



Харківський національний університет
імені В. Н. Каразіна
Фізичний факультет



Кафедра фізики кристаллов

спецкурс

Физические основы прочности и пластичности

Лекция 1

Физические основы прочности и пластичности

1. *Элементы теории
дислокаций*
2. *Дислокационная теория
прочности и пластичности*

Литература

1. Ван Бюрен, Дефекты в кристаллах, пер. с англ., М., 1962;
2. Дамаск А., Динс Дж., Точечные дефекты в металлах, пер. с англ., М., 1966;
3. Хирт Д ж., Лоте И., Теория дислокаций, пер. с англ., М., 1972;
4. Келли А., Гровс Г., Кристаллография и дефекты в кристаллах, пер. с англ., М., 1974;
5. Стоунхэм А. М., Теория дефектов в твердых телах, пер. с англ., т. 1-2, М., 1978;
6. Современная кристаллография, под ред. Б. К. Вайнштейна, т. 2, М., 1979, гл. 5;
7. Орлов А. Н., Введение в теорию дефектов в кристаллах, М., 1983;
8. Орлов А. Н., Трушин Ю. В., Энергии точечных дефектов в металлах, М., 1983. А. Н. Орлов.

Литература

- 9. Фридель Ж., Дислокации, пер. с англ., М., 1967;**
- 10. Косевич А. М., Дислокации в теории упругости, К., 1978;**
- 11. Dislocations in solids, ed. by F. R. N. Nabarro, v. 1-5, Amst.- [a.o.], 1979-80.**

Механические свойства

Пластичность- способность твердого тела необратимо изменять свои размеры и объем

Прочность (разрушение) – способность сохранять свою целостность

- Прочность обусловлена силами взаимодействия атомных частиц, составляющих материал.

Величины, которые нужно задавать и измерять, при исследовании МС

Сила

Деформация

Время

Температура

Напряжение

Относительная деформация

Скорость пластической деформации

Деформация твердых тел

Деформация – изменение формы или объема тела под действием внешних сил:

упругая

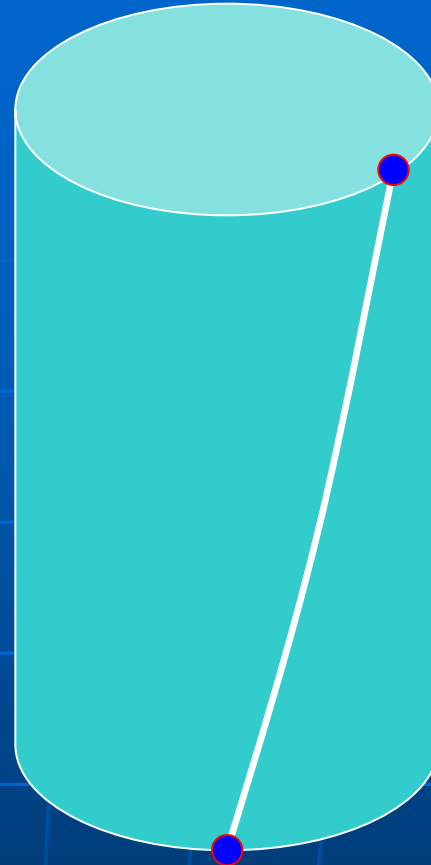
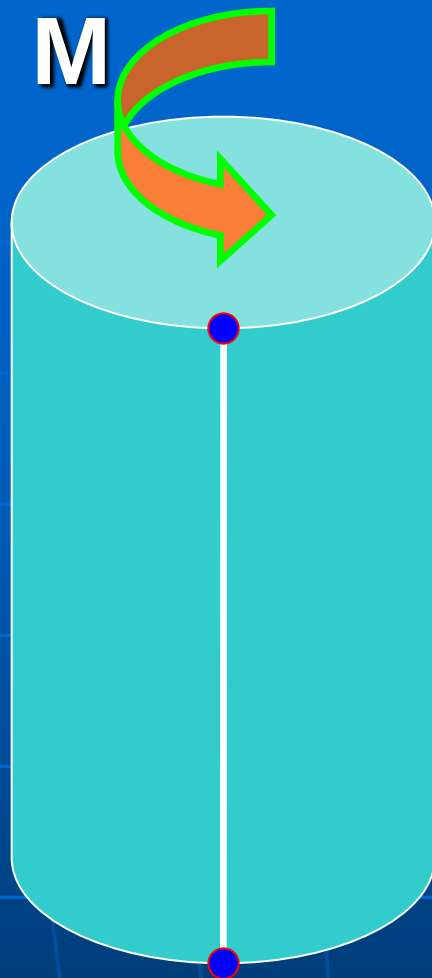


пластическая



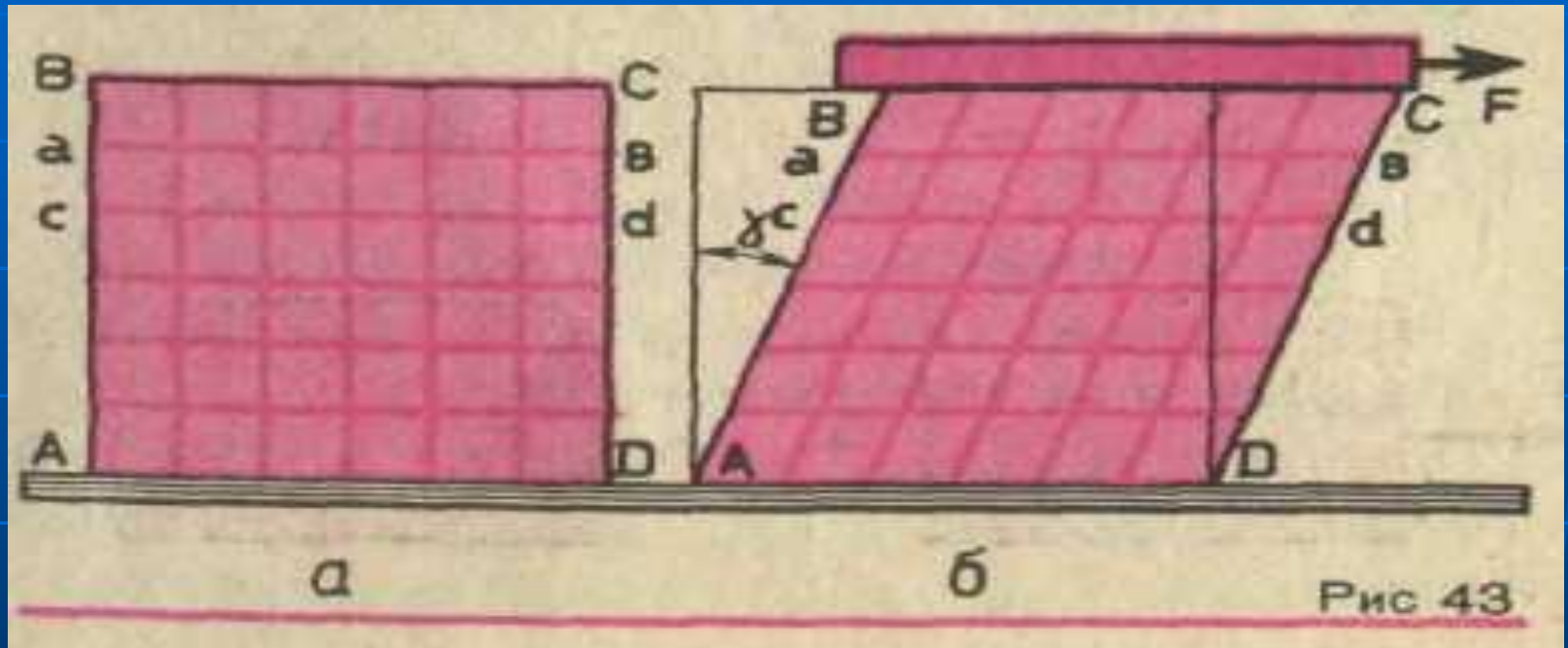
Виды деформации

- ✓ Кручения
- ✓ Сдвига
- ✓ Изгиба
- ✓ Сжатия (Растяжения)



**При чистом кручении форма не меняется, но
перемещение есть**

Деформация сдвига

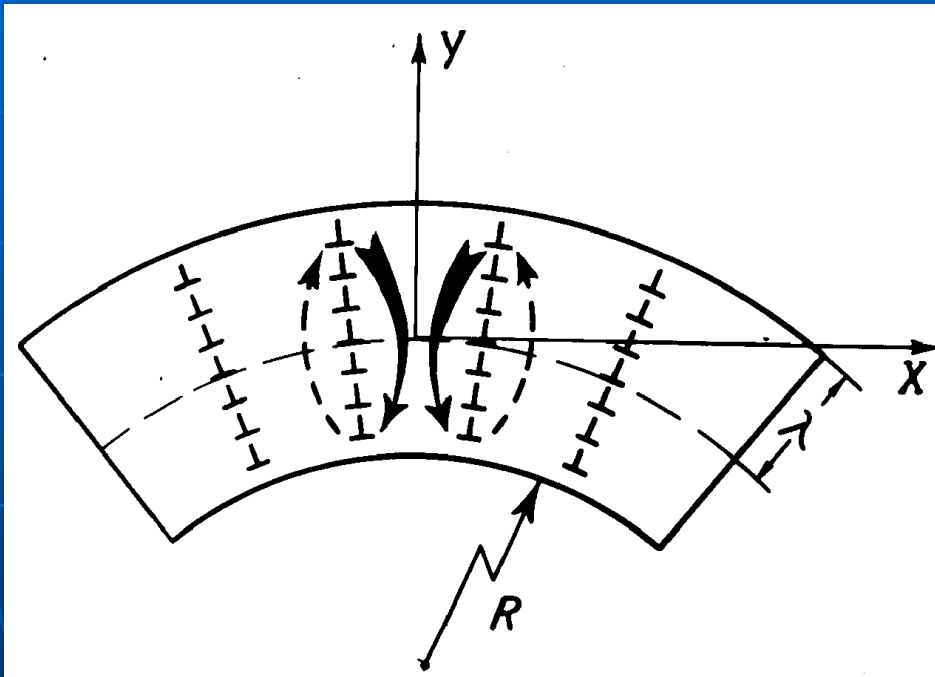


$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{d}{L}$$

τ Сдвиговое напряжение

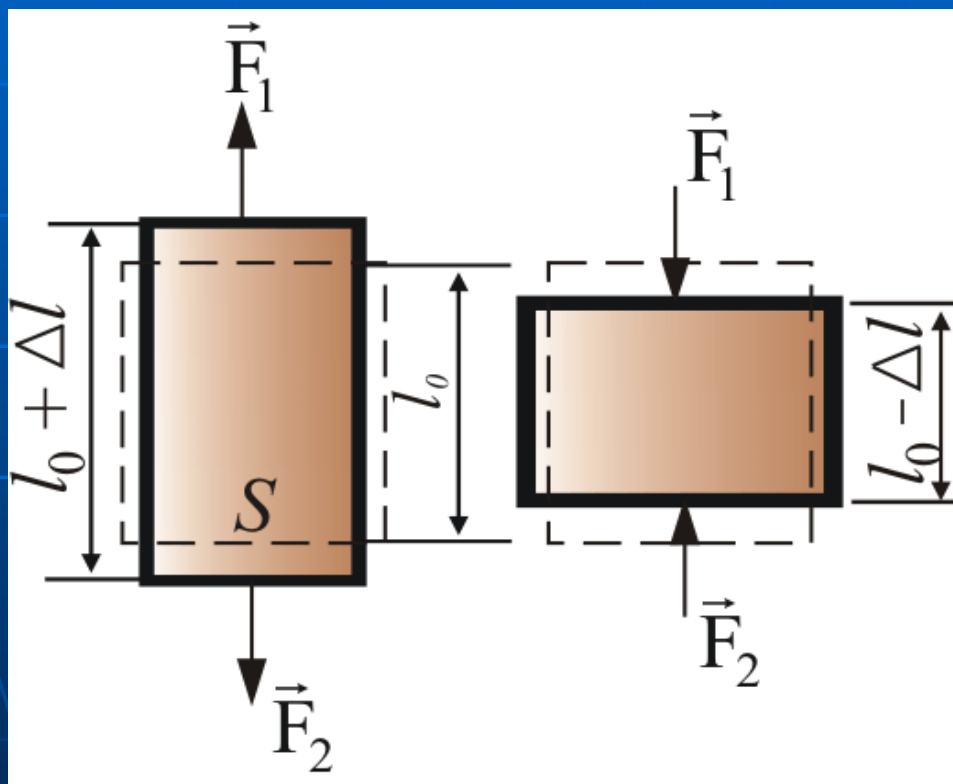
G Модуль сдвига

Деформация изгиба



$$\varepsilon \approx \frac{\Delta\lambda}{2R}$$

Деформация растяжения (сжатия)



$$\sigma = \frac{F_{\text{упр.}}}{S},$$

Закон Гука (кристалл изотропный)

При малых деформациях механическое напряжение прямо пропорционально относительной деформации.

$$\sigma = E * \varepsilon$$

(растяжение, сжатие)

$$\sigma = G * \varepsilon \quad (\text{сдвиг})$$

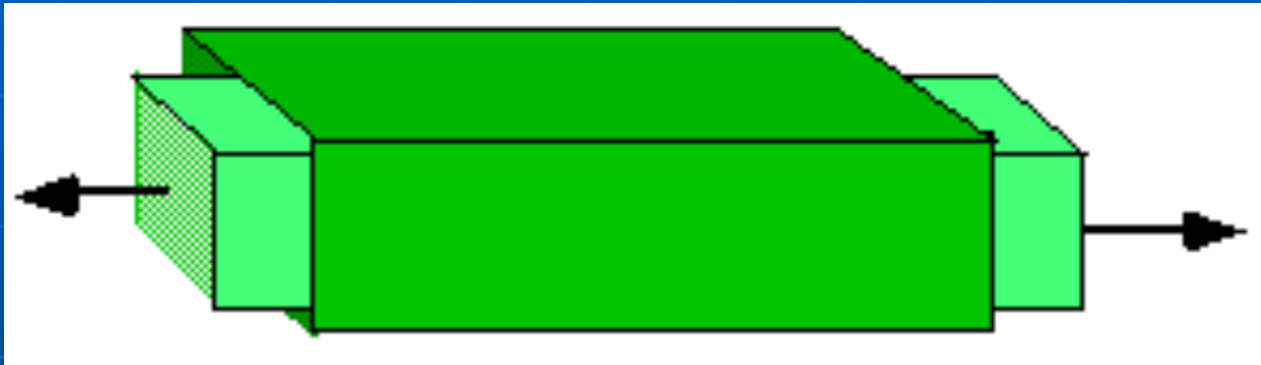
- Коэффициент пропорциональности E , входящий в закон Гука, называется модулем упругости или модулем Юнга.

$$E = [\text{Па}]$$

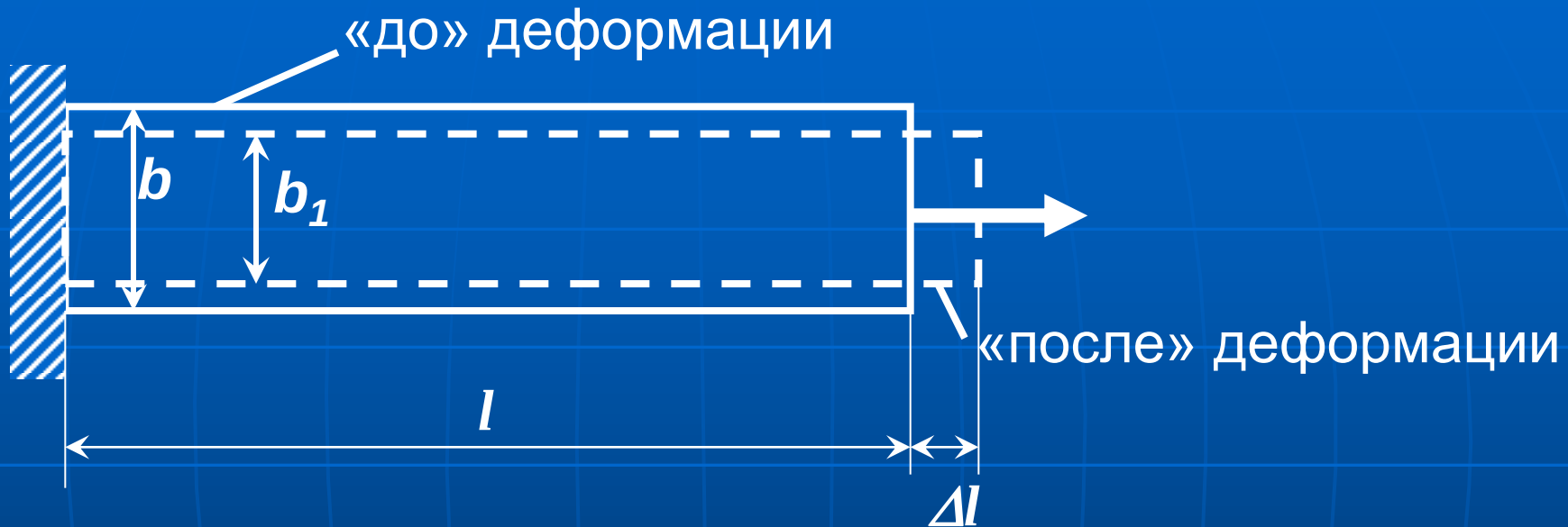
G , модулем сдвига.

$$G = [\text{Па}]$$

Коэффициент Пуассона



Коэффициент Пуассона



Δl - удлинение стержня, $\Delta b = b_1 - b$ - сужение стержня

Ведём относительные деформации:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \text{ - продольная деформация}$$

$$\varepsilon^* = \frac{\Delta b}{b} \text{ - поперечная деформация}$$

Коэффициент Пуассона

Пуассон заметил:

$$\nu = \left| \frac{\varepsilon^*}{\varepsilon} \right|$$

- Const для каждого материала

Коэффициент Пуассона – отношение относительной поперечной деформации к относительной продольной деформации при растяжении или сжатии стержня

Для изотропных материалов:

$$0 < \nu < 0.5$$

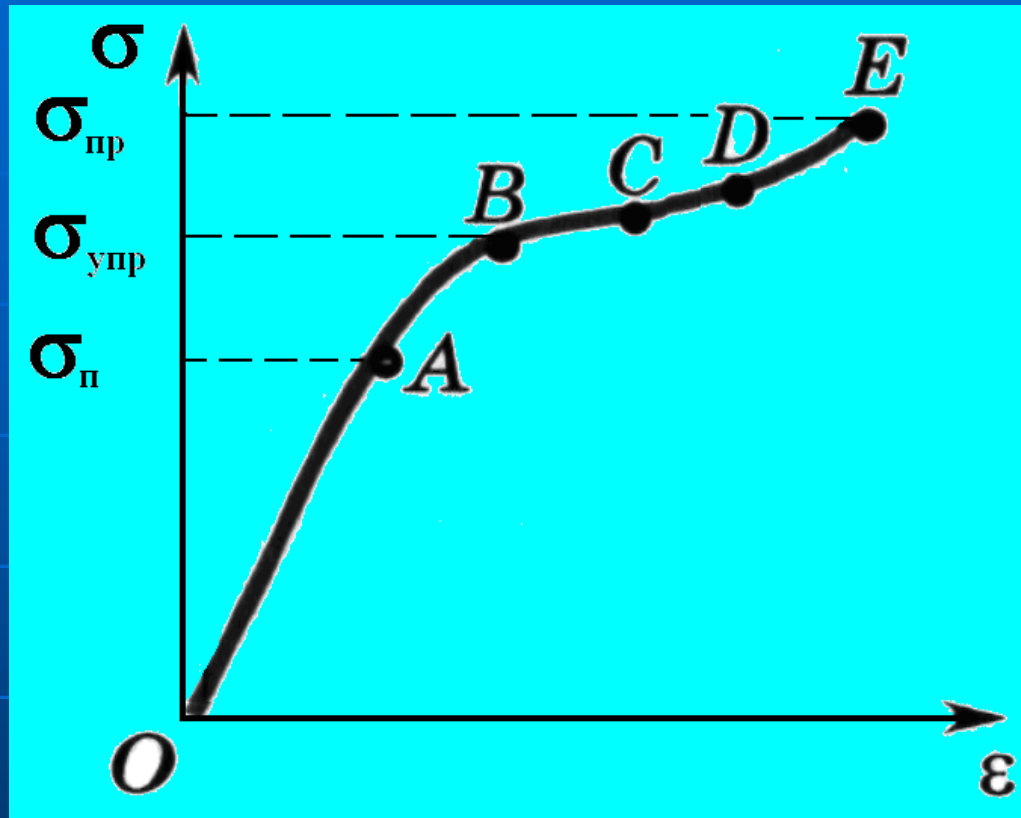
Сталь: $\nu \sim 0.25 \dots 0.3$

Медь: $\nu \sim 0.4$

Бетон: $\nu \sim 0.15$

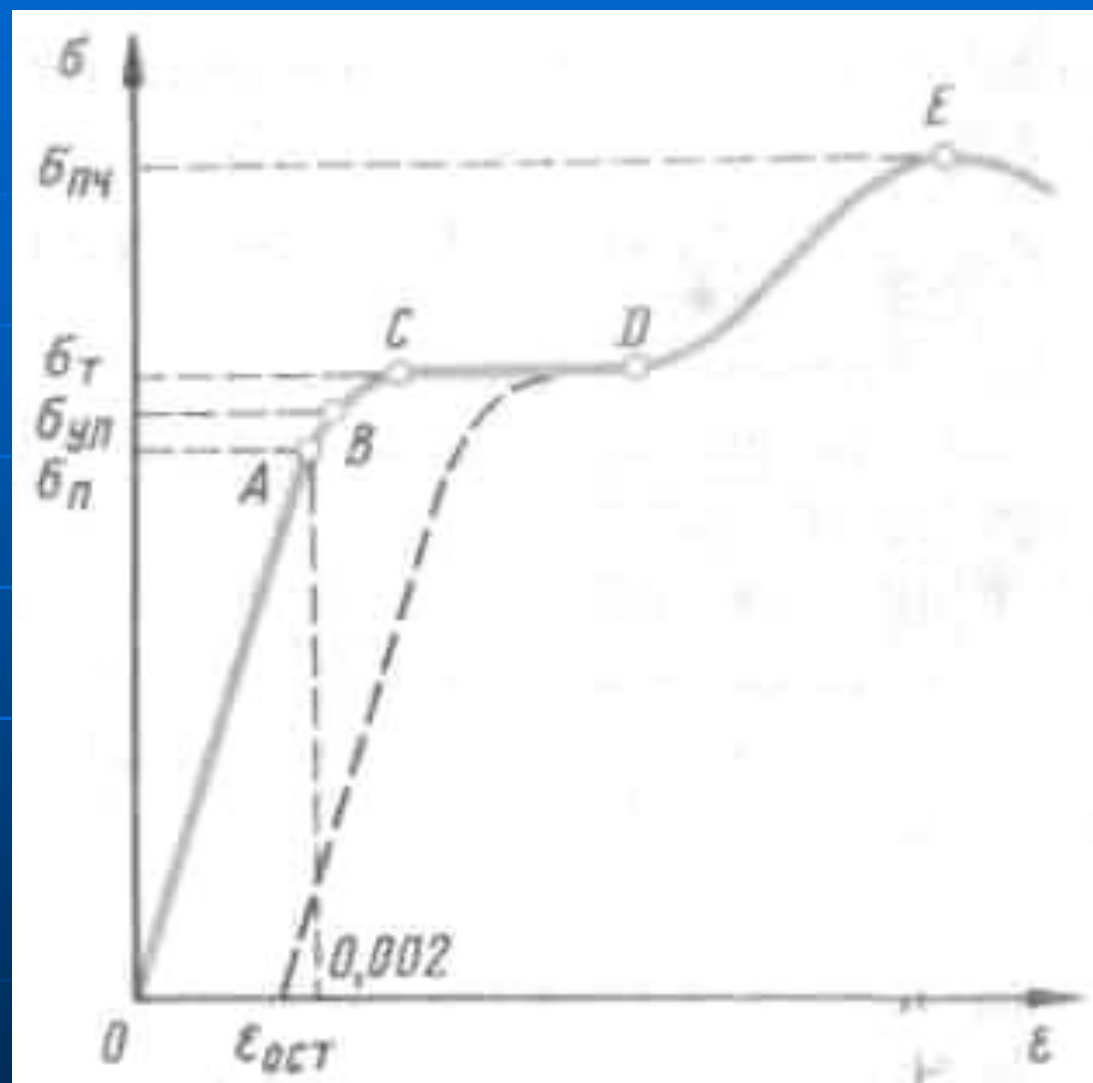
Резина: $\nu \sim 0.5$

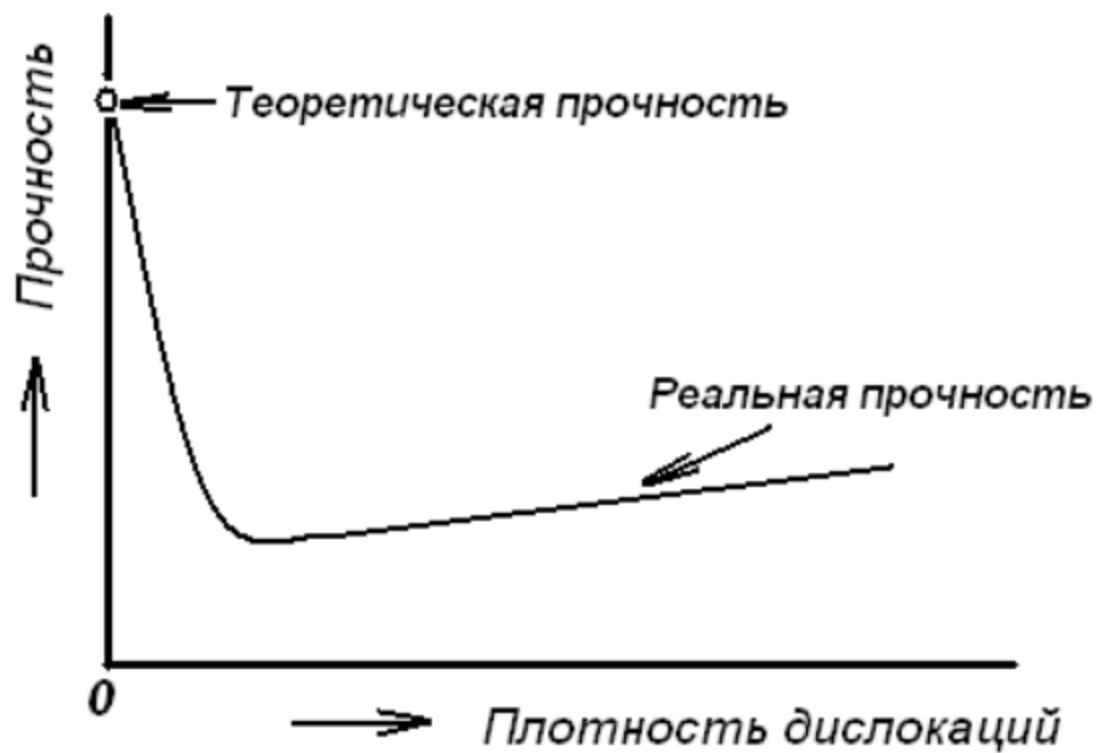
Кривая деформационного упрочнения



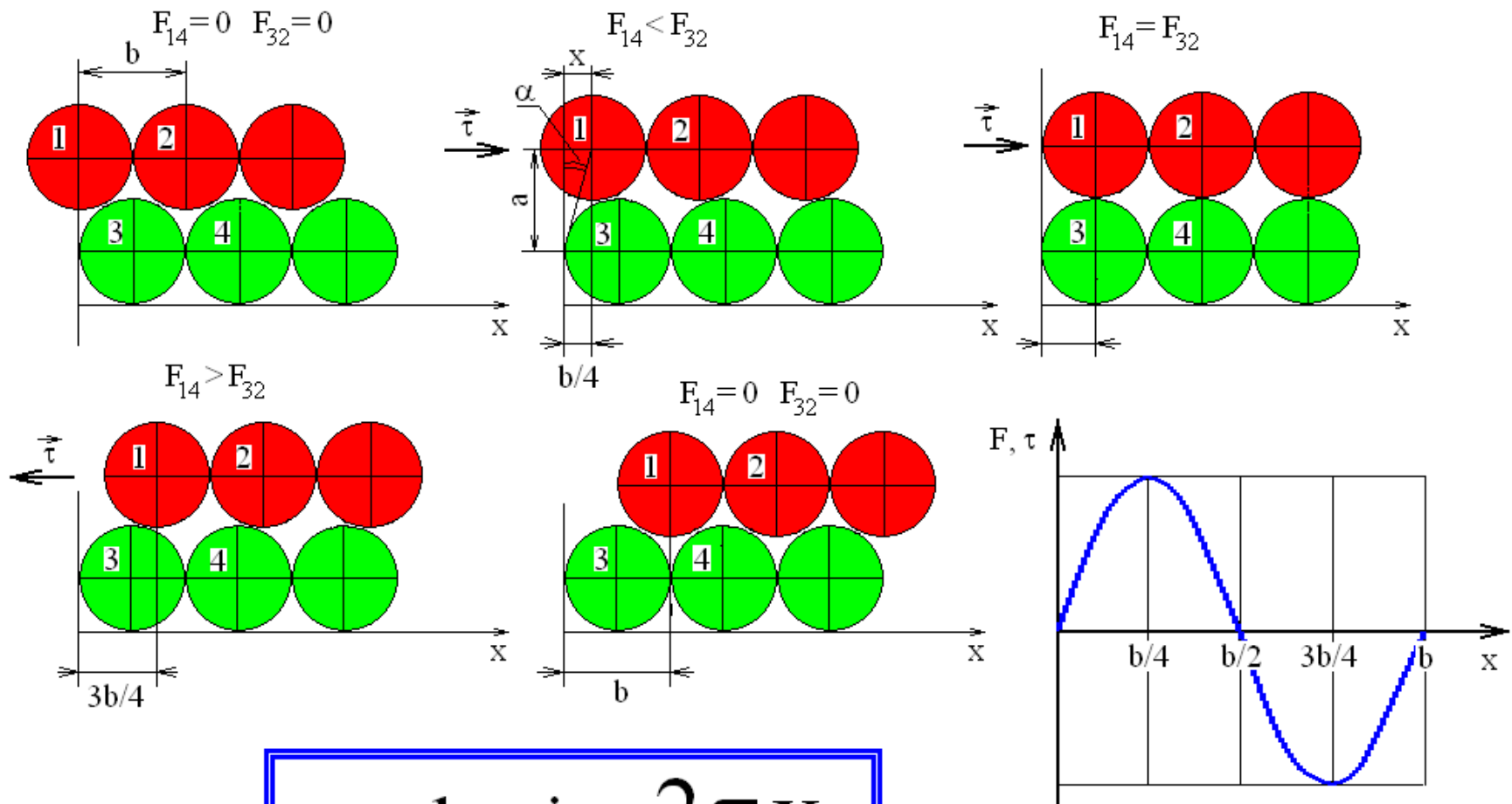
Предел прочности (точка E) — механическое напряжение $\sigma_{пр}$, выше которого происходит разрушение материала.

Предел упругости (точка B) — максимальная величина механического напряжения $\sigma_{упр}$, при которой деформация данного материала остаётся упругой, то есть полностью исчезает после снятия нагрузки.





Определение τ_T (модель Я.И.Френкеля)



$$\tau = k \sin \frac{2\pi x}{b}$$

1)

Для малых смещений

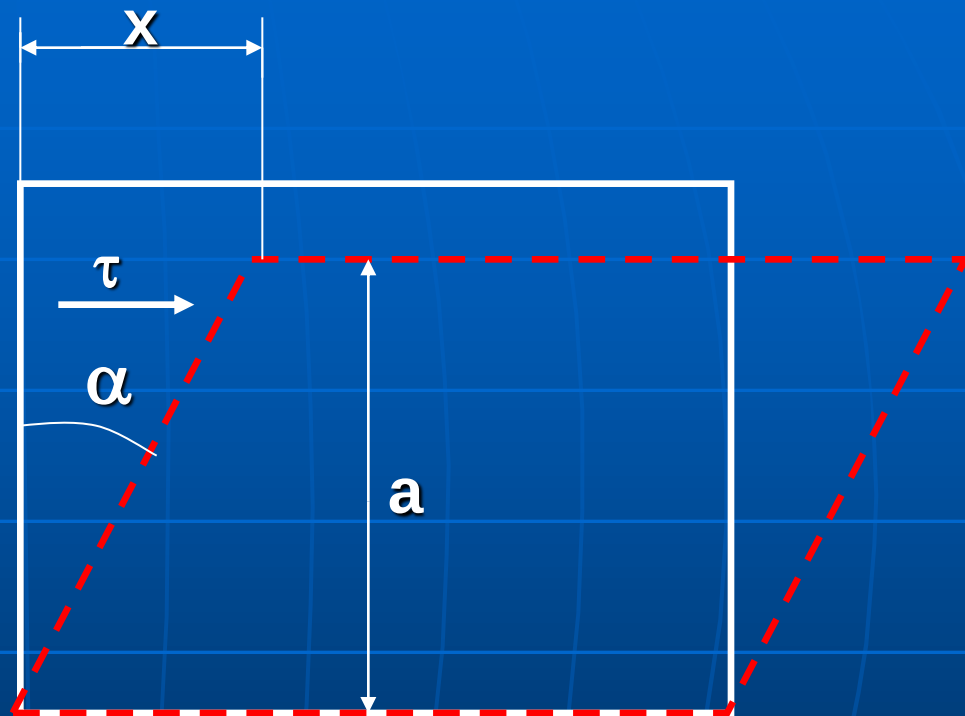
$$\sin \alpha \approx \alpha \Rightarrow \tau = k \frac{2\pi x}{b} \quad 2)$$

С другой стороны, в соответствии с законом Гука, найдем коэффициент k

$$\tau = G\gamma = G \operatorname{tg} \alpha = G \frac{x}{a},$$
$$k \frac{2\pi x}{b} = G \frac{x}{a} \Rightarrow k = \frac{Gb}{2\pi a}$$

Подставляя k в 1)
найдем τ

$$\tau = \frac{Gb}{2\pi a} \sin \frac{2\pi x}{b}$$



$\tau \rightarrow \max$ при $x \rightarrow b/4$. Тогда

$$\tau_m = \tau_{\max} = \frac{Gb}{2\pi a} \sin \frac{2\pi b}{4b} = \frac{Gb}{2\pi a}$$

Если принять $a \approx b$, то теоретическая прочность материала будет определяться формулой

$$\tau_m = \frac{G}{2\pi} \approx \frac{1}{6} G$$

Например, для Си $G \approx 46000$ МПа и $\tau_T \approx G/6 \approx 7600$ МПа.

Экспериментально установлено для Си при 20°C $\tau_T \approx 1$ МПа, т.е. разница в 7600 раз.

То же самое установлено и для других металлов.

Т.е. модель Френкеля не подтверждается экспериментально

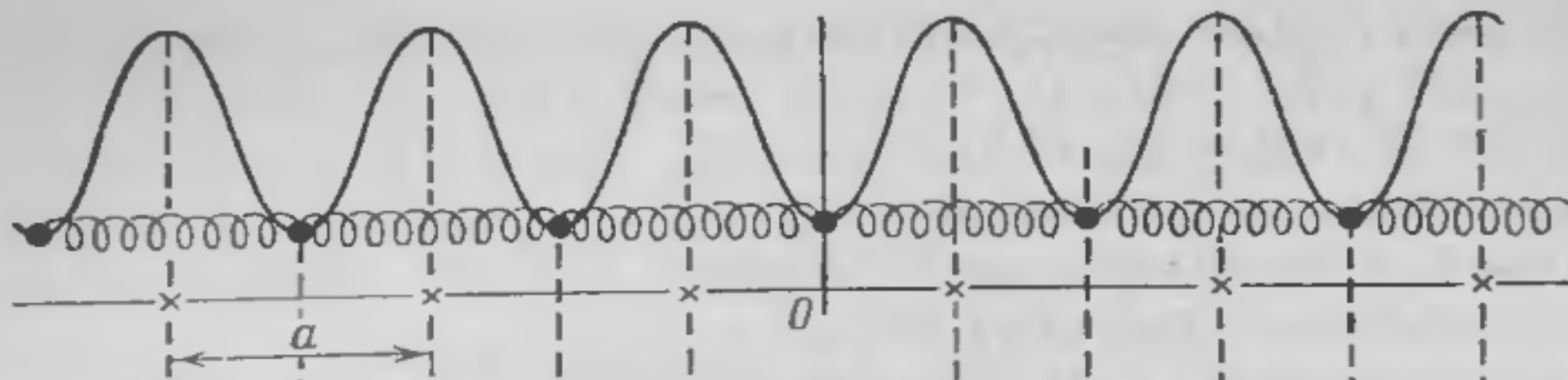
Уточненные расчеты дают следующее выражение для скалывающего напряжения:

$$\tau_m \approx \frac{G}{15 \div 30}$$

Имея для Си $G \approx 46000$ МПа и Fe $G \approx 80000$ МПа, получим $\tau_t \approx G/20 \approx 2300$ МПа для Fe и 4000 МПа для Fe.

Эксперимент дает для Си при 20°C $\tau_t \approx 1$ МПа и для Fe ≈ 15 МПа.

Т.о., теоретическое сопротивление сдвигу в сотни и тысячи раз меньше, чем экспериментальное.



Элементы теории дислокаций

Несоответствие реального поведения кристаллов при механическом нагружении модели Френкеля означает, что существуют факторы, значительно облегчающие процесс пластической деформации и уменьшающие критическое напряжение сдвига τ_T .

В 1934 г. Полани, Орован и Тейлор предположили, что такое несоответствие объясняется наличием в металлах особых дефектов - дислокаций