

# Механические свойства твердых тел

- Деформа́ция (от лат. *deformatio* — «искажение») — изменение взаимного положения частиц тела, связанное с их перемещением относительно друг друга. Деформация представляет собой результат изменения межатомных расстояний и перегруппировки блоков атомов. Обычно деформация сопровождается изменением величин межатомных сил, мерой которого является упругое механическое напряжение.

# Виды деформаций:

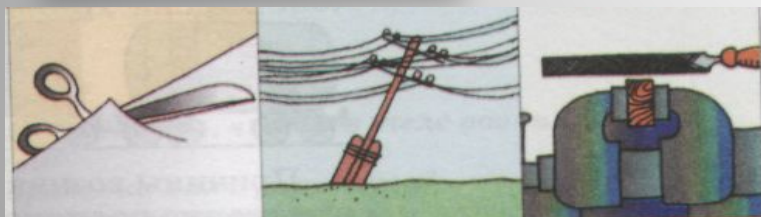
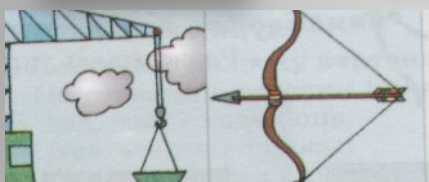
растяжение

сжатие

кручение

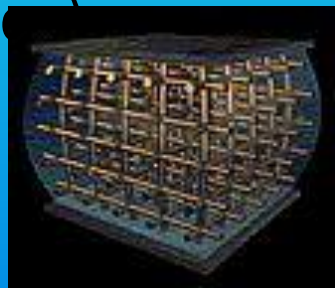
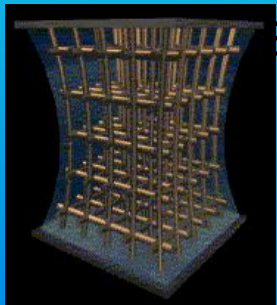
изгиб

СДВИГ



# Виды деформации

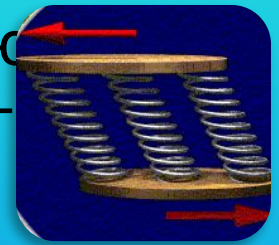
**Деформация растяжения (сжатия)** – деформация, при которой размер тела в направлении действия внешней силы увеличивается (уменьшается)



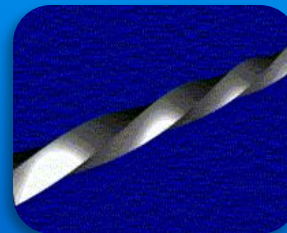
**Деформация изгиба** – деформация неравномерного растяжения (сжатия)



**Деформация сдвига** – деформация, при которой слои тела смещаются параллельно друг другу в направлении действия внешней силы



**Деформация кручения** – неоднородный сдвиг



# деформация

```
graph TD; A[деформация] --> B[упругая деформация – деформация, исчезающая после прекращения действия внешней силы]; A --> C[Пластическая деформация – деформация, сохраняющаяся после прекращения действия внешней силы]; B --> D[Резина, сталь, кости, сухожилия, человеческое тело]; C --> E[Пластилин, замазка, жевательная резинка, воск, алюминий];
```

упругая деформация – деформация, исчезающая после прекращения действия внешней силы

Резина, сталь, кости, сухожилия, человеческое тело

Пластическая деформация – деформация, сохраняющаяся после прекращения действия внешней силы

Пластилин, замазка, жевательная резинка, воск, алюминий



Закон Гука: Сила упругости прямо пропорциональна удлинению тела до некоторого предельного значения

$$|F_{\text{упр}}| = k\Delta l$$

$F_{\text{упр}}$  - Сила упругости (Н)

$\Delta l$  абсолютное удлинение (м)

$k$  коэффициент жесткости (Н/м)



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

$\sigma$  - механическое напряжение (Па)

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

$\varepsilon$  - относительное удлинение

$$E = k \frac{l_0}{S}$$

$E$  - модуль Юнга (Па)

$$\sigma = \frac{F}{S} = k \frac{l_0}{S} \varepsilon = E \varepsilon$$

Закон Гука

От чего зависит жесткость?

длины

материала

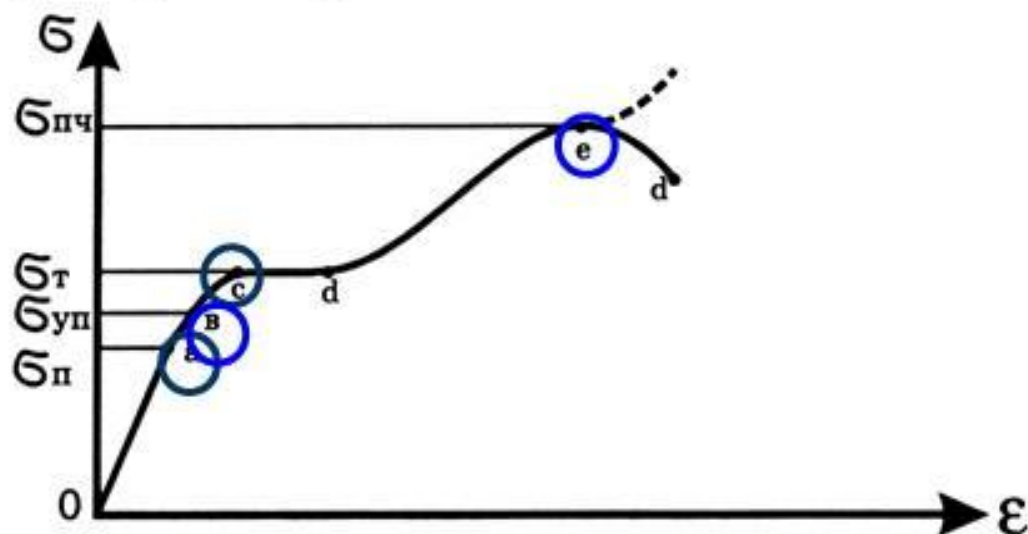
площади поперечного сечения

$$E = k \frac{l_0}{S}$$

$$k = \frac{ES}{l_0}$$



## Диаграмма растяжения материала



Механическая характеристика	Обозначение	Пояснения
Предел пропорциональности	$\sigma_{п}$	наибольшее напряжение, до которого справедлив закон Гука
Предел упругости	$\sigma_{уп}$	наибольшее напряжение, при котором ещё не возникают заметные остаточные деформации
Предел текучести	$\sigma_{т}$	напряжение, при котором происходит рост остаточных деформаций образца при практически постоянной силе
Предел прочности	$\sigma_{пч}$	условное напряжение, соответствующее наибольшей силе, выдерживаемой образцом до разрушения

Число  $n$ , показывающее, во сколько раз допустимое напряжение меньше предела прочности данного сооружения или конструкции, называется его **запасом прочности**

$$n = \frac{\sigma_{np}}{\sigma}$$

Запас прочности зависит от материала, из которого изготовлено сооружение или деталь, характера нагрузок, испытываемых ими, последствий разрушений и т.д.

# Измерение деформации

тензомер



тензодатчики  
сопротивления



рентгеноструктурный  
анализ



поляризационно-оптический  
метод



# Причины возникновения деформации твёрдых тел

следствием фазовых превращений, связанных с изменением объёма, теплового расширения

намагничивания  
магнитострикция

результатом действия внешних сил

появления электрического заряда  
(пьезоэлектрический эффект)



# Почему при нагревании большинство твёрдых тел расширяются?

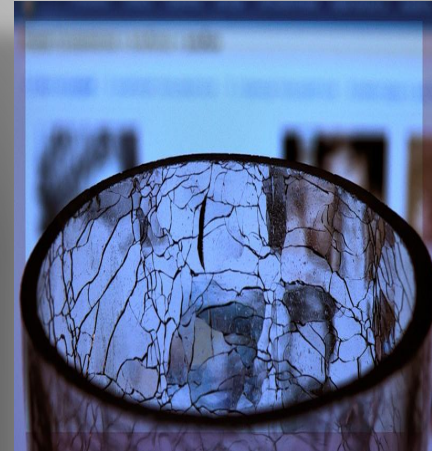
- Это происходит из-за того, что при увеличении температуры увеличивается кинетическая энергия движения частиц, которые находятся в узлах кристаллической решётки. Увеличение кинетической энергии, в свою очередь, приводит к увеличению амплитуды колебаний этих частиц около положения равновесия. В результате увеличения амплитуды колебаний увеличивается среднее расстояние между частицами в кристаллической решётке, что приводит к увеличению линейных размеров всего тела.



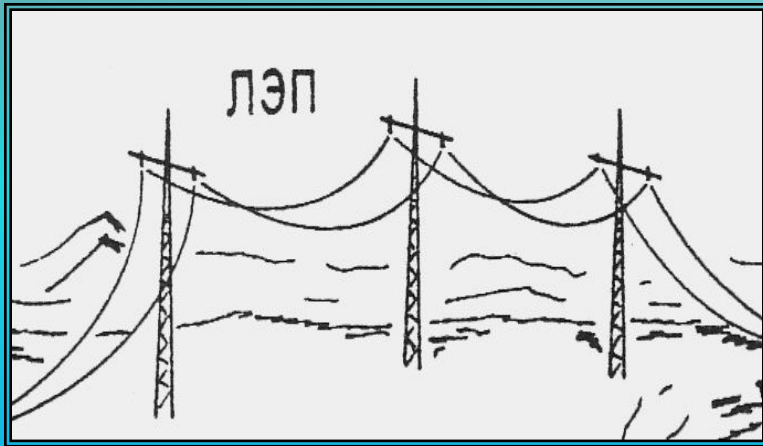
# Почему при нагревании некоторые тела разрушаются?



Если в стеклянный стакан налить кипятка, то стакан может треснуть. Почему? Дело здесь в *неравномерном* нагреве. Стекло плохо проводит тепло, поэтому, когда мы наливаем кипяток, внутренняя поверхность стакана сразу нагревается до  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а внешняя ещё сохраняет комнатную температуру. В результате слои стекла, прилегающие к внутренней поверхности стакана, начинают расширяться, а слои, прилегающие к внешней поверхности стакана, - ещё нет. Получается так, как если бы мы приложили к внутренней поверхности стакана дополнительное давление. А стекло - вещество хрупкое, такого давления может и не выдержать. Причина — неравномерное расширение стекла. Толстые стаканы - как раз самые непрочные в этом отношении: они лопаются чаще, нежели тонкие



# Тепловое расширение тел



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

- линейное расширение

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

- объемное расширение

$$\beta = 3\alpha$$

- ✓ Учет размеров тел при их нагревании и охлаждении:  
при натяжении ЛЭП;  
трубы водяного отопления...
- ✓ Использование разнородных материалов, подвергающихся периодическому нагреванию и охлаждению (например железобетон)
- ✓ Использование биметаллических пластин в терморегуляторах



# Небольшие изменения размеров могут быть опасны

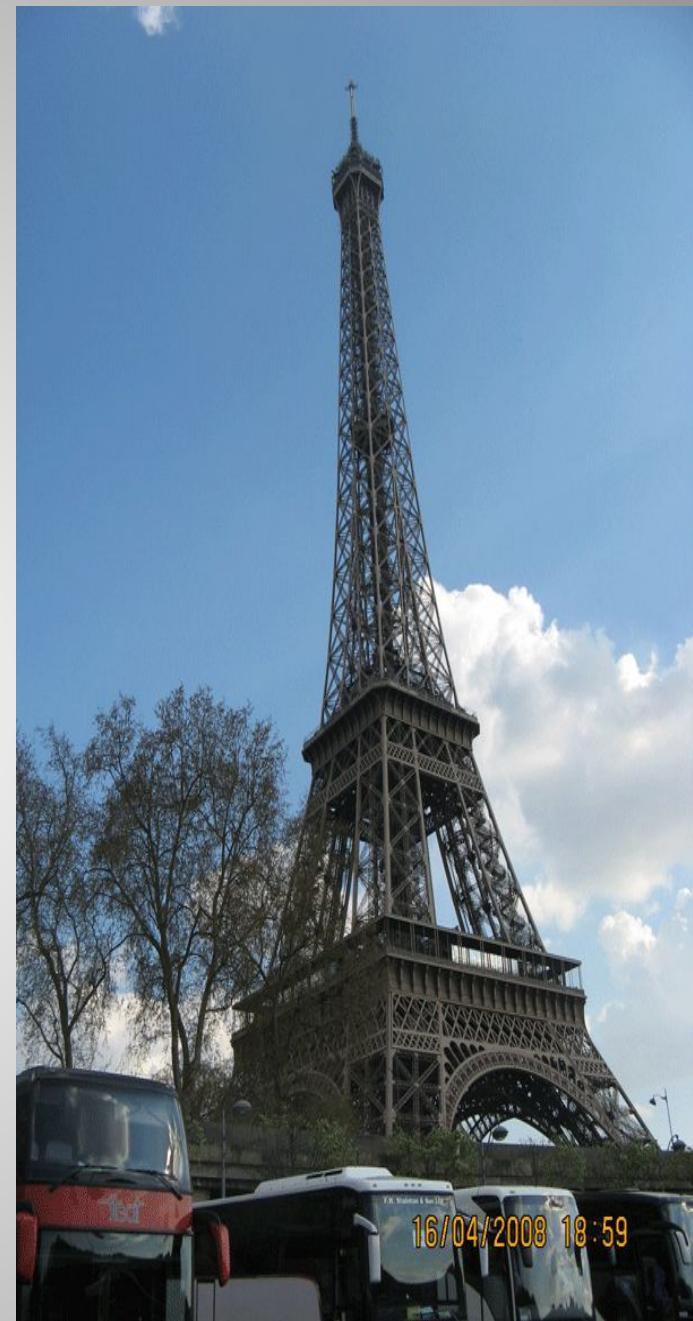
- Скажем прямо заметить такие изменения длины практически невозможно. Однако для хрупких веществ даже столь небольшие изменения размеров могут быть опасны. Взять, к примеру, асфальт. По сравнению со стеклом он при нагревании расширяется в 20 раз сильнее, поэтому асфальтовые покрытия на дорогах постоянно дают трещины и нуждаются в постоянном ремонте: ведь суточные колебания температуры приводят к неравномерному нагреву асфальта. А из-за этого возникают внутренние напряжения (как в стакане с кипятком), которые приводят к разрушению. Поэтому между плитами бетонного шоссе делают зазоры.





Если нас спросят, какова высота Эйфелевой башни, то прежде чем ответить: "300 метров", вы, вероятно, поинтересуетесь: В какую погоду — холодную или теплую?

- В теплый день вершина Эйфелевой башни поднимается выше, чем в холодный, на кусочек, равный 12см и сделанный из железа, которое, впрочем, не стоит ни одного лишнего сантиметра.



# Механические свойства твердых тел:

- **Механические свойства** характеризуют способность материала сопротивляться воздействию внешних сил.
- **Прочность** – способность материала сопротивляться разрушению под воздействием нагрузок.
- **Пластичность** – способность материала изменять форму и размер под действием внешних сил.
- **Упругость** – способность материала восстанавливать первоначальную форму и размер.
- **Твердость** – сопротивление твердого тела изменению формы (деформации)

Все эти свойства проявляются под действием статических сил (постоянных по величине и направлению)

Груз какой массы следует подвесить к стальному тросу длиной 2 м и диаметром 1 см, чтобы он удлинился на 1 мм? Модуль Юнга для стали  $E = 2 \times 10^{11}$  Па.

А. 400 кг;

В. 600 кг;

Д. 800 кг.

Б. 500 кг;

Г. 700 кг;

Дано

$$l_0 = 2 \text{ м}$$

$$\Delta l = 10^{-3} \text{ м}$$

$$d = 1 \text{ см} = 10^{-2} \text{ м}$$

$$E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

$$\sigma = E\varepsilon = E \frac{\Delta l}{l_0}$$

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{mg}{\pi \frac{d^2}{4}} = \frac{4mg}{\pi d^2}$$

$$E \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{4mg}{\pi d^2}$$

$$m = \frac{E \Delta l \pi d^2}{4 l_0 g} = \frac{2 \cdot 10^{11} \cdot 10^{-3} \cdot 3,14 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot 2 \cdot 10}$$

$$m = 0,8 \cdot 10^3 \text{ кг} = 800 \text{ кг}$$

Для определения модуля упругости вещества образец площадью поперечного сечения  $1 \text{ см}^2$  растягивают с силой  $2 \cdot 10^4 \text{ Н}$ . При этом относительное удлинение образца оказывается равным  $0,1\%$ . Найдите по этим данным модуль упругости вещества образца.

- А. 100 ГПа;
- В. 200 ГПа;
- Д. 300 ГПа.
- Б. 150 ГПа;
- Г. 250 ГПа;

*Дано*

$$\varepsilon = 0,1\% = 0,001$$

$$s = 10^{-2} \text{ см}^2 = 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$F = 2 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

$$\sigma = E\varepsilon$$

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

$$E\varepsilon = \frac{F}{s}$$

$$E = \frac{F}{\varepsilon s} = \frac{2 \cdot 10^4}{0,001 \cdot 10^{-4}}$$

$$E = 2 \cdot 10^{11} = 200 \cdot 10^9 = 200 \text{ ГПа}$$

## Использованные ресурсы:

*А.А. Пинский, Г.Ю. Граковский.* Физика. –М.: 2002.

Е.К.Филатов, физика 7 класс, экспериментальный учебник для общеобразовательных учебных заведений – 3 – изд. М: ВШМФ «Авангард», 2004 г

<http://ask.yandex.ru/questions/i42835215.4039>

<http://alexander-kynin.boom.ru/TRIZ/EXPANSION/EXPANSION-R.htm>