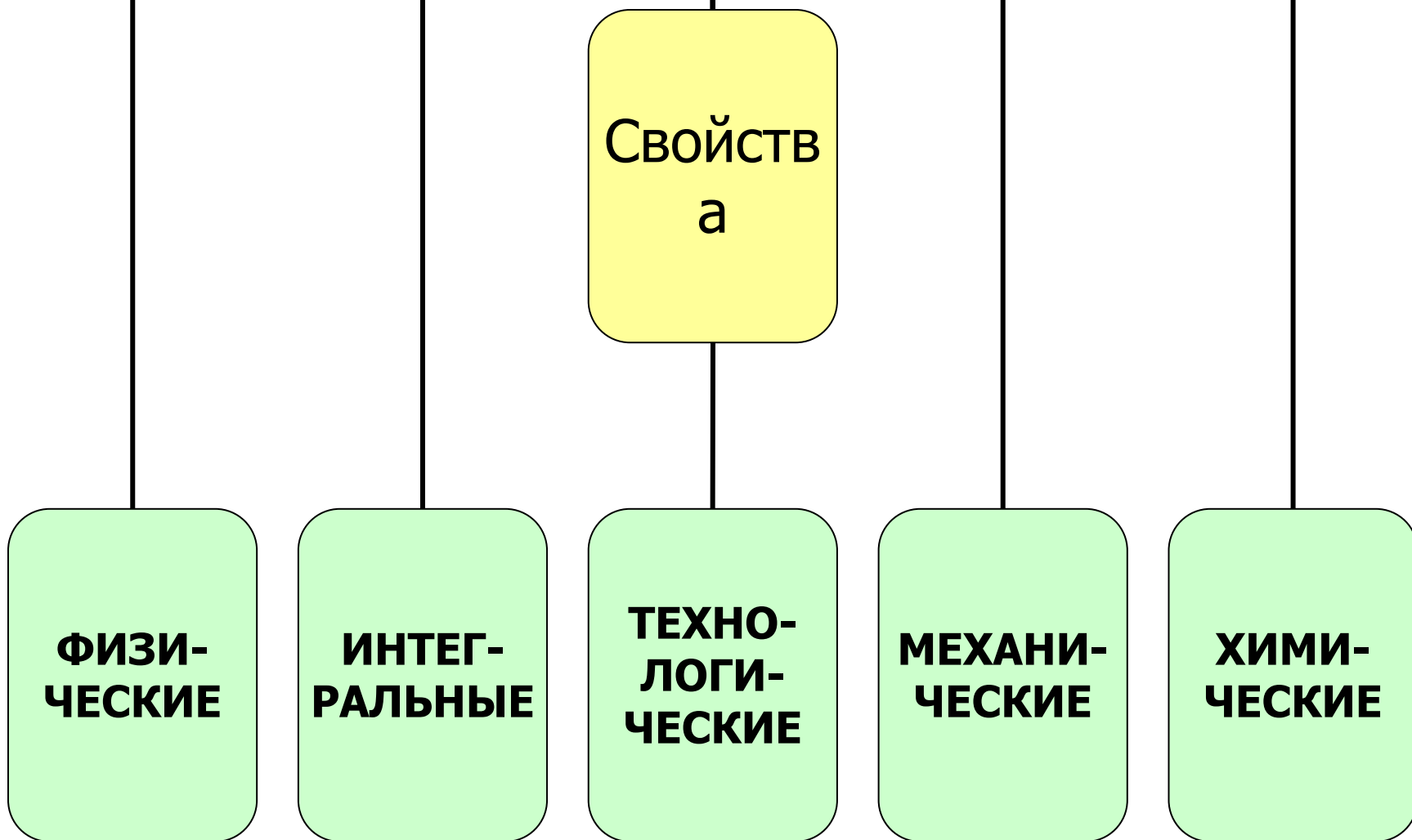


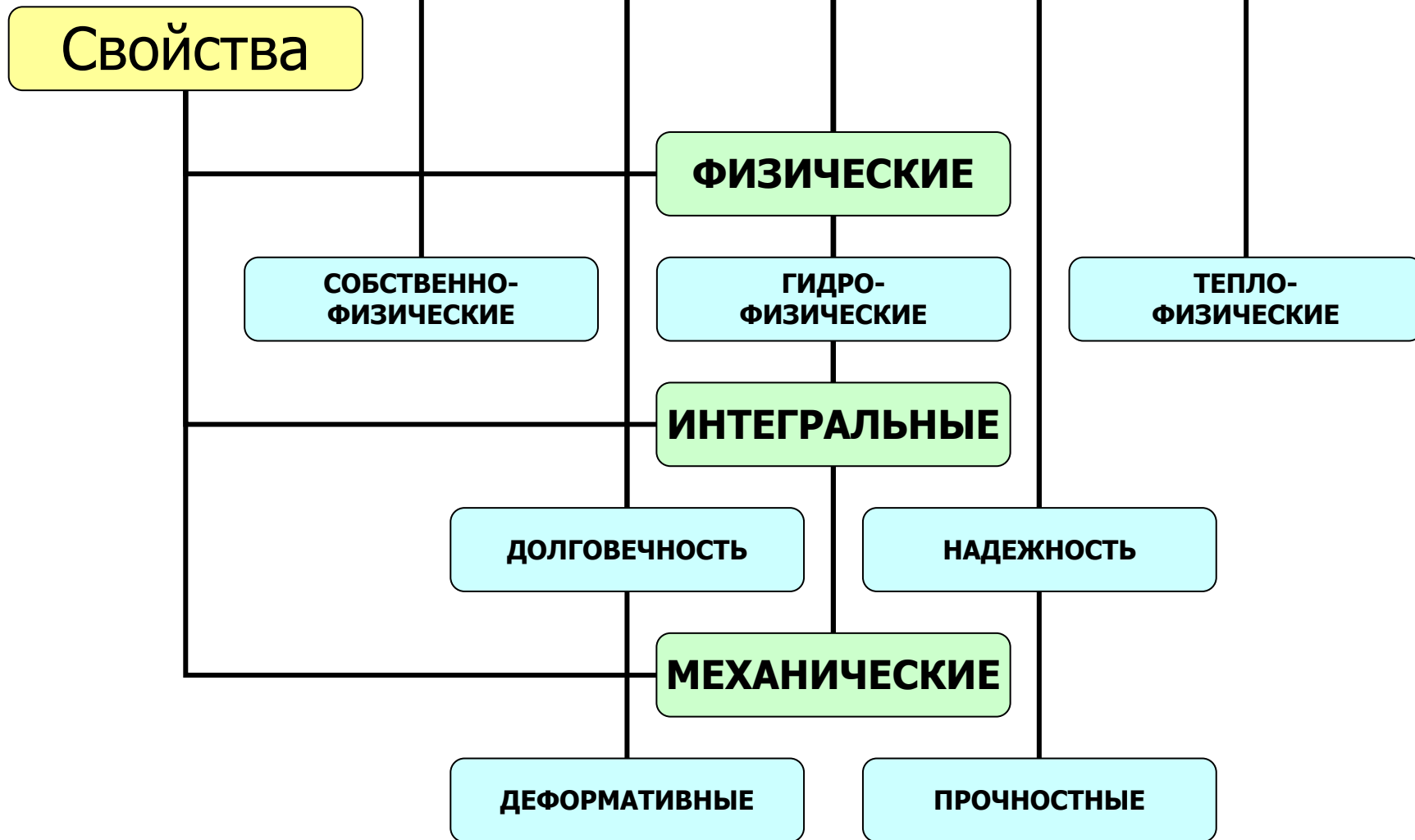
## Тема 2. Основные свойства материалов

- *Свойство — это отличительная особенность вещества, материала или изделия, которая проявляется во взаимодействии с окружающей средой или с другими веществами и соединениями.*
- Количественно свойства определяются при испытании и, как правило, выражаются в физических величинах в соответствии с действующими стандартами.

В зависимости от вида окружающей среды и характера взаимодействия все свойства объединены в группы



# КЛАССИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ



- **Свойства материала являются производными от его состава, химических связей и структуры, они взаимосвязаны и находятся в равновесии.**
- При изменении какого-либо одного свойства под действием каких-то факторов в большей или меньшей степени изменяются и другие свойства материала.
- В материаловедении хорошо известны такие зависимости, как плотность — теплопроводность, плотность — прочность, теплопроводность — электропроводность, упругость — пластичность и др.

- Основные *структурные характеристики* материала, во многом определяющие его технические свойства,— это ***плотность*** и ***пористость материала*** и ***плотность вещества***, из которого состоит материал.
- Формируются в процессе образования материалов в природных условиях (природные материалы) или в процессе промышленного производства (искусственные материалы).

# УДЕЛЬНЫЕ И СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- истинная плотность,
- средняя плотность,
- насыпная плотность,
- общая пористость,
- открытая пористость,
- закрытая пористость

# Формула нахождения плотности

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$\rho$  – плотность тела, кг/м<sup>3</sup>  
 $m$  – масса тела, кг  
 $V$  – объем тела, м<sup>3</sup>

# Виды плотности и единицы измерения

- **Плотность** измеряется в  $кг/м^3$  в системе СИ и в  $г/см^3$  в системе СГС, остальные единицы ( $г/мл$ ,  $кг/л$ ,  $1 т/м^3$ ) – производные.

Для пористых тел различают:

- - **истинную плотность**, определяемую без учёта пустот.
- - **кажущуюся (среднюю)** плотность, рассчитываемую как отношение массы вещества ко всему занимаемому им объёму
- Для сыпучих материалов существует специальная характеристика — **насыпная плотность** при, расчете которой в объем материала включается и объем пустот между его зернами.



## *Средняя плотность материалов*

- *Средняя плотность* материала меняется в зависимости от его структуры.
- Так, искусственные материалы (бетоны, керамику и т. п.) путем изменения их структуры можно получать с заданной (требуемой) плотностью.
- Например, меняя пористость бетона, можно получить тяжелый бетон плотностью более  $2200 \text{ кг/м}^3$  или особо легкий — плотностью менее  $500 \text{ кг/м}^3$ .

- ***Истинная плотность*** каждого вещества — постоянная характеристика (физическая константа), которая не может быть изменена, как средняя плотность материала, без изменения его химического состава или молекулярной структуры.
- В этом заключается существенное отличие истинной плотности от средней.
- Значения ***истинной плотности*** вещества зависят в основном от его ***химического состава***, и у материалов с близким химическим составом значения плотности почти не отличаются.

## *Истинная плотность материалов*

- У каменных материалов как природных (песок, гранит, известняк), так и искусственных (кирпич, бетон, стекло), состоящих в основном из оксидов кремния, алюминия и кальция, истинная плотность колеблется в пределах 2500...3000 кг/м<sup>3</sup>.
- Истинная плотность органических материалов, состоящих в основном из углерода, водорода и кислорода (битум, полимеры, масла), составляют 800...1200 кг/м<sup>3</sup>.
- Относительно высокая истинная плотность у древесины — около 1500 кг/м<sup>3</sup>.
- Большие различия в истинной плотности наблюдаются лишь у металлов (кг/м<sup>3</sup>): алюминий — 2700, сталь — 7850, свинец — 1130.
- Плотность воды 1000 кг/м<sup>3</sup>.

# Определение истинной плотности

Истинную плотность **непористых** материалов определяют измерением их **массы** и **объема** в сухом состоянии.

**Масса** сухого образца определяется взвешиванием на технических или аналитических весах.

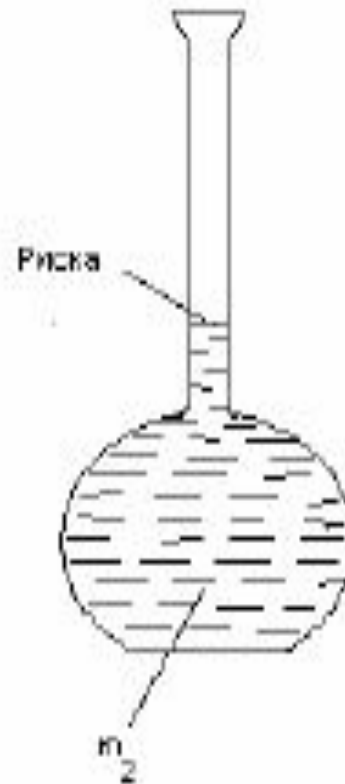
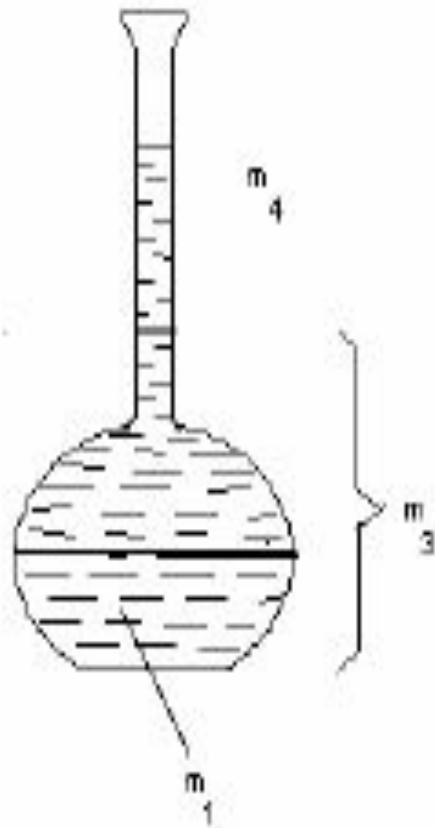
**Объем** образца правильных геометрических форм (пластина, лист, куб, шар и другие) вычисляют по результатам измерений его габаритных размеров линейкой, штангенциркулем или микрометром.

Объем образцов неправильной произвольной формы определяют по результатам **гидростатического взвешивания**.

# Истинная плотность пористых материалов

- масса единицы объема вещества в абсолютно плотном состоянии (без пор, без пустот, без трещин)
- Для определения истинной плотности пористых материалов используют пикнометр.
- Пикнометр представляет собой стеклянный сосуд объемом 10, 25 или 50 см<sup>3</sup>. На длинной его шейке нанесена риска, отмечающая объем.
- Чтобы избавиться от пор, материал измельчают до порошкообразного состояния, взвешивают ( $m_1$ ) и помещают в пикнометр. Из слоя измельченного материала удаляют воздух вакуумированием, либо кипятят. Заливают пикнометр с измельченным материалом жидкостью до метки на горловине и взвешивают ( $m_3$ ).
- Предварительно взвешивают пикнометр с жидкостью, также заполняя его до метки на горловине ( $m_2$ ).
- Далее путем несложных вычислений определяют массу вытесненной материалом жидкости и ее объем. Плотность жидкости заполняющей пикнометр должна быть известна.

# Определение истинной плотности с помощью пикнометра



$$m_4 = (m_2 + m_1) - m_3$$

$$V = m_4 / \rho_{\text{ж}}$$

$$\rho = m_1 / V$$

- Измерения объёма значительно упрощаются, если вместо одной метки у пикнометра имеется шкала. Очень удобен в работе пикнометр с боковой капиллярной трубкой, у которой пробкой служит тело термометра.



# Средняя плотность материалов (объемная масса)

- масса единичного объема вещества в естественном состоянии.

$$\rho = m/V ,$$

где  $m$  - масса материала (образца) в сухом состоянии,

$V$  – объем образца в естественном состоянии.

Для определения объема тел неправильной формы (камень) используют упрощенный объемомер или гидростатическое взвешивание.

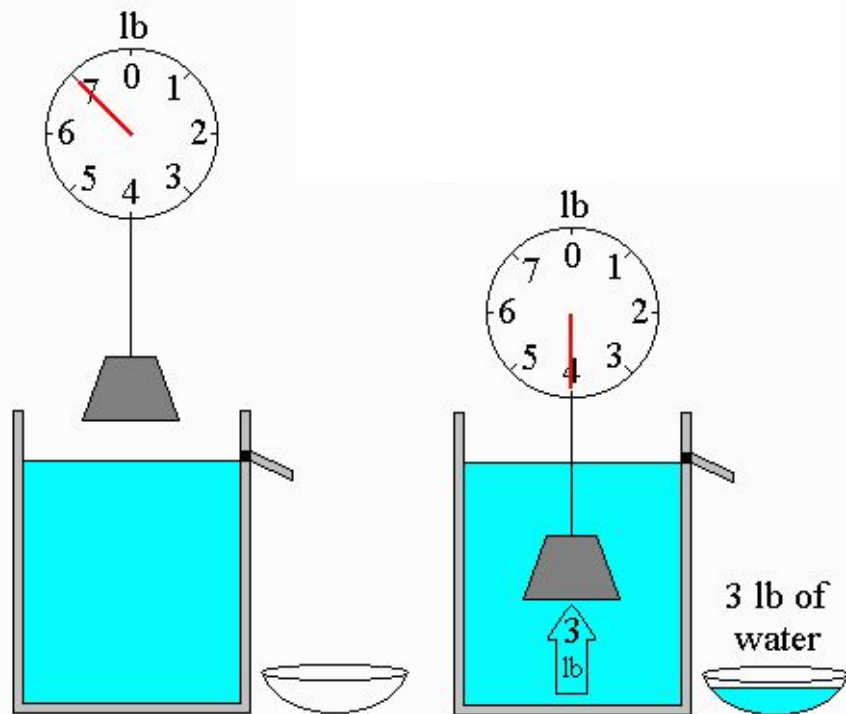


## *Гидростатическое взвешивание*

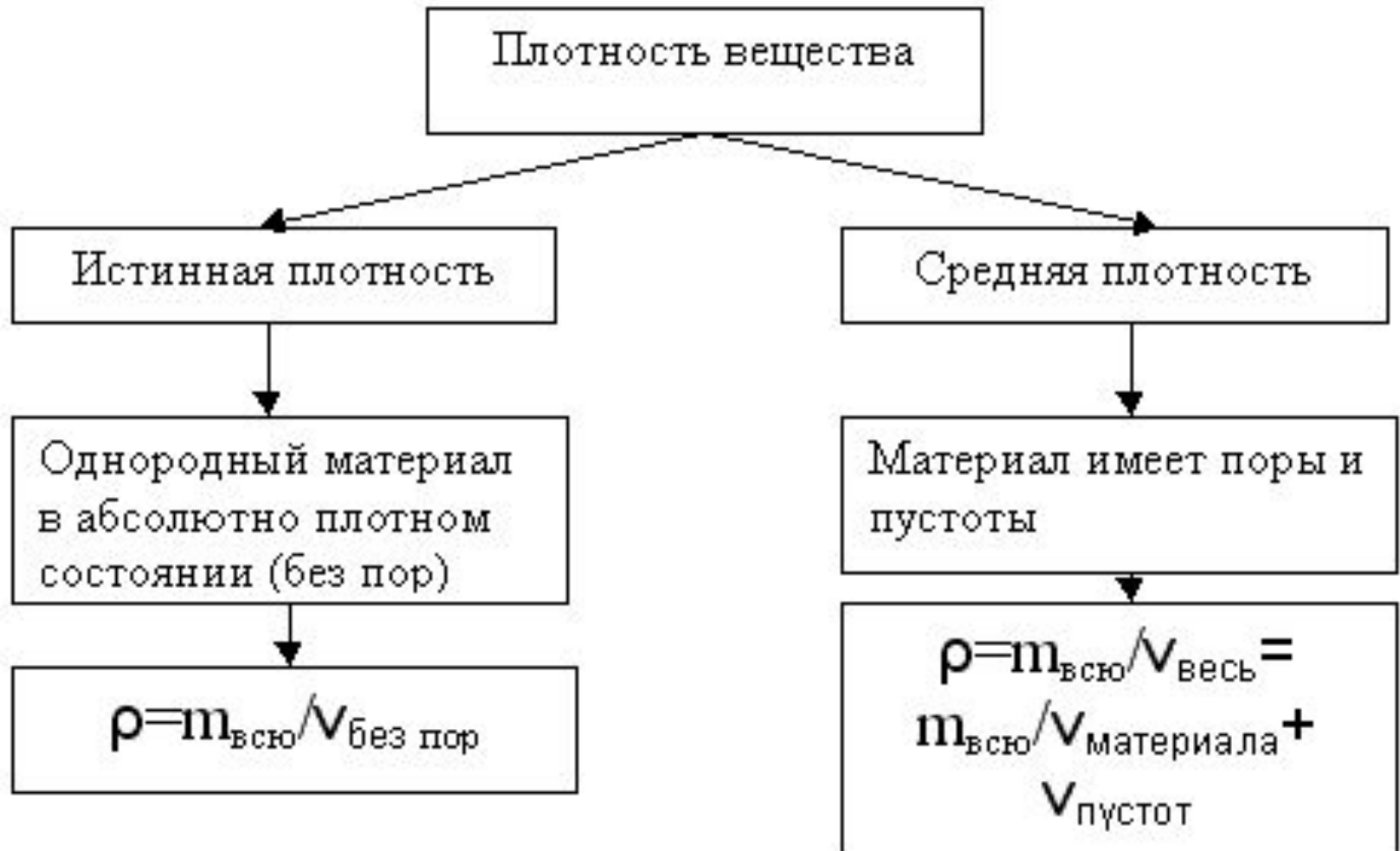
- Метод измерения плотности жидкостей и твёрдых тел, основанный на *законе Архимеда*.
- Плотность твёрдого тела определяют его двукратным взвешиванием — сначала в воздухе, а затем в жидкости, плотность которой известна (обычно в дистиллированной воде);
- при первом взвешивании определяется масса тела, по разности результатов обоих взвешиваний — его объём.
- **Гидростатическое взвешивание** в зависимости от требуемой точности производят на технических, аналитических или образцовых весах.

# ЗАКОН АРХИМЕДА

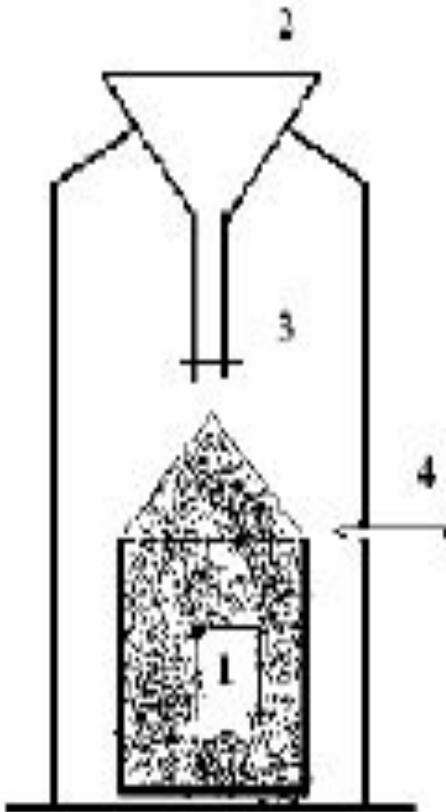
- закон статики жидкостей и газов, согласно которому на погруженное в жидкость (или газ) тело действует выталкивающая сила, равная весу жидкости в объеме тела.



# Истинная и средняя плотность материалов



# Определение насыпной плотности материала



Определение насыпной плотности сыпучих материалов производят засыпкой их в предварительно взвешенный ( $m_1$ ) мерный цилиндр (1) через воронку (2). Воронка обеспечивает равномерное заполнение мерного цилиндра материалом.

Образовавшуюся (без уплотнения) над краями цилиндра горку материала срезают ножом (4) или линейкой, поставленными на ребро вертикально, без уплотнения.

После этого цилиндр с материалом взвешивают ( $m_2$ ).

Объем материала равен объему цилиндра ( $V$ ).

Насыпную плотность вычисляют по формуле:

$$\rho_{\text{нас.}} = (m_2 - m_1) / V$$

- **Прибор для определения плотности GeoPyc1360**

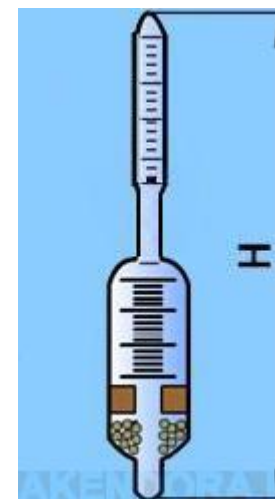
- новейший прибор для определения средней плотности пористых материалов неправильной формы, а также насыпной плотности порошковых и гранулированных материалов при различных давлениях.



Объем образца, включающий поры и пустоты, определяется путем помещения его в квазижидкую среду, состоящую из маленьких полимерных сфер. Прибор фиксирует данные, делает необходимые вычисления и выводит данные на принтер или экран. Если ввести значение истинной плотности этого же образца то прибор выдает данные по общей пористости и удельному объему пор.

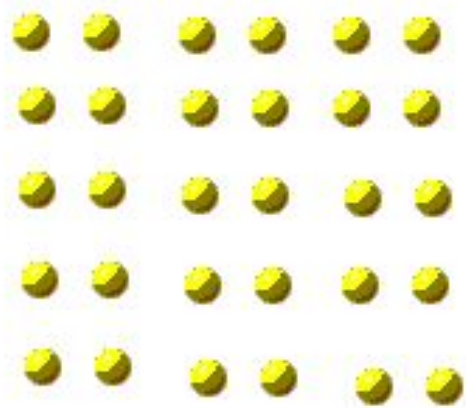
# Ареометр — прибор для измерения плотности жидкости

- Обычно представляет собой стеклянную трубку, нижняя часть которой при калибровке заполняется дробью или ртутью для достижения необходимой массы.
- В верхней, узкой части находится шкала, которая проградуирована в значениях плотности. Так как плотность жидкостей сильно зависит от температуры, ареометр иногда снабжают термометром для одновременного измерения температуры.
- Ареометр помещают в измеряемую жидкость и по глубине погружения определяют плотность жидкости.



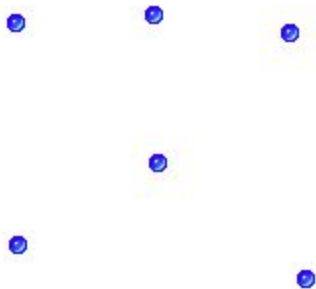


*Твёрдое состояние* — агрегатное состояние вещества, характеризующееся стабильностью формы и характером теплового движения атомов, которые совершают малые колебания около положений равновесия. Атомы прочно связаны друг с другом и очень плотно упакованы. Поэтому вещество, находящееся в твёрдом состоянии имеет наибольшую плотность.



- *Жидкое состояние* - одно из агрегатных состояний вещества. Основным свойством жидкости, отличающим её от других агрегатных состояний, является способность неограниченно менять форму под действием механических напряжений, даже сколь угодно малых, практически сохраняя при этом объём.
- Плотность упаковки атомов и молекул по-прежнему высока, поэтому плотность вещества находящегося в жидком состоянии не очень сильно отличается от твердого.





**Плотность газов и паров  
(0° С, 101325 Па), кг/м<sup>3</sup>**

**Азот 1,250**

**Кислород 1,429**

**Аммиак 0,771**

**Криптон 3,743**

**Аргон 1,784**

**Ксенон 5,851**

**Водород 0,090**

**Метан 0,717**

**Водяной пар (100° С) 0,598**

**Неон 0,900**

**Воздух 1,293**

**Углекислый газ 1,977**

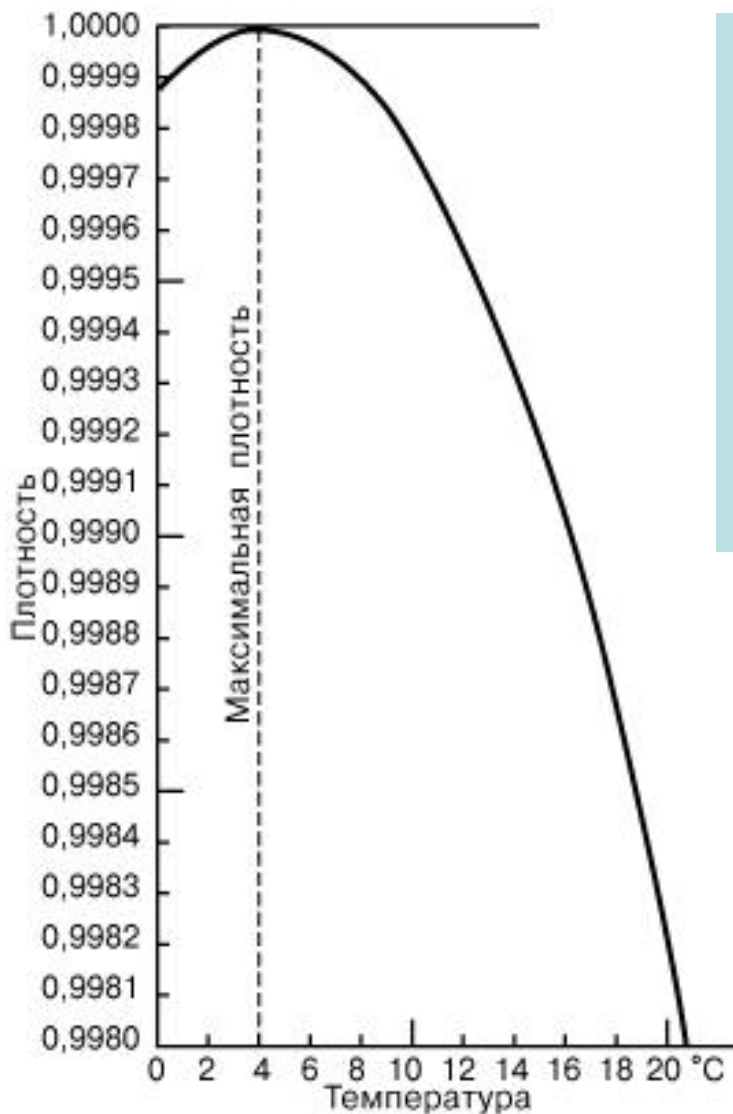
**Хлор 3,214**

**Гелий 0,178**

**Этилен 1,260**

- *Газ* - агрегатное состояние вещества, характеризующееся очень слабыми связями между составляющими его частицами, (молекулами, атомами или ионами), а также их большой подвижностью.
- Молекулы имеют очень слабую связь друг с другом и удаляются друг от друга на большое расстояние.
- Плотность упаковки очень низкая, соответственно, вещество в газообразном состоянии обладает небольшой плотностью.

# Зависимость плотности от температуры



Как правило, при **уменьшении температуры** плотность **увеличивается**, хотя встречаются вещества, чья плотность ведет себя иначе, например, вода, бронза и чугун.

Так, плотность воды имеет максимальное значение при 4 °C и уменьшается как с повышением, так и с понижением температуры.



**Средняя плотность некоторых пород древесины, г/см<sup>3</sup>**

**Бальса 0.15**

**Пихта сибирская 0.39**

**Секвойя вечнозелёная 0.41**

**Ель 0.45**

**Ива 0.46**

**Ольха 0.49**

**Осина 0.51**

**Сосна 0.52**

**Сандаловое дерево 0.90**

**Самшит 0.96**

**Хурма эбеновая 1.08**

**Квебрахо 1.21**

**Гвеякум, или бакаут 1.28**

***Плотность металлов  
(при 20°C), г/см<sup>3</sup>***

**Алюминий 2.6889**

**Вольфрам 19.35**

**Графит 1.9 - 2.3**

**Железо 7.874**

**Золото 19.32**

**Калий 0.862**

**Кальций 1.55**

**Кобальт 8.90**

**Литий 0.534**

**Магний 1.738**

**Медь 8.96**

**Натрий 0.971**

**Никель 8.91**

**Олово (белое) 7.29**

**Платина 21.45**

**Плутоний 19.25**

**Свинец 11.336**

**Серебро 10.50**

**Титан 4.505**

**Уран 19.04**

**Хром 7.18**

**Цезий 1.873**

## Значения плотности и пористости некоторых материалов

| Наименование материала | Плотность, кг/м <sup>3</sup> |           | Пористость, % |
|------------------------|------------------------------|-----------|---------------|
|                        | истинная                     | кажущаяся |               |
| Гранит                 | 2700-2800                    | 2600-2700 | 0,5-1         |
| Тяжелый бетон          | 2600-2700                    | 2200-2500 | 8-12          |
| Кирпич                 | 2500-2600                    | 1400-1800 | 25-45         |
| Керамзит (зерна)       | 2400-2600                    | 250-1000  | 60-90         |
| Пеностекло             | 2350-2450                    | 100-300   | 88-95         |
| Древесина              | 1500-1600                    | 400-800   | 45-70         |
| Пенопласт              | 900-1200                     | 20-100    | 90-98         |

*Среднюю плотность каждого материала определяют при влажности, установленной стандартом.*

*Большинство строительных материалов имеет поры, поэтому средняя плотность, как правило, меньше истинной плотности.*

**Относительная плотность  $\rho$  (%)** – степень заполнения объёма материала твёрдым веществом; она характеризуется отношением общего объёма твёрдого вещества  $V$  в материале ко всему объёму материала  $V_1$  или отношением средней плотности материала  $\rho_0$  к её истинной плотности  $\rho$ :

$$\rho = \left( \frac{V}{V_1} \right) \cdot 100 \qquad \rho = \left( \frac{\rho_0}{\rho} \right) \cdot 100$$

# Пористость материала

- это степень заполнения объема материала порами (общая пористость).

$$П = ( 1 - \rho_1 / \rho_2 ) 100\%.$$

$\rho_1$  средняя плотность материала

$\rho_2$  истинная плотность материала

От степени пористости зависят прочность, теплопроводность, морозостойкость, водопоглощение и другие свойства материалов.

Чем меньше пористость, тем больше прочность, морозостойкость, теплопроводность, но меньше водопроницаемость.

- *Поры* — воздушные ячейки в самом веществе, из которого состоит материал;
- *пустоты* — воздушные полости между отдельными частицами материала.

- *Общую пористость подразделяется на открытую и закрытую.*
- **Открытой пористостью** материала называется объем тех пор, которые сообщаются с внешней средой. Их объем может быть измерен путем водонасыщения материала. Открытую пористость ( $\Pi_{\text{откр}}$ ) определяют по формуле:
  - где  $m_1$  – масса сухого образца, г;  $m_2$  – масса насыщенного водой в течение 48 часов образца, г;  $V_e$  – общий объем образца,  $\text{см}^3$ .
  - **Закрытую пористость** ( $\Pi_{\text{закр}}$ ) находят по разности между общей и открытой пористостью
    - $\Pi_{\text{закр}} = \Pi_{\text{общ}} - \Pi_{\text{откр}}$ .

# Показатели пористости и плотности материалов

- **Истинная (теоретическая) плотность  $\rho_{\text{и}}$ , г/см<sup>3</sup>** – плотность беспористого материала.
- **Кажущаяся плотность  $\rho_{\text{к}}$ , г/см<sup>3</sup>** – плотность материала, содержащего поры.
- **Относительная плотность  $\Theta = (\rho_{\text{к}}/\rho_{\text{и}}) \times 100\%$**  .
- **Истинная пористость  $\Pi_{\text{и}} = (1 - \rho_{\text{к}}/\rho_{\text{и}}) \times 100\%$**  , – суммарный объем всех пор.
- **Кажущаяся (открытая) пористость**  
 $\Pi_{\text{к}} = (V_{\text{от}}/V) \times 100\%$  ( $V_{\text{от}}$  -объем открытых пор, заполняемых водой при кипячении).



# Пустотность

Пустотностью ( $V_{\text{пуст}}$ ) называется объем пустот между зернами рыхлого насыпного материала, выраженный в долях единицы или в процентах от общего его объема и рассчитанный по формуле:

$$V_{\text{пуст}} = (1 - \rho_{\text{н}} / \rho_2) 100\%.$$

$\rho_{\text{н}}$  насыпная плотность материала

$\rho_2$  истинная плотность материала



# ПОРИСТОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД

- Под пористостью горной породы понимают наличие в ней пустот (пор, каверн, трещин).
- В зависимости от происхождения различают следующие виды пор
- 1. Первичные поры, образовавшиеся одновременно с формированием породы. Величина первичной пористости обусловлена особенностями осадконакопления. Она постепенно уменьшается в процессе погружения и цементации осадочных пород.
- 2. Поры растворения, образовавшиеся в результате циркуляции подземных вод.
- 3. Поры и трещины, возникшие под влиянием химических процессов, приводящие к сокращению объёма породы. При доломитизации ( превращение известняка в доломит ) идет сокращение объемов породы приблизительно на 12 %, что приводит к увеличению объема пор. Аналогично протекает и процесс каолинизации – образование каолинита.
- 4. Пустоты и трещины, образованные за счет эрозионных процессов: выветривания, кристаллизации, пере- кристаллизации.
- 5. Пустоты и трещины, образованные за счет тектонических процессов, напряжений в земной коре.

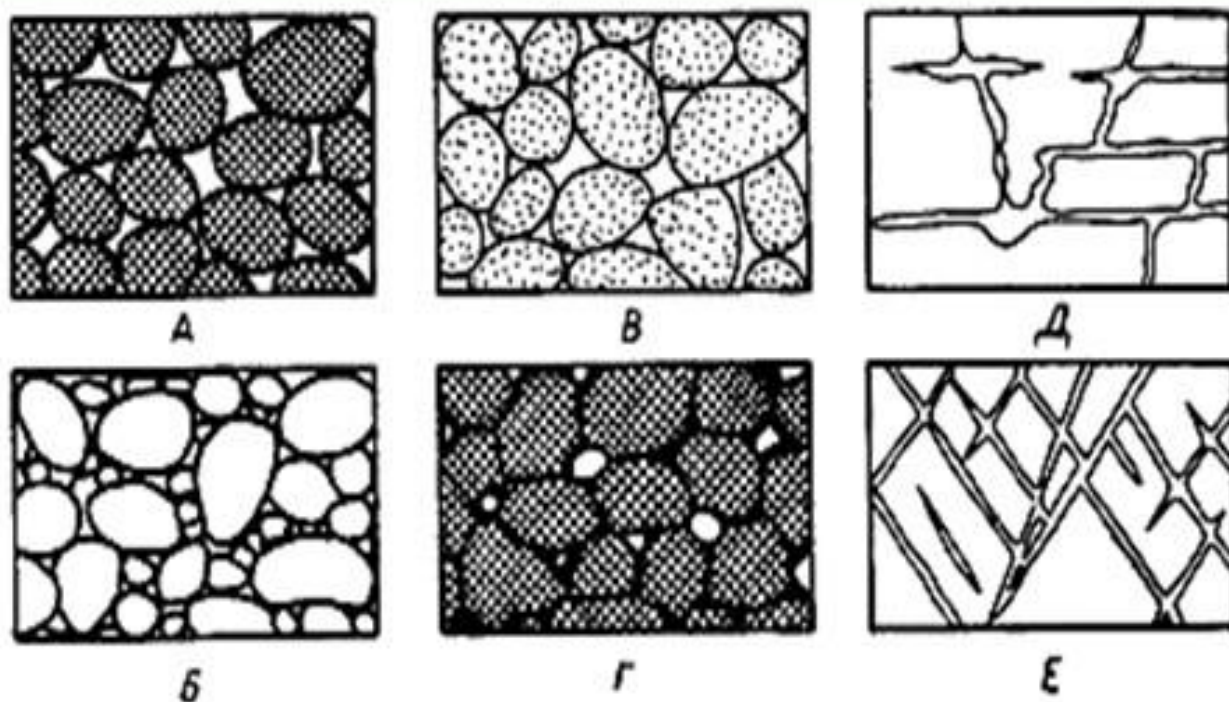
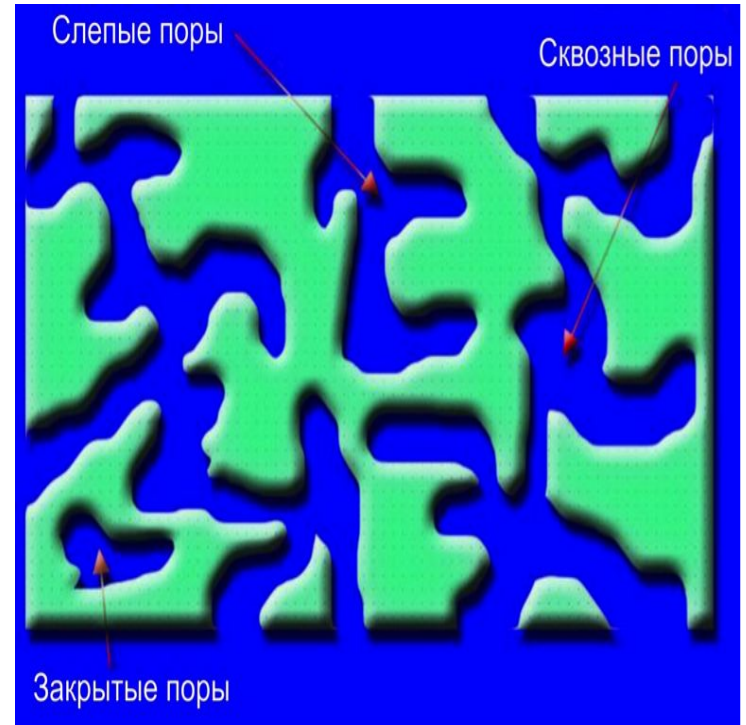


Рис. 4. Различные поровые пространства пород.

А — хорошо окатанный и отсортированный песок, имеющий высокую пористость; Б — плохо отсортированный песок, имеющий низкую пористость; В — хорошо отсортированная порода, зерна которой также пористы; Г — хорошо отсортированная порода, пористость которой уменьшена отложениями минерального вещества в пространстве между зёрнами; Д — поровое пространство трещиноватых известняков, частично расширенное растворением; Е — порода, ставшая пористой вследствие возникновения трещин.

# Виды пористости

- **Закрытые поры** можно оценить только методами разрушающими структуру материала. Например, образец можно измельчить таким образом, чтобы в нем не осталось никаких пустот, и затем, измерить **истинную плотность образца** на и сравнить ее с плотностью образца до измельчения.
- **Открытые поры**, в зависимости от их размера, можно измерить либо газо-адсорбционными методами, либо методом ртутной порометрии.



**Ртутная порометрия** основана на нагнетании ртути в образец, из которого предварительно откачен воздух. По мере того, как заполняются самые крупные, затем менее крупные каналы, требуется все большее и большее давление, чтобы протолкнуть ртуть через самые мелкие каналы. Количественно связь соотношения размеров каналов в породе выражается в изменении объемов ртути, входящей в образец при последовательно увеличивающихся давлениях.

# Пористость горных пород



| Порода            | Средняя<br>плотность,<br><br>кг/м <sup>3</sup> | Пористость,<br>% |
|-------------------|--|------------------|
| Гранит            | 2600-2800                                      | 0,45-1,5         |
| Диорит и сиенит   | 2600-2700                                      | 1,4-1,5          |
| Габбро            | 3000-3100                                      | Менее 0,22       |
| Лабрадорит        | 2700-2800                                      | 0,5-1,5          |
| Диабаз            | 2900-3000                                      | 0,1-0,2          |
| Базальт           | 2900-3000                                      | 0,4-1,5          |
| Кварцевый порфир  | 2600-2700                                      | 1,47-3,68        |
| Вулканический туф | 800-1100                                       | 4,72-13,22       |
| Песчаник          | 2400-2500                                      | 2,8-3            |
| Брекчия           | 2400-2500                                      | -                |
| Известняк         | 1100-2300                                      | 0,36-27          |
| Мрамор            | 2700-2800                                      | 0,59-1,0         |
| Гнейс             | 2500-2600                                      | -                |

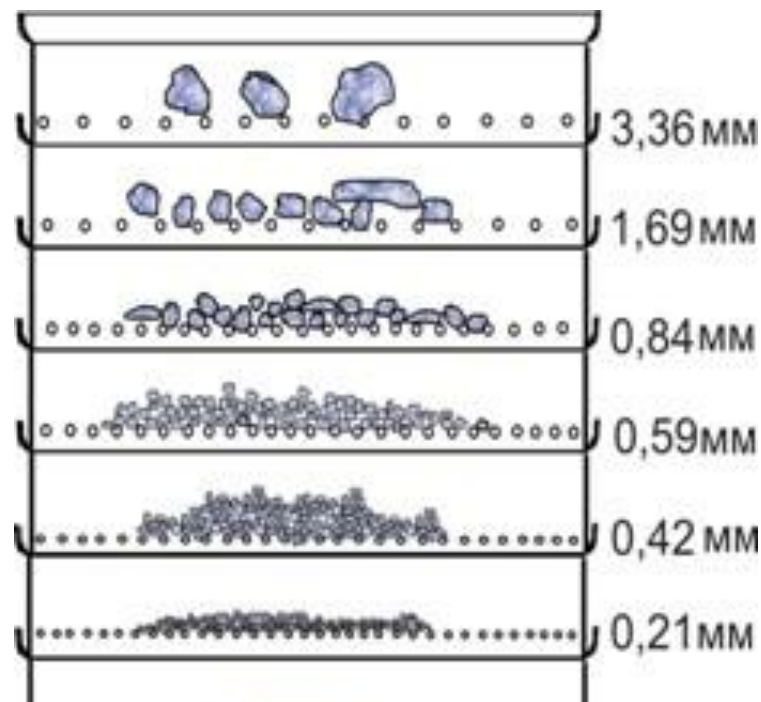
# Дисперсность

- - характеристика размеров частиц сыпучих (рыхло-зернистых) материалов.
- Оценку зернового состава полидисперсного сыпучего материала проводят путем отсева его на комплекте сит, установленных друг под другом по мере убывания размера сетки.
- После просеивания взвешиванием определяют массу остатков на каждом сите и вычисляют в процентах частные, а затем и полные остатки.

Ситовой метод анализа – универсальный.

Например: **№008** – номер сита показывает диаметр отверстия сита, мм.

- **Частным остатком** на данном сите ( $a_i$ ) называется остаток материала на этом сите ( $m_i$ ), выраженный в процентах от массы просеянной пробы ( $M$ ):
- **Полным остатком** на данном сите ( $A_i$ ) называется сумма частных остатков на этом сите и на всех ситах с большим размером отверстий, т. е. на ситах, установленных выше.
- Величина полных остатков на ситах возрастает по мере убывания размера отверстий сетки, т. е. величина полного остатка самая малая на верхнем сите и самая большая на нижнем.
- Отсюда выводятся понятия наибольшего и наименьшего размера зерна.



- **Наибольший размер зерна** ( $D_{\text{наиб}}$ ) численно равен диаметру отверстий того сита, на котором полный остаток составляет не более 10 %.
- **Наименьший размер зерен** ( $D_{\text{наим}}$ ) численно равен диаметру отверстия того сита, на котором полный остаток наибольший и составляет не менее 95 %.



# Вопросы к контрольной работе

1. Определение материала, классификация материалов.
2. Современные проблемы материаловедения. Понятие композиционных материалов и наноматериалов.
3. Химический, минералогический, фазовый состав материала.
4. Макро-, микроструктура и внутреннее строение вещества. Понятие полиморфизма.
5. Методы изучения внутреннего строения вещества.
6. Отличительные особенности аморфных и кристаллических тел.
7. Моно- и поликристаллы. Дефекты кристаллических решеток.
8. Особенности кристаллизации из расплавов и растворов.
9. Изотропные и анизотропные материалы. Причины анизотропии поликристаллических тел.
10. Структурные характеристики материалов: средняя, истинная, насыпная плотность. Методы их определения.
11. Пористость материалов. Виды пористости и методы ее определения.
12. Дисперсность сыпучих материалов и методы ее определения.
13. Горные породы и минералы. Классификация горных пород по происхождению

# Гидрофизические свойства материалов

- Материалы в процессе их эксплуатации и хранения подвергаются действию воды или водяных паров, находящихся в воздухе.
- При этом их свойства существенно изменяются. *Так, при увлажнении материала повышается его теплопроводность, изменяются средняя плотность, прочность и другие свойства.*
- Поэтому при всех расчетах необходимо учитывать как влажность материала, так и его способность к поглощению влаги

# Гигроскопичность

– свойство пористого материала поглощать водяной пар из воздуха.

Степень гигроскопичности зависит от количества и величины пор в материале, его структуры, температуры и относительной влажности воздуха.

*Материалы хорошо поглощающие молекулы воды – гидрофильные.*

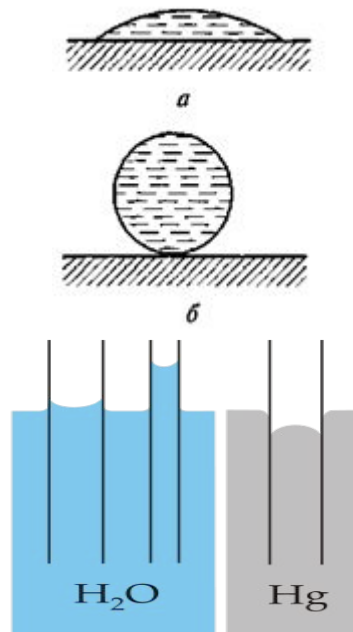
*Отталкивающие эти молекулы – гидрофобные.*

- Гигроскопичностью обладают:
- смачиваемые водой (гидрофильные) материалы капиллярно-пористой структуры (древесина, зерно и др.), в тонких капиллярах которых происходит конденсация влаги.
- хорошо растворимые в воде вещества (пищевая соль, сахар, концентрированная серная кислота и др.), особенно химические соединения, образующие с водой *кристаллогидраты*.
- ***Гидрофильные материалы – глины, силикаты.***
- ***Гидрофобные – металлы, воски, некоторые полимеры.***

# Гидрофильность и гидрофобность

- — **свойства поверхности материала по отношению к воде.**
- *Мерой гидрофильности служит энергия связи молекул воды с поверхностью вещества, из которого состоит материал.*
- **Гидрофильные** (*от греч. *phileo* — люблю*) материалы имеют высокую степень связи с водой.
- **Гидрофобные** (*от греч. *phobos* — страх*) материалы имеют низкую степень связи с водой.

*На гидрофильной поверхности капля воды растекается, а капиллярные поры гидрофильных веществ способны втягивать воду и поднимать ее на значительную высоту.*



*На гидрофобной поверхности капли воды почти не растекаются, а в капиллярные поры вода проникает на минимальную глубину или вообще не проникает.*

# СМАЧИВАЕМОСТЬ

$$\theta < \pi/2$$



Частичное смачивание

$$\theta > \pi/2$$

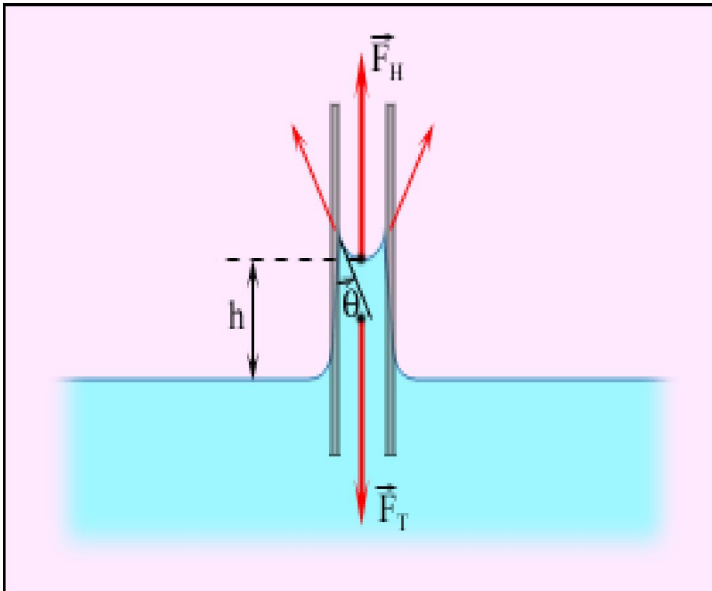


Частичное несмачивание

- - поверхностное явление, возникающее на границе соприкосновения фаз, одна из которых твёрдое тело, а другие — жидкость и газ.
- Смачиваемость твёрдых веществ характеризуется углом смачиваемости  $\theta$  или  $\cos \theta$ , значения которых получают при рассмотрении равновесного состояния сил поверхностного натяжения для капель жидкости на твёрдой поверхности в газовой среде.
- Смачиваемость твёрдой поверхности жидкостью увеличивается по мере уменьшения угла  $\theta$ .

# Капиллярные явления

- **Капиллярными явлениями** называют подъем или опускание жидкости в трубках малого диаметра – капиллярах.
- Смачивающие жидкости поднимаются по капиллярам, несмачивающие – опускаются.



*На рис. изображена капиллярная трубка некоторого радиуса  $r$ , опущенная нижним концом в смачивающую жидкость плотности  $\rho$ . Верхний конец капилляра открыт.*

Подъем жидкости в капилляре продолжается до тех пор, пока сила тяжести, действующая на столб жидкости в капилляре, не станет равной по модулю результирующей сил поверхностного натяжения, действующих вдоль границы соприкосновения жидкости с поверхностью капилляра.

$$(\rho_1 - \rho_2) gh_0 = -2\sigma_{12}/r,$$

# Капиллярное всасывание (подсос)

- (*от лат. capillaris — волосной*) — способность материала всасывать и передавать по своей толще влагу с помощью тонких капиллярных пор.
- *Гидрофильные материалы*, имеющие мелкие поры и капиллярные каналы, например кирпич, при соприкосновении с водой способны поглощать ее и поднимать по капиллярам на значительную высоту.
- Для защиты конструкций от увлажнения в результате капиллярного всасывания необходимо тщательно изолировать материал от источника увлажнения с помощью гидроизоляционных материалов.



- Капиллярный подсос характеризуется либо высотой подъема воды в образце, либо возрастанием его веса с течением времени.
- Для определения величины капиллярного подсоса испытываемые образцы устанавливают на кирпич, погруженный в подкрашенную воду на  $3/4$  своей высоты, и через определенные промежутки времени взвешивают их, одновременно отмечая высоту поднятия воды в образце.



- *Эффективные водоотталкивающие покрытия должны практически полностью лишать гидрофобизованный материал способности к капиллярному подсосу воды.*

# Влажность (W)

- - Влажность обычно характеризуется количеством воды в веществе, выраженным в процентах (%) от первоначальной массы влажного вещества (*массовая влажность*) или её объёма (*объёмная влажность*).
- $W = [(m_2 - m_1) / m_1] 100\%$ .
- $m_1$  – масса сухого образца;
- $m_2$  – масса влажного образца

- Установление степени влажности многих продуктов, материалов и т. п. имеет важное значение. Только при определённой влажности многие материалы (зерно, цемент) являются пригодными для той цели, для которой они предназначены.
- Влажность может вносить существенную погрешность в вес предмета.
- *Килограмм сахара или зерна с влажностью 5 % и 10 % будет содержать разное количество сухого сахара или зерна.*

# Влажность воздуха

- — это величина, характеризующая содержание водяных паров в атмосфере Земли, одна из наиболее существенных характеристик погоды и климата.
- Влажность воздуха в земной атмосфере колеблется в широких пределах. *Так, у земной поверхности содержание водяного пара в воздухе составляет в среднем от 0,2 % по объёму в высоких широтах до 2,5 % в тропиках.*
- **Абсолютная влажность воздуха** ( $f$ ) — это количество водяного пара, фактически содержащегося в 1 м<sup>3</sup> воздуха. **Определяется как отношение массы содержащегося в воздухе водяного пара к объёму влажного воздуха.**
- **Относительная влажность воздуха** ( $\varphi$ ) — это отношение его текущей абсолютной влажности к максимальной абсолютной влажности при данной температуре.

# Паропроницаемость

- — способность материала пропускать водяные пары при наличии разницы абсолютной влажности воздуха (парциального давления пара в воздухе) по обе стороны материала.
- Пар стремится пройти через материал в ту сторону, где его парциальное давление ниже (обычно из теплого помещения в холодное).
- В одних случаях нужна высокая паропроницаемость (например, материал стены должен «дышать»); в других желательно отсутствие паропроницаемости (теплоизоляция не должна отсыревать).
- Необходимая степень паропроницаемости конструкции достигается правильным выбором материалов и их взаимным расположением в конструкции.

- **Паропроницаемость оценивается коэффициентом паропроницаемости  $K_p$  или относительным коэффициентом сопротивления паропроницаемости  $\mu$  ("мю")**

**Коэффициент паропроницаемости строительного материала, определяют количеством водяных паров в граммах, в течение 1 ч проходящим через слой материала  $1 \text{ м}^2$  и толщиной 1 м при разности парциальных давлений 1 Па.**

*Расчетная паропроницаемость ( $\text{мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$ ) некоторых стройматериалов*

- **Фанера клееная - 0,02**
- **Пенопласт ПХВ-1 - 0,023**
- **Бетон на гравии или щебне из природного камня (плотность  $2400 \text{ кг}/\text{м}^3$ ) - 0,03**
  
- **Значение  $\mu$  коэффициента сопротивления паропроницаемости строительного материала является относительным значением сопротивления материала паропереносу по сравнению со свойствами сопротивления паропереносу воздуха.**
- **Например, значение  $\mu = 1$  для минеральной ваты означает, что она проводит водяной пар точно также хорошо, как и воздух.**
- **А значение  $\mu = 10$  для газобетона означает, что этот строительный материал проводит пар в 10 раз хуже воздуха.**

# Механизм паропроницаемости строительных материалов

- При низкой относительной влажности влага из атмосферы транспортируется через поры строительных материалов *в виде отдельных молекул водяного пара*.
- При повышении относительной влажности поры строительных материалов начинают заполняться жидкостью и начинают работать *механизмы смачивания и капиллярного подсоса*.
- При повышении влажности строительного материала его паропроницаемость увеличивается (снижается коэффициент сопротивления паропроницаемости).

# Водопоглощение

- **Способность материалов поглощать и удерживать в порах воду.**

Водопоглощение — интегральный показатель способности материала поглощать влагу и удерживать ее в своих порах.

Характеризуется количеством воды, которое поглощает сухой материал при погружении и выдерживании в ней, отнесенным к массе сухого материала (водопоглощение по массе  **$W_m$** ) или к объему материала в сухом состоянии (водопоглощение по объему  **$W_{об}$** ).

Водопоглощение зависит от плотности материала и строения пор.





Водопоглощение по массе показывает степень увеличения массы материала (за счет поглощенной воды),

$$W_M = [(m_2 - m_1) / m_1] * 100\%;$$

водопоглощение по объему — степень заполнения объема материала водой.

$$W_{об.} = [(m_2 - m_1) / (\rho_{H_2O} * V)] * 100\%$$

# Влияние водопоглощения на свойства материалов

- Величина водопоглощения зависит от строения пор. При открытых порах она больше, чем при замкнутых.
- Водопоглощение различных материалов колеблется в широких пределах: **гранита** — 0,2—0,7%; **бетона** — 2—3%; **обыкновенного кирпича** — 6—12%.
- *Насыщение водой отрицательно влияет на основные свойства материалов: увеличивается средняя плотность и теплопроводность, понижается прочность.*
- *Например, прочность обыкновенного кирпича при насыщении его водой снижается на 20 — 25%.*

**Водопоглощение кирпича** – это характеристика, определяющая способность конкретного кирпича поглощать влагу.

Допустимым считается **водопоглощение кирпича** в диапазоне от 6% до 12%.

Слишком высокое водопоглощение указывает на низкую морозостойкость кирпича, его повышенную теплопроводность.

Слишком низкое водопоглощение обуславливает слабое сцепление кирпича с кладочным раствором.

# Влагоотдача

- — способность материала терять находящуюся в его порах воду.
- Влагоотдачу определяют количеством воды, испаряющейся из образца материала в течение суток при температуре воздуха 20 °С и относительной влажности 60 %.
- *Влагоотдачу учитывают, например, при сушке стен зданий и уходе за твердеющим бетоном. В первом случае желательна быстрая влагоотдача, а во втором, наоборот, замедленная.*

# Водостойкость

- **Водостойкость** — способность материала сопротивляться агрессивному воздействию на него воды.
- Результатом такого воздействия может быть снижение прочности материала, связанное с частичным разрушением структуры вследствие разрыва наиболее слабых химических связей.

*Причинами частичного разрушения структуры при взаимодействии с водой могут быть следующие:*

- - адсорбционно-активное воздействие тонких водных пленок на микротрещины, имеющиеся в пористой структуре материала;
- - химическое воздействие воды;
- - деформация структуры в результате процессов набухания и усадки гидрофильных составляющих материала.

**Водостойкость** оценивают коэффициентом размягчения

$$K_p = R_1 / R_2 > 0,8$$

$R_1$  — предел прочности при сжатии материала в насыщенном водой состоянии,

$R_2$  — предел прочности при сжатии сухого материала.

Коэффициент размягчения материалов колеблется от 0 (необожженные керамические материалы) до 1 (стекло, сталь, битум).

Материалы с коэффициентом размягчения не менее 0,8 относятся к водостойким. Их разрешается применять в строительных конструкциях, возводимых в воде, и в местах с повышенной влажностью.

- Вода, находящаяся в порах материала, при замерзании увеличивается в объеме почти на 10 %.
- В результате стенки некоторых пор разрушаются, и при повторном увлажнении вода проникает глубже в материал.
- Такие циклически повторяющиеся замораживания и оттаивания с увлажнением постепенно разрушают материал.

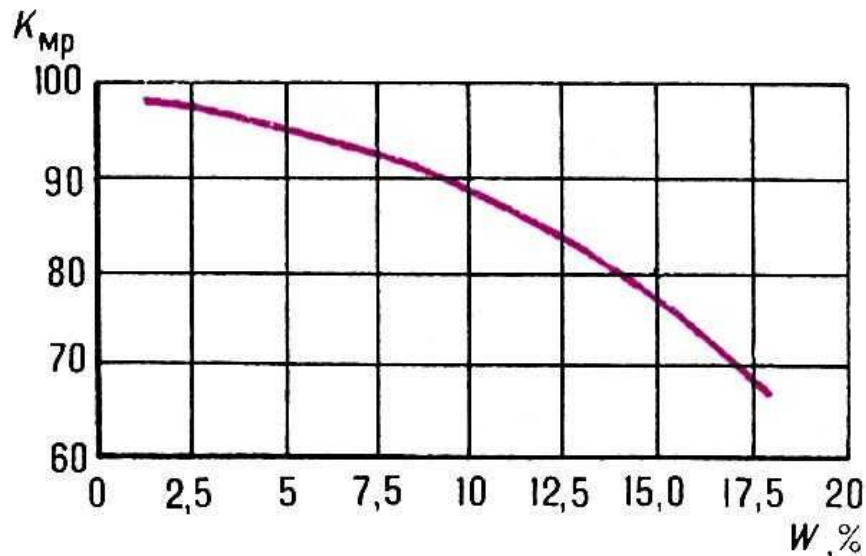


# Морозостойкость

- — способность материала в насыщенном водой состоянии выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без видимых признаков разрушения и без значительного понижения прочности.
- Основная причина разрушения материала под действием низких температур — расширение воды, заполняющей поры материала, при замерзании.
- Морозостойкость зависит главным образом от структуры материала: чем выше относительный объём пор, доступных для проникновения воды, тем ниже морозостойкость.

- **Морозостойкость материала зависит от его пористости и водопоглощения.**
- Плотные материалы (без пор), а также материалы с замкнутыми порами, т. е. с небольшим водопоглощением, обладают высокой морозостойкостью.
- Материалы с открытой пористостью характеризуются, как правило, невысокой морозостойкостью, и требуются обязательные лабораторные испытания для ее оценки.

- Маркой по морозостойкости является количество циклов попеременного замораживания и оттаивания насыщенных водой образцов без нарушений целостности и изменения прочности.
- Коэффициент морозостойкости  $K_{\text{мп}}$ , равен отношению предела прочности пород при сжатии после 25 циклов промораживания (при температурах от  $-15$  до  $-40^{\circ}\text{C}$ ) и оттаивания к пределу прочности полностью водонасыщенной исходной породы в условиях положительных температур.
- **$K$  морозостойким относят породы с  $K_{\text{мп}} > 0,75$ .**



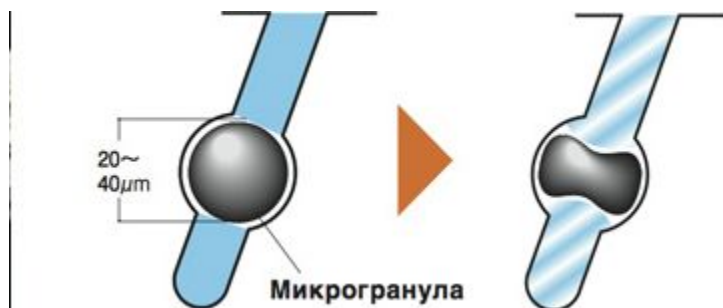
*Зависимость коэффициента морозостойкости карбонатных пород от насыщенности водой.*

# Марки материалов по морозостойкости

- Так, для бетона допускается потеря прочности не более 5 %, а для растворов не более 25 % от первоначальных значений этих величин.
- По морозостойкости материалы подразделяют на марки: F15; F25; F35; F50; F100 и т. д.
- *Например*, марка по морозостойкости кирпича F15 означает, что образцы, отобранные от партии кирпича, выдерживают не менее 15 циклов «замораживания — оттаивания» без появления внешних повреждений (отколов, шелушения поверхности и т. п.).
- Морозостойкость материала, находящегося в контакте с внешней средой, для условий климата России является важнейшим показателем его долговечности.

# Фиброцементные панели КМЕУ (Япония)

- **Фиброцемент имеет волокнистую структуру.**
- **КМЕУ выпускает два типа панелей – Неорок и Серадиир.** Обе технологии гарантируют высочайшую морозостойкость панелей, что гарантирует их долговечность в условиях сурового российского климата.
- **Неорок.** Примесь в виде эластичных микрогранул не только облегчает материал, но предохраняет его структуру от разрушения при замерзании попадающей в микротрещины влаги. Силы давления замерзающей воды приходится не на стены материала, а на эластичные микрогранулы, более поддающиеся сжатию.



# Водопроницаемость

- — способность материала пропускать через себя воду под давлением.
- Степень водопроницаемости зависит от пористости материала, формы и размеров пор. Чем больше в материале незамкнутых пор и пустот, тем больше его водопроницаемость.
- Водопроницаемость характеризуется **коэффициентом водопроницаемости  $K_v$** , который равен количеству воды, прошедшей в течение 1 ч через образец материала площадью 1 см<sup>2</sup> при постоянном давлении и определенной толщине образца.

- К водонепроницаемым относятся особо плотные (например, сталь, стекло, битум) и плотные материалы с замкнутыми порами (например, бетон специально подобранного состава).
- К величине водопроницаемости бетона предъявляются особенно жесткие требования при строительстве гидротехнических сооружений, водопроводных трубопроводов, резервуаров и др.
- Бетон этих сооружений должен быть практически водонепроницаемым.