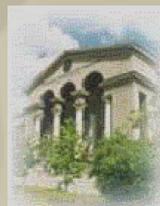
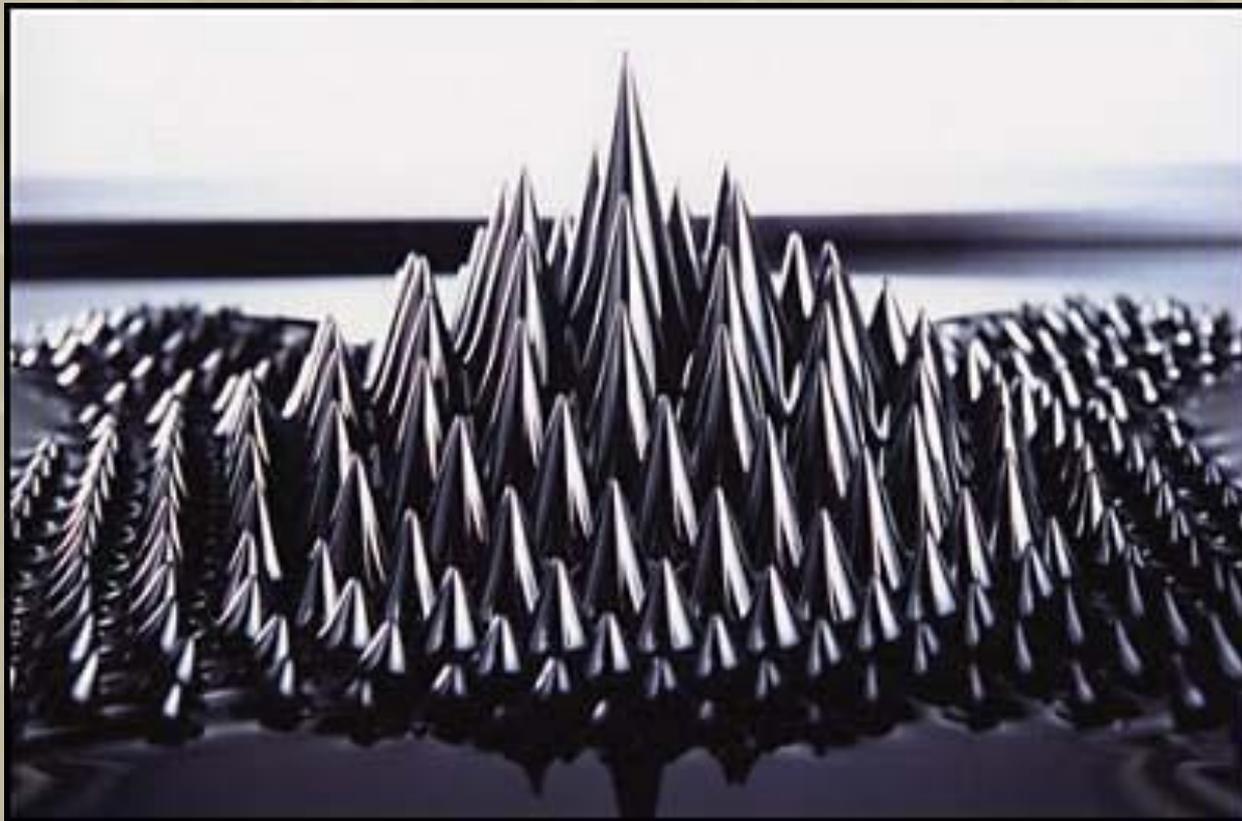
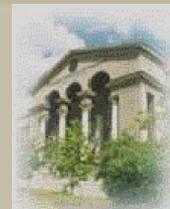


МАГНИТНЫЕ НАНОДИСПЕРСНЫЕ ЖИДКОСТИ

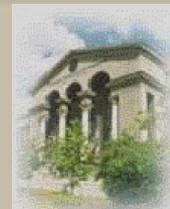
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. А.М. ГОРЬКОГО,
МАТЕМАТИКО-МЕХАНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ,
КАФЕДРА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ



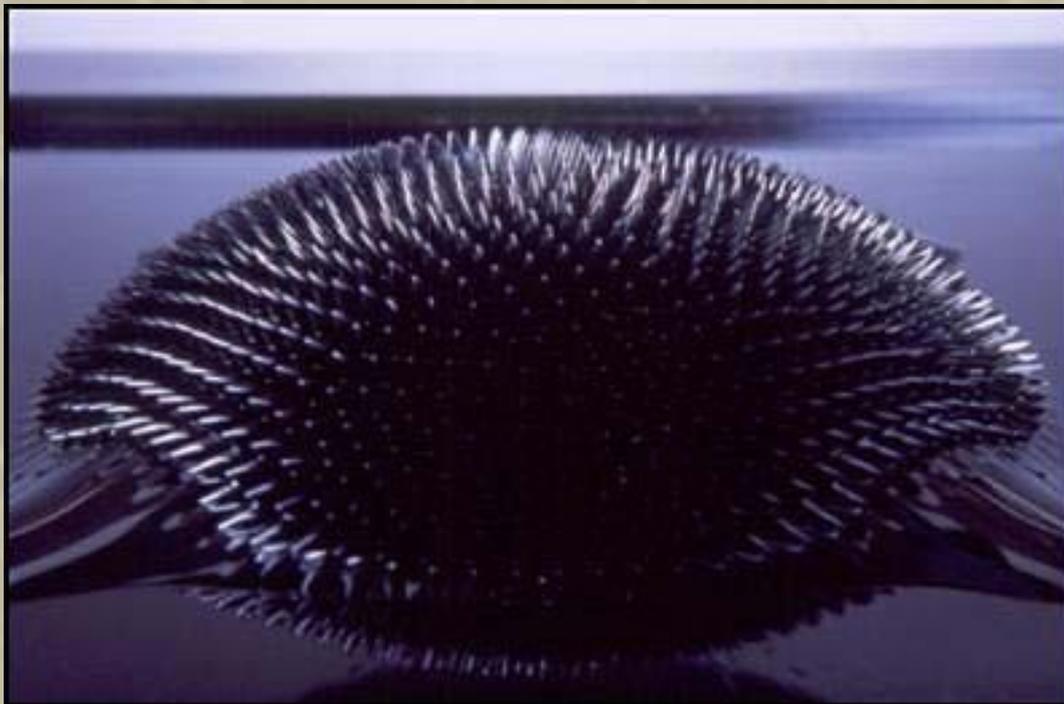
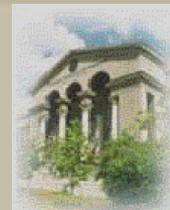
МАГНИТНЫЕ НАНОЖИДКОСТИ



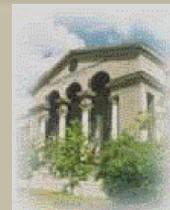
МАГНИТНЫЕ НАНОЖИДКОСТИ



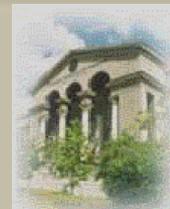
МАГНИТНЫЕ НАНОЖИДКОСТИ



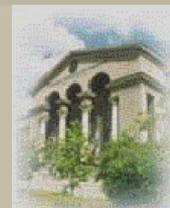
МАГНИТНЫЕ НАНОЖИДКОСТИ



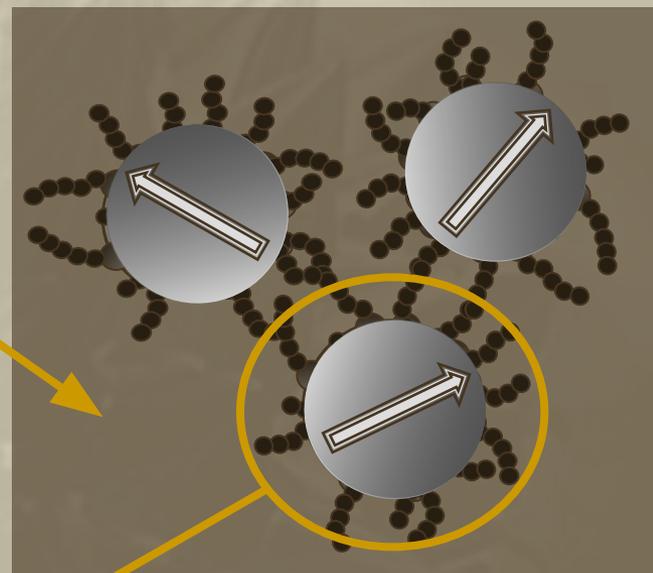
МАГНИТНЫЕ НАНОЖИДКОСТИ



МАГНИТНЫЕ НАНОЖИДКОСТИ

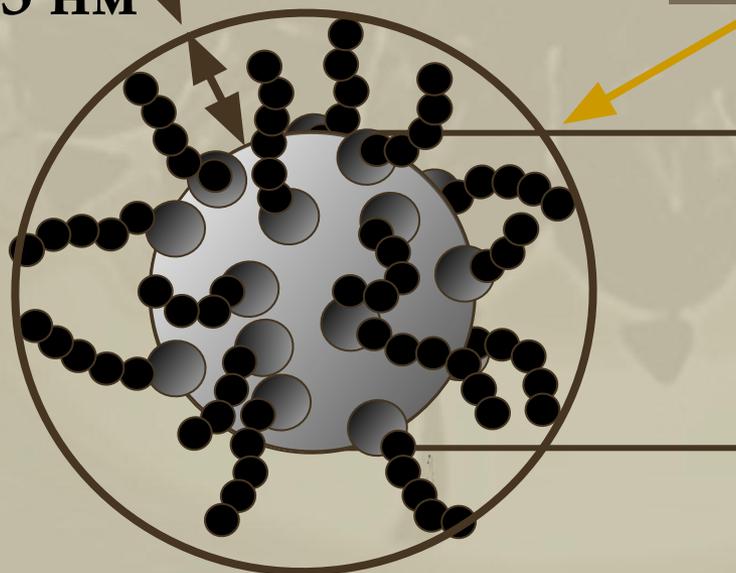


Жидкость носитель



наночастицы

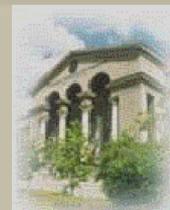
Поверхностный
слой, 2-3 нм



Магнитное ядро
 Fe_3O_4 , 10-20 нм



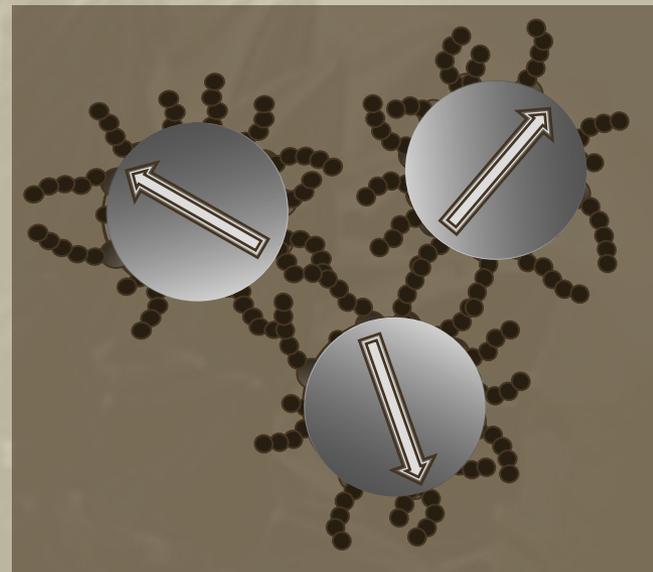
МАГНИТНЫЕ НАНОЖИДКОСТИ



Магнитного поля нет

Интенсивное броуновское
трансляционное и
вращательное движение

Ориентационный хаос



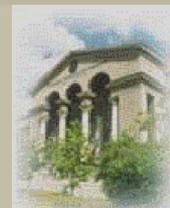
наночастицы

$$\langle M \rangle = \frac{1}{V} \sum_i \langle m_i \rangle = 0$$

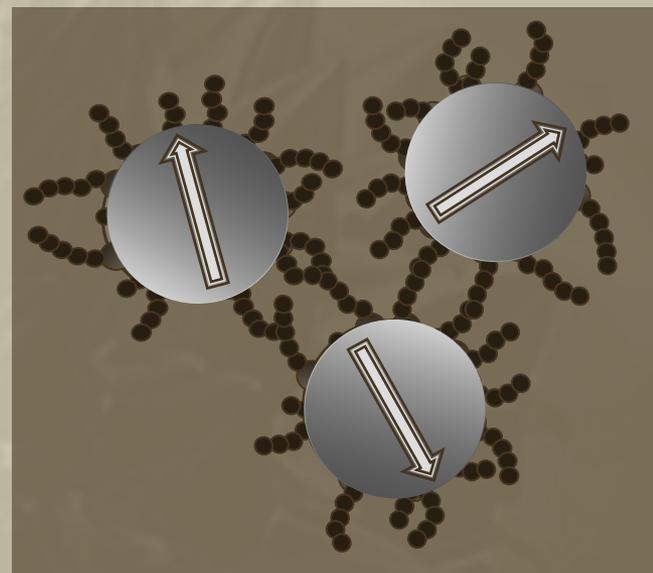
Намагниченность



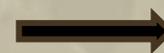
МАГНИТНЫЕ НАНОЖИДКОСТИ



Слабое магнитное поле
(энергия взаимодействия
магнитного момента
наночастицы с магнитным
полем много меньше
тепловой энергии)



наночастицы



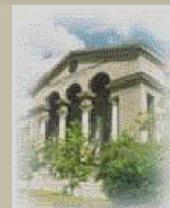
Магнитное поле

$$mH \ll kT$$

$$\vec{M} = \frac{1}{V} \sum_i \vec{m}_i = \chi \vec{H}$$



МАГНИТНЫЕ НАНОЖИДКОСТИ



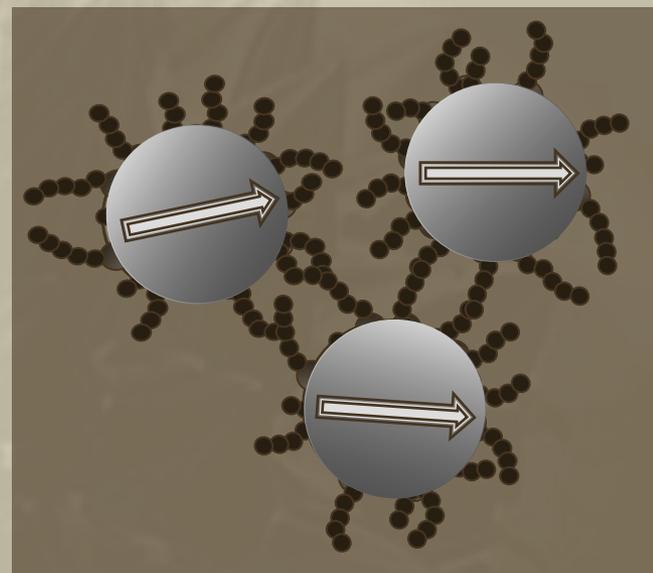
Сильное магнитное поле
(магнитное насыщение)

$$mH \gg kT$$

$$M = mn \left(1 - \frac{kT}{mH} \right)$$

$$M_s = mn$$

Намагниченность насыщения

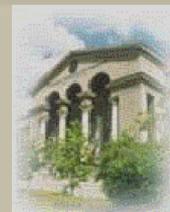


наночастицы

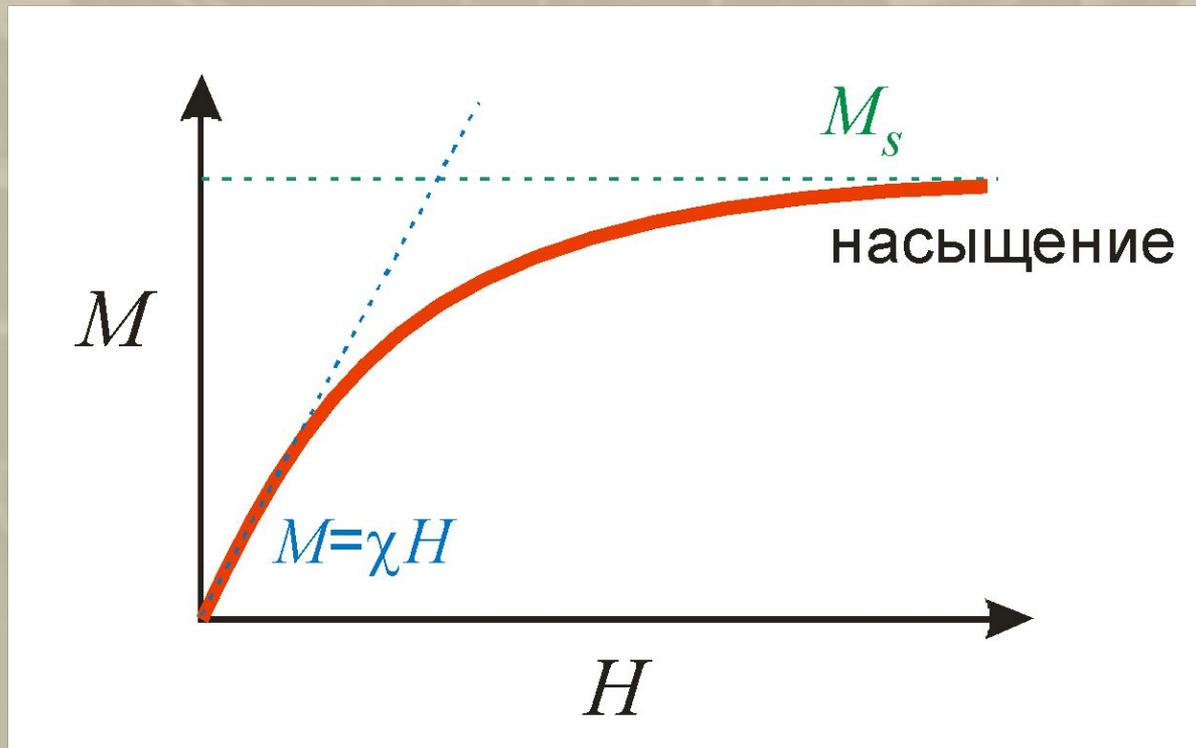
Магнитное поле



МАГНИТНЫЕ НАНОЖИДКОСТИ



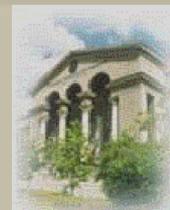
Кривая намагничивания



Жидкий парамагнетик



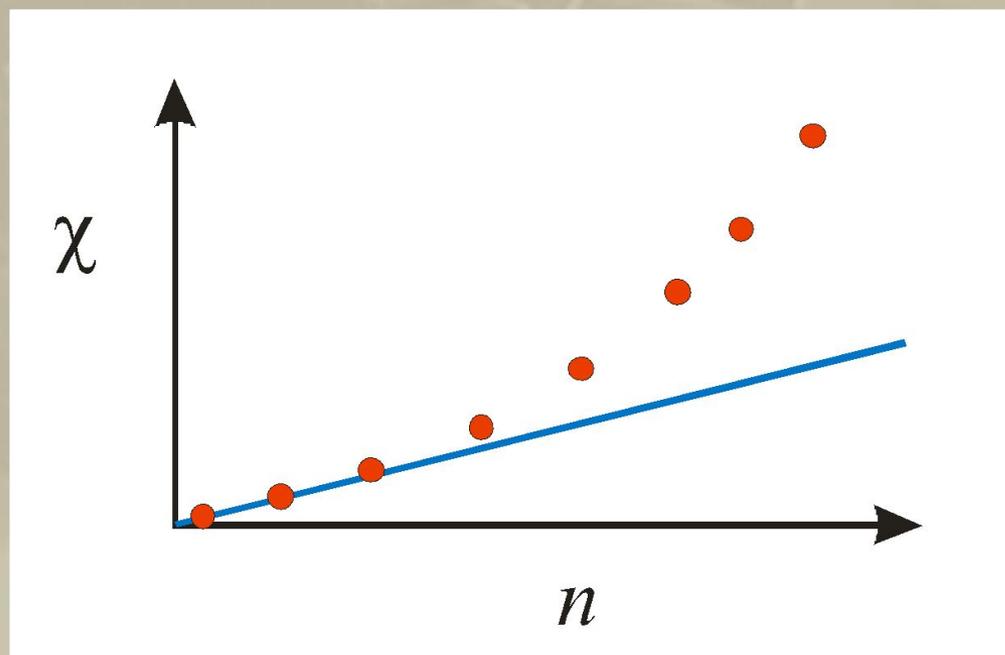
МАГНИТНЫЕ НАНОЖИДКОСТИ



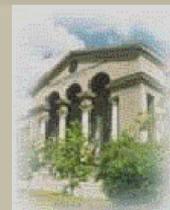
Начальная магнитная восприимчивость

Идеальный парамагнитный газ Ланжевена

$$\chi = \frac{m^2 n}{3kT}$$



МАГНИТНЫЕ НАНОЖИДКОСТИ



Межчастичное магнито-дипольное взаимодействие

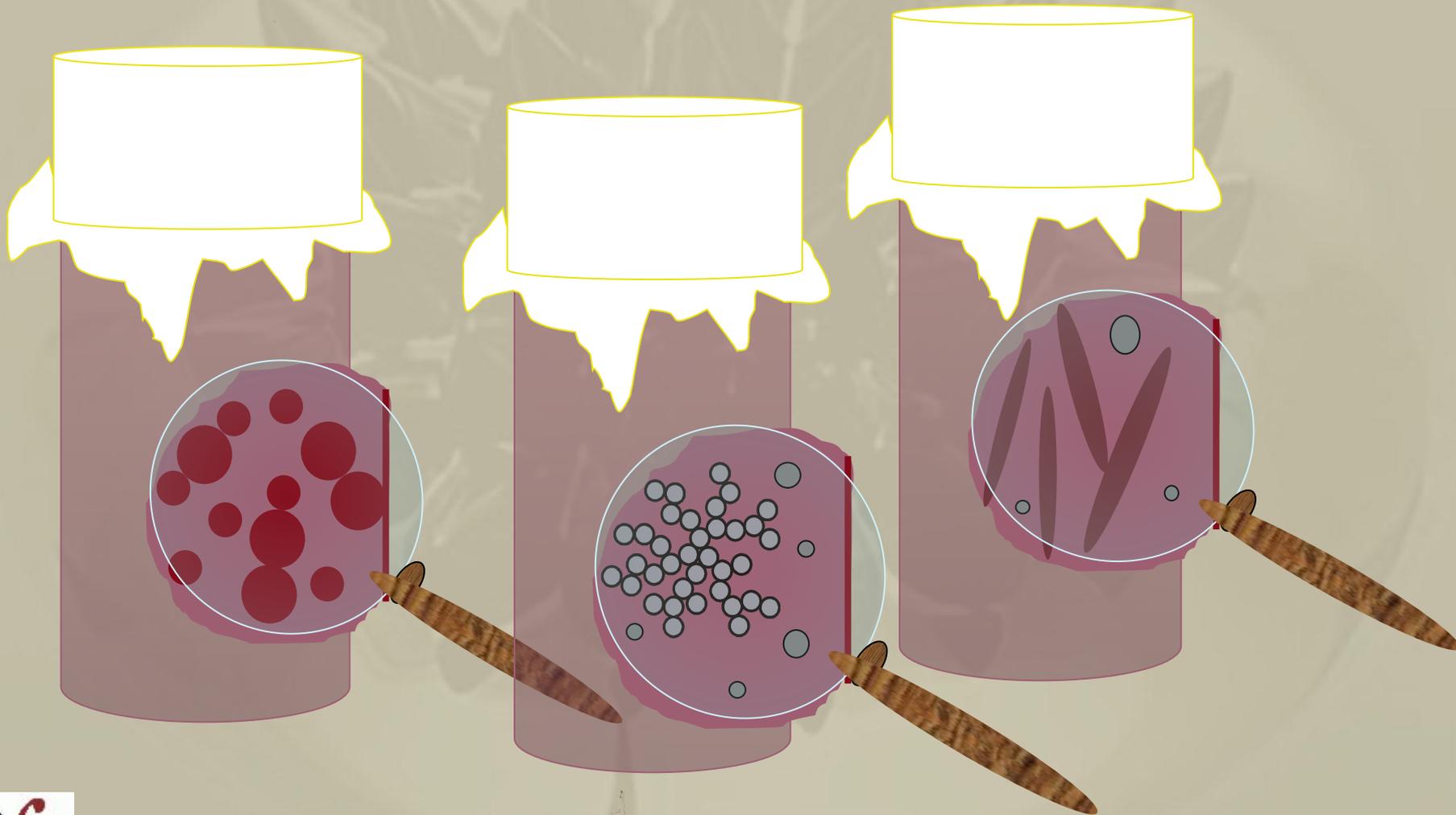
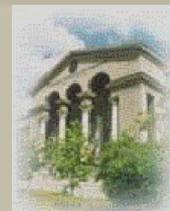
$$U_d = \frac{(\overset{\square}{m}_1 \cdot \overset{\square}{m}_2)}{r_{12}^3} - 3 \frac{(\overset{\square}{m}_1 \cdot \overset{\square}{r}_{12})(\overset{\square}{m}_2 \cdot \overset{\square}{r}_{12})}{r_{12}^5}$$

Дальнодействующее $\sim 1 / r^3$

Нецентральное - зависит не только от расстояния между центрами сферических феррочастиц, но и от взаимной ориентации их магнитных моментов



НАНОСТРУКТУРЫ



ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

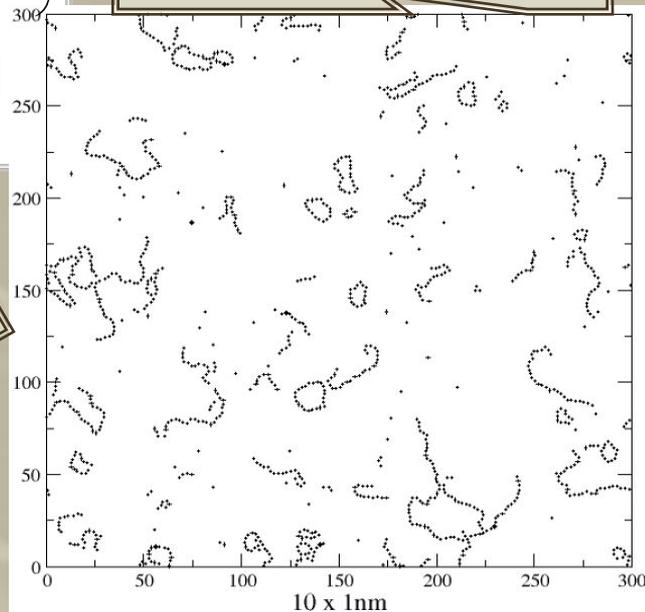
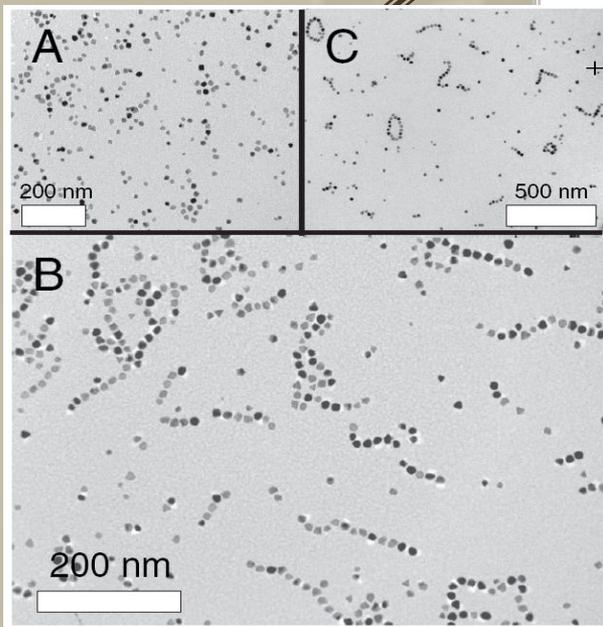


ТЕОРИЯ

ЭКСПЕРИМЕНТ

КМ

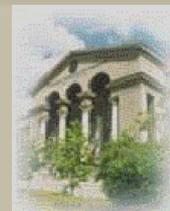
$$F(g, f) = kT \sum_{n=1}^{\infty} g(n) \left(\frac{\ln g(n)s}{e \left[1 - \frac{8}{\pi} \rho \right]} - \ln Q(n) \right) + kT \sum_{n=5}^{\infty} f(n) \left(\frac{\ln f(n)s}{e \left[1 - \frac{8}{\pi} \rho \right]} - \ln W(n) \right)$$



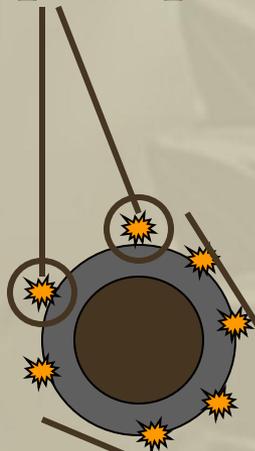
Анализ
внутренней
структуры
магнитных
жидкостей



ТРАНСПОРТ ЛЕКАРСТВ

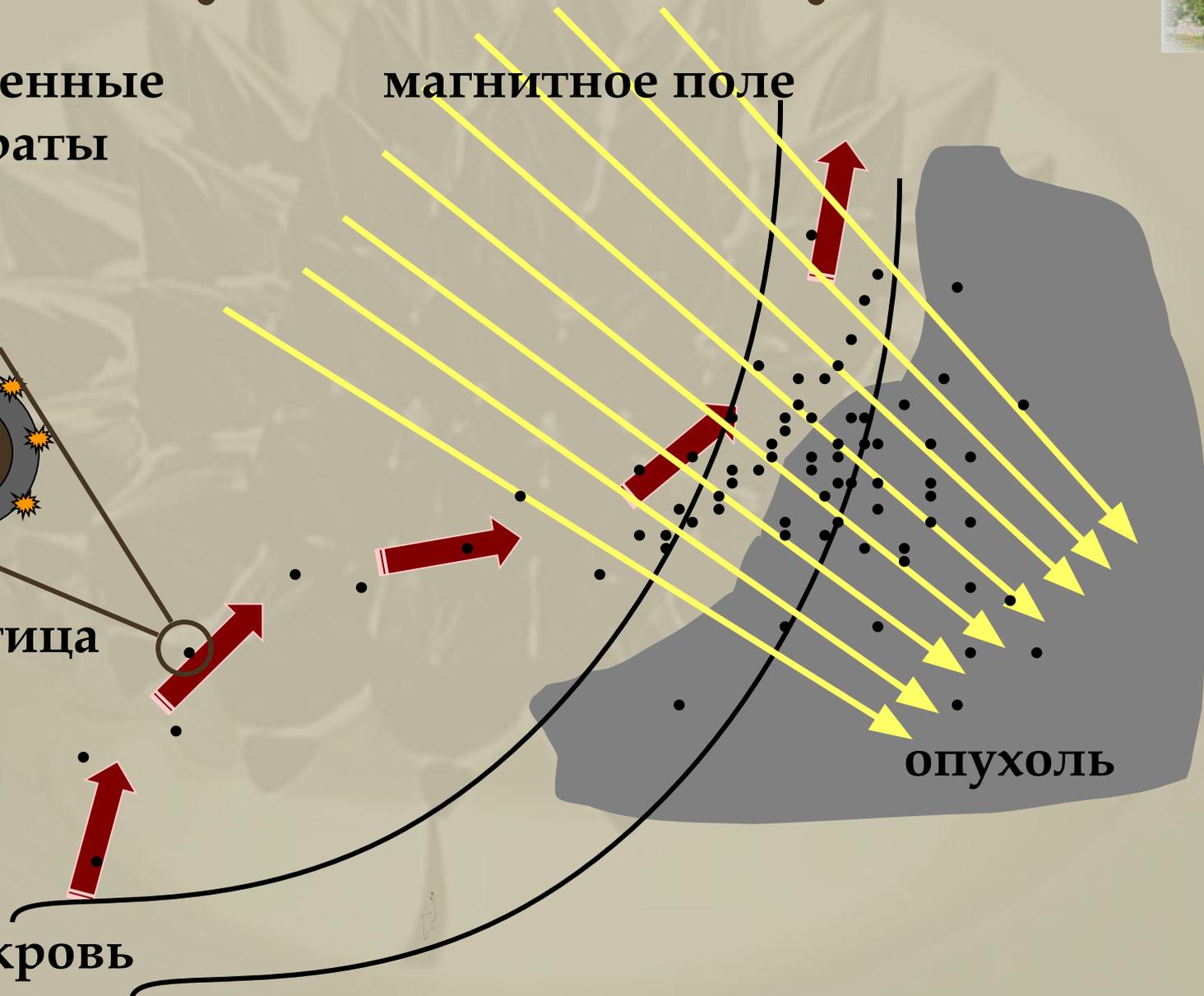


лекарственные
препараты



наночастица

магнитное поле

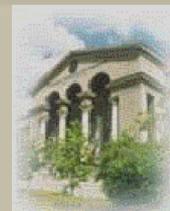


опухоль

кровь



ГИПЕРТЕРМИЯ



Переменное магнитное
поле



>56°C: Термическая
обработка: Некроз клеток (выделяются токсины)

41-46 °C: **Гипертермия:** Апоптоз (гибель «вредных» клеток)

Повышает восприимчивость опухоли к химио- и радио-терапии

