



Магнетики

Перов Николай Сергеевич



- Классификация
- Магнитномягкие материалы
- Магнитнотвердые материалы
(Постоянные магниты)
- Микромагнетизм
- Электрические машины
- Магнитные датчики



Классификация

- Диамагнетики (инертные газы, кремний, фосфор, висмут, графит, цинк, медь, золото, серебро, азот, водород, вода, поваренная соль, органические соединения...)



Классификация

- Диамагнетики (инертные газы, кремний, фосфор, висмут, графит, цинк, медь, золото, серебро, азот, водород, вода, поваренная соль, органические соединения...)
- Парамагнетики (кислород (газообразный и жидкий), вольфрам, цезий, алюминий, литий, магний, натрий, окись азота, хлорное железо...)



Классификация

- Диамагнетики (инертные газы, кремний, фосфор, висмут, графит, цинк, медь, золото, серебро, азот, водород, вода, поваренная соль, органические соединения...)
- Парамагнетики (кислород (газообразный и жидкий), вольфрам, цезий, алюминий, литий, магний, натрий, окись азота, хлорное железо...)
- Сильномагнитные (все остальные) материалы (Ферромагнетики, Антиферромагнетики, Ферримагнетики, Сперомагнетики, Асперомагнетики, Гелимагнетики, Спиновые стёкла, Миктомагнетики, Сперимагнетики...)



Классификация

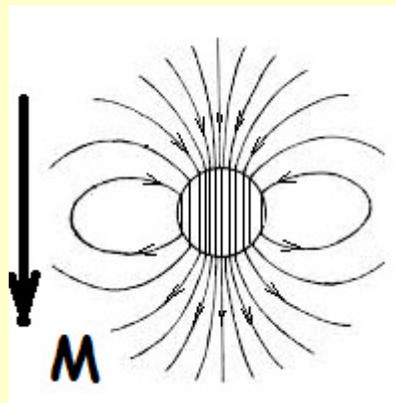
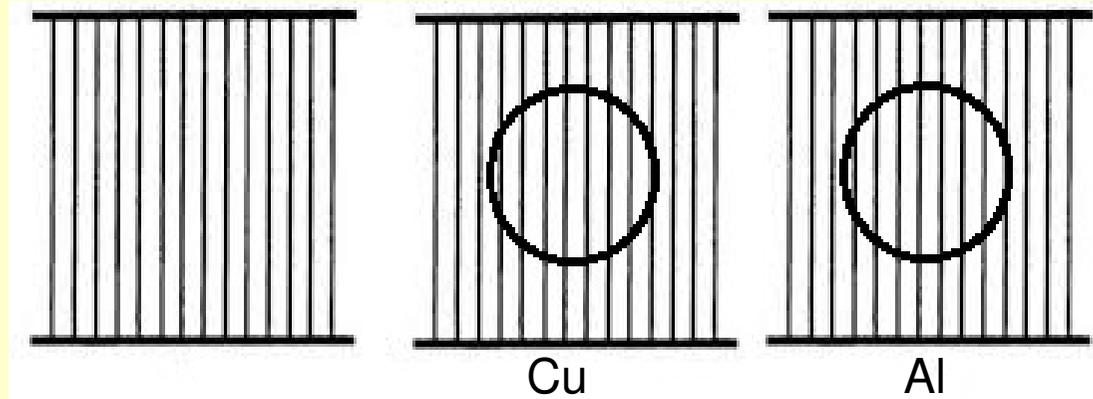
- А еще есть

КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

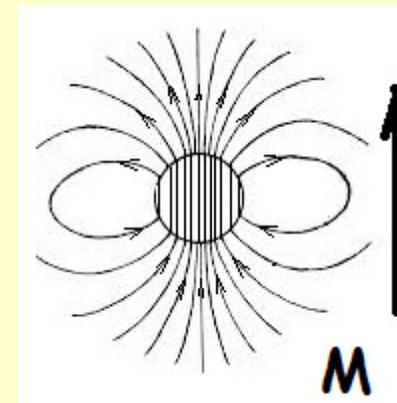
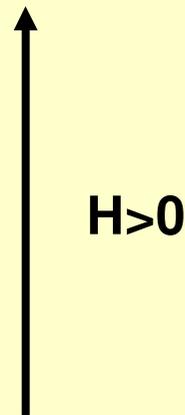
- ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ («УМНЫЕ»)



Диа- парамагнетики



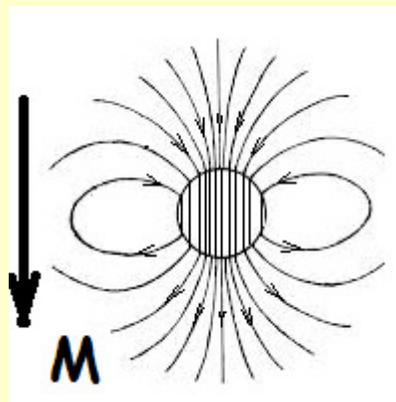
Cu



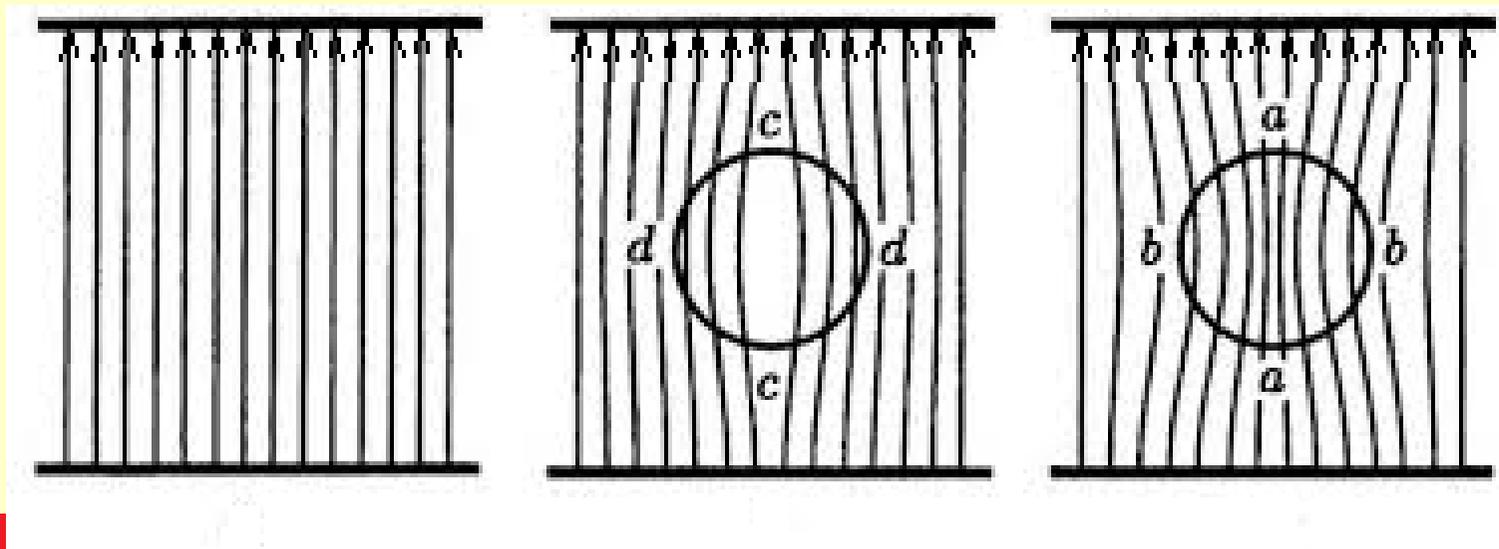
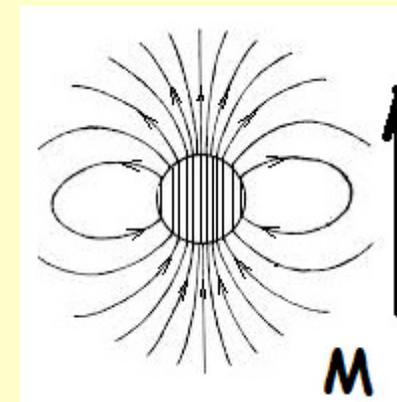
Al



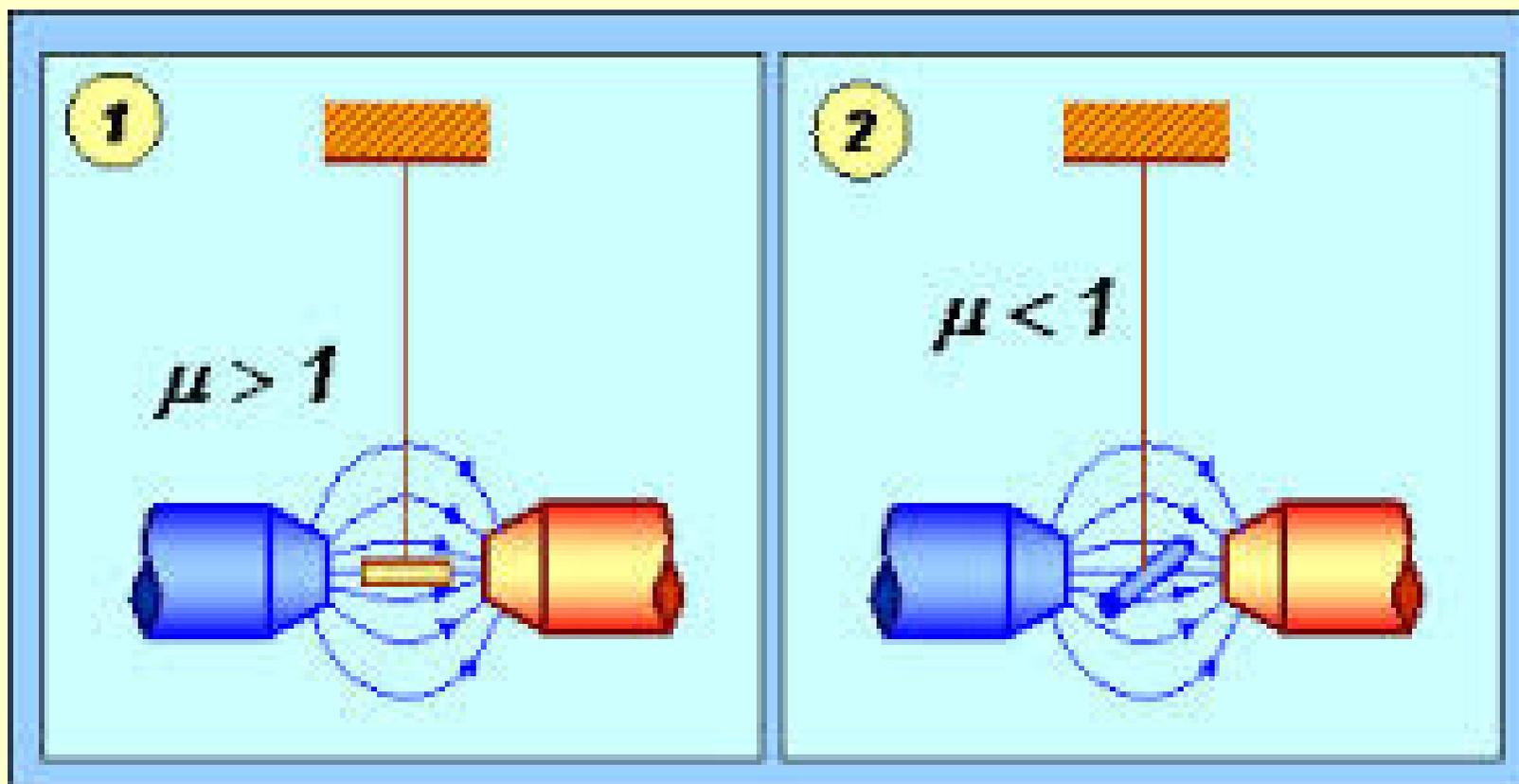
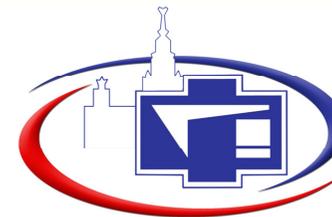
Диа- парамагнетики



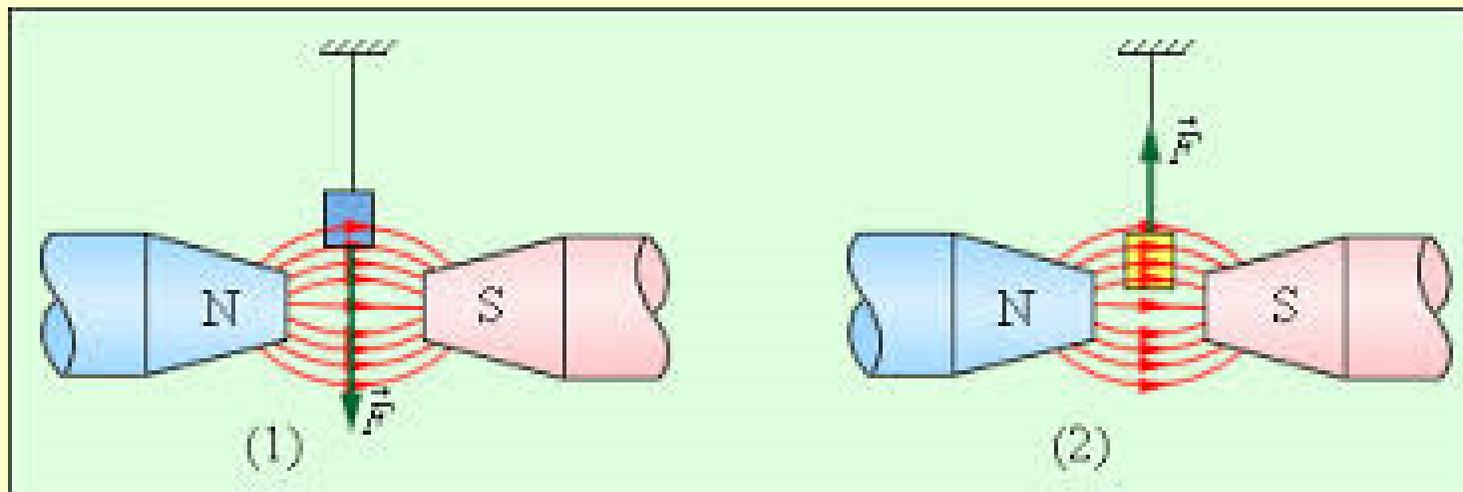
$H > 0$



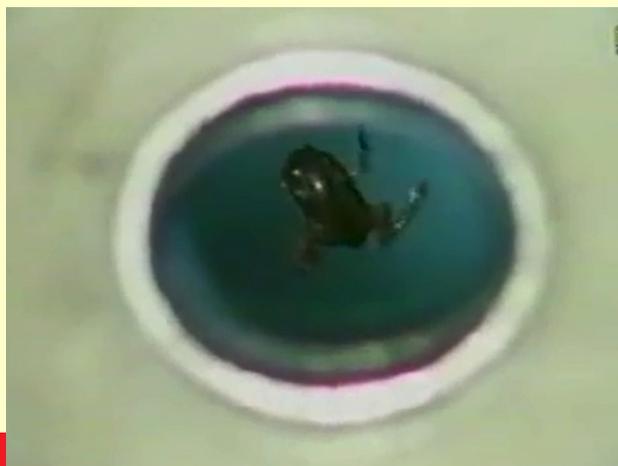
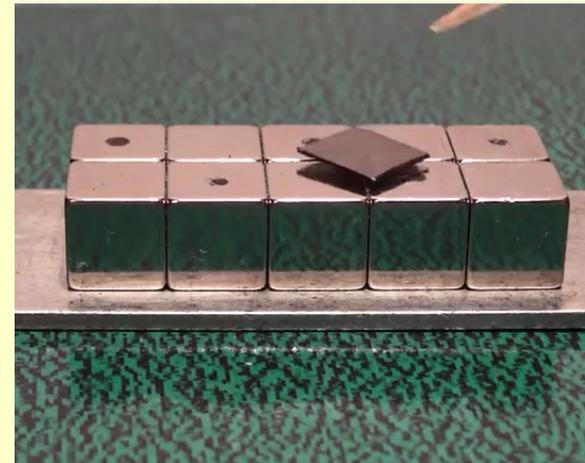
Диа- парамагнетики



Диа- парамагнетики

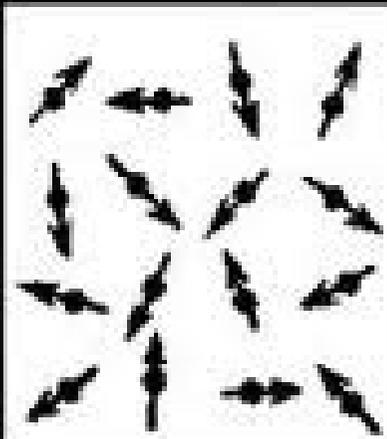
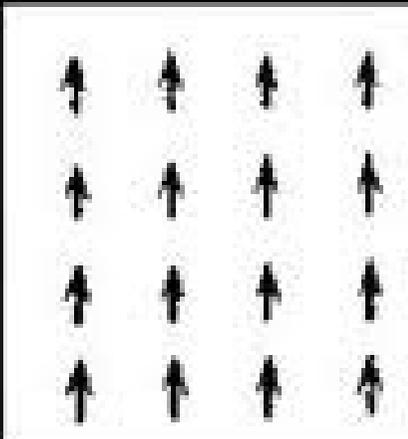
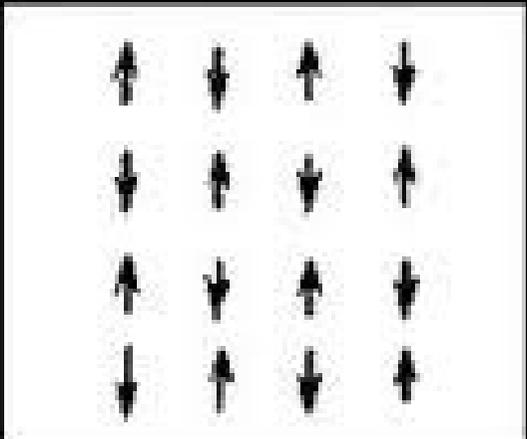
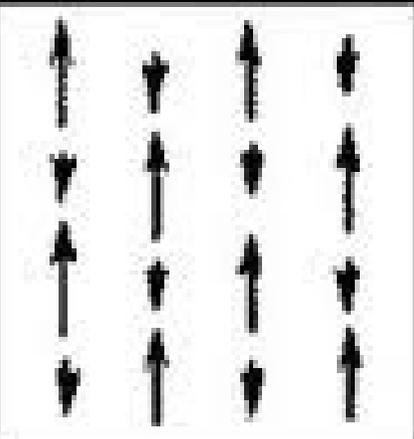


Левитация диамагнетиков





Ферромагнетики

			
Парамагнетик	Ферромагнетик	Антиферромагнетик	Ферримагнетик



Ферромагнетики

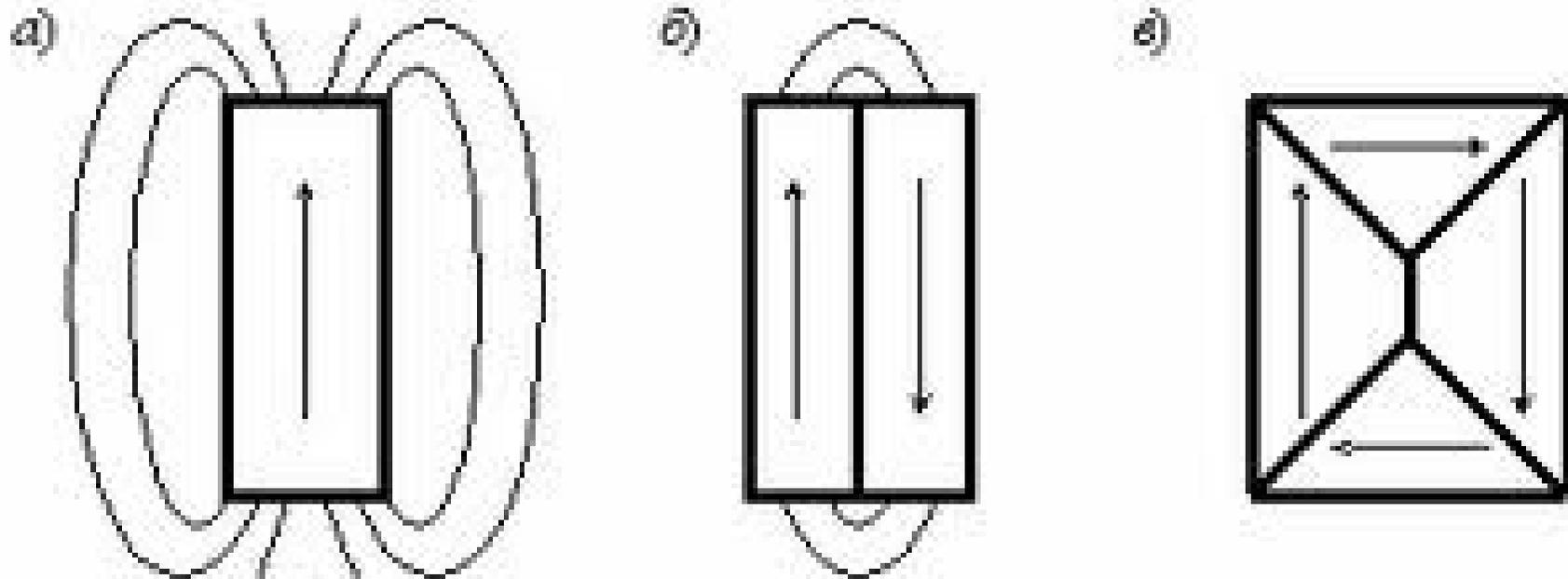
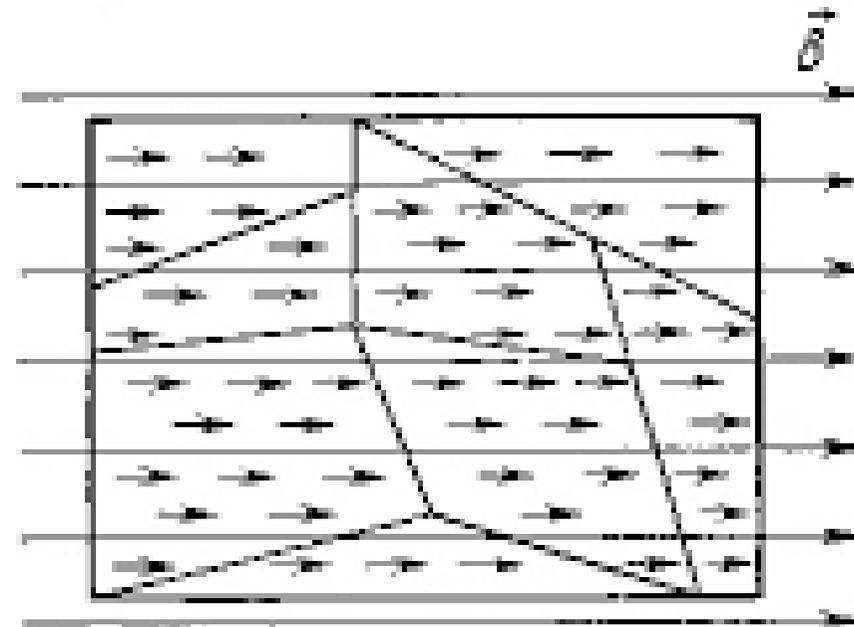
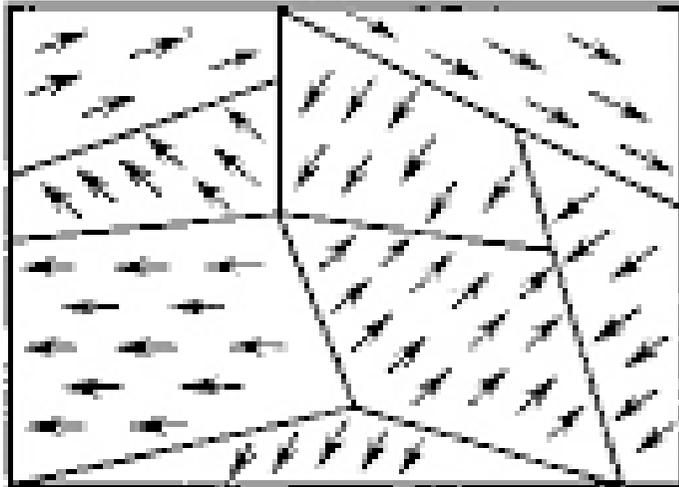


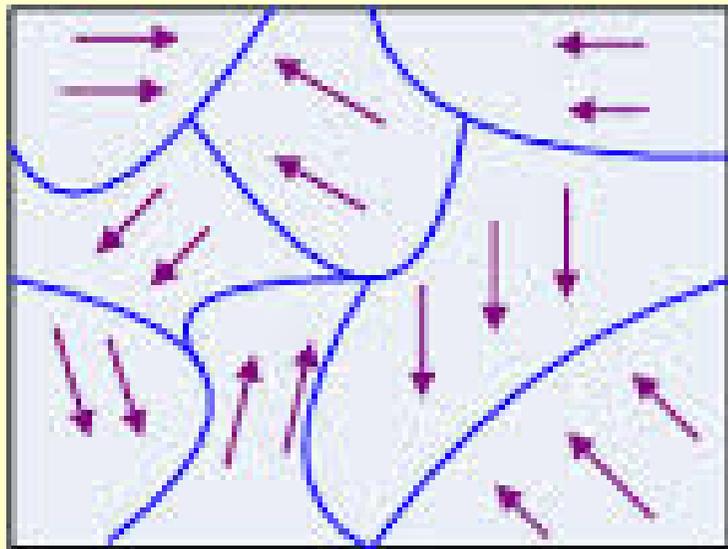
Рисунок 3.2 – Различные доменные структуры ферромагнетиков

Ферромагнетики

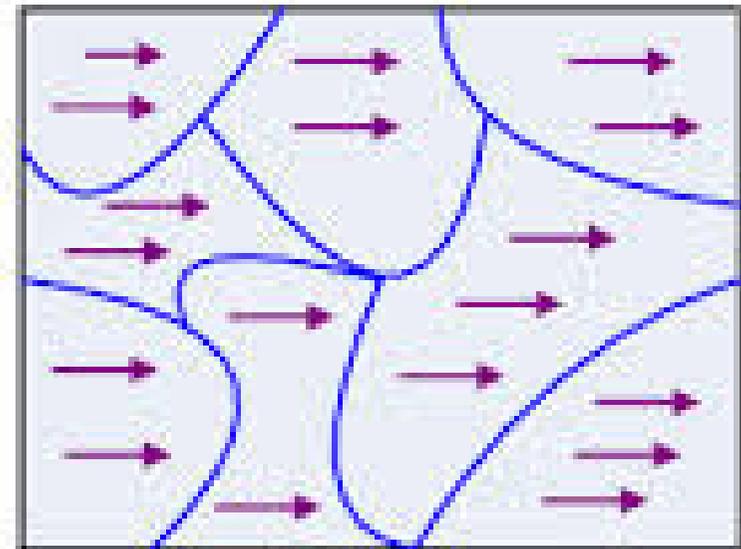




Ферромагнетики



А)

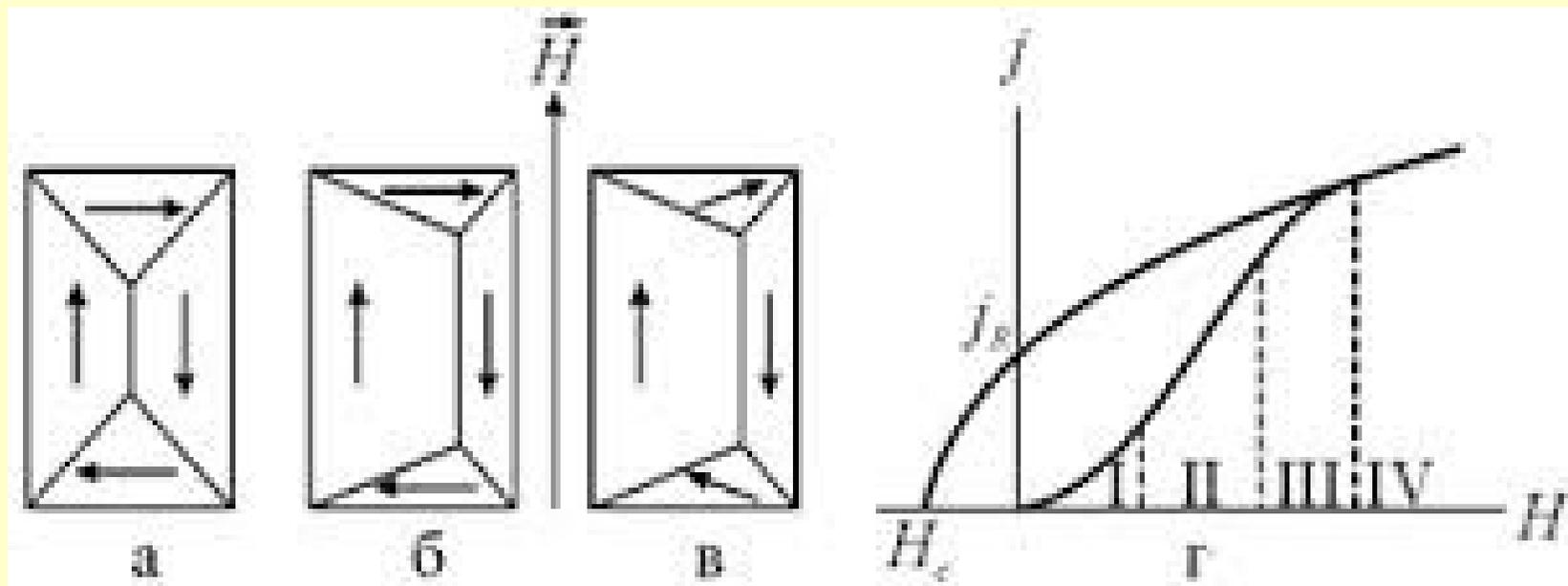


Б)

\vec{B}_0



Ферромагнетики





Магнитномягкие материалы

- Электротехнические стали
- Пермаллой и альсифер (сендаст)
- Альсиферовые и карбонильные материалы
- Магнитномягкие ферриты
- Аморфные сплавы

Магнитнотвердые материалы (материалы для постоянных магнитов)



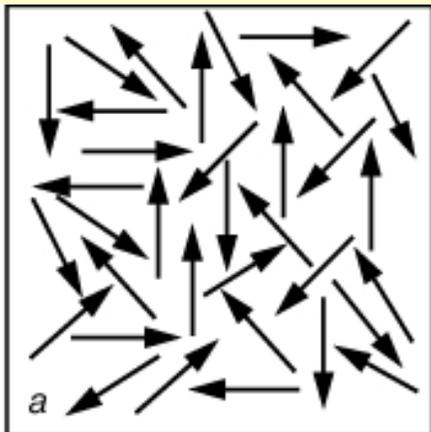
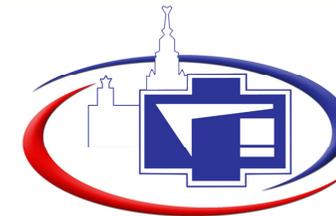
- Углеродистые стали
- Алнико
- Магнитнотвердые ферриты (феррит бария)
- SmCo
- NdFeB
- FeAu-FePt

Историческая справка

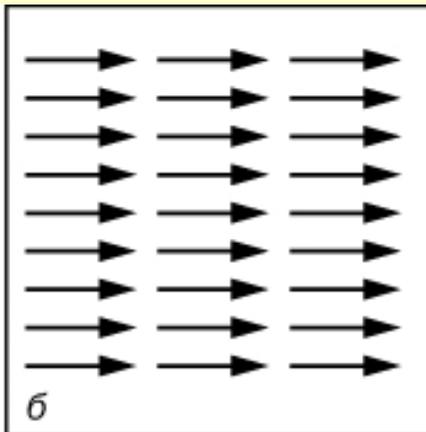


-1000-1500	Шен Куа Петрус Перегринус	Философия	Магнитные силы, индуцированный магнетизм	Югоуказатель, компас
1500-1820	Гильберт Декарт Бернулли	Мореплавание	Магнитное поле Земли	компас
1820-1900	Эрстед, Ампер, Фарадей, Максвелл	Промышленно сть	Электромагнитн ые взаимодействия, уравнения максвелла	Электромоторы, электрогенерато ры телеграф, радио
1900-1935	Вейсс, Бор, Гайзенберг, Паули, Дирак, Ландау	Фундаменталь ные исследования	Магнитный момент, обменное взаимодействие	Магнитная запись
1935-1960	Завойский, Блох, Пёрселл	Вооруженные силы	Магнитные резонансы	Радиолокация, телевидение, ЯМР томография
1960-2000		Промышленное производство	Магнитные материалы	Потребительская электроника
2000- ...		Промышленное производство	Функциональные магнитные материалы	Информационны е технологии

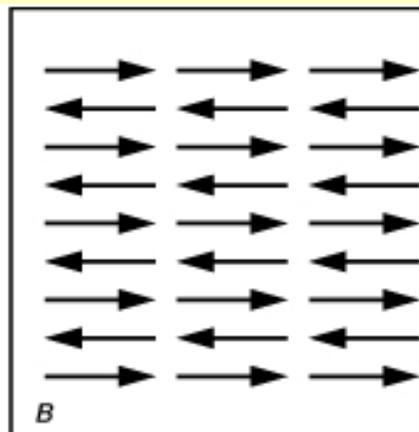
Типы магнитного упорядочения



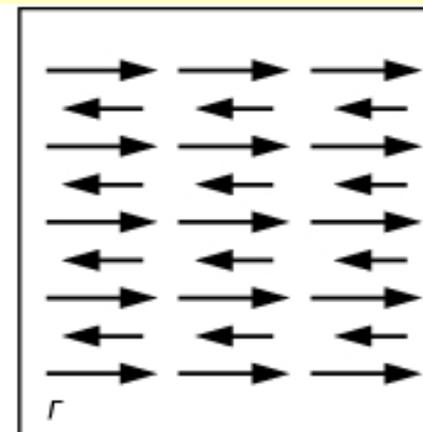
а
Парамагнитное вещество
во внешнем поле —
атомные магниты
разупорядочены



б
Ферромагнитное
вещество —
атомные магниты
упорядочены



в
Антиферромагнитное
вещество —
атомные магниты
ориентированы
антипараллельно
и магнитный момент
отсутствует



г
Ферримагнитное
вещество —
нескомпенсированная
антипараллельная
ориентация

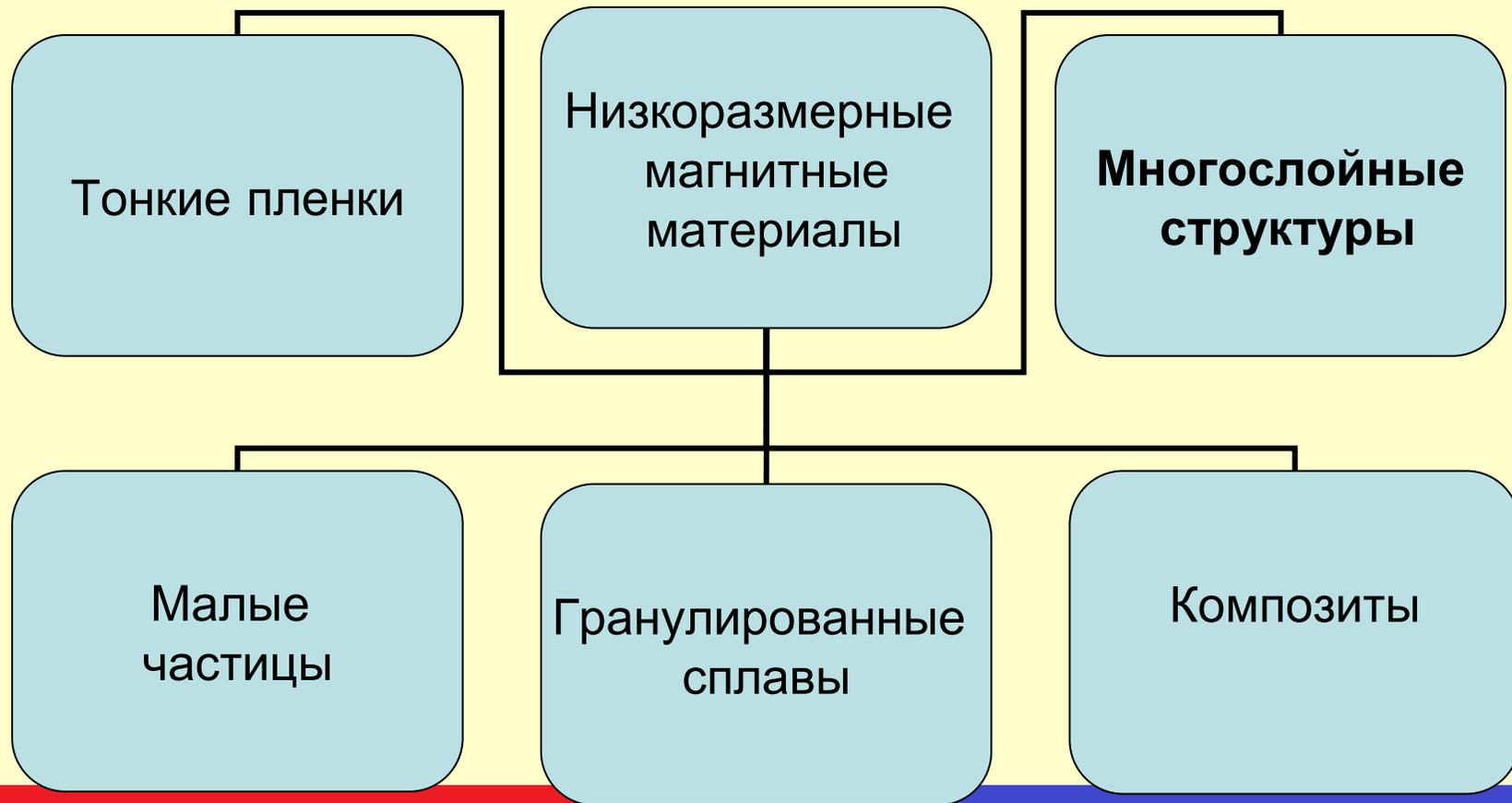
Типы магнитного упорядочения



- Неколлинеарные магнетики
- Спиновые стекла
- Фрустрированные магнетики
- Суперпарамагнетики



- Микромагнетизм
- Физика конденсированного состояния
- Информационные технологии
- Электроника
- Автомобильная, электротехническая и химическая промышленность
- Медицина



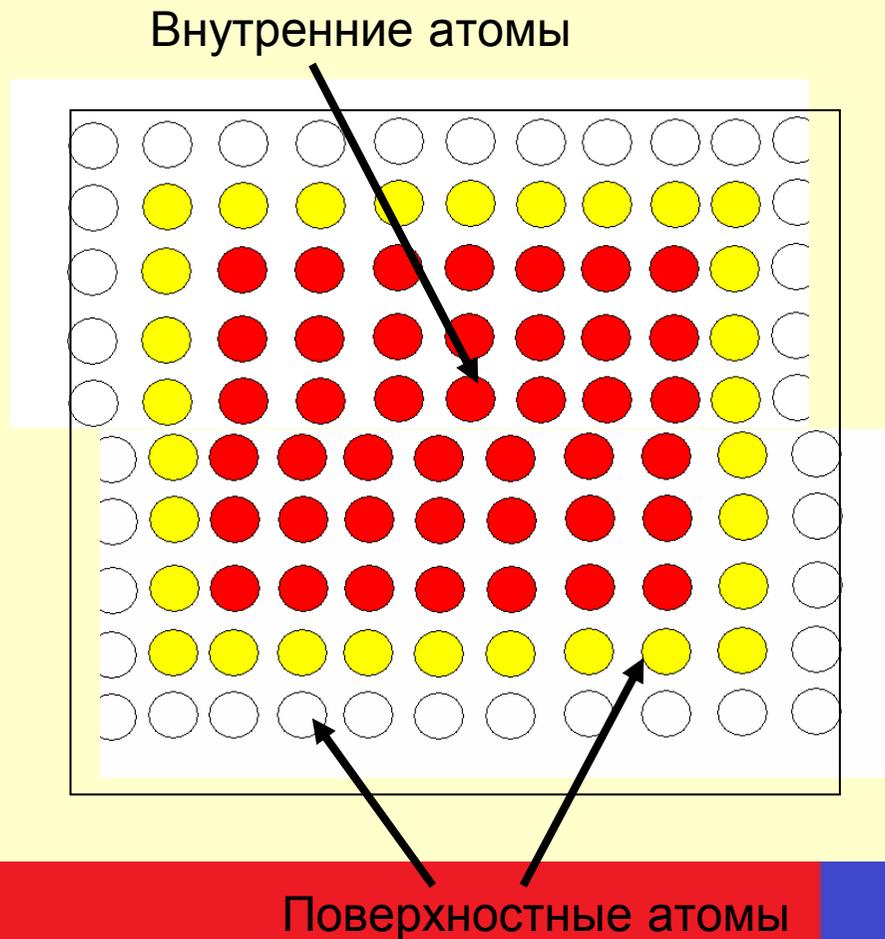


Классификация

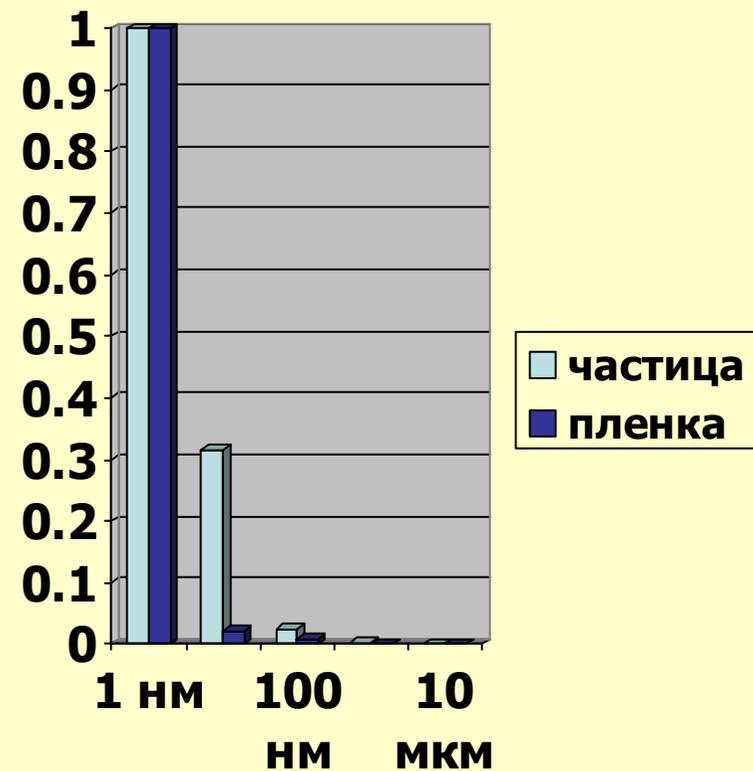
- Сплошной материал (>10 мкм)
- Многодоменные малые частицы (0.02-10 мкм)
- Однодоменные малые частицы (10-1000 нм)
- Суперпарамагнитные частицы (1-100 нм)
- Кластеры (<1 нм)
- Свойства системы
- Межчастичные взаимодействия
- Свойства одиночных частиц
- Влияние окружения частиц



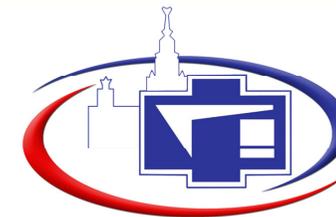
Низкоразмерные системы



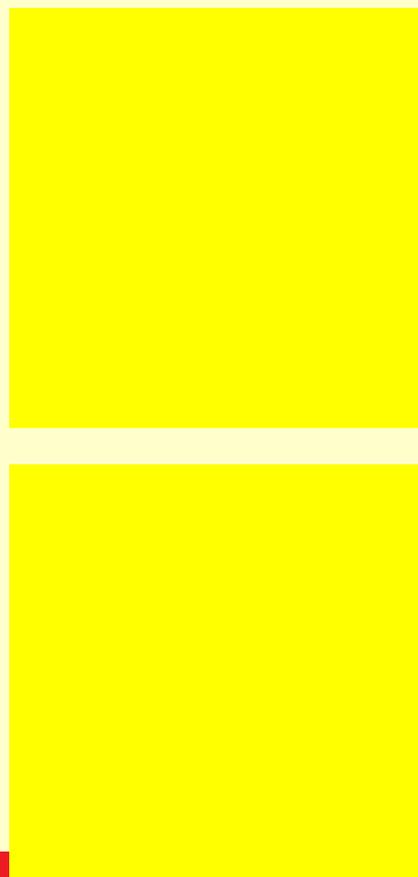
Относительная доля
поверхностных атомов



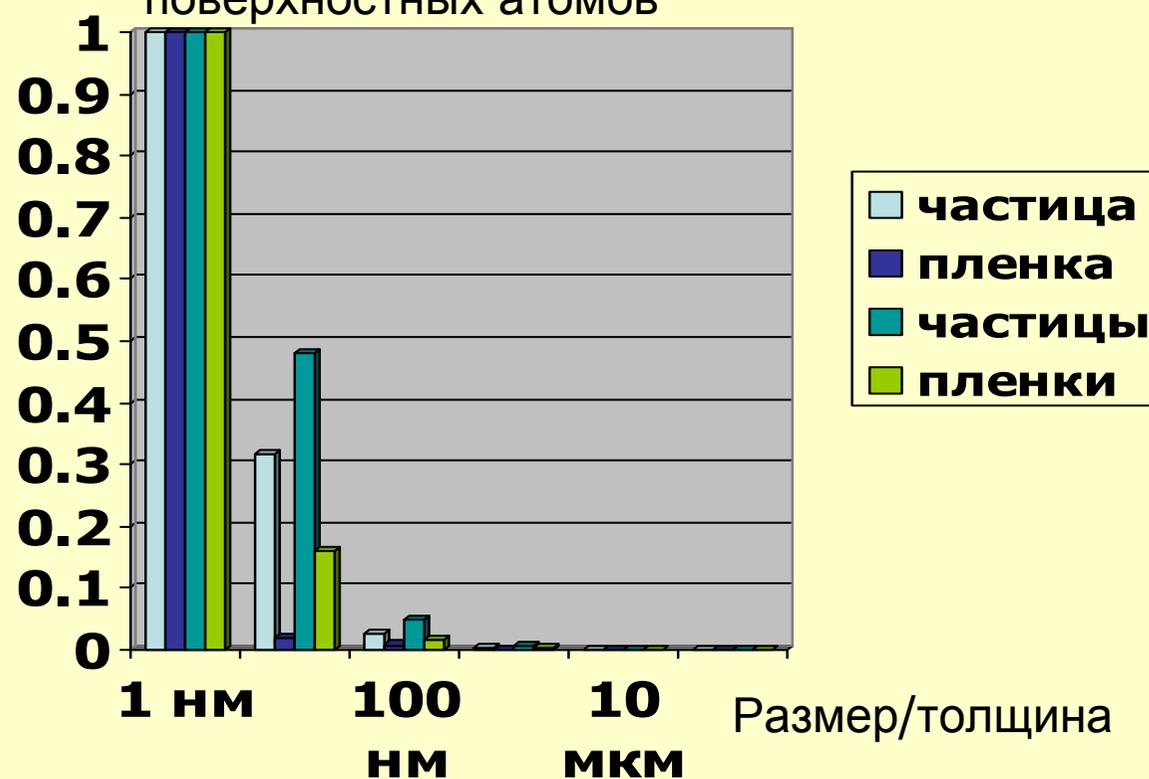
Размер/толщина



Низкоразмерные системы



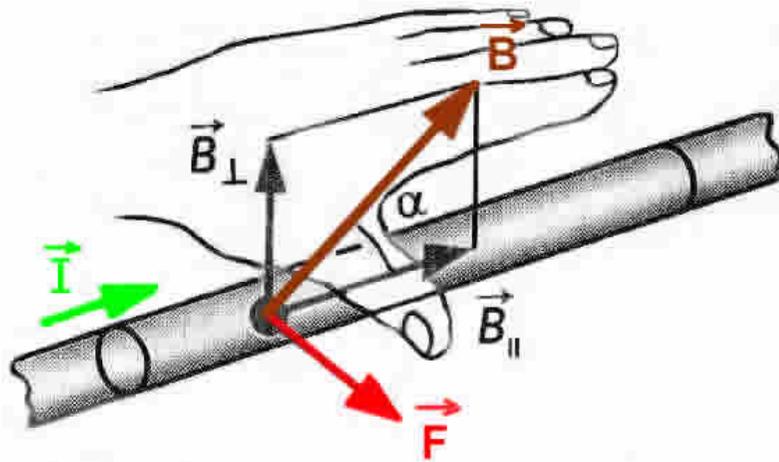
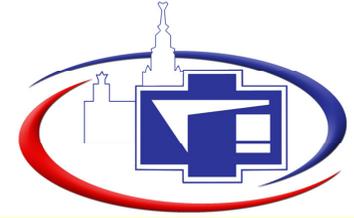
Относительная доля
поверхностных атомов



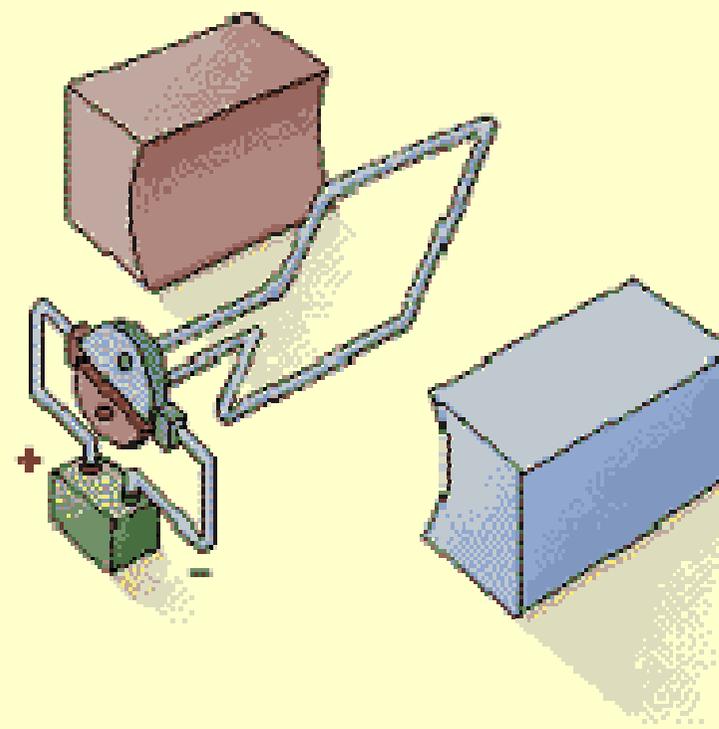
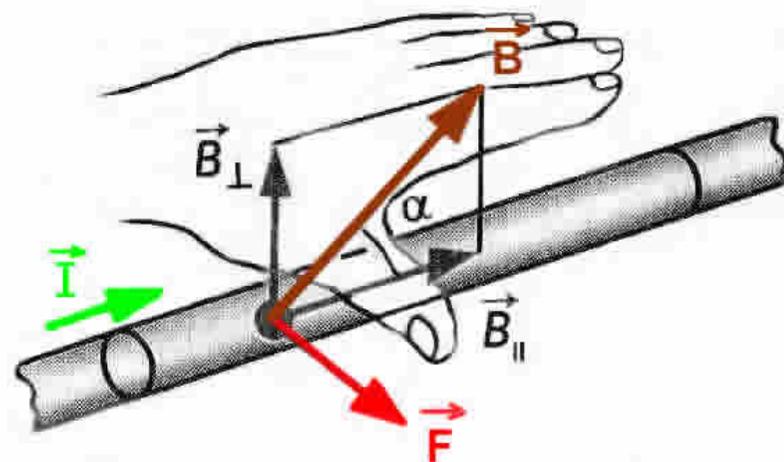
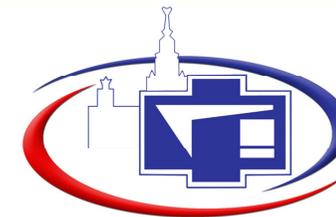


Применения магнитных материалов

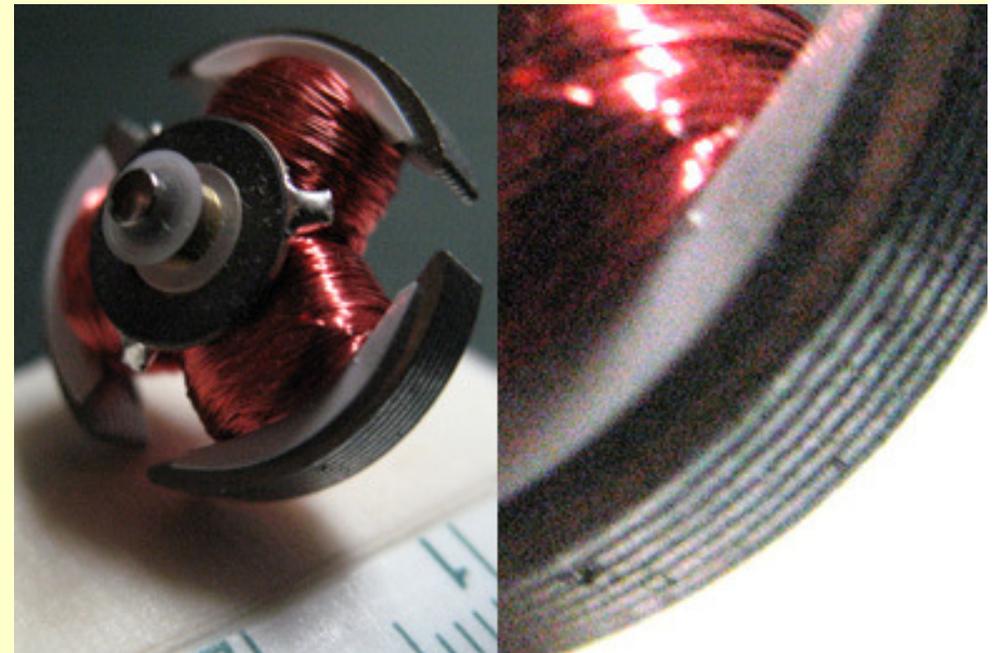
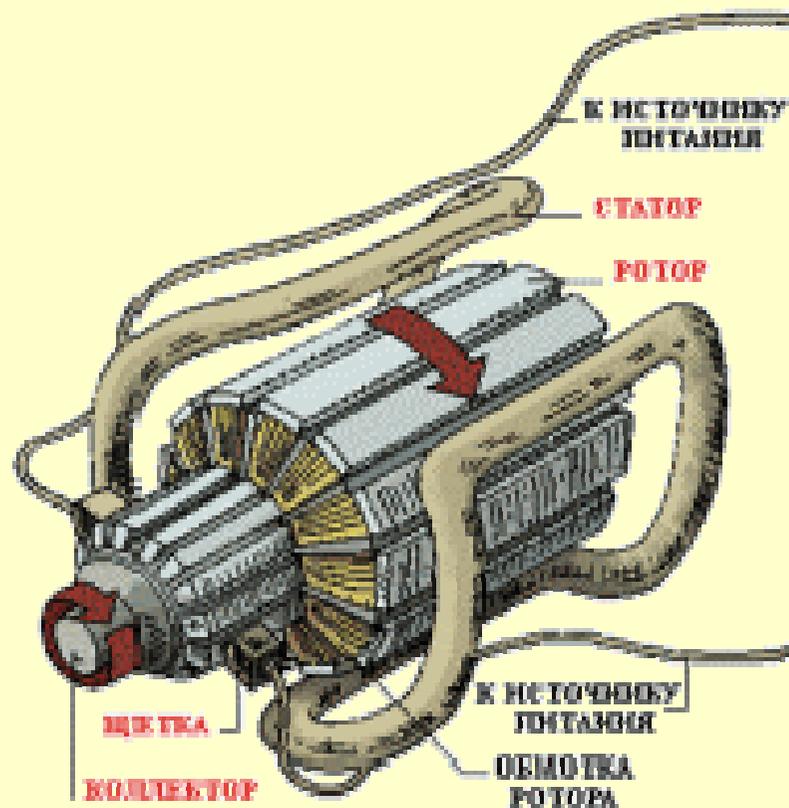
Электродвигатель



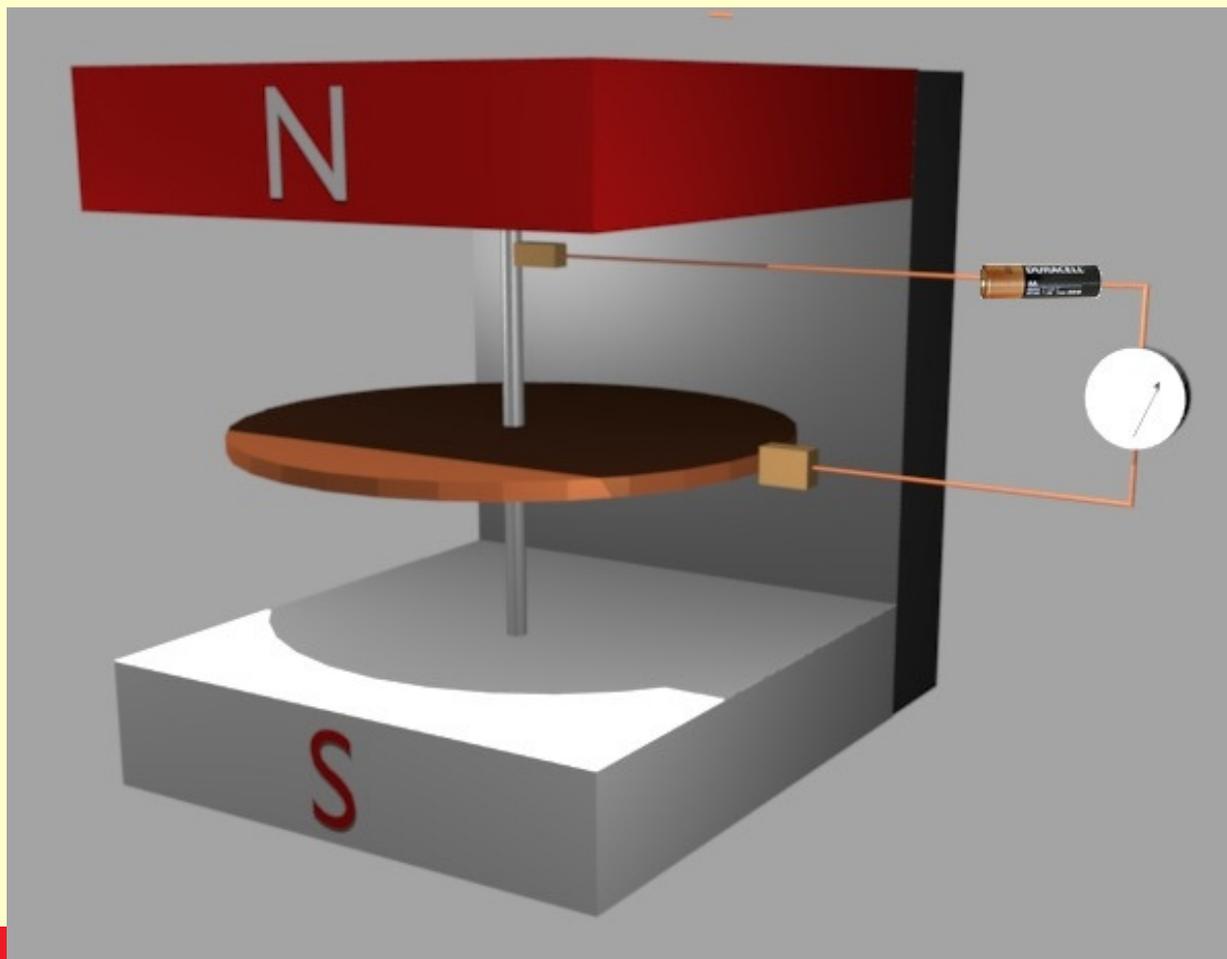
Электродвигатель



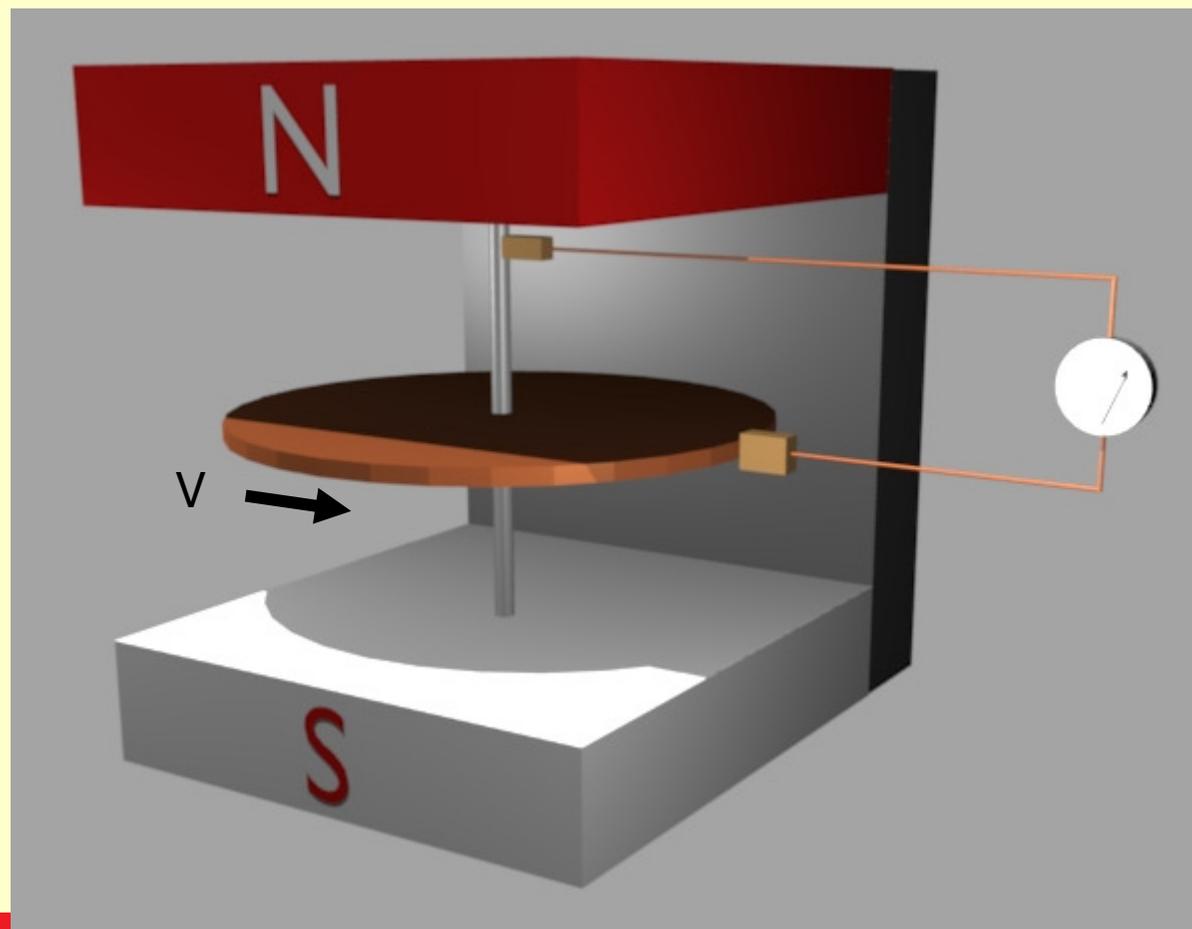
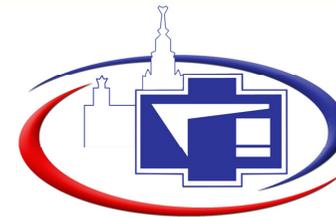
Электродвигатель



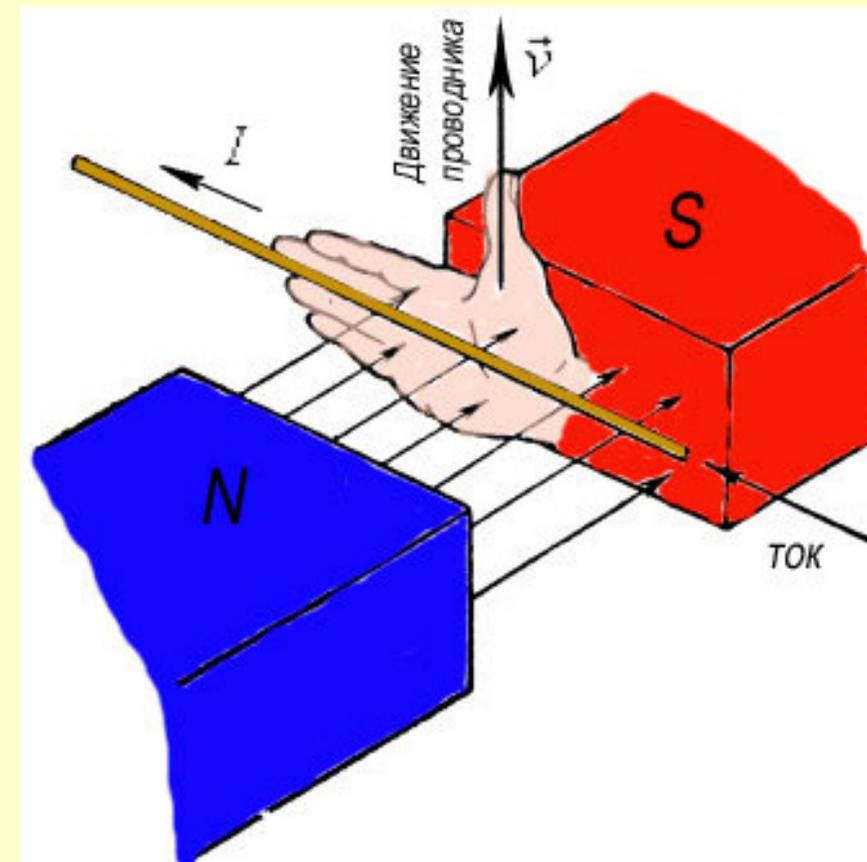
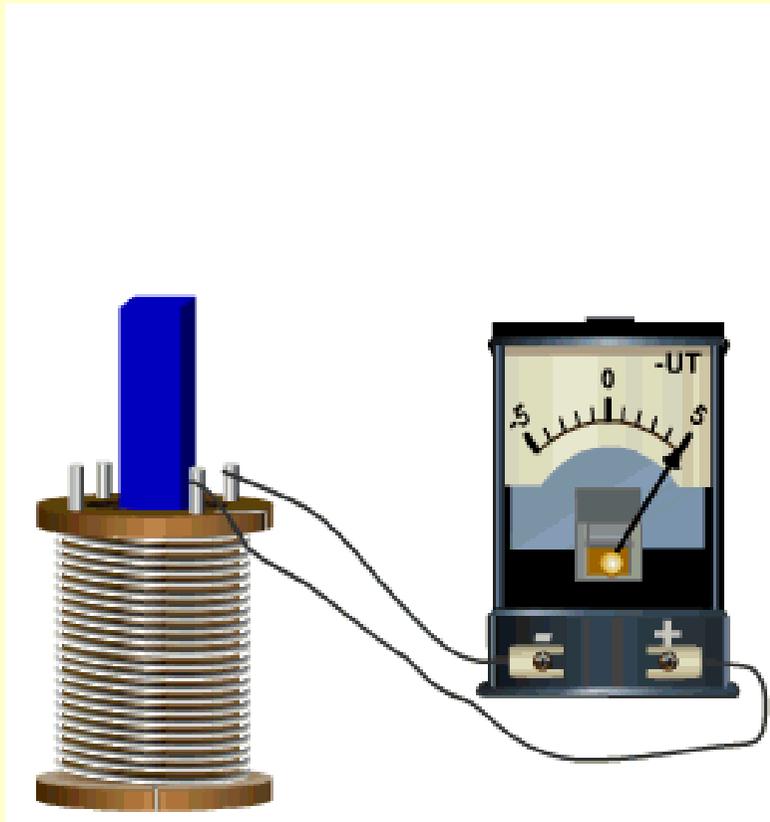
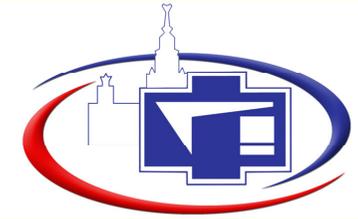
Электродвигатель



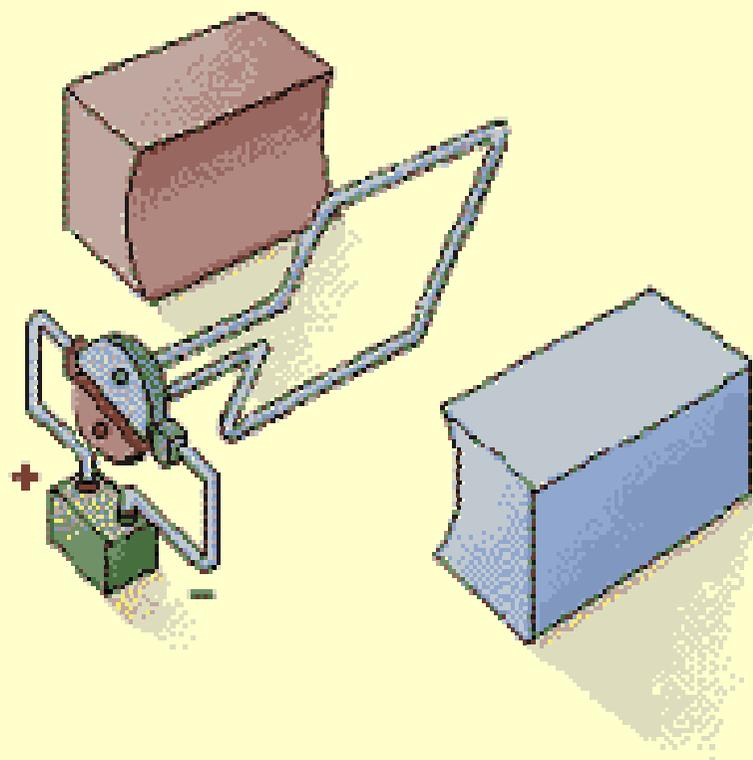
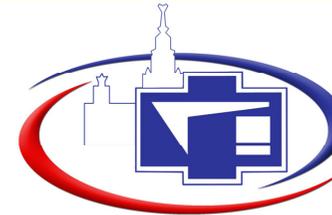
Электрогенератор



Электрогенератор



Электрогенератор

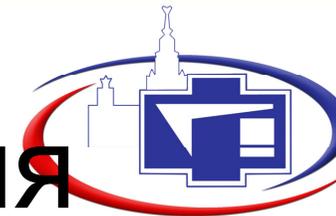




Магнитные датчики

- ДАТЧИКИ или ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ (эти слова для наших целей равнозначны) представляют собой устройства, преобразующие энергию физических воздействий в электрический ток или напряжение, необходимые для проведения измерений, контроля или получения информации о состоянии каких-либо параметров.

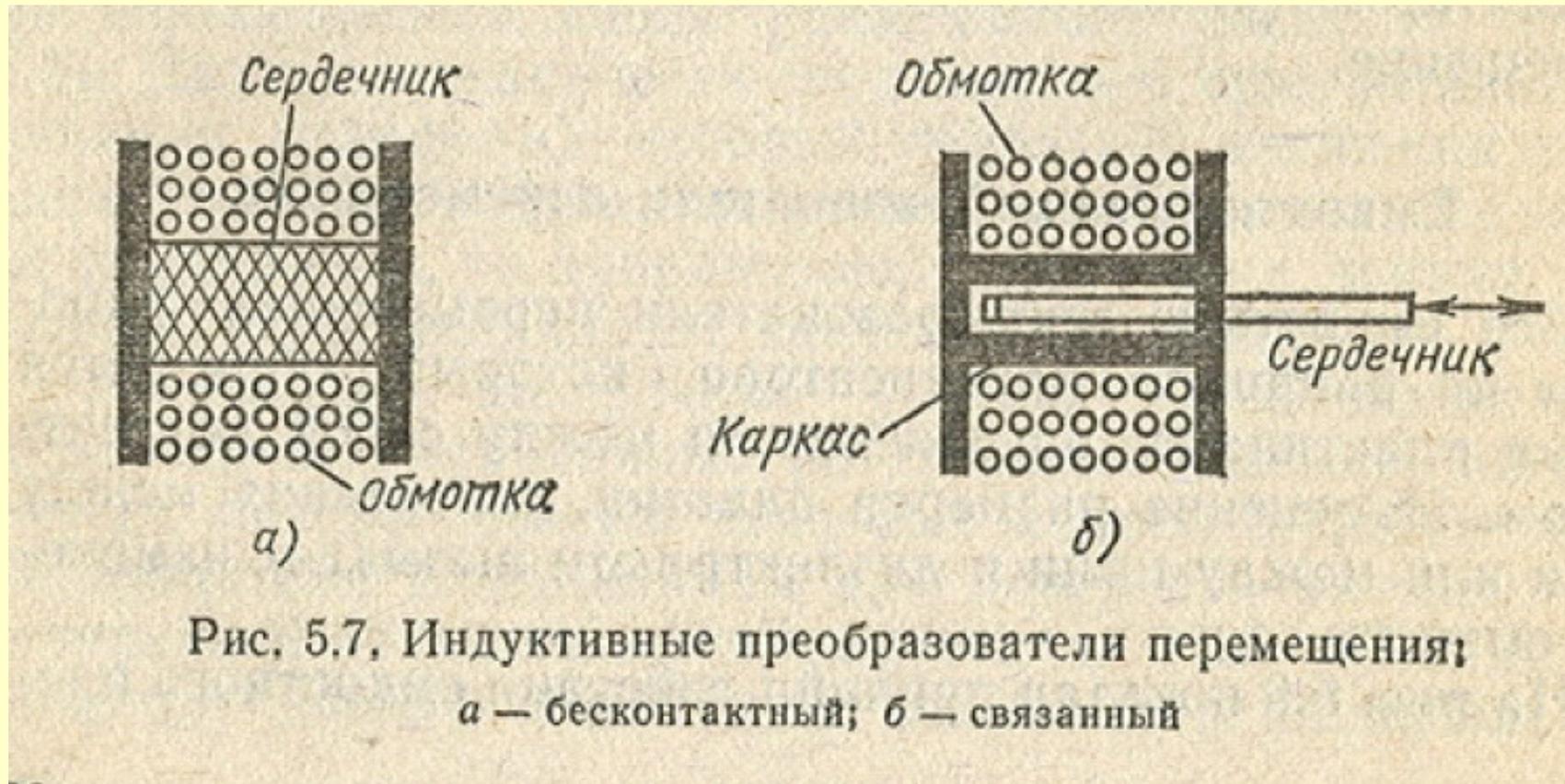
Датчики магнитного поля

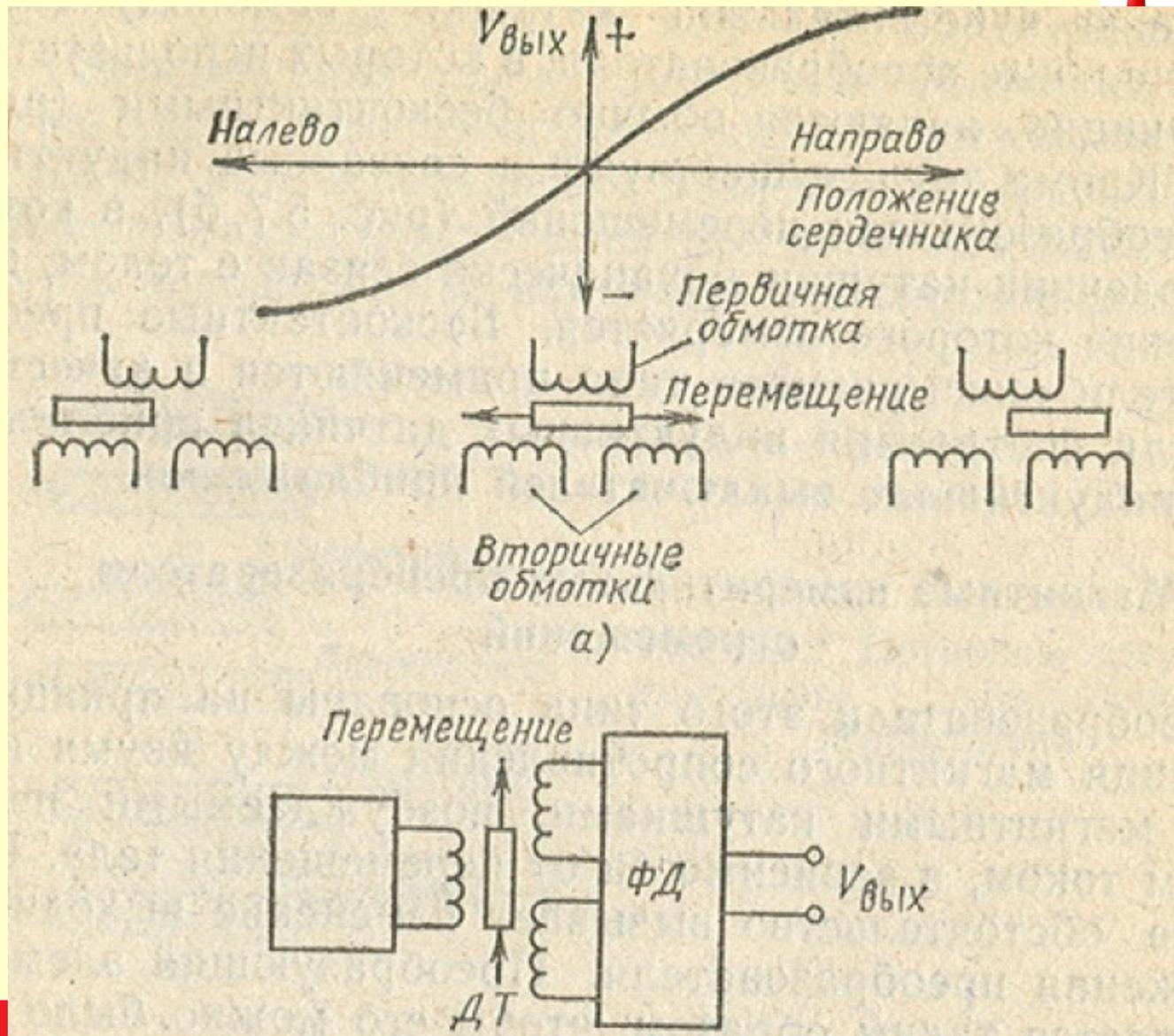
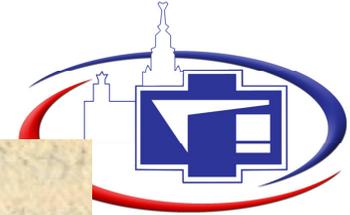


Индукционные датчики	$10^{-8} - 10^7$ Э
Датчик на эффекте Холла	$10^{-4} - 10^6$ Э
Магниторезистивный датчик	$10^{-7} - 10^3$ Э
Магнитоимпедансный датчик	$10^{-8} - 10^2$ Э
Волоконно-оптический магнитометр	$10^{-9} - 10^2$ Э
Ядерно прецессионный магнитометр	$10^{-7} - 10^5$ Э
СКВИД магнитометр	$10^{-10} - 10^0$ Э



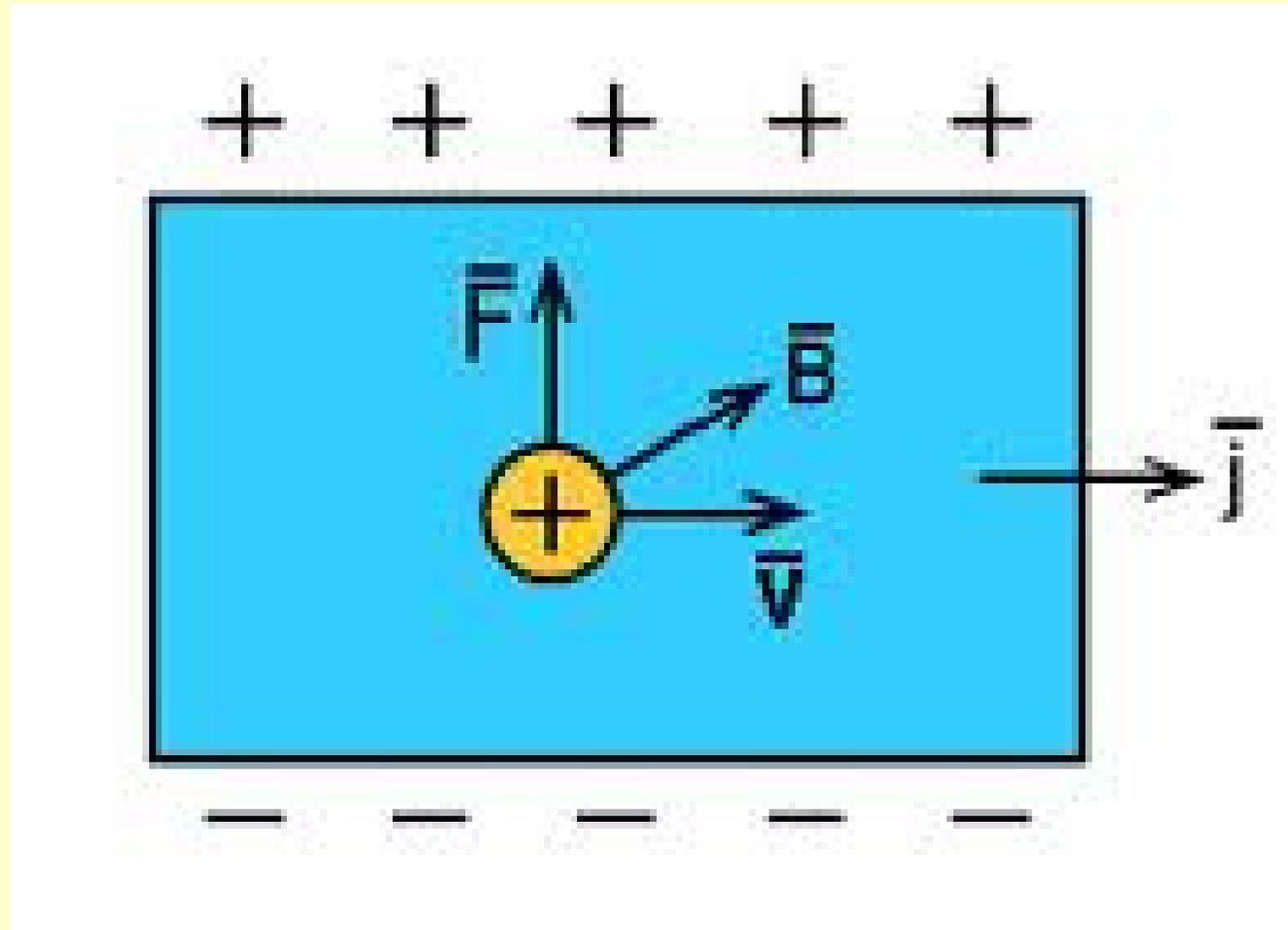
Магнитные датчики





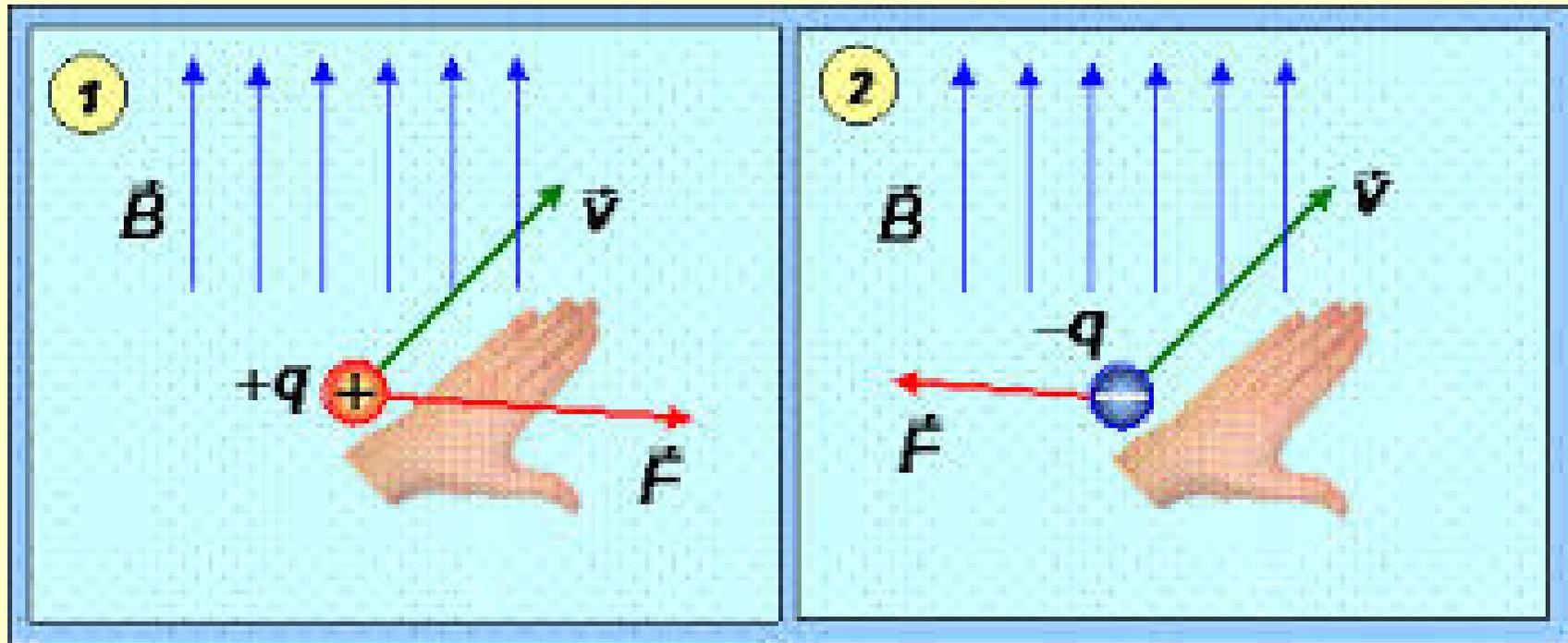


Датчик на эффекте Холла



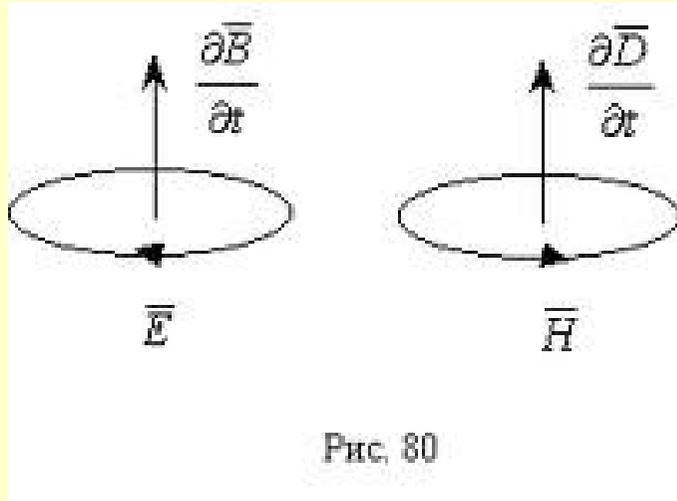


Сила Лоренца

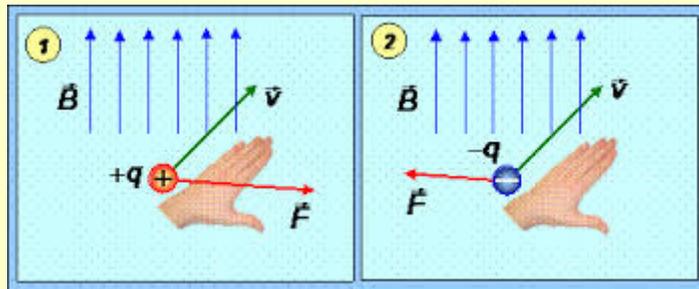




Сила Лоренца

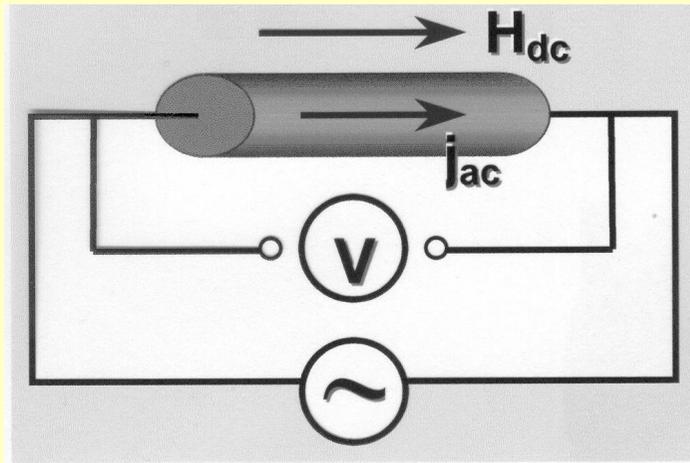


$$\operatorname{rot} E = -\frac{1}{c} \frac{\partial B}{\partial t}$$



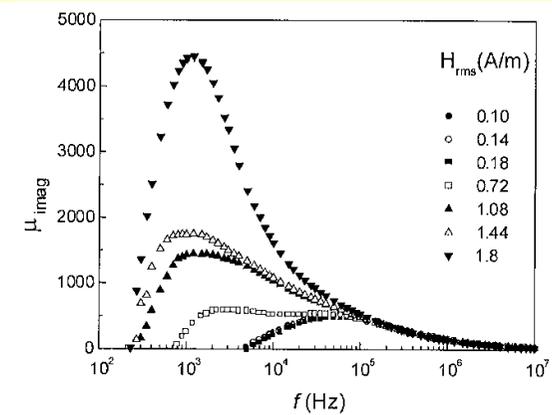
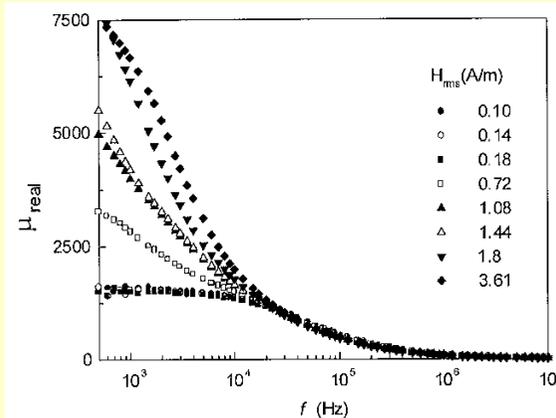
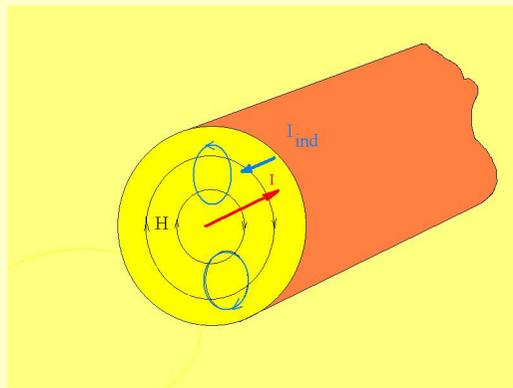


Низкочастотные ГМИ датчики



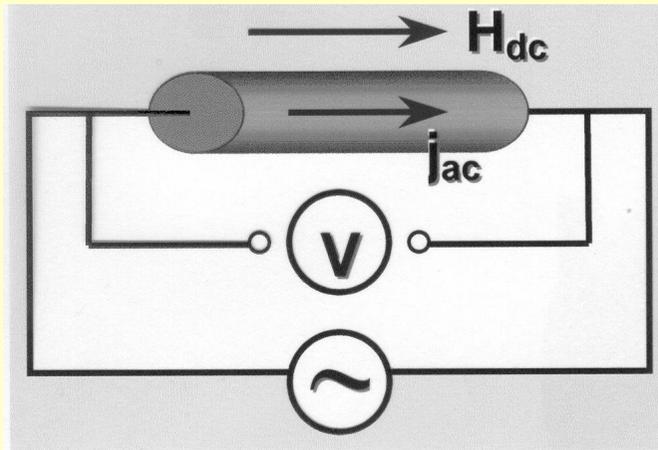
$$V = V_R + V_L = RI - \left(\frac{i\omega}{c^2} \right) L_i I$$

$$L_i = \frac{\mu_\phi l}{2}$$

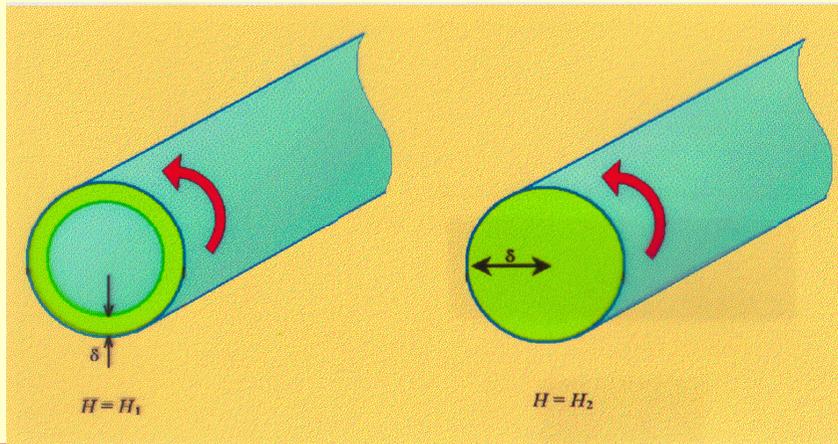




ГМИ датчики на средних частотах

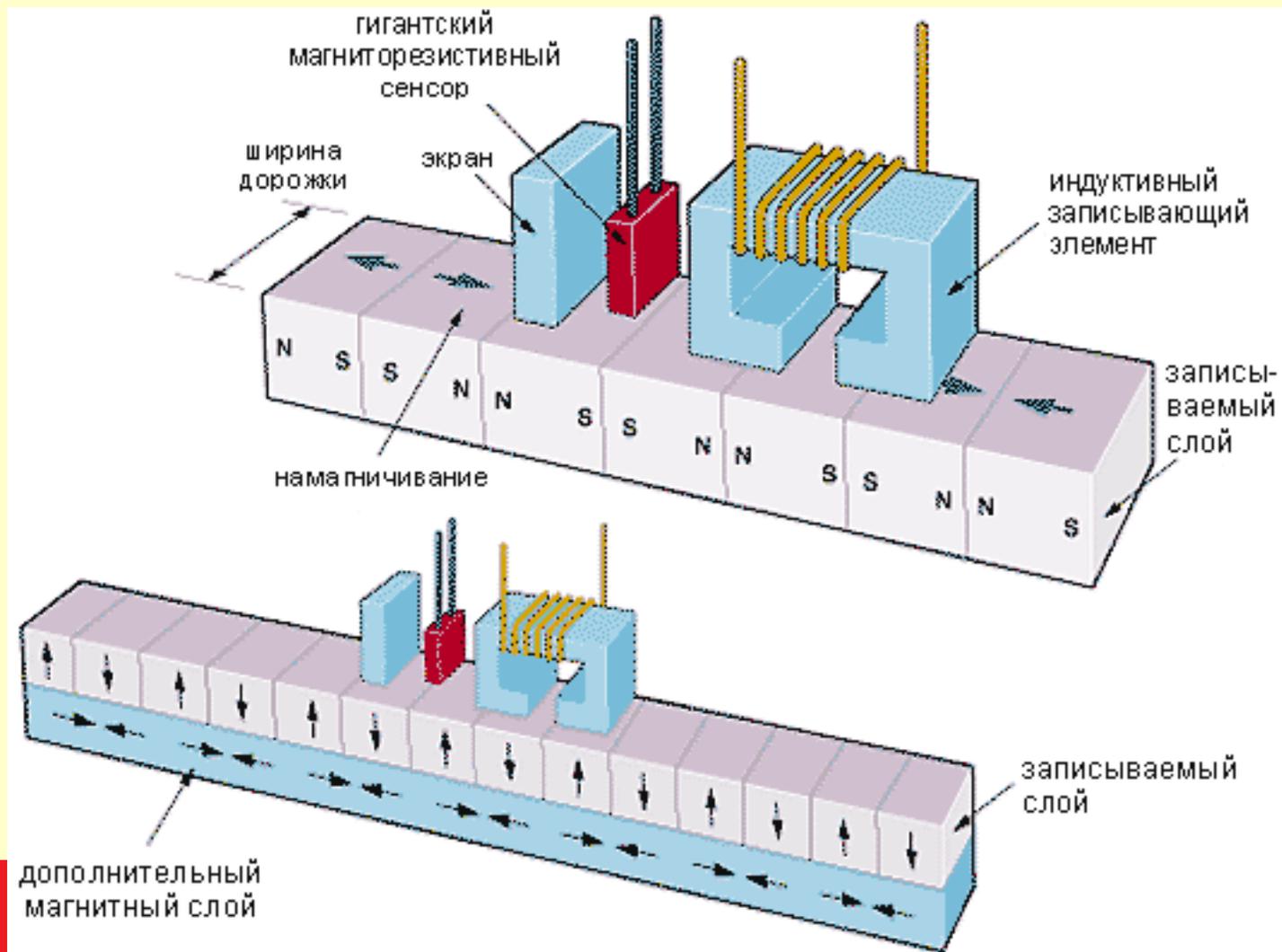


$$Z = R_{DC} \frac{kaJ_0(ka)}{2J_1(ka)}$$

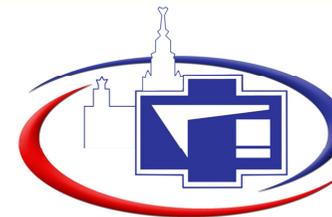


$$k = \frac{(1+i)}{\delta}$$
$$\delta = c \frac{1}{\sqrt{4\pi^2 \sigma \mu_\phi f}}$$

Магнитные датчики для микроэлектроники.

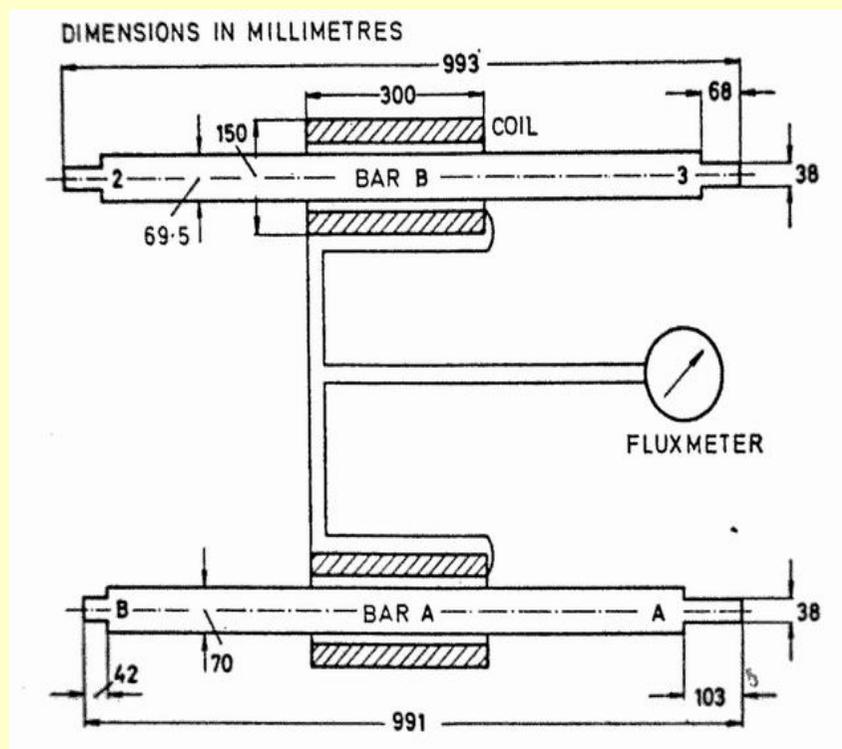
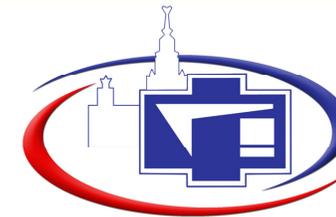


Магнитные эффекты



Эффект Джоуля	Эффект Фарадея	Эффект Маттиучи
Эффект Холла	Эффект Вилари	Эффект Керра
Магнетокалорический эффект	Эффект Гопкинсона	Эффект Барнетта
Эффект Эйнштейна-де-Гааза	Магнитоэлектрический эффект	Эффект Баркгаузена

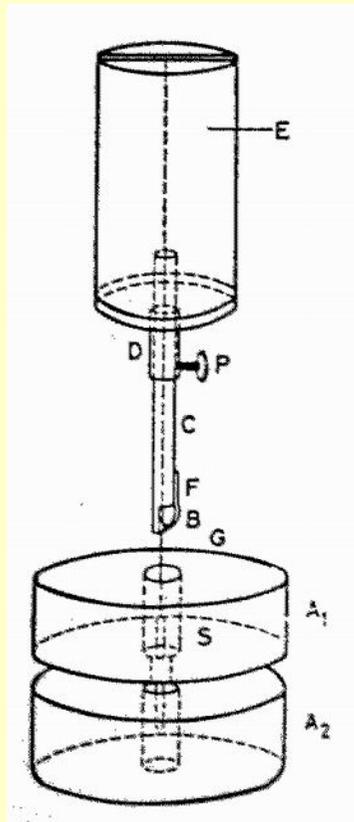
Эффект Барнетта



- Эффект Барнетта является одним из магнито-механических эффектов. Он был открыт в результате исследований С.Дж.Барнетта в 1909-1914 годах. Барнетт изучал связь между намагниченностью и вращением намагниченных стержней^[i]. Он обнаружил, что при вращении намагничиваемого стержня у него появляется магнитный момент. Схема установки показана на рисунке.

^[i] Barnett S.J., Magnetization by rotation, Phys.Rev.(II), 6, Oct.1915, p.239-270.

Эффект Эйнштейна-де Гааза



- А.Эйнштейн (1879-1955) и В. Де Гааз искали доказательства того, что магнитный момент атомов железа формируется орбитальными электронами, так называемыми «молекулярными токами» («молекулярными» в представлении Ампера «элементарными»). Возможность экспериментального подтверждения вытекает из теоретического представления об орбитальных электронах, которые должны обладать как магнитным, так и механическим моментами. С механистической точки зрения намагниченный атом можно рассматривать как вращающийся волчок, ось вращения которого совпадает с магнитным моментом. В таком случае изменение намагниченности должно приводить к изменению углового механического момента.
- В эффекте Барнетта вращение приводит к появлению магнитного момента, эффект Эйнштейна-де-Гааза является обратным к нему: изменение намагниченности должно приводить к появлению углового момента. Схема экспериментальной установки представлена на рисунке^[1].