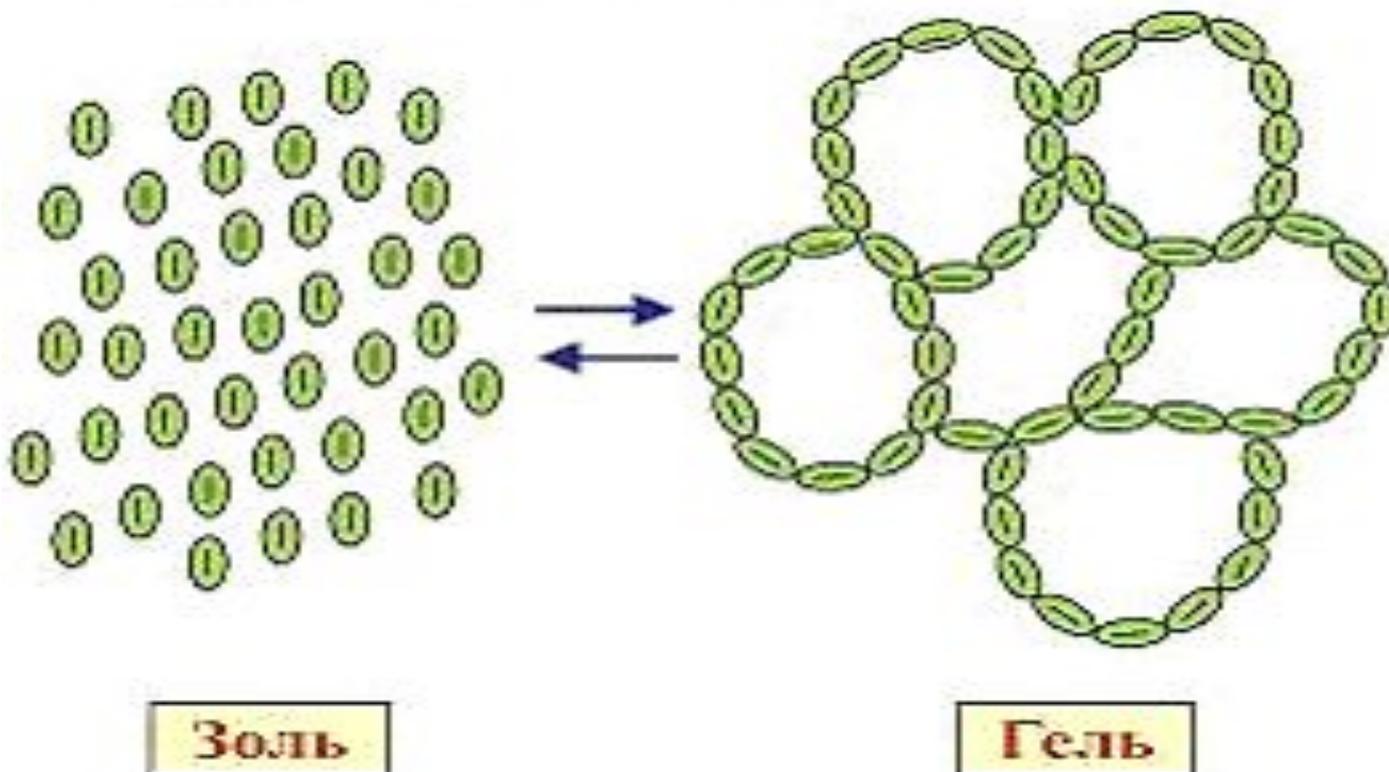


## Лекция № 7

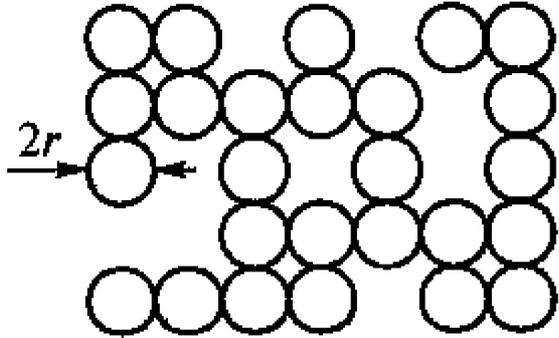
# СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

Свободнодисперсные системы

Связнодисперсные системы



# ПРОЧНОСТЬ ДИСПЕРСНЫХ СТРУКТУР



$$P \approx \chi \rho_1 \quad [\text{Н/м}^2]$$

$\chi$  [м<sup>-2</sup>] - количество контактов

на единицу поверхности разрушения

$\rho_1$  [Н] – прочность индивидуального контакта

$$\chi \approx \frac{1}{(2r)^2}$$

Диаметр частиц ( $2r$ ), мкм	$\chi$ , см <sup>-2</sup>
100	$10^3 - 10^4$
1	$10^7 - 10^8$
0,01 (10 нм)	$10^{11} - 10^{12}$

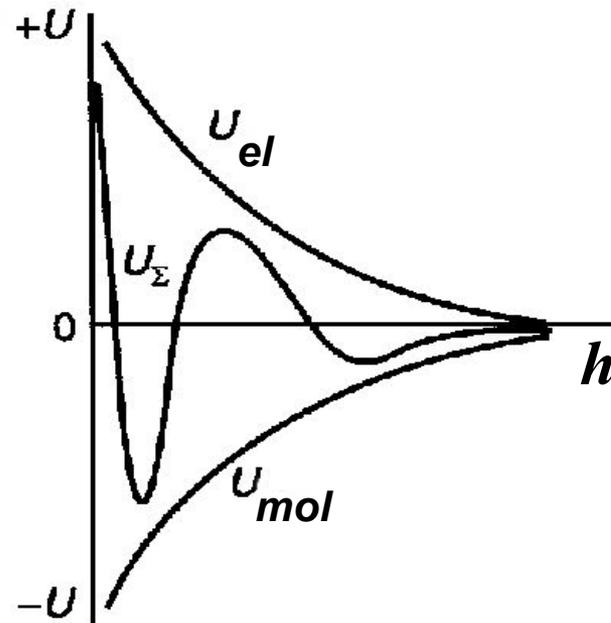
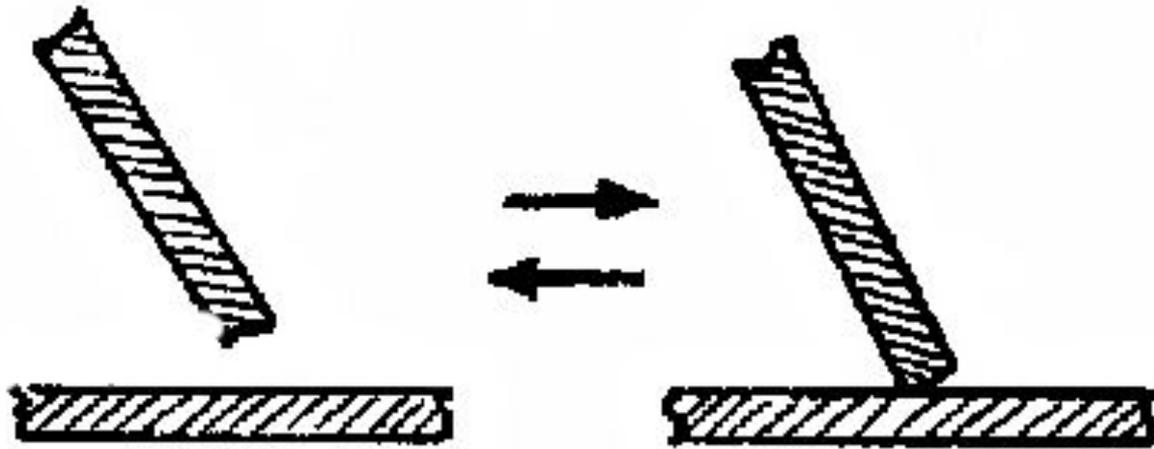
## **ОСНОВНЫЕ ГРУППЫ КОНТАКТОВ МЕЖДУ ЧАСТИЦАМИ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ:**

- **1. Коагуляционные контакты.**
- **2. Фазовые контакты.**

## **ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ:**

- **1. Коагуляционные.**
- **2. Кристаллизационные.**

# КОАГУЛЯЦИОННЫЕ КОНТАКТЫ



Зависимость энергии взаимодействия частиц от расстояния (теория ДЛФО)

# ПРОЧНОСТЬ КОАГУЛЯЦИОННОГО КОНТАКТА ( $p_1$ )

$$p_1 \approx \frac{A^* r}{12h_0^2} \quad [\text{Н}]$$

$A^*$  - сложная константа Гамакера

$r$  – радиус кривизны поверхности частиц  
в месте их соприкосновения

$h_0$  – равновесный зазор между частицами

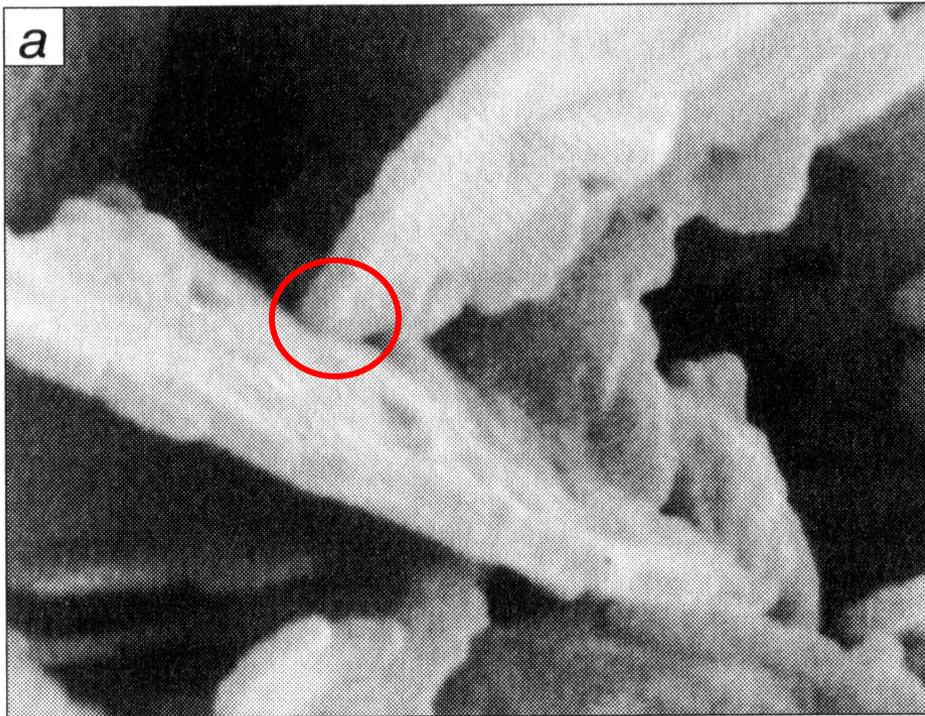
При  $A^* \approx 10^{-19}$  Дж  
нм  $h_0 \approx 0,2 \div 1$

$r$	$p_1, \text{Н}$
10 нм	$10^{-10} \div 10^{-9}$
1 мкм	$10^{-8} \div 10^{-7}$

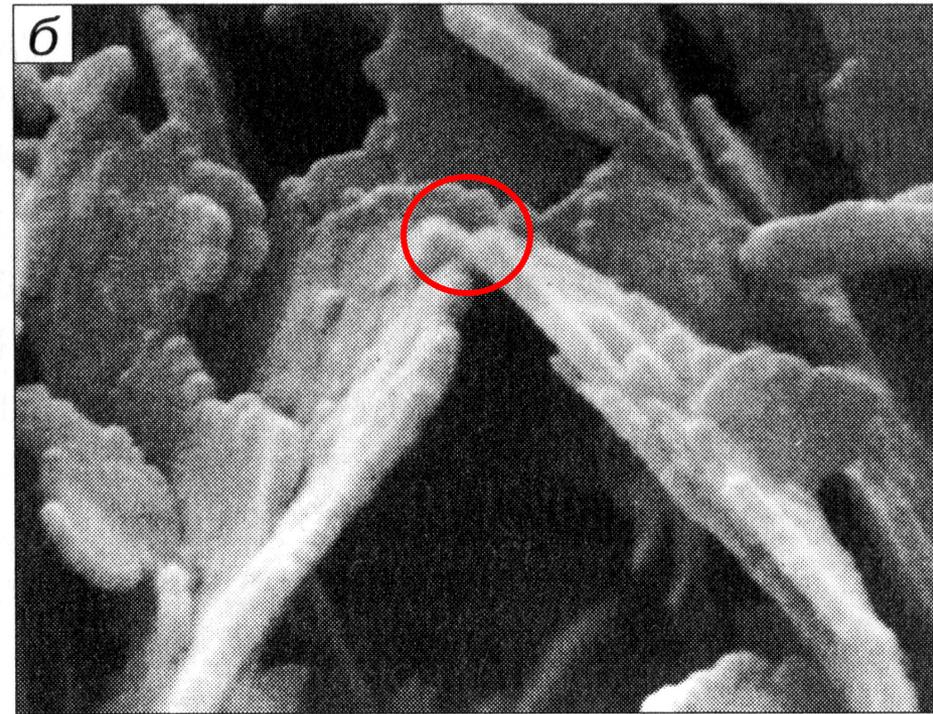
$P_{\text{коагуляционных структур}} = 10^2 \div 10^6$   
Н/м<sup>2</sup>

# КОАГУЛЯЦИОННЫЕ КОНТАКТЫ В ГЛИНАХ

типа «базис-скол»



типа «скол-скол»

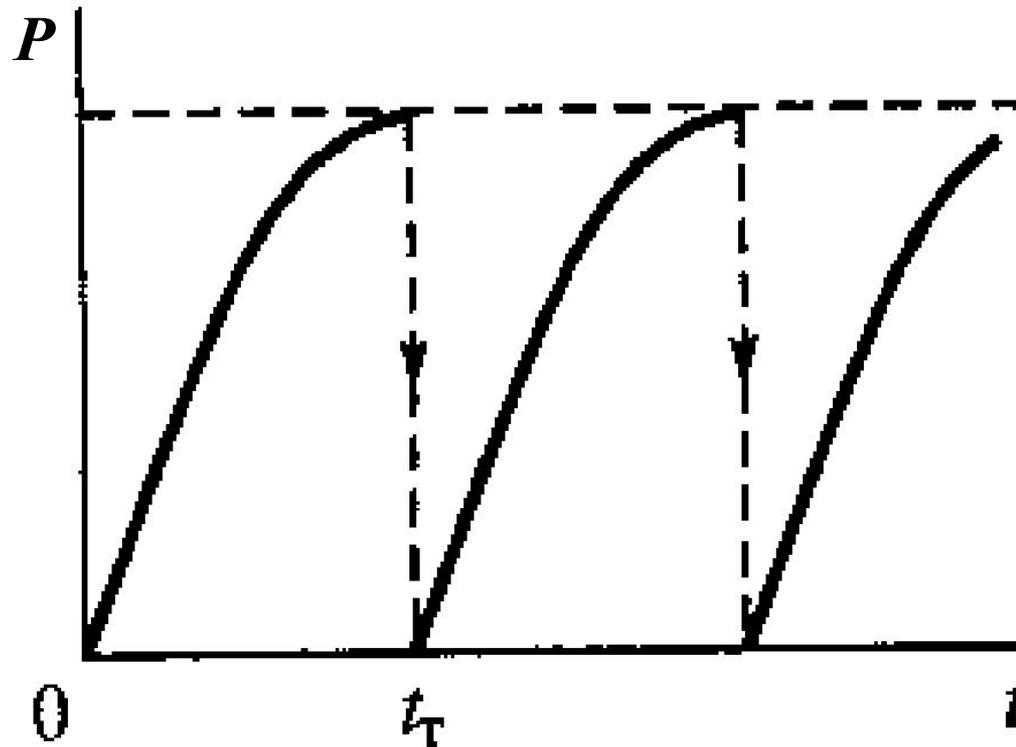


# ТИКСОТРОПИЯ.

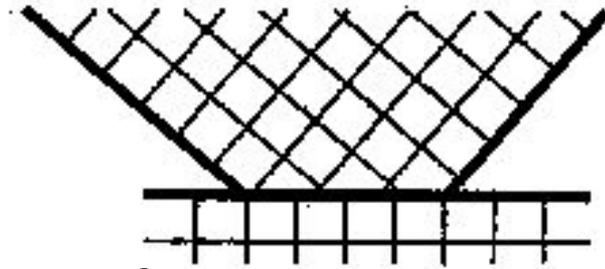
ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТИ КОАГУЛЯЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ОТ

ВРЕ

МЯ



# ФАЗОВЫЙ КОНТАКТ



$$p_1 = N \frac{e^2}{b^2 4\pi\epsilon_0} = 10^2 \div 10^3 \frac{e^2}{b^2 4\pi\epsilon_0}$$

$N = 10^2 \div 10^3$  – число связей в одном контакте

$e$  – заряд электрона

$b$  – межатомное расстояние

$\epsilon_0$  – электрическая постоянная

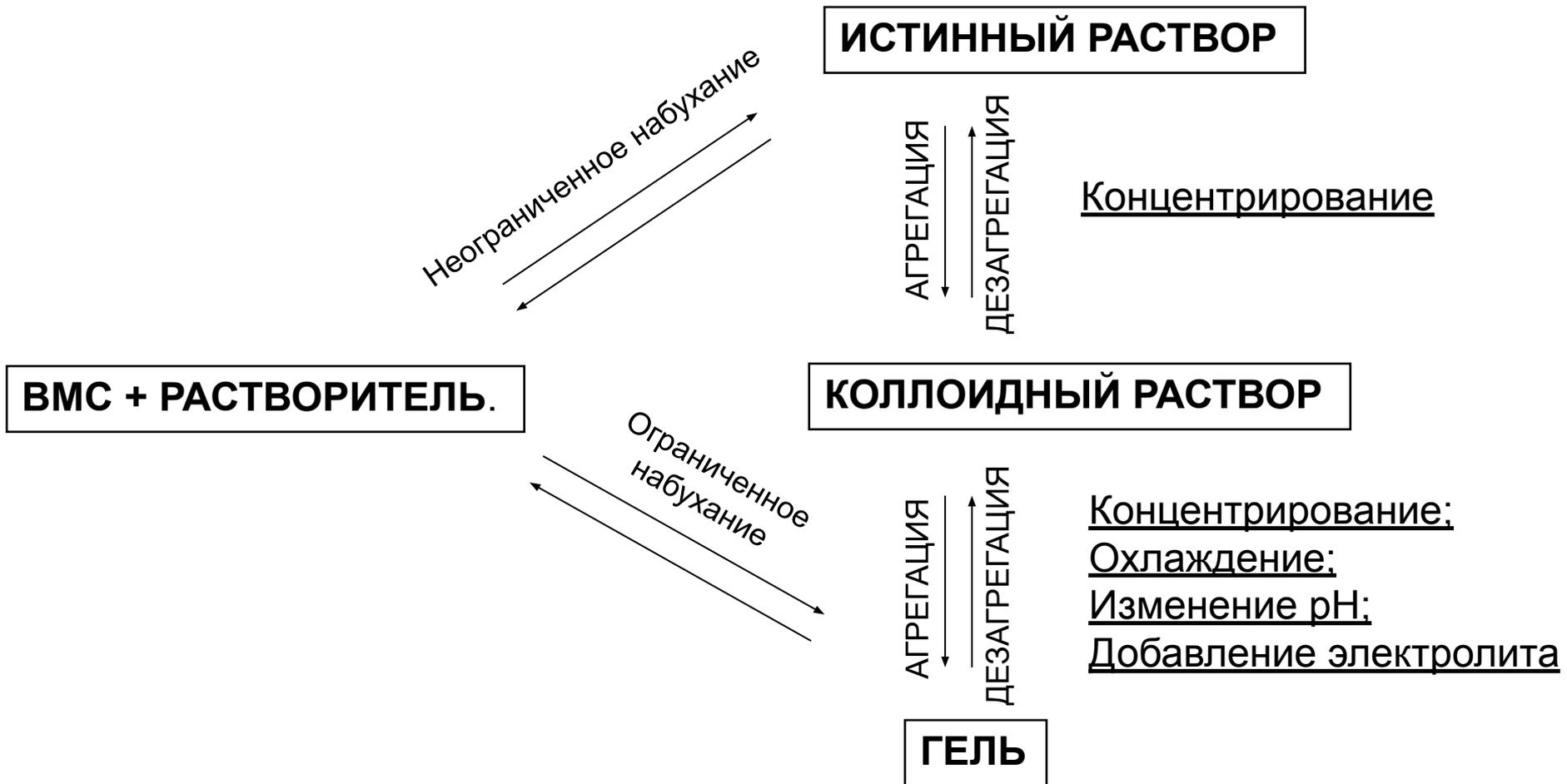
Ионные кристаллы и металлы средней прочности  $p_1 \approx 10^{-7}$  Н

Высокопрочные тугоплавкие металлы  $p_1 > 10^{-6}$  Н

При увеличении  $N > 10^2 \div 10^3$   $p_1$  достигает  $10^{-4} - 10^{-3}$  Н

$P_{\text{кристаллизационных структур}} = 10^4 \div 10^8$  Н/м<sup>2</sup> и выше

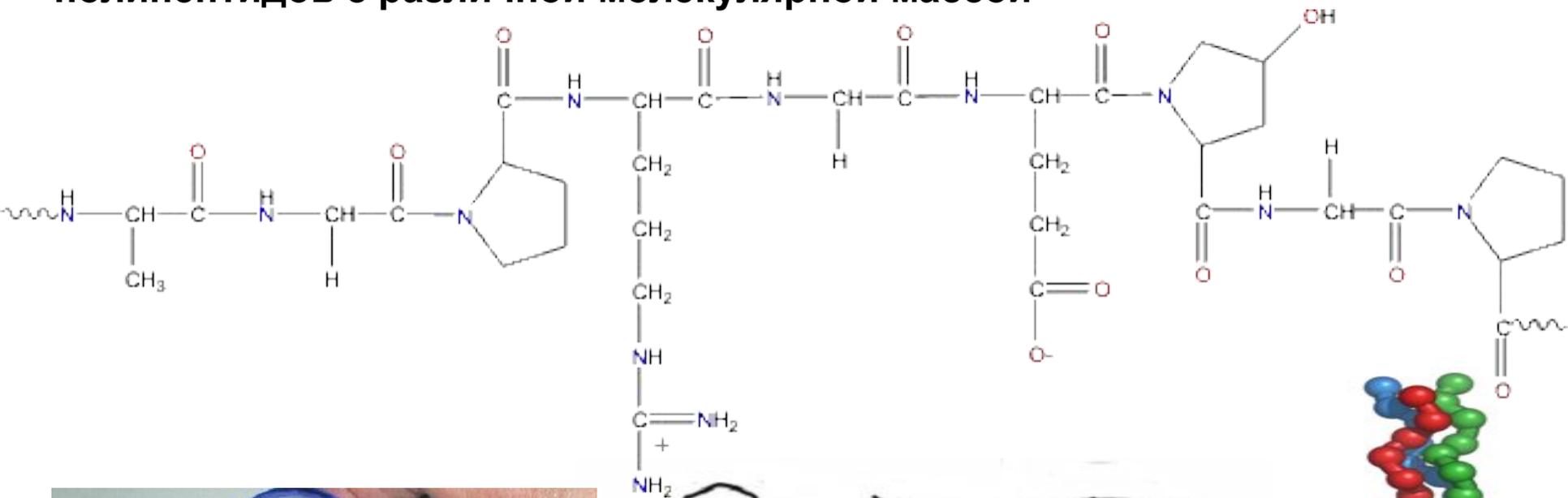
# ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ОБРАЗОВАНИЯ ГЕЛЕЙ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ



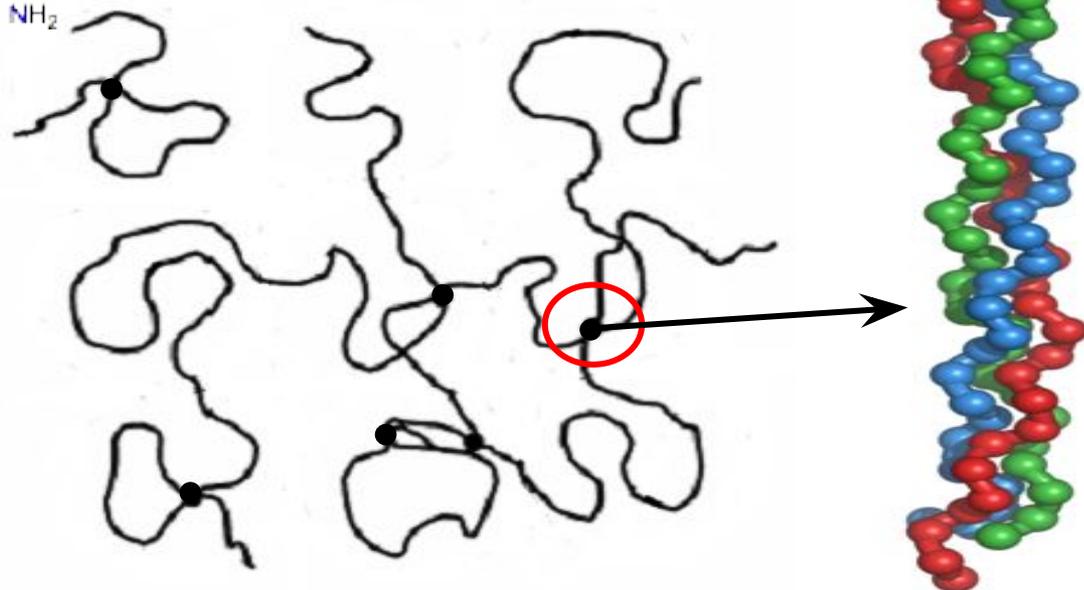
**Ограниченное набухание характерно для фибриллярных белков и полисахаридов с разветвленной структурой.**

**Гели в клетках – внешние слои цитоплазмы;  
в организме – мозг, кожа, хрящи, глазное яблоко.**

**Желатин** (от лат. gelatus — замерзший, застывший) — белковый продукт животного происхождения, представляющий собой смесь линейных полипептидов с различной молекулярной массой



ГЕЛЬ ЖЕЛАТИНЫ



Тройная спираль коллагена

# ОПТИМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ГЕЛЕОБРАЗОВАНИЯ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

<b>Вещество</b>	<b>рН</b>	<b>Концентрация, г/100 мл (200С) (точка гелеобразования)</b>
<b>Желатин (белок)</b>	<b>нейтральный</b>	<b>1</b>
<b>Яичный альбумин (белок)</b>	<b>&lt; 3</b>	<b>2</b>
<b>Казеин (белок)</b>	<b>12-13</b>	<b>15</b>
<b>Агар-агар (полисахарид)</b>	<b>Практически не зависит</b>	<b>1,2</b>

# СВОЙСТВА ГЕЛЕЙ

## Тиксотропия –

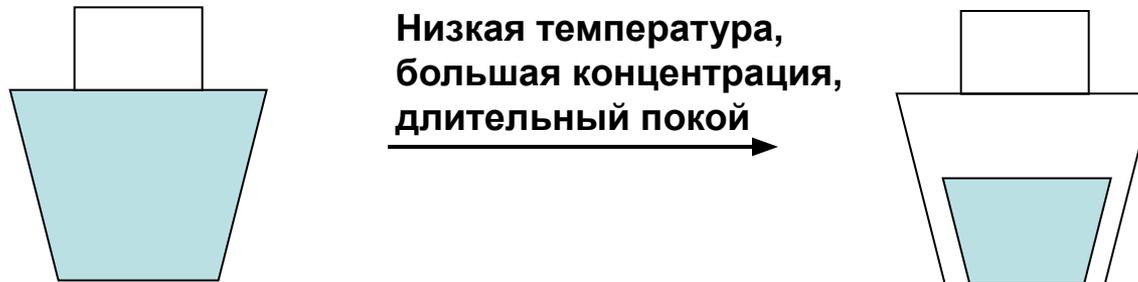
гели с коагуляционными контактами, например, гель яичного альбумина;

Частичная тиксотропия для гелей со смешанной коагуляционно-кристаллизационной структурой, например, малоконцентрированные гели желатины и казеина.

Сотрясение мозга и последующее восстановление его исходной структуры.

## Синерезис –

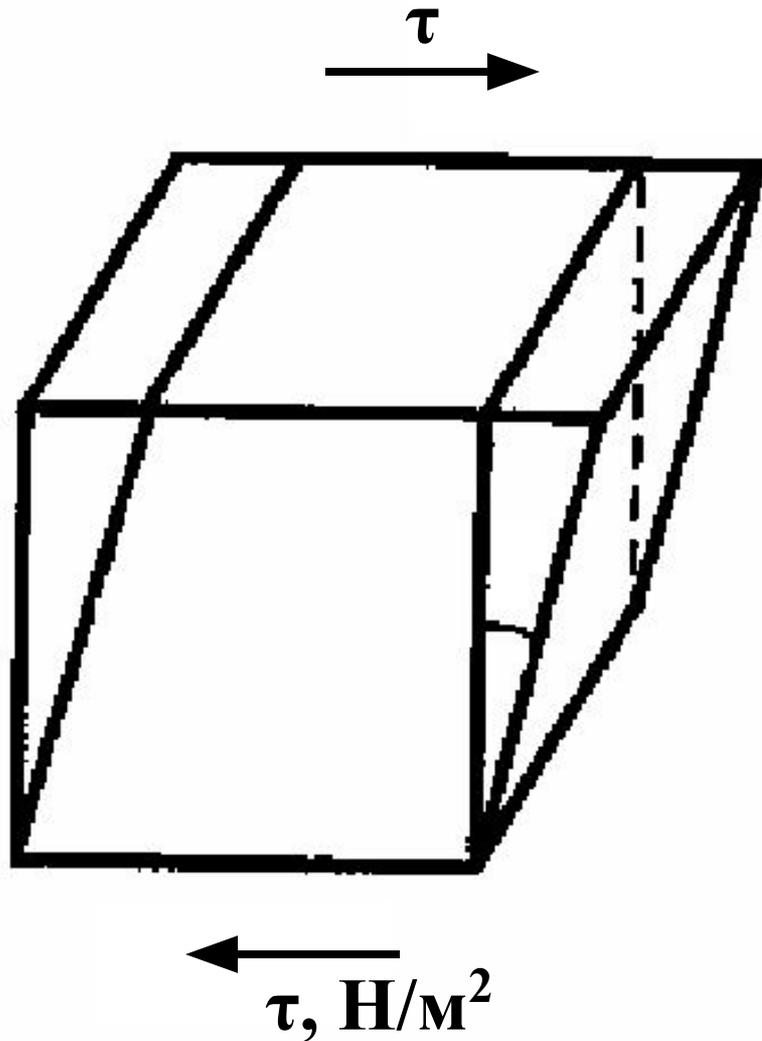
необратимый процесс старения геля, сопровождаемый упорядочением структуры с сохранением первоначальной формы, сжатием сетки и выделением из нее дисперсионной среды



Процесс старения:

мясо старых животных намного плотнее, а кости тоньше, чем у молодых.

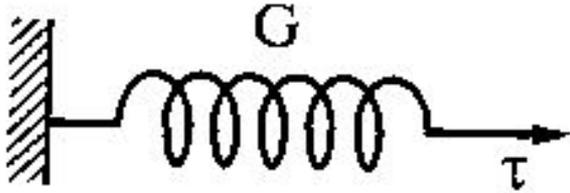
# РЕОЛОГИЯ



$$\gamma(\tau), \dot{\gamma}(\tau), \eta(\tau)$$

$$\dot{\gamma} = d\gamma/dt \quad [\text{с}^{-1}]$$

## УПРУГОЕ ПОВЕДЕНИЕ

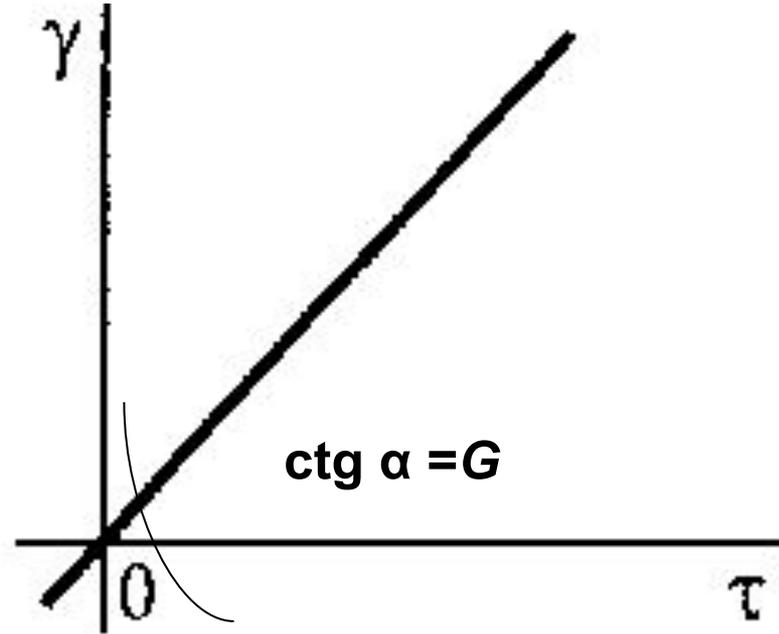


$$\tau = G\gamma$$

$\tau$  – напряжение сдвига

$G$  – модуль сдвига

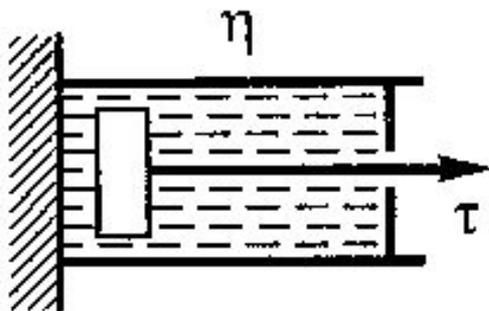
$\gamma$  – относительная деформация



Молекулярные кристаллы  $G \sim 10^9 \text{ Н/м}^2$

Ковалентные кристаллы и металлы  $G > 10^{11} \text{ Н/м}^2$

# ВЯЗКОЕ ПОВЕДЕНИЕ (ВЯЗКОЕ ТЕЧЕНИЕ)



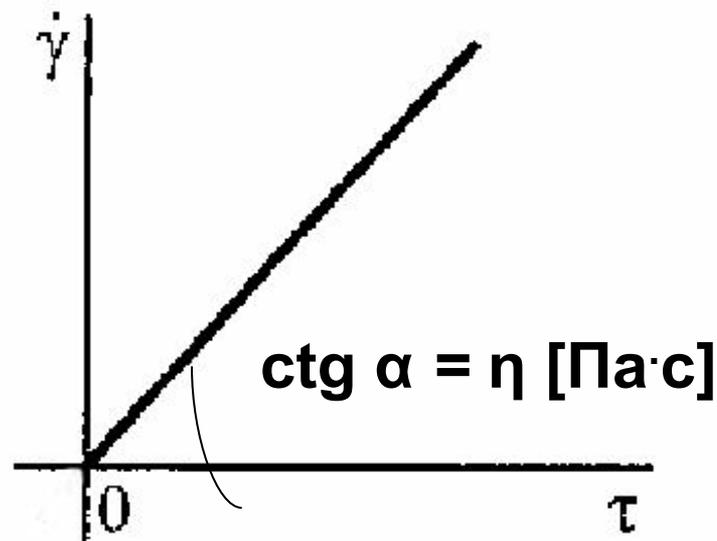
Уравнение Ньютона

$$\tau = \eta \frac{d\gamma}{dt} = \eta \dot{\gamma}$$

$\tau$  – напряжение сдвига

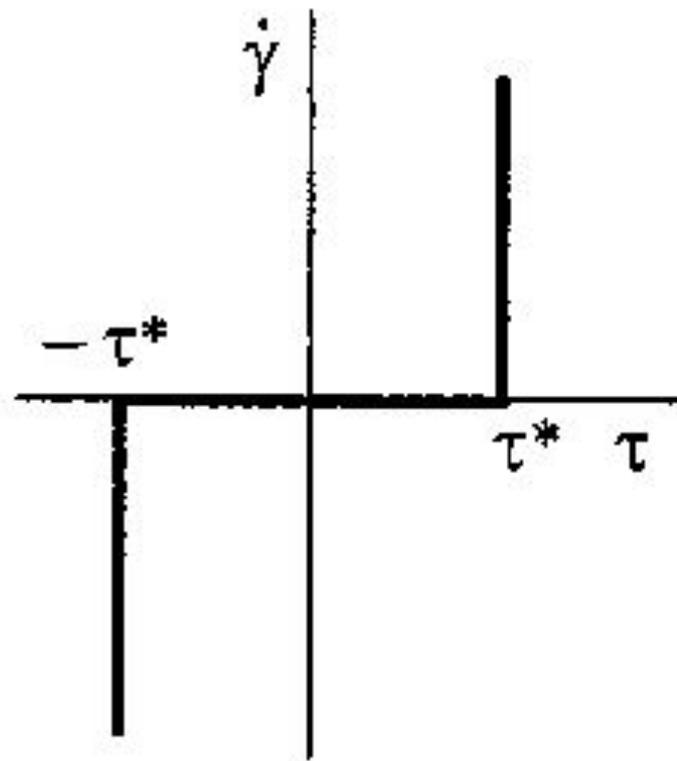
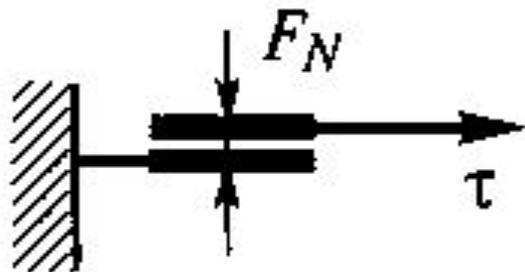
$\eta$  – вязкость

$d\gamma/dt$  – скорость развития деформации



Вязкость меняется в широких пределах:  
от  $10^{-3}$  Па·с для воды  
до  $10^{15}$  Па·с для горных пород

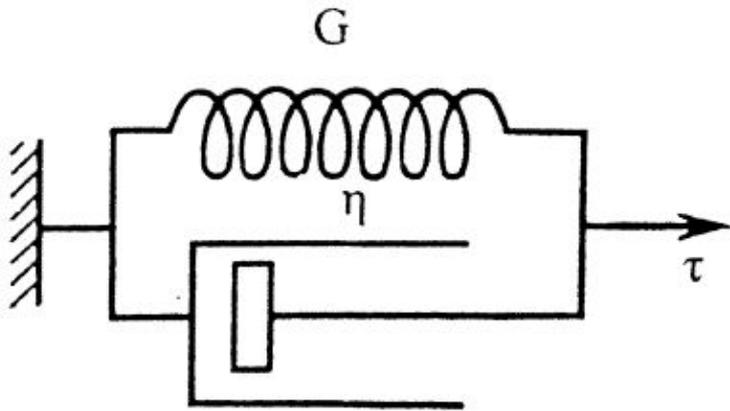
# ПЛАСТИЧНОСТЬ (ПЛАСТИЧЕСКОЕ ТЕЧЕНИЕ)



$$\tau < \tau^* \quad \gamma = 0 \quad d\gamma/dt = 0$$

$$\tau = \tau^* \quad \gamma > 0 \quad d\gamma/dt > 0$$

# МОДЕЛЬ КЕЛЬВИНА

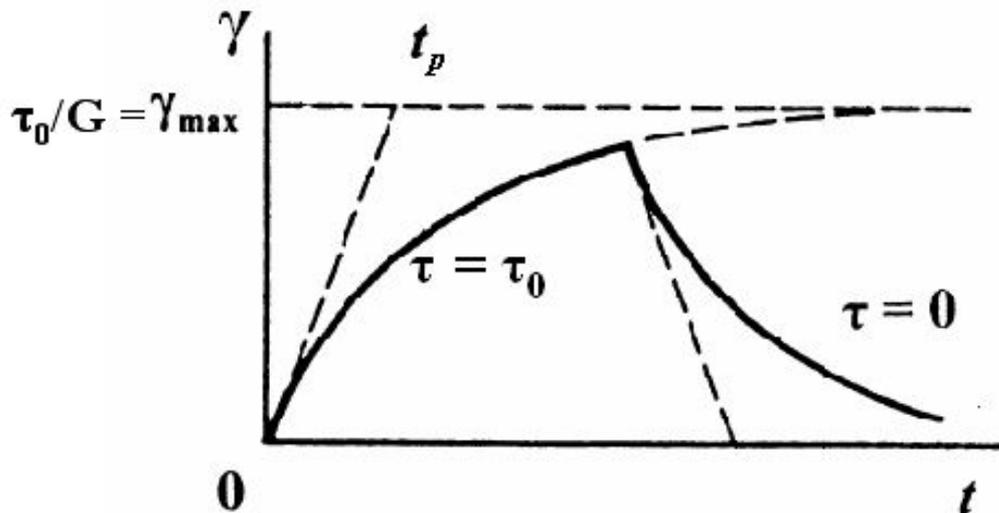


$$\dot{\gamma} = \text{const.}$$

$$\tau = \tau_G + \tau_\eta$$

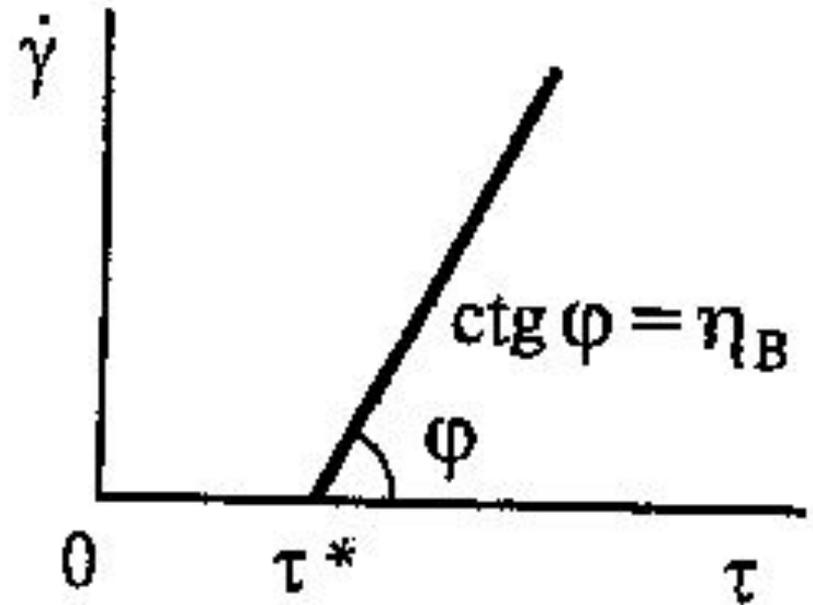
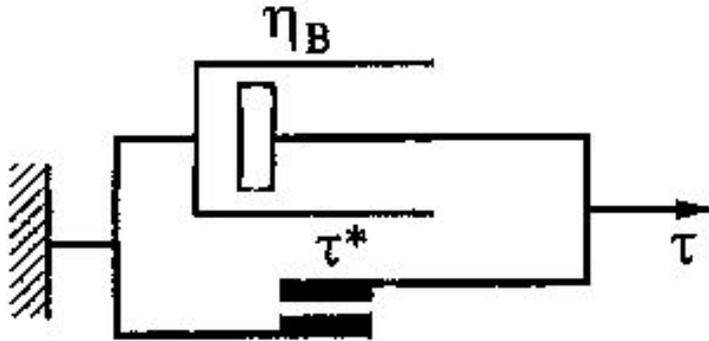
$$\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt} = \frac{\tau_\eta}{\eta} = \frac{\tau_0 - \tau_G}{\eta} = \frac{\tau_0 - G\gamma}{\eta}$$

$$\gamma = \frac{\tau_0}{G} \left( 1 - \exp\left(-\frac{Gt}{\eta}\right) \right) = \frac{\tau_0}{G} \left( 1 - \exp\left(-\frac{t}{t_p}\right) \right)$$



$$t_p = \eta/G$$

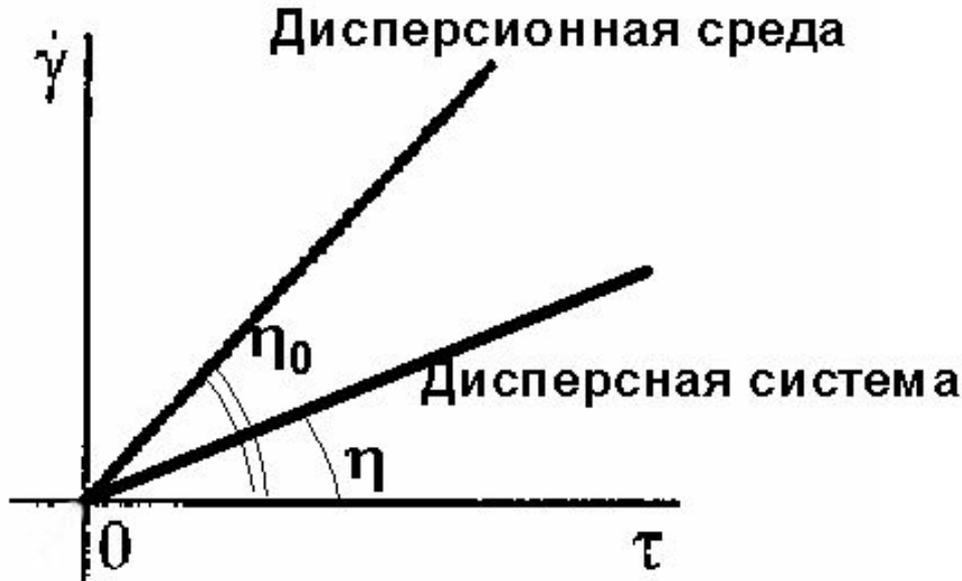
# МОДЕЛЬ БИНГАМА



$$\tau - \tau^* = \eta_B \dot{\gamma}$$

# РЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ СВОБОДНОДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

Изометричные частицы



НЬЮТОНОВСКАЯ СИСТЕМА

$$\frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} = k\varphi$$

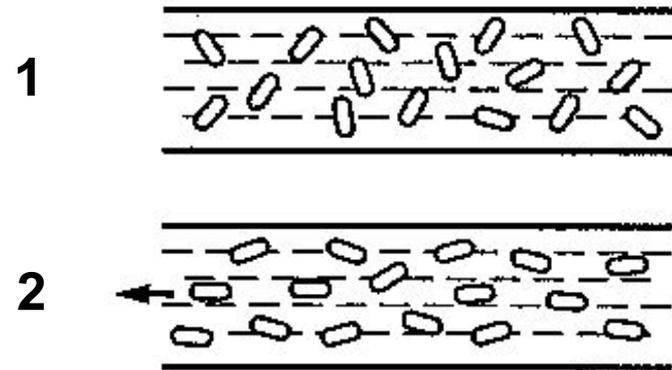
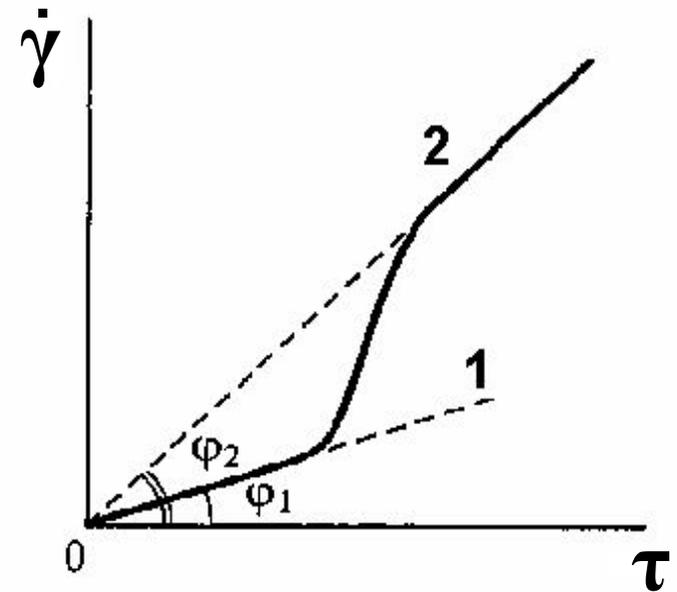
$\eta$  - вязкость дисперсной системы

$\eta_0$  - вязкость дисперсионной среды

$\varphi$  - объемная доля дисперсной фазы

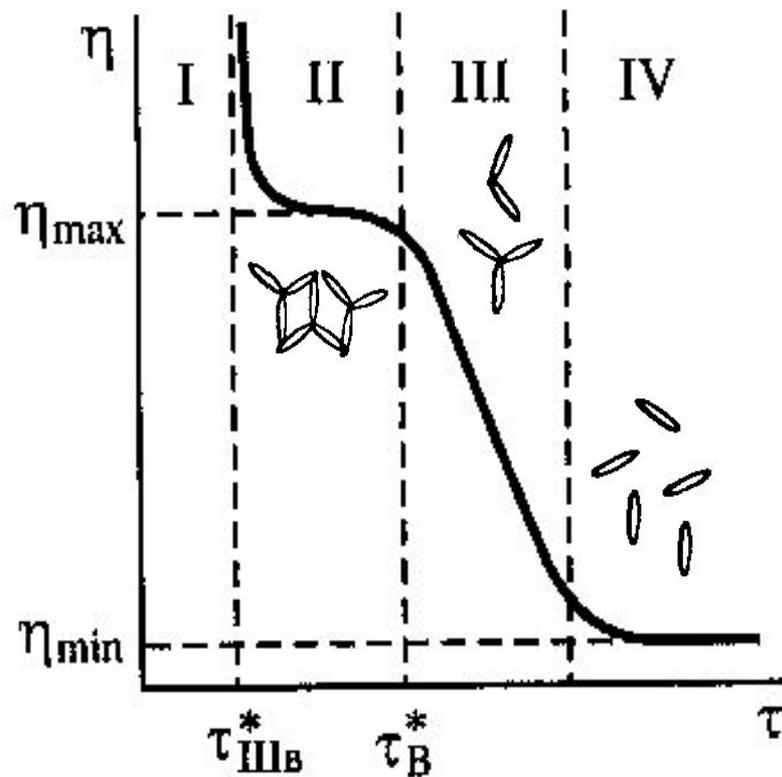
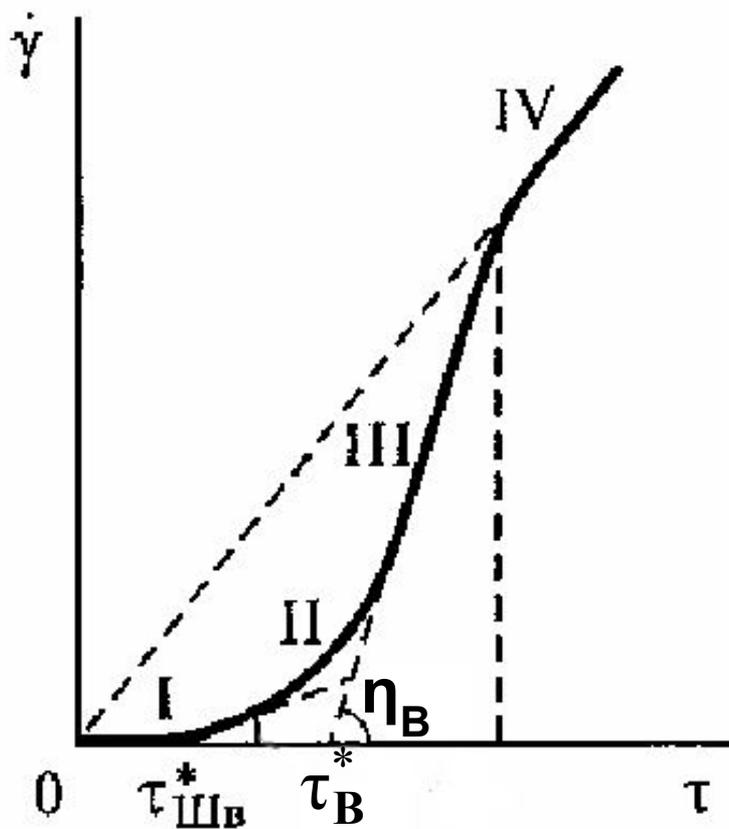
$k$  - коэффициент формы

Анизометричные частицы

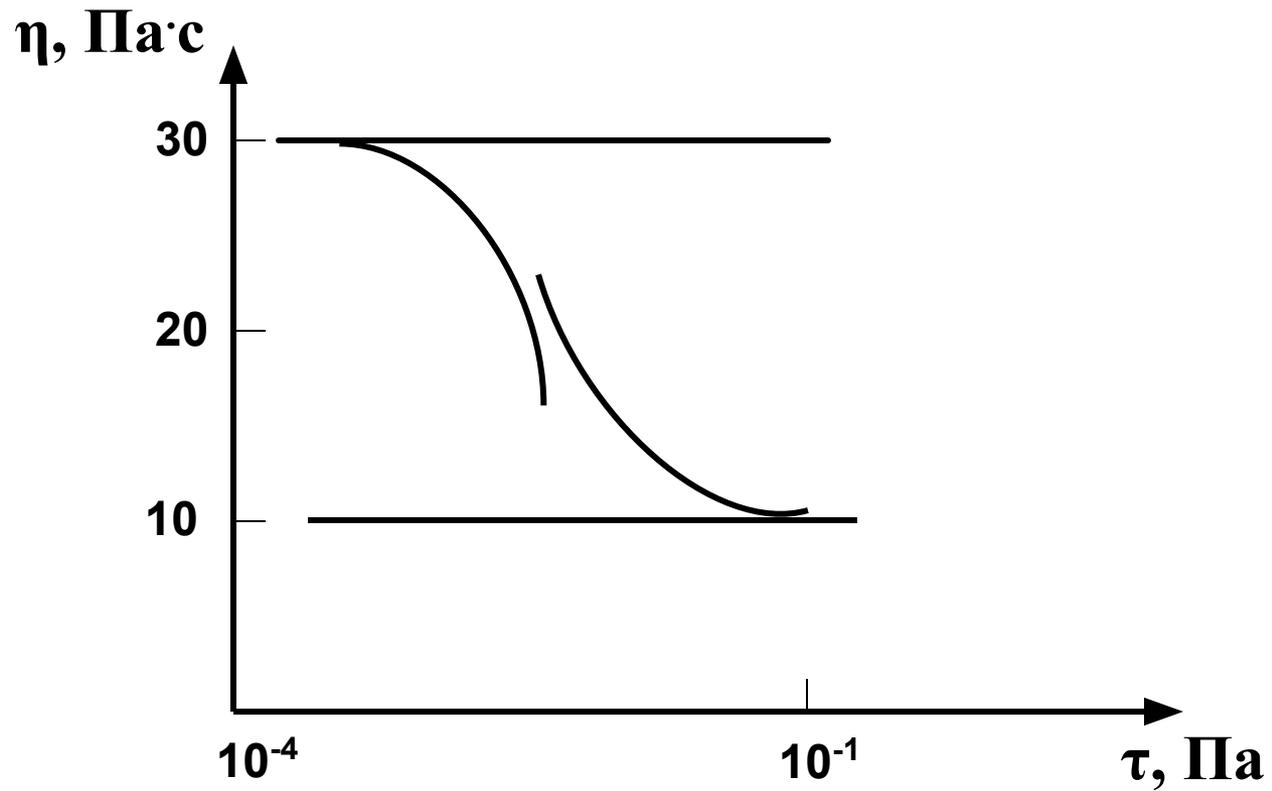


НЕНЬЮТОНОВСКАЯ СИСТЕМА

# РЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ СВЯЗНОДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ С КОАГУЛЯЦИОННЫМИ КОНТАКТАМИ. ПОЛНАЯ РЕОЛОГИЧЕСКАЯ КРИВАЯ



# РЕОЛОГИЧЕСКАЯ КРИВАЯ КРОВИ





## **АНКЕТА – 2012**

- 1. Как Вы оцениваете сложность восприятия лекционного материала?  
А) Сложный  
Б) Нормальный  
В) Упрощенный**
  
- 2. Нужно ли усложнять материал прочитанных Вам лекций?  
А) Да  
Б) Нет**
  
- 3. Какой раздел лекций Вы предложили бы расширить и углубить, какой сократить?**
  
- 4. Как Вы считаете, нужны ли контрольные работы и семинары?  
А) Да  
Б) Нет**
  
- 5. Ваши предложения по усовершенствованию курса лекций.**
  
- 6. Ваши замечания и пожелания лектору.**