного состояния в жидкое.



# Насыщенный пар



- Пар, находящийся в термодинамическом равновесии со своей жидкостью, называется **насыщенным**.
- Пар, не находящийся в состоянии термодинамического равновесия со своей жидкостью, называется **ненасыщенным**.
- **Термодинамическое равновесие:** количество молекул, покидающих жидкость в единицу времени, равняется количеству молекул, возвращающихся обратно в жидкость.

**□ Точка росы  $t_r$**  – температура, при которой пар, находящийся в воздухе, становится насыщенным.

---

При охлаждении ниже точки росы начинается конденсация паров:  
***появляется туман, выпадает роса, запотевают окна.***





- 
- Главный *источник водяного пара* в атмосфере – испарение воды с поверхности океанов, морей, водоемов, влажной почвы, растений, поэтому в атмосфере Земли всегда содержится водяной пар.
  - Воздух в зависимости от количества паров, находящихся при данной температуре в атмосфере, делится на *сухой* и *влажный*.

## ***Абсолютная влажность $\rho$***

показывает, сколько граммов водяного пара содержится в воздухе объемом  $1\text{м}^3$  при данных условиях, т.е. плотность водяного пара.

$$[\rho] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

# Относительная влажность воздуха



---

Зная абсолютную влажность воздуха, нельзя сказать, сухой это воздух или влажный. Чтобы судить о степени влажности воздуха, важно знать, насколько содержащийся в нем пар близок к состоянию насыщения. Для этого вводится понятие относительной влажности воздуха.

# *Относительная влажность воздуха $\varphi$*

Называется отношение абсолютной влажности воздуха  $\rho$  к плотности насыщенного пара  $\rho_0$  при той же температуре, выраженное в процентах:

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100\%$$

# Относительная влажность воздуха $\varphi$

- процентное отношение концентрации водяного пара в воздухе к концентрации насыщенного пара при той же температуре:

$$\varphi = \frac{n}{n_{н.п.}} \cdot 100\%$$

- процентное отношение давления водяного пара в воздухе к давлению насыщенного пара при той же температуре:

$$\varphi = \frac{P}{P_{н.п.}} \cdot 100\%$$

(Т.к. давление пара пропорционально его концентрации:  $p = nkT$ .)

$$[\varphi] = \%$$

# *Субъективное ощущение влажности воздуха человеком*

$\varphi < 40 \%$

*СУХО*

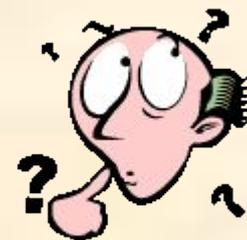
$\varphi = 80 \% \text{ и } >$

*СЫРО*

$\varphi = \text{от } 40 \text{ до } 60\text{-}70 \%$

*НОРМАЛЬНО,  
КОМФОРТНО!*

# *Измерение влажности*



Приборы для измерения  
влажности воздуха:

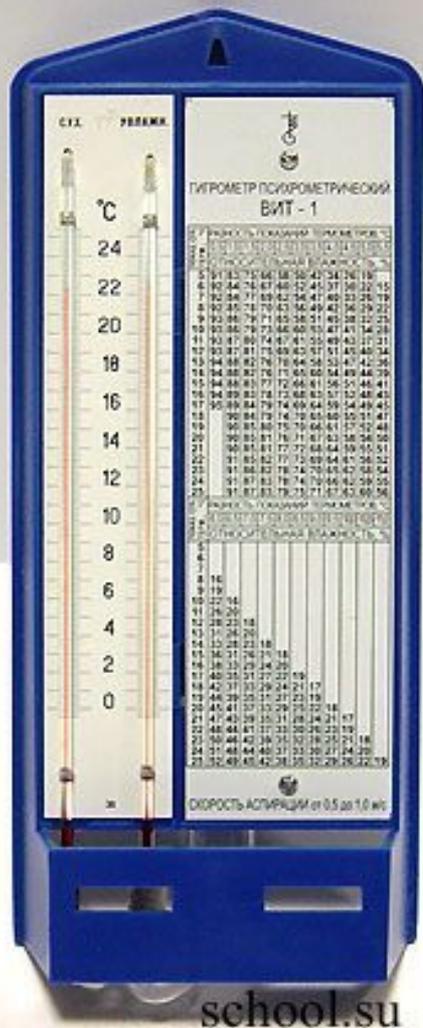
- Психрометрический  
гигрометр (психрометр)
- Волосной гигрометр
- Конденсационный  
гигрометр

(от греческого «гигрос» – влажный)



**Психрометр** состоит из двух

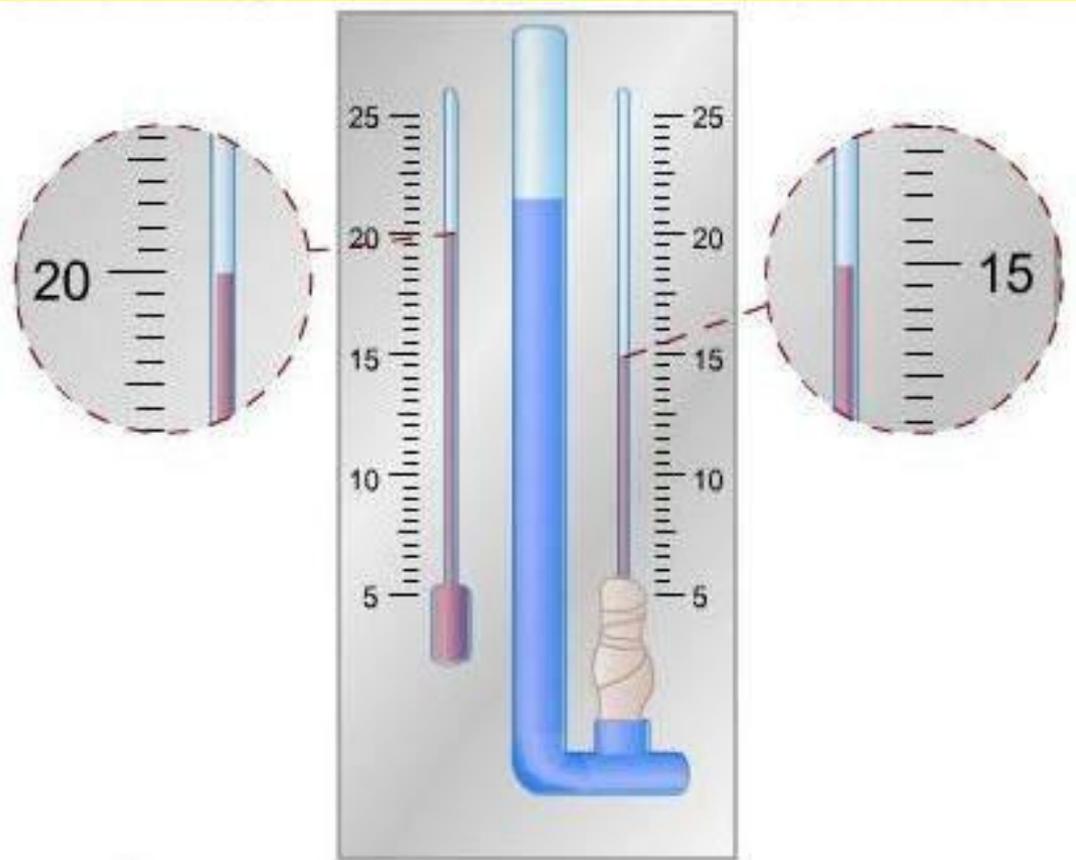
термометров, шарик одного из них обмотан тканью, нижние концы которой опущены в сосуд с водой. **Сухой** термометр регистрирует температуру воздуха, а **влажный** — температуру испаряющейся воды. При испарении жидкости ее температура понижается. Чем суше воздух, тем интенсивнее испаряется вода из влажной ткани и тем ниже ее температура. Следовательно, разность показаний сухого и влажного термометров зависит от относительной влажности воздуха. Зная эту разность температур, определяют относительную влажность воздуха по специальным психрометрическим таблицам.



# ПСИХРОМЕТРИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА

Показание сухого термометра, °C	Разность показаний сухого и влажного термометров, °C					
	0	1	2	3	4	5
	Относительная влажность, %					
15	100	90	80	71	61	52
16	100	90	81	71	62	54
17	100	90	81	72	64	55
18	100	91	82	73	65	56
19	100	91	82	74	65	58
20	100	91	83	74	66	59
21	100	91	83	75	67	60
22	100	92	83	76	68	61
23	100	92	84	76	69	61
24	100	92	84	77	69	62
25	100	92	84	77	70	63
26	100	92	85	78	71	64
27	100	92	85	78	71	65

# Психрометр



Ответьте на следующие вопросы:

1. По психрометру определите, чему равна температура воздуха?

**Ответ: 20°C**

2. Какую температуру показывает влажный термометр?

**Ответ: 15°C**

3. Пользуясь «Психометрической таблицей», определите относительную влажность воздуха.

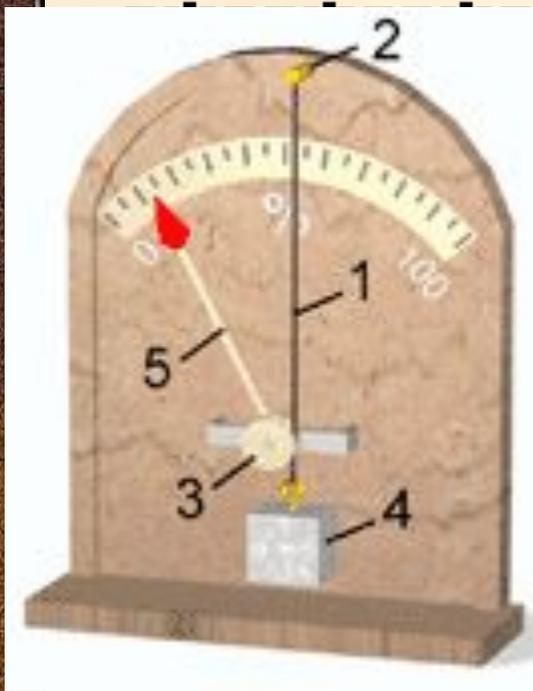
**Ответ: 59 %**

**Определить относительную влажность по следующим данным:**

показания сухого термометра  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$

показания влажного термометра  $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



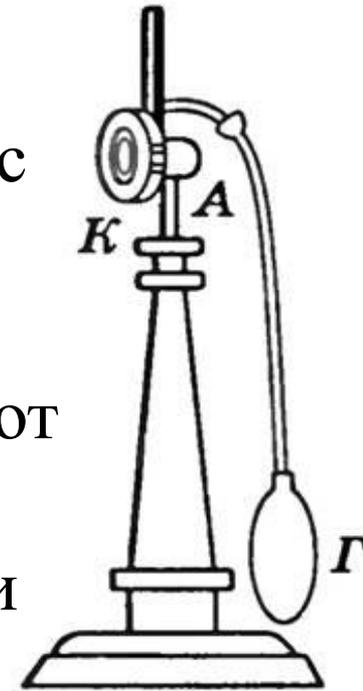


***Волосной гигрометр***, в котором деталью, чувствительной к изменению влажности, служит обезжиренный человеческий волос [1]. Он закреплен в верхней части прибора [2], обернут вокруг ролика [3] и натянут при помощи специально подобранного груза [4]. К ролику прикреплена стрелка [5]. При увеличении относительной влажности воздуха волос удлиняется и вызывает вращение ролика вместе со стрелкой. Стрелка, передвигаясь по шкале, указывает значение влажности воздуха, выраженное в процентах.

## *Конденсационный гигрометр*

представляет собой металлическую коробку *A*, передняя стенка *K* хорошо отполирована.

Внутри коробки наливают легко испаряющуюся жидкость и вставляют термометр. Пропуская через коробку воздух с помощью резиновой груши *Г*, вызывают сильное испарение эфира и быстрое охлаждение коробки. По термометру замечают температуру, при которой появляются капельки росы на полированной поверхности стенки *K*. Появление росы указывает, что водяной пар стал насыщенным. Определение *точки росы*- наиболее точный способ измерения относительной влажности воздуха.



# *Значение влажности воздуха*

---

- Если не увлажнять воздух искусственным путём, то недостаток влаги будет компенсироваться испарением с нашей кожи и слизистых оболочек, а также из растений, мебели и т.д.
- *Нормальные условия по санитарным требованиям к учебным помещениям: Температура 18–21°C и влажность воздуха 40–60%.*

Для человека благоприятная относительная влажность воздуха 40 – 60%.

***Влажность воздуха в помещении можно изменять***

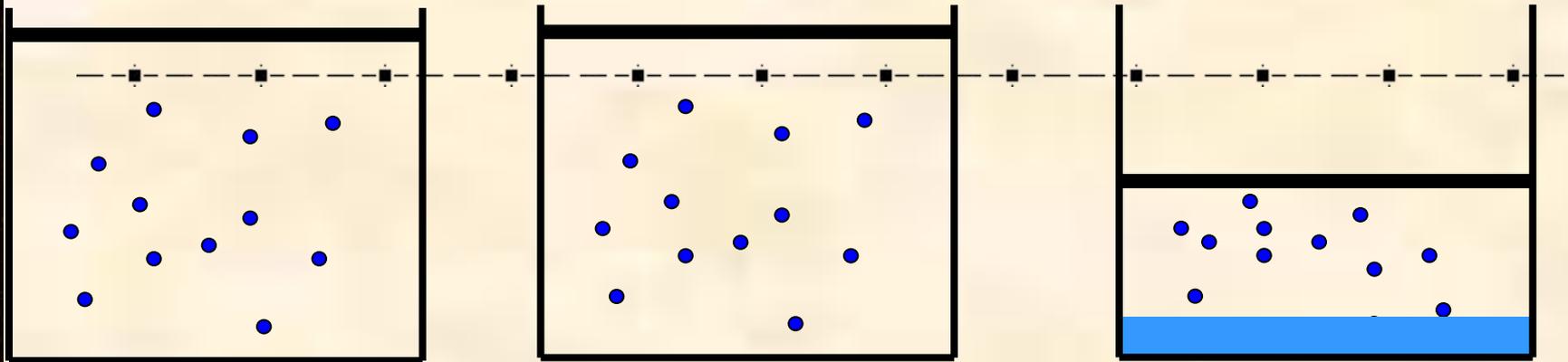
***Для повышения***

- **Увлажнители**

***Для понижения***

- **Кондиционеры**
- **Осушители**

# Давление насыщенного пара



$p_1, V_1$

$p_2, V_2$

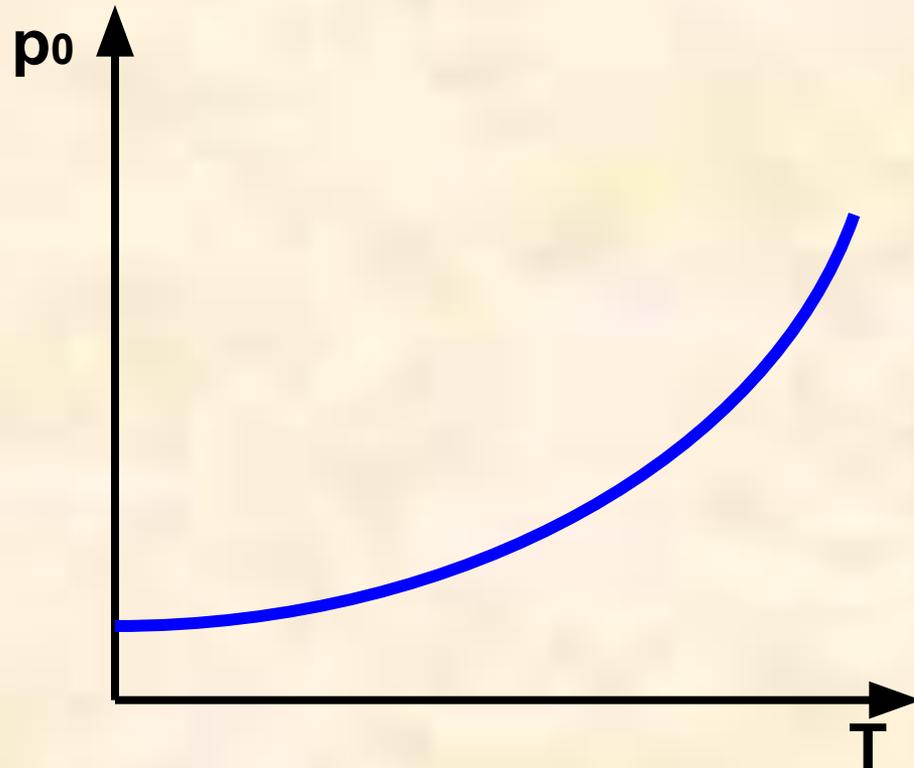
$p_1 = p_2$

□ Давление насыщенного пара при данной температуре – максимальное давление, которое может иметь пар над жидкостью при этой температуре.

□ Давление насыщенного пара при данной температуре не зависит от занимаемого им объема.

# Давление насыщенного пара

- Давление насыщенного пара зависит только от температуры.



# *Испарение и кипение*



**Процесс**  
парообразования с  
поверхности  
жидкости.

Происходит при  
любой температуре.

*Скорость испарения*

*зависит от:*

- Рода жидкости
- Температуры
- Площади поверхности
- Наличие ветра

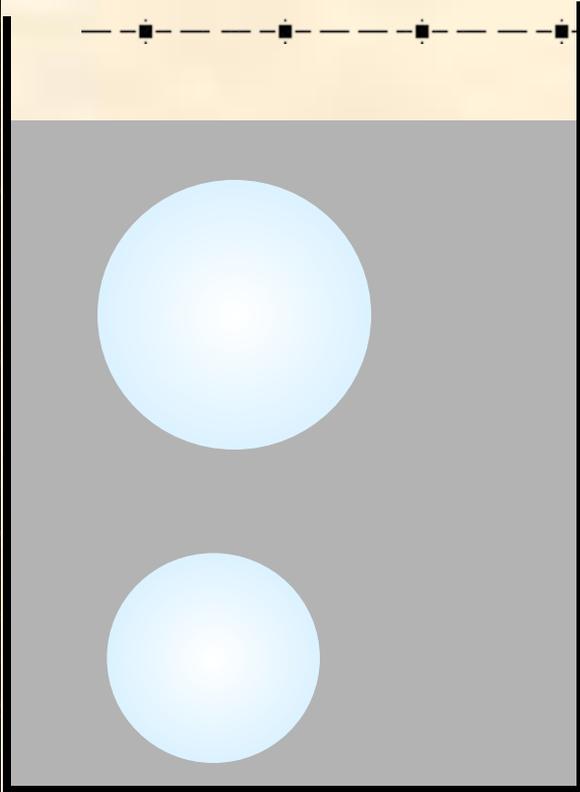


**Процесс парообразования**  
по всему объему жидкости  
при определенной  
температуре.

Происходит при  
температуре  
кипения.

Чем ниже давление,  
тем ниже температура  
кипения.

# Кипение



- Чем больше внешнее давление, тем выше температура кипения.
- Кипение начинается при температуре, при которой давление насыщенного пара в пузырьках сравнивается с давлением в жидкости.
- Чем выше давление насыщенного пара, тем ниже температура кипения соответствующей жидкости.

## □ Удельная теплота парообразования

(обозначают  $L$ ) – физическая величина, показывающая какое количество теплоты необходимо для превращения 1 кг жидкости в пар при постоянной температуре. Ее единица:  $1 \text{ Дж} / \text{кг}$ .

$$Q = L \cdot m$$

□ Количество теплоты, которое выделяет пар массой  $m$ , конденсируя при температуре кипения, определяют по той же формуле.

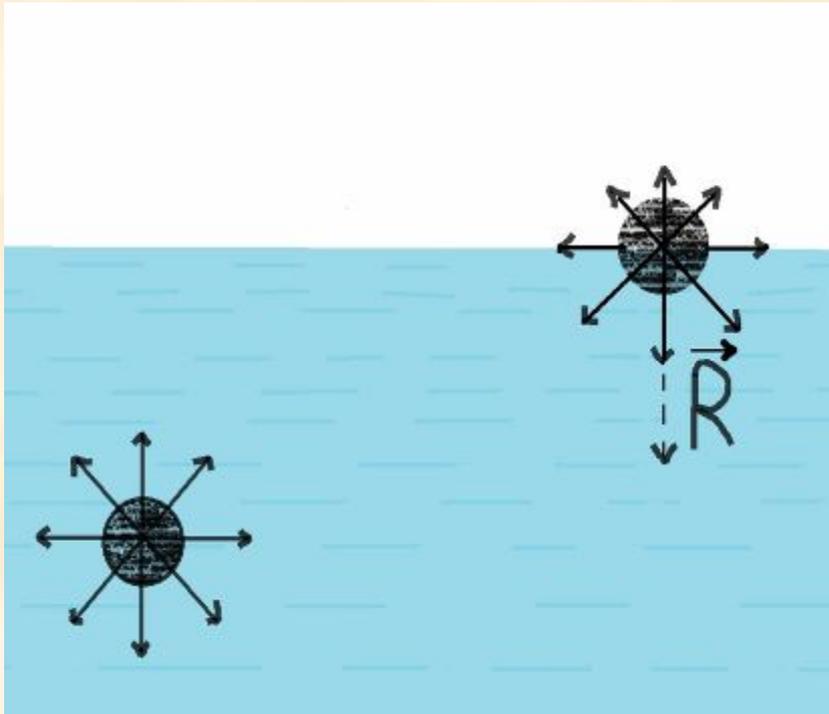
# *Поверхностное натяжение*

---

- *Поверхностное натяжение* – явление молекулярного давления на жидкость, вызванное притяжением молекул поверхностного слоя к молекулам внутри жидкости.
- *Сила поверхностного натяжения* – сила, направленная по касательной к поверхности жидкости, перпендикулярно участку контура, ограничивающего поверхность, в сторону ее сокращения.

# *У жидкости есть свободная поверхность*

---



Равнодействующая сил, действующая на каждую молекулу на поверхности жидкости, будет направлена вглубь жидкости, перпендикулярно поверхности.

Поверхностные молекулы втягиваются внутрь жидкости.

# Энергия поверхностного слоя

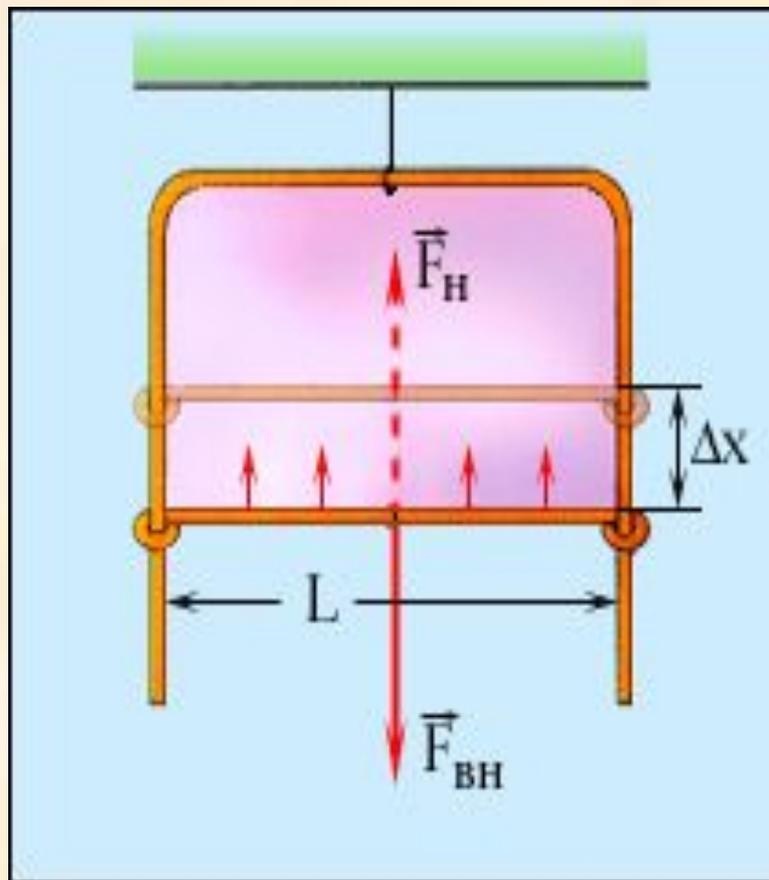
- Молекулы поверхностного слоя обладают избыточной по сравнению с молекулами внутри жидкости потенциальной энергией, т.е. *поверхностной энергией*

$$E_{\text{п}} = \sigma S$$

( $\sigma$ - коэффициент поверхностного натяжения,  $S$  - площадь поверхности)

- Жидкость принимает такую форму, при которой эта энергия будет иметь минимальное значение, а ее площадь оказывается минимальной для данного объема жидкости.

# Механизм возникновения поверхностного натяжения



Если в мыльный раствор опустить проволочную рамку, одна из сторон которой подвижна, то на ней образуется пленка жидкости.

Силы поверхностного натяжения стремятся сократить поверхность пленки и направлены вверх.

Если под действием силы перекладина переместится на  $\Delta x$ , то будет произведена работа  $\Delta A_{\text{внеш}} = F_{\text{внеш}} \Delta x = \Delta E_p = \sigma \Delta S$ , где  $\Delta S = 2L \Delta x$  – приращение площади поверхности обеих сторон мыльной пленки.

Условие равновесия подвижной стороны рамки  $F_{\text{внеш}} = F_{\text{пов}}$

$\Delta S = \Delta x 2L = \Delta x l$  – приращение площади поверхности обеих сторон мыльной пленки, где  $l = 2L$  – длина периметра, ограничивающего поверхность жидкости.

Так как модули сил одинаковы, можно записать:

$$F_{\text{пов}} \Delta x = \sigma l \Delta x, \text{ тогда } F_{\text{пов}} = \sigma l$$

Сила поверхностного натяжения пропорциональна длине  $l$  границы поверхностного слоя.

# *Формы минимальных поверхностей жидкостей*



*Жидкость в  
свободном  
состоянии  
принимает  
форму шара.*

*Формы минимальных  
поверхностей жидкостей*



**Водомерки** легко скользят по поверхности воды. Лапка водомерки, покрытая воскообразным налётом, не смачивается водой, поверхностный слой воды прогибается под давлением лапки, образуя небольшое углубление.

### **Клоп-водомерка**

умело использует силу поверхностного натяжения, удерживающую его на поверхности воды. Он не тонет, поскольку вес клопа меньше силы поверхностного натяжения.



***Мыльный пузырь*** – тонкая многослойная пленка мыльной воды, наполненная воздухом, обычно в виде сферы с переливчатой поверхностью (в этом проявляется действие сил поверхностного натяжения).



# Смачивание, капиллярность

□ **Смачивание** – искривление поверхности жидкости у поверхности твердого тела в результате взаимодействия молекул жидкости с молекулами твердого тела.

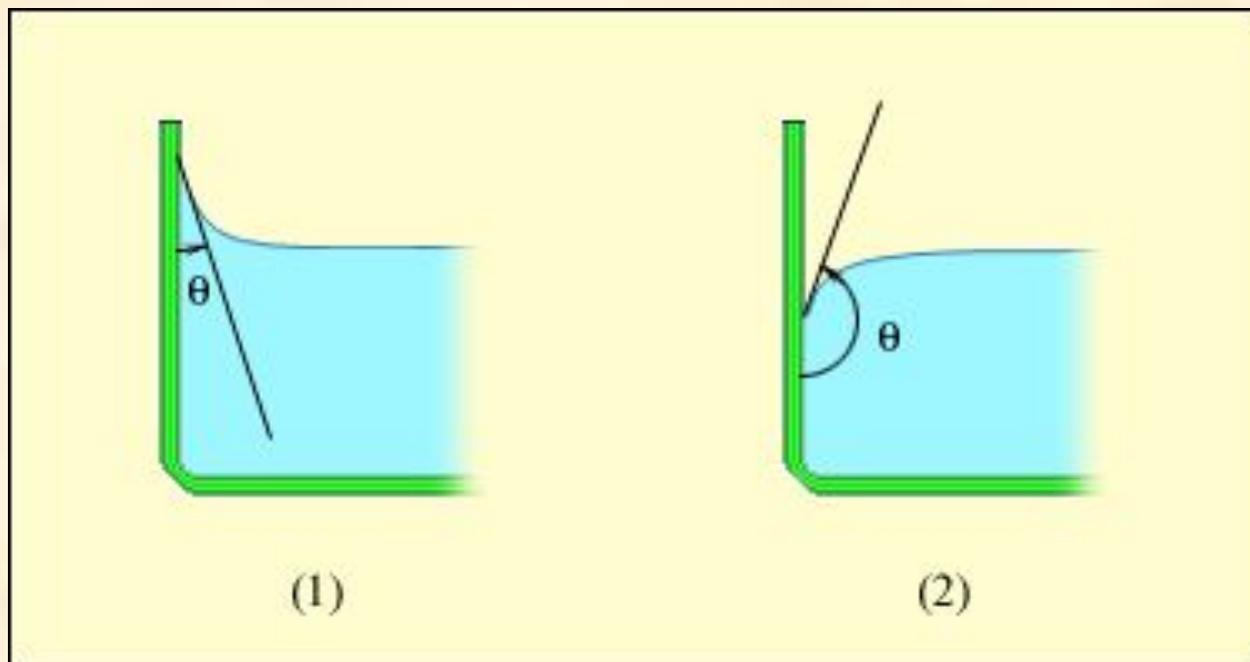
а) Жидкость **смачивает** поверхность, если силы притяжения между молекулами жидкости и твердого тела больше, чем сила притяжения между молекулами жидкости (вода смачивает стекло).

б) а) Жидкость **не смачивает** поверхность, если сила притяжения между молекулами жидкости больше сил притяжения между молекулами жидкости и твердого тела (вода не смачивает парафин).

# Смачивание, капиллярность

□ **Угол смачивания** – угол между плоскостью, касательной к поверхности жидкости, и стенкой.

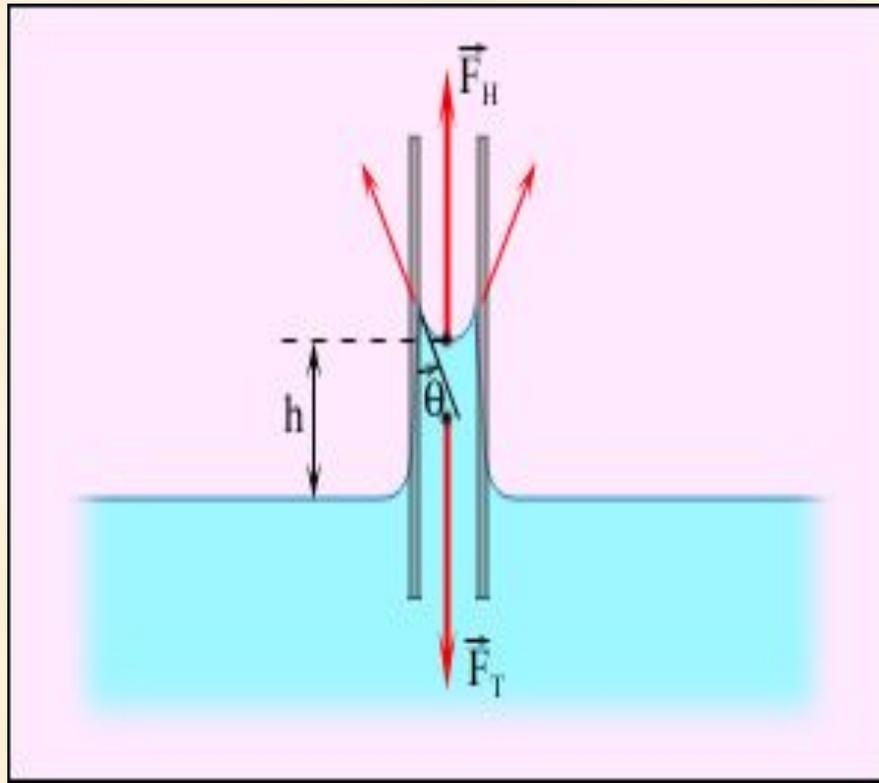
- 1) Для смачивающей жидкости угол смачивания острый.
- 2) Для несмачивающей жидкости угол смачивания тупой.



# Смачивание, капиллярность

□ **Капиллярность** – явление подъема или опускания жидкости в капиллярах (трубках малого диаметра).

- а) Смачивающая жидкость поднимается в капилляре.
- б) Несмачивающая жидкость опускается в капилляре.



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

# *Смачивание, капиллярность*

---

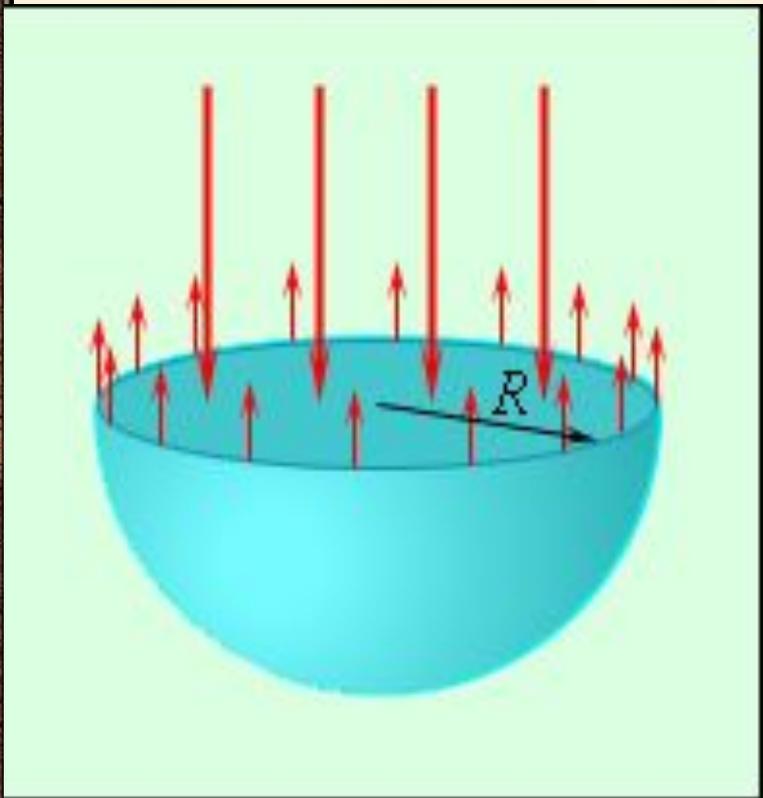
Высота подъема жидкости в капилляре зависит от свойств жидкости (ее поверхностного натяжения и плотности).

Чем меньше радиус капилляра, тем больше высота подъема жидкости в капилляре.

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

# Сечение сферической капли жидкости

Из-за действия сил поверхностного натяжения в каплях жидкости и внутри мыльных пузырей возникает *избыточное давление  $\Delta p$* .



Если мысленно разрезать сферическую каплю радиуса  $R$  на две половинки, то каждая из них должна находиться в равновесии под действием сил поверхностного натяжения, приложенных к границе раздела длиной  $2\pi R$ , и сил избыточного давления, действующих на площадь сечения  $\pi R^2$ :

$$\sigma 2\pi R = \Delta p \pi R^2$$

# Формула Лапласа

---

- **Избыточное давление**, вызванное одной искривленной поверхностью (**внутри капли жидкости**)

$$\Delta p = 2\sigma/R$$

- **Избыточное давление внутри мыльного пузыря** (он имеет две искривленные поверхности - внутреннюю и внешнюю)

$$\Delta p = 4\sigma/R .$$

# Вопросы:

- Мыльный пузырь выдули через соломинку так, что он повис на одном ее конце. Что произойдет с пламенем свечи, если к нему поднести другой, открытый конец соломинки? Как будет зависеть поведение пламени от диаметра пузыря?
- Пламя отклонится в сторону под действием струйки воздуха, вытекающего через соломинку из стягиваемого поверхностными силами пузыря. Отклонение пламени будет тем сильнее, чем меньше диаметр пузыря.

□ Почему две спички, плавающие на поверхности воды вблизи друг от друга, притягиваются?

- Из-за капиллярных эффектов вода между двумя близко расположенными спичками поднимается вверх. Давление в воде между спичками оказывается ниже атмосферного. Это и приводит к тому, что спички сближаются.

□ Если кусочек мела положить в воду, то из него по всем направлениям начнут выходить пузырьки. Почему это происходит?

- Вода смачивает мел, входит в его поры и вытесняет из них воздух.

□ Куда девается мыльная пленка, когда она лопается?

- 
- Пленка собирается в капельку, которая из-за малой толщины пленки имеет очень малый диаметр.

□ Можно ли показать, не пользуясь никакими приборами, что коэффициент поверхностного натяжения у мыльного раствора меньше, чем у чистой воды?

- Бросьте небольшое количество мыльной пены на чистую воду — комочки пены разбегутся в стороны.



---

*Спасибо  
за внимание!*

