



Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ

к.т.н., доцент каф. ФМПК ИНК ТПУ
Калиниченко Алексей Николаевич



ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с физическими величинами и основными соотношениями, описывающими магнитное поле и характеристики материалов в магнитном поле.

Экспериментально исследовать свойства ферромагнитных материалов в магнитном поле.

Магнитное поле - электромагнитное поле, характеризующееся его воздействием на движущуюся электрически заряженные частицы с силой, пропорциональной заряду частицы и ее скорости.

Вектор магнитной индукции (\vec{B}) - векторная величина, являющаяся силовой характеристикой магнитного поля (его действия на заряженные частицы) в данной точке пространства.

Определяет, с какой силой магнитное поле действует на движущийся со скоростью заряд.

$$\vec{F} = q[\vec{V} \times \vec{B}]$$

Магнитная проницаемость материала (μ) - физическая величина, коэффициент (зависящий от свойств среды), характеризующий связь между магнитной индукцией и напряжённостью магнитного поля в веществе.

Для воздуха $\mu = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м и называется магнитной постоянной.

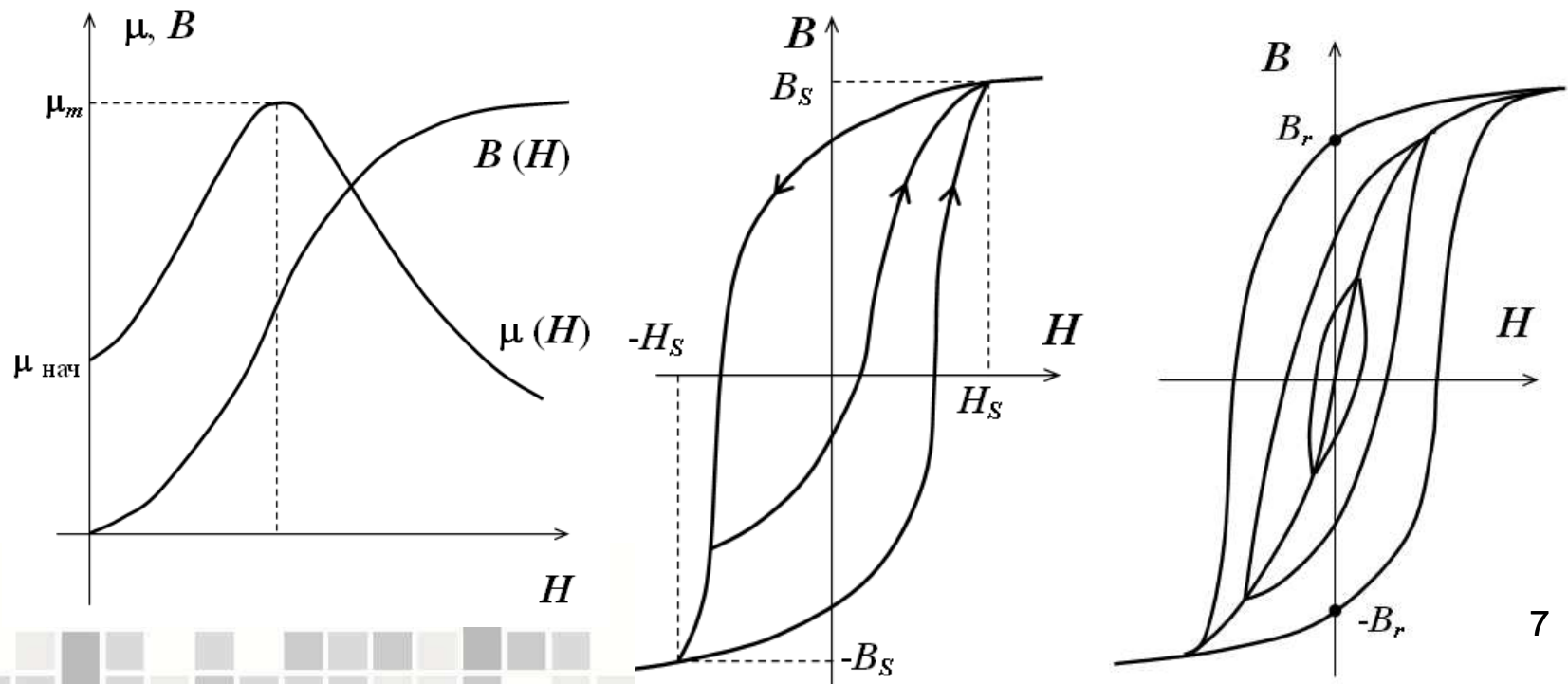
Для других сред $\mu = \mu_r \cdot \mu_0$

где μ_r - относительная магнитная проницаемость.

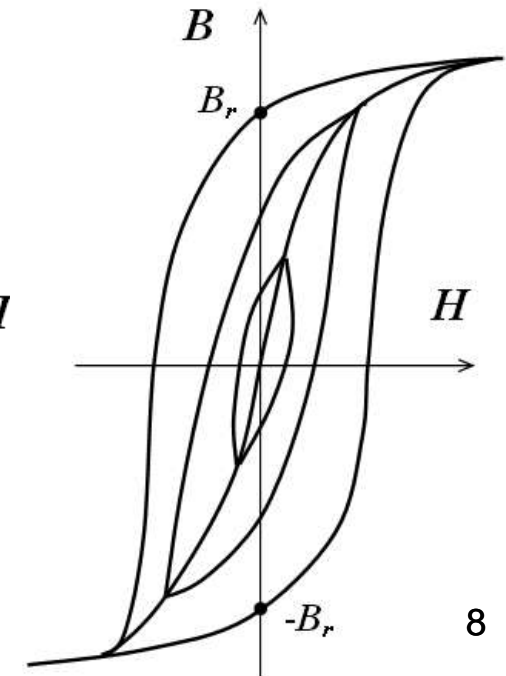
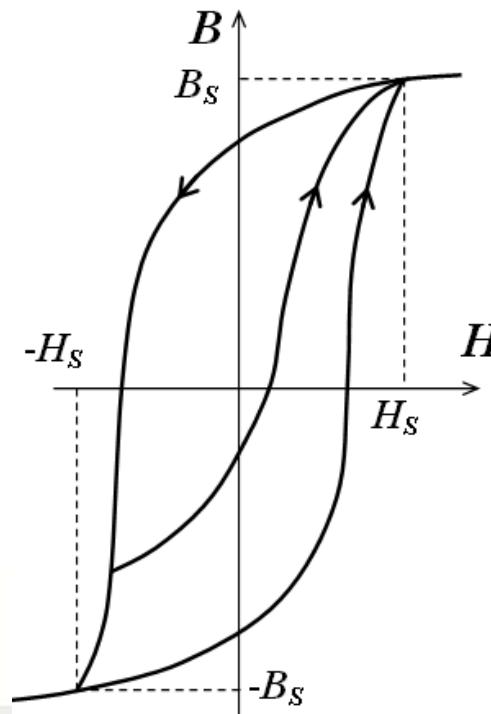
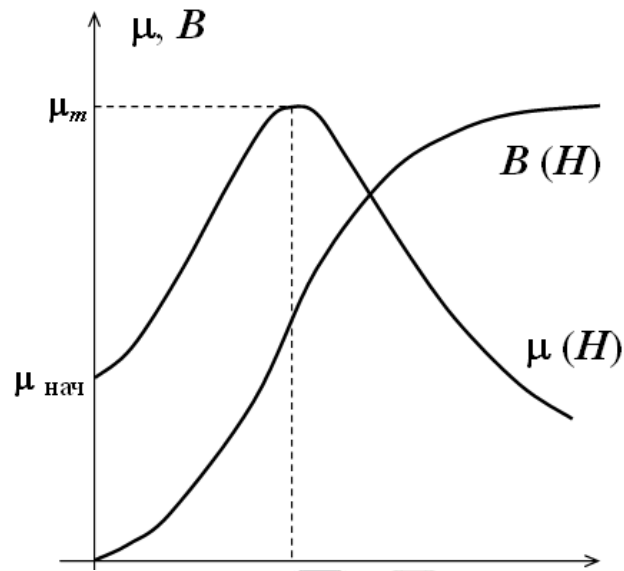
Напряжённость магнитного поля (\bar{H}) -
векторная физическая величина, равная разности
вектора магнитной индукции и вектора
намагниченности.

$$\bar{B} = \mu \bar{H}$$

Кривая первоначального намагничивания - зависимость $B(H)$, получаемая для предварительно размагниченного образца при монотонном возрастании напряженности внешнего магнитного поля.



Статическая петля магнитного гистерезиса (гистерезисный цикл) - зависимость $B(H)$, получаемая при плавном циклическом перемагничивании ферромагнетика в некотором диапазоне изменения поля.



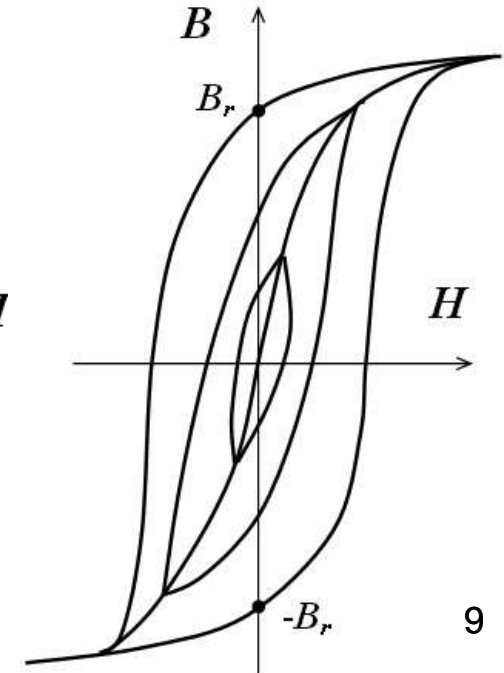
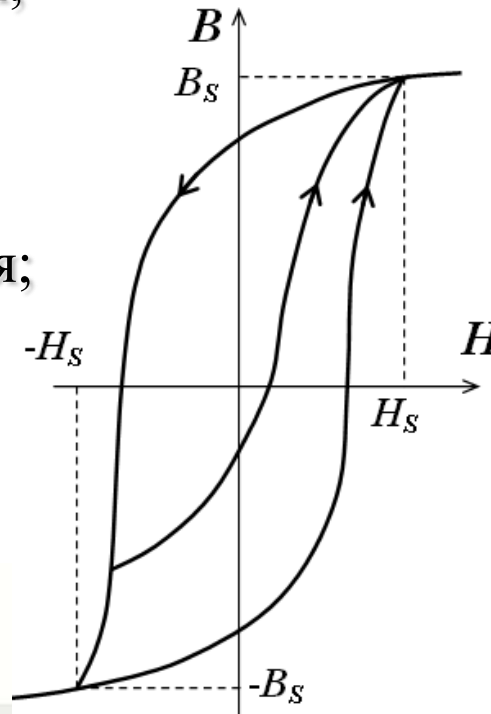
Основная кривая намагничивания - зависимость $B(H)$, представляющая собой геометрическое место вершин симметрично установившихся частных циклов гистерезиса.

B_r - остаточная индукция;

H_r - коэрцитивная сила;

B_s - индукция насыщения;

H_s - напряженность поля насыщения.





Обобщенная теорема о циркуляции вектора H :

$$\oint_L H dl = \int_S \left(j + \frac{\partial D}{\partial t} \right) dS$$

Уравнение показывает, что магнитные поля могут возбуждаться либо движущимися зарядами (электрическими токами), либо переменными электрическими полями.



Закон полного тока:

$$\oint_L H dl = i_{пл}$$

где:

H - вектор напряженности магнитного поля;

L - произвольный замкнутый контур;

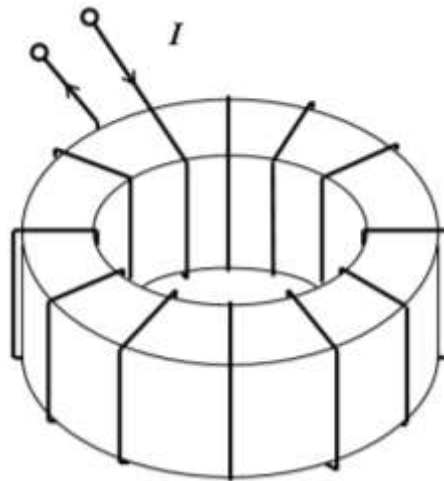
l - элемент его длины;

$i_{пл}$ - полный ток, охватываемый контуром L .



Явление электромагнитной индукции – возникновение в замкнутом проводящем контуре, пронизываемом изменяющимся во времени магнитным потоком Φ , ЭДС индукции e :

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}$$



$$e = -W \frac{d\Phi}{dt}$$



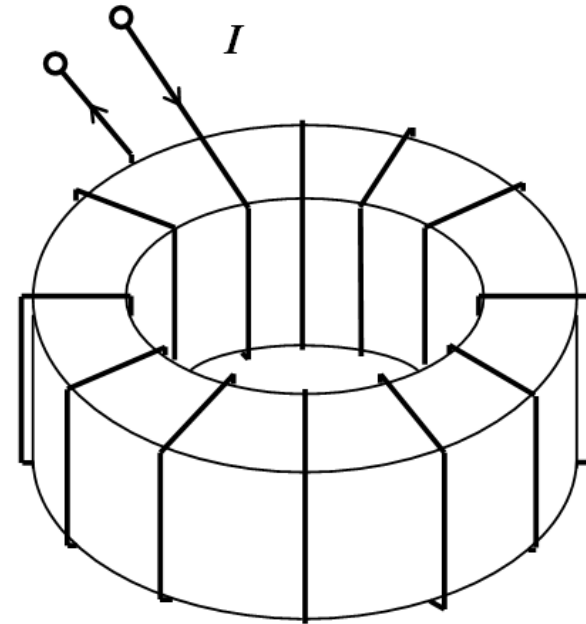
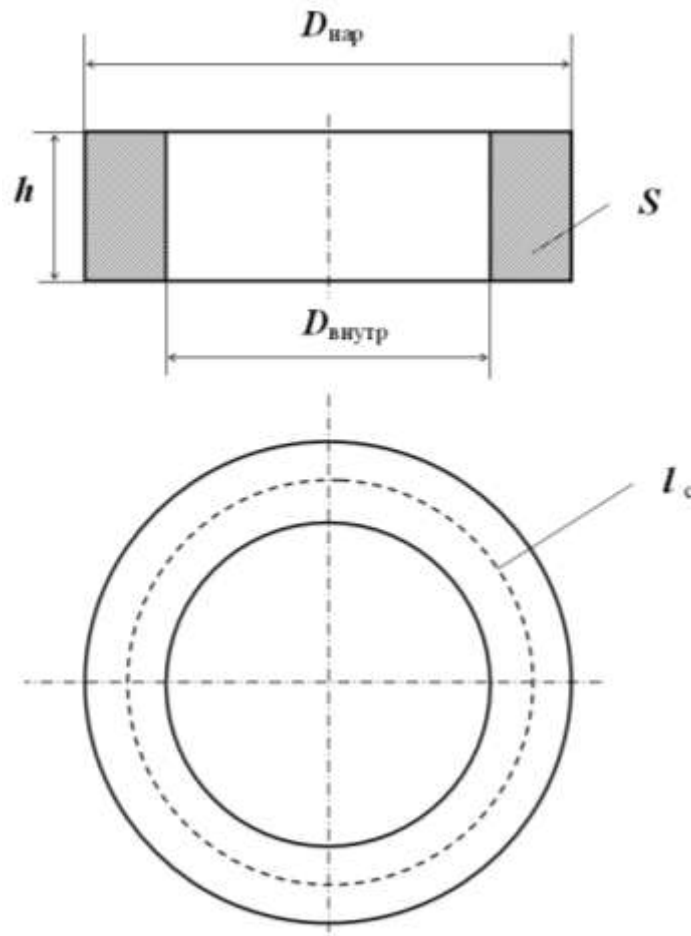
Теорема Гаусса для магнитной индукции:

$$\Phi_B = \oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = 0$$

Поток вектора магнитной индукции через любую замкнутую поверхность равен нулю.



ОБМОТКА НА ТОРОИДЕ



$$D_{\text{нар}} = 32 \text{ мм};$$

$$D_{\text{внутр}} = 22 \text{ мм};$$

$$h = 22 \text{ мм};$$

$$w_1 = 200;$$

$$w_2 = 400.$$

Для тороидальных образцов при указанном способе намотки характерно следующее:

- практически весь магнитный поток тока обмотки w_1 замыкается по магнитопроводу, роль которого выполняет тороидальный образец.
- линии индукции и напряженности магнитного поля перпендикулярны поперечному сечению тороида, имеющему площадь S .
- магнитное поле в данном сечении однородно (значения H и B в любой точке сечения практически одинаковы).



$$\oint_L H dl = i_{nl}$$

$$H \cdot l_C = I \cdot W$$

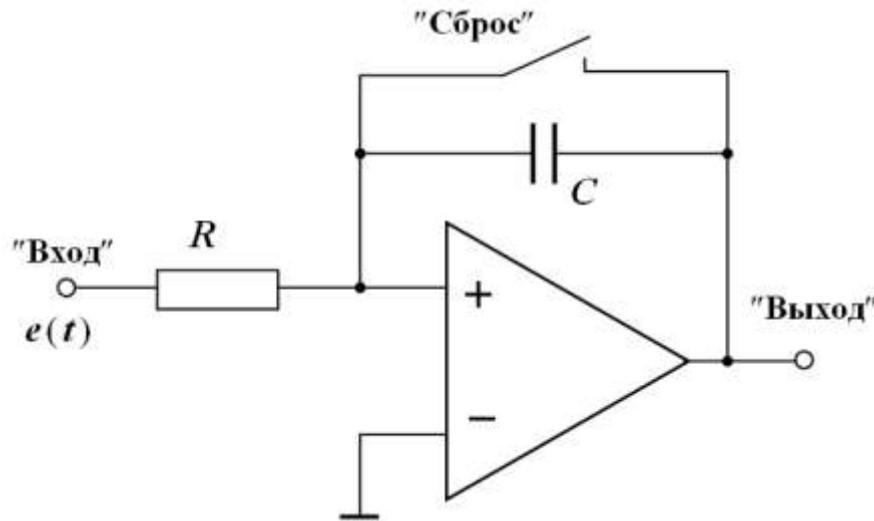
$$\Phi_B = \oint_S B \cdot ds = B \cdot S$$

$$e = -W \frac{d\Phi}{dt}$$

$$e(t) = -W \cdot S \frac{dB}{dt},$$



ЭЛЕКТРОННЫЙ ИНТЕГРАТОР



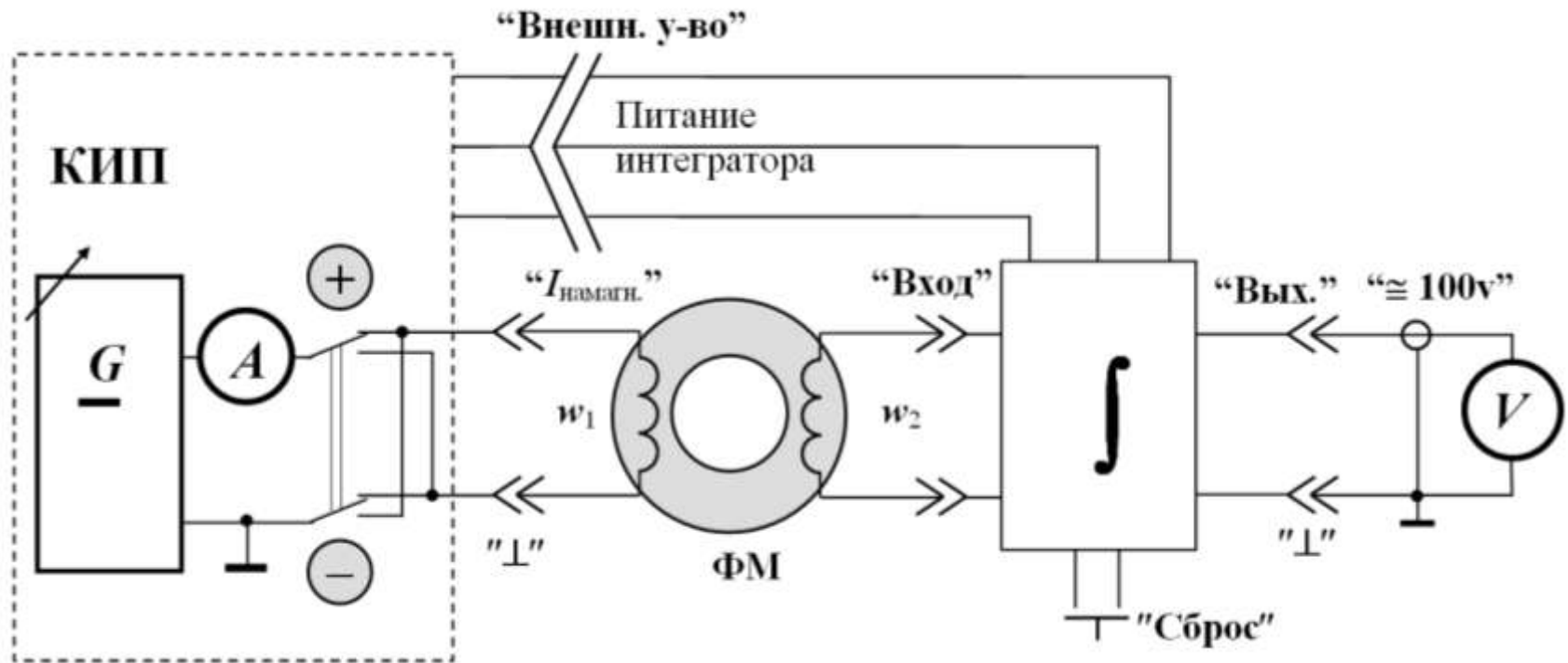
$$U_2 = -\frac{1}{RC} \int_{t_i}^{t_{i+1}} e(t) dt = -\frac{1}{RC} \times W \cdot S \cdot \Delta B$$



Принципиальная схема и внешний вид
электронного интегратора



СХЕМА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ



КИП - контрольно-измерительная панель;
G - регулируемый источник постоянного напряжения;
V - вольтметр;
A - амперметр; \int - электронный интегратор;
ФМ – ферромагнитный образец



РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

	I, A	H, A/м	U, В	ΔB_i	$B=B(i-1)+\Delta B_i$
1	0				
2					
3					
...					
11					



ЗАДАНИЕ

- Экспериментально определить кривые первоначального намагничивания для различных ферромагнитных образцов.
- Определить зависимости от напряженности магнитного поля нормальной и дифференциальной магнитных проницаемостей при начальном намагничивании ферромагнитных образцов.
- Экспериментально определить предельные и частные петли гистерезиса для различных ферромагнитных образцов.
- Определить статические магнитные характеристики ферромагнитных материалов B_S , H_S , B_r , $\mu_{нач}$, μ_{Nmax} , μ_{dmax} .