

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ В ВЕЩЕСТВЕ

Намагниченность вещества.

Циркуляция вектора намагниченности

Все вещества являются **магнетиками**, то есть способны под действием поля приобретать магнитный момент (**намагничиваться**).

Намагниченние магнетика характеризуют магнитным моментом единицы объема -

$$\vec{J} = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\sum_{i=1}^K \vec{p}_{mAi}}{\Delta V}$$

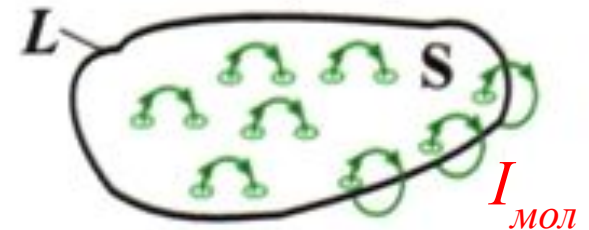
вектором намагниченности, где

$$\vec{p}_{mA} = \sum_{i=1}^Z \vec{p}_{mi} + \sum_{i=1}^Z \vec{p}_{msi} + \vec{p}_{ma}' \quad - \text{магнитный момент атома,}$$

K – число атомов в единице объема.

Можно доказать, что **циркуляция вектора намагниченности равна сумме молекулярных токов вещества** (**понятие мол. токов введено Ампером**),

по сути, токов, эквивалентных циркуляционным



$$\oint_L \vec{J} d\vec{l} = I_{\text{мол}}$$

Напряженность магнитного поля.

Циркуляция вектора напряженности

Намагниченное вещество создает магнитное поле \vec{B}' которое накладывается на внешнее поле \vec{B}_0 . Оба поля вместе дают результирующее поле \vec{B} .

Циркуляция **результирующего** поля определяется **суммой токов проводимости и молекулярных токов**

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \sum I + I_{\text{мол}} = \mu_0 (I + I_{\text{мол}})$$

проблем

Поскольку, $I_{\text{мол}} = \oint_L \vec{J} d\vec{l}$ то $\oint_L \left(\frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J} \right) d\vec{l} = I$

Назовем $\frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J} = \vec{H}$ вектором напряженности. Тогда

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = I = \int_S \vec{j} dS$$

$$\frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J} = \vec{H} \quad 1)$$

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = I = \int_S \vec{j} dS \quad 2)$$

Итак:

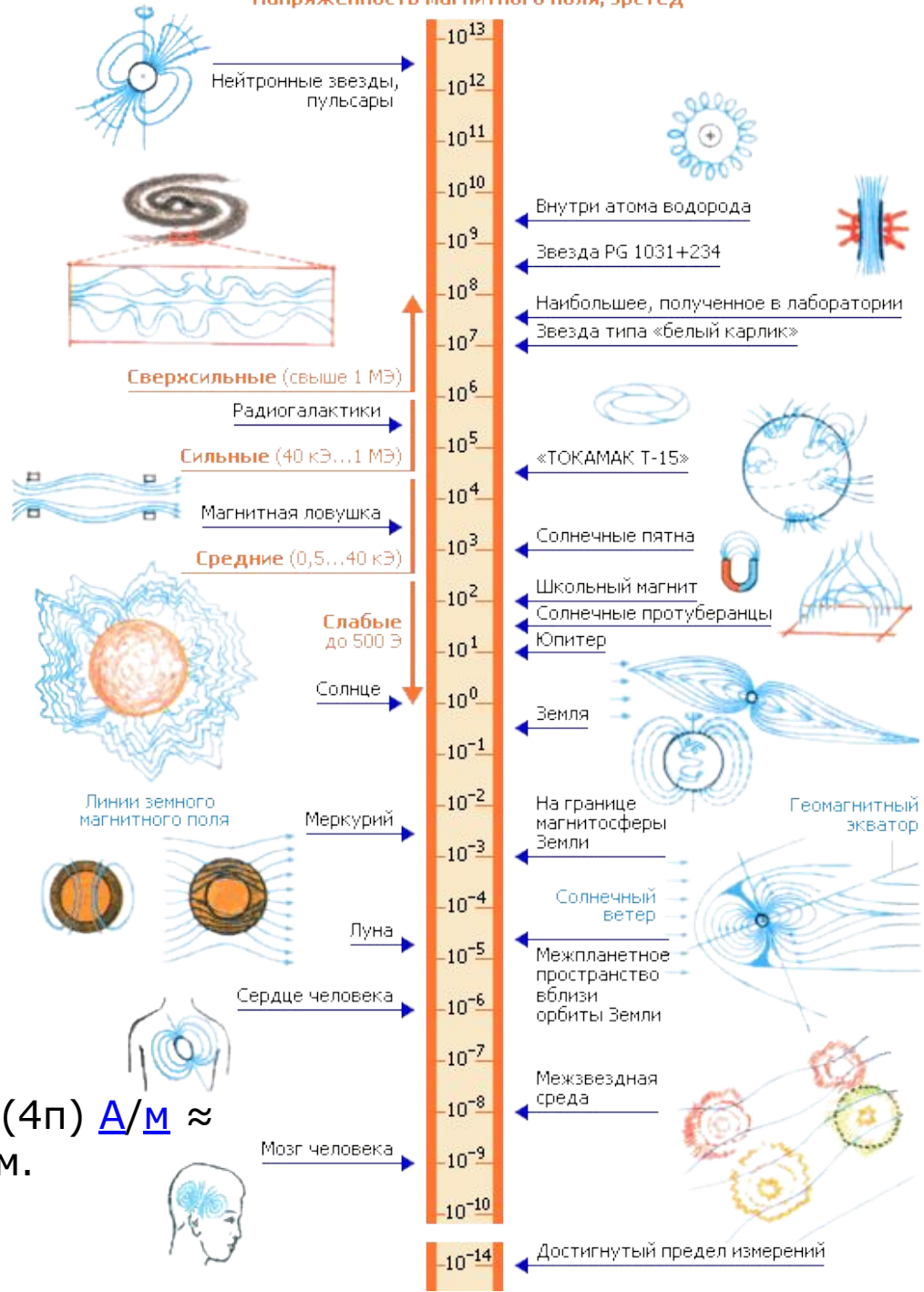
- согласно 1) искусственно введенный для описания магнитного поля в веществе вектор;
- 2) - теорема о циркуляции вектора \vec{H} : циркуляция вектора напряженности магнитного поля по некоторому контуру равна алгебраической сумме макроскопических токов (токов проводимости), охватываемых этим контуром;

Вывод (теория): введение этого вектора снимает проблему необходимости знания распределения молекулярных токов в веществе для описания результирующего поля!!!

Вывод (практика): если необходимо рассчитать поле в веществе (например, в сердечнике электромагнита) – используем т. о циркуляции вектора напряженности магнитного поля!!!!

$$[H] = [J] = 1 \frac{A}{m}$$

Напряженность магнитного поля, эрстед



1 эрстед = $1000 / (4\pi) \text{ А/м} \approx 79,5774715 \text{ А/м}$.

Магнитная восприимчивость.

Магнитная проницаемость

$$\vec{H} \equiv \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J}; \quad \vec{J} = \chi \vec{H} \Rightarrow \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \chi \vec{H} \Rightarrow$$

Безразмерная величина χ
называется **магнитной восприимчивостью** вещества.

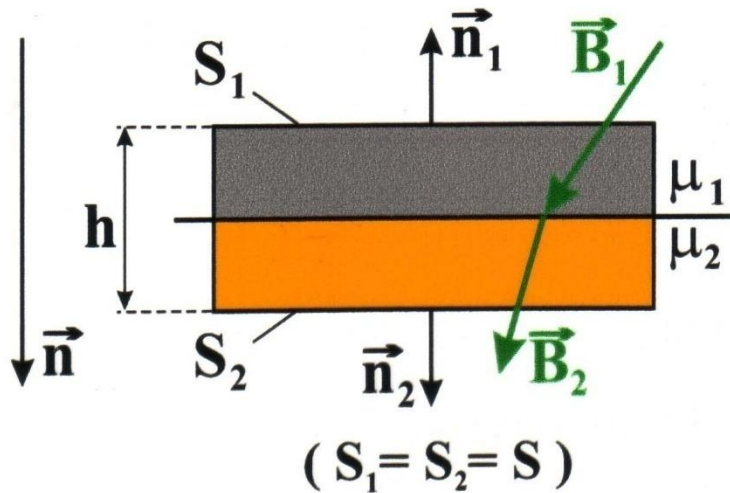
$$\vec{H} + \chi \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} \Rightarrow \vec{H} (1 + \chi) = \frac{\vec{B}}{\mu_0} \Rightarrow \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0 (1 + \chi)}.$$

Безразмерная величина $\mu \equiv 1 + \chi$
называется **относительной магнитной проницаемостью**, или просто **магнитной проницаемостью** вещества.

**Таким образом, характеристики поля и вещества
связаны между собой соотношением**

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu \mu_0}; \text{ или } \vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H}. \text{ В вакууме } \chi = 0, \mu = 1 \Rightarrow \vec{B} = \mu_0 \vec{H}$$

8. УСЛОВИЯ НА ГРАНИЦЕ ДВУХ МАГНЕТИКОВ



$$\int_S \vec{B} d\vec{S} = 0 \quad - \text{используем т. Гаусса}$$

при $h \rightarrow 0$

$$\begin{aligned} \Phi &= \vec{B}_{1n_1} S_1 + \vec{B}_{2n_2} S_2 = \\ &= (\vec{B}_{1n_1} + \vec{B}_{2n_2}) S = 0 \end{aligned}$$

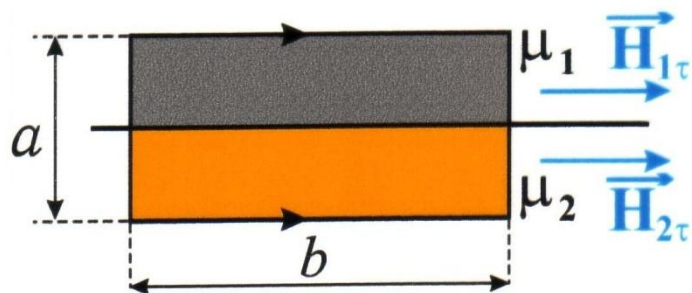
отсюда $\vec{B}_{1n_1} = - \vec{B}_{2n_2}$

Проектируя на \vec{n} , получаем :

$$\vec{B}_{1n} = \vec{B}_{2n}$$

так как $\mu_0 \mu_1 \vec{H}_{1n} = \mu_0 \mu_2 \vec{H}_{2n}$,

то
$$\frac{H_{1n}}{H_{2n}} = \frac{\mu_2}{\mu_1}$$



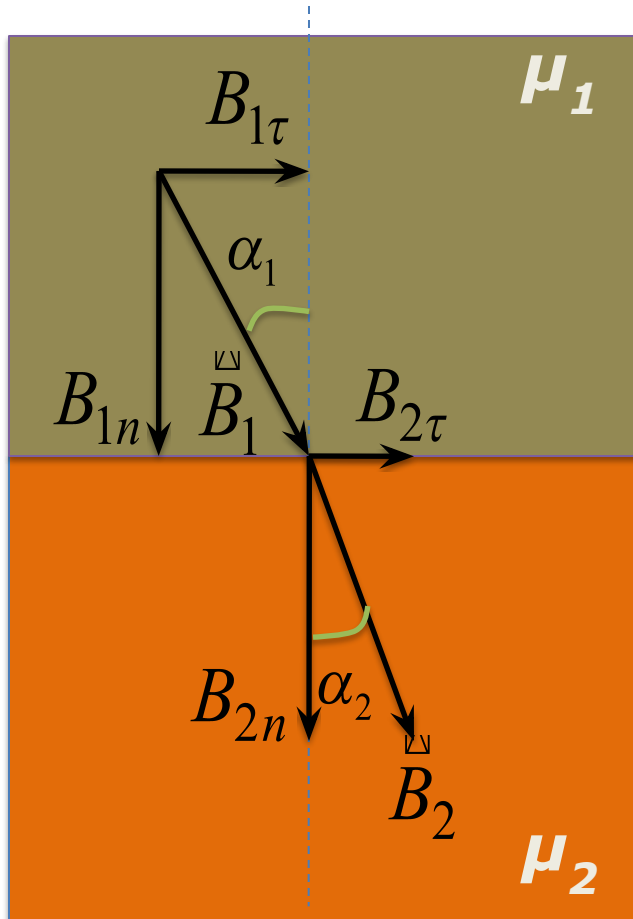
- используем т. о циркуляции

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = \int \vec{j} d\vec{S} \text{ при } \vec{j} = 0, a \rightarrow 0, \vec{H}_{1\tau} b - \vec{H}_{2\tau} b = 0$$

Отсюда

$$\vec{H}_{1\tau} = \vec{H}_{2\tau}$$

так как $\frac{\vec{B}_{1\tau}}{\mu_0 \mu_1} = \frac{\vec{B}_{2\tau}}{\mu_0 \mu_1}$, то $\frac{\vec{B}_{1\tau}}{\vec{B}_{2\tau}} = \frac{\mu_1}{\mu_2}$

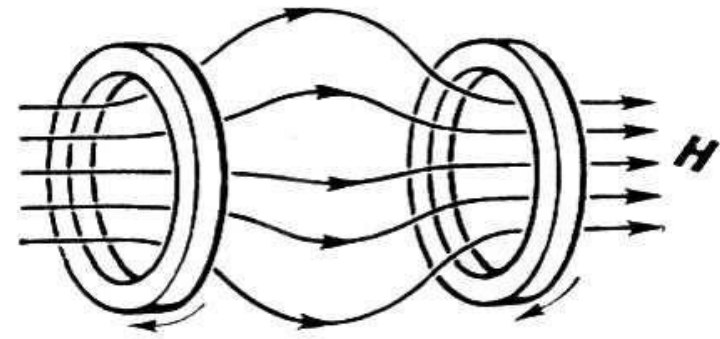


При переходе через границу раздела двух магнетиков компоненты \vec{B}_n и \vec{H}_τ **изменяются непрерывно**. Компоненты \vec{B}_τ и \vec{H}_n **претерпевают разрыв**. Обозначим углы между линиями \vec{B} и нормалью к поверхности как α_1 и α_2 .

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{B_{1\tau}}{B_{1n}}; \quad \operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{B_{2\tau}}{B_{2n}} \Rightarrow$$

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha_2} = \frac{B_{1\tau} / B_{1n}}{B_{2\tau} / B_{2n}} = \frac{B_{1\tau}}{B_{2\tau}} = \frac{\mu_1}{\mu_2}.$$

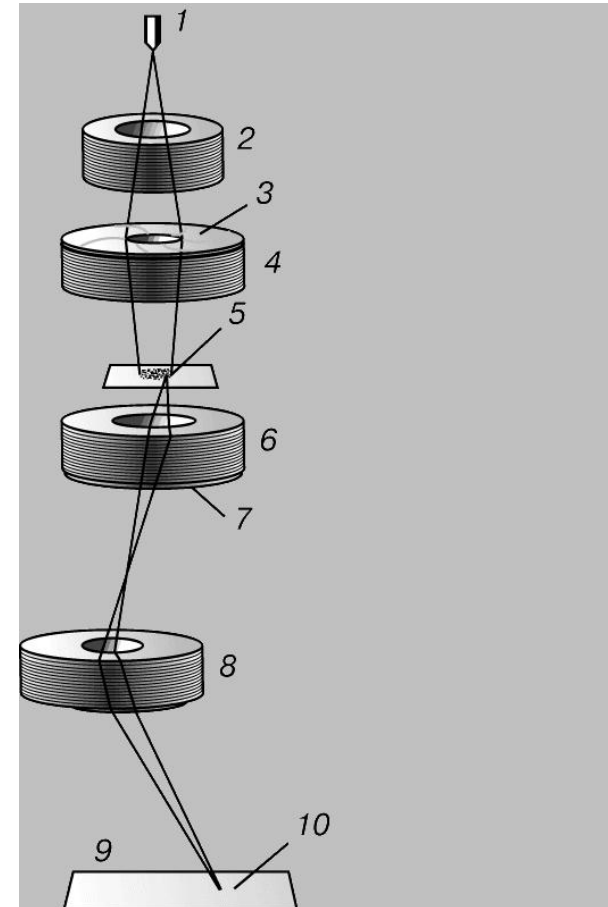
МАГНИТНОЕ ЭКРАНИРОВАНИЕ



При переходе в магнетик с большей μ линии магнитной индукции отклоняются от нормали к поверхности.

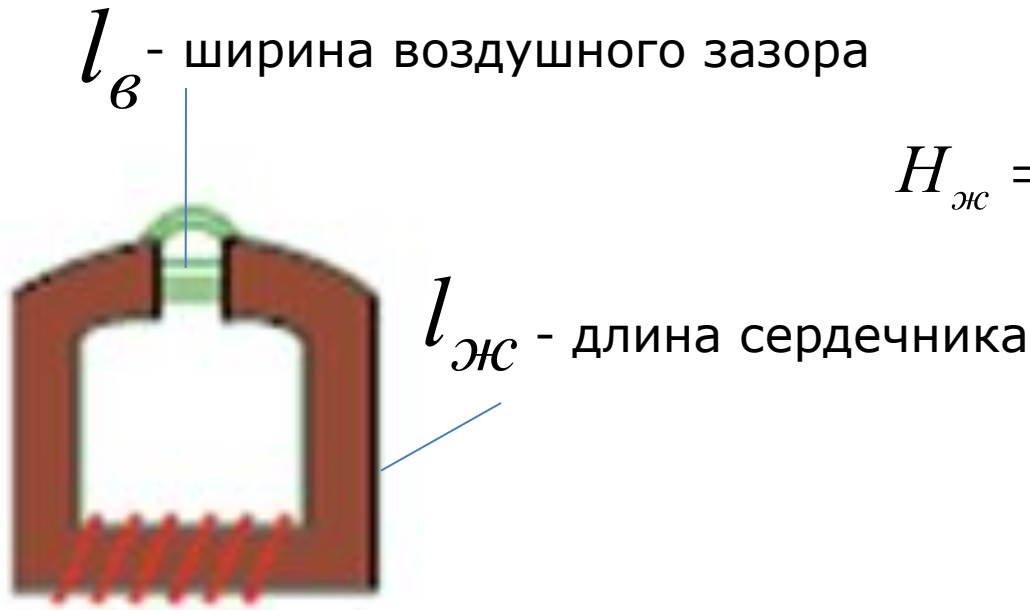
Это приводит к сгущению линий, что дает возможность формировать магнитные пучки, то есть придавать им необходимую форму и направление.

В частности, для того чтобы осуществить магнитную защиту некоторого объема, его окружают железным экраном.



МАГНИТНОЕ ПОЛЕ В ЗАЗОРЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТА

Используем т. о циркуляции H и условия на границе раздела двух магнетиков:



$$H_{жс} l_{жс} + H_v l_v = NI;$$
$$H_{жс} = \frac{B_{жс}}{\mu_0 \mu_{жс}}; \quad H_v = \frac{B_v}{\mu_0 \mu_v};$$

$$B_{жс} = B_v = B \Rightarrow$$

$$\frac{Bl_{жс}}{\mu_0 \mu_{жс}} + \frac{Bl_v}{\mu_0 \mu_v} = NI \Rightarrow$$

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l_v / \mu_v + l_{жс} / \mu_{жс}} = \frac{\mu_0 NI}{l_v + l_{жс} / \mu_{жс}};$$

N - число витков в электрообмотке,
с силой тока I

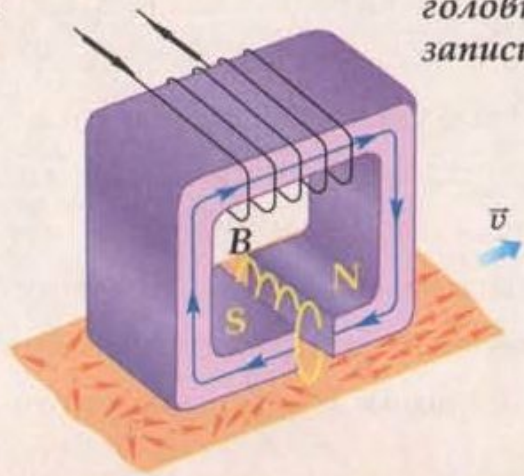
$$l_v \gg \frac{l_{жс}}{\mu_{жс}} \Rightarrow B = \mu_0 I \frac{N}{l_v}.$$

5

Головка записи

Записываемый
сигнал

Обмотка
головки
записи

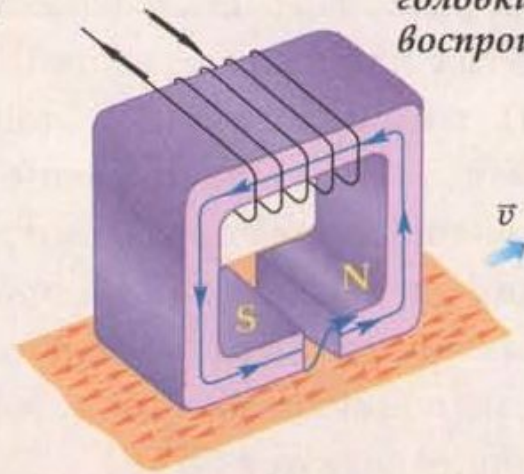


6

Головка воспроизведения

Выходной
сигнал

Обмотка
головки
воспроизведения



3. (В.11.42) Длина железного сердечника тороида $l_1=2,5$ м, длина воздушного зазора $l_2=1$ см. Число витков в обмотке $N=1000$. При токе $I=20$ А индукция магнитного поля в воздушном зазоре $B=1,6$ Тл. Найти магнитную проницаемость μ железного сердечника при этих условиях. (Зависимость B от H для железа неизвестна.)

Ответ: $\mu = 440$.

4. (В.11.43) Длина железного сердечника тороида $l_1=1$ м, длина воздушного зазора $l_2=1$ см. Площадь поперечного сечения сердечника $S=25$ см². Сколько ампер-витков потребуется для создания магнитного потока $\Phi=1,4$ мВб, если магнитная проницаемость материала сердечника $\mu=800$?

Ответ: $IN=5000$ А·в.

Обмотка тороида, имеющего ферромагнитный сердечник с узким вакуумным зазором шириной h_0 , содержит n витков на единице длины тороида. Ширина зазора h_0 намного меньше среднего диаметра тороида d . При силе тока в обмотке тороида I индукция магнитного поля в зазоре равна B_0 , а относительная магнитная проницаемость сердечника - μ . Найти неизвестную величину согласно номеру задания. Выполнить дополнительное задание.

<i>№ вар.</i>	<i>I, А</i>	<i>d, см</i>	<i>h₀, мм</i>	<i>n, м⁻¹</i>	<i>μ</i>	<i>B₀, Тл</i>	<i>Объяснить зависимость</i>
1.	1,7	30	1	1000	?	1,1	$\mu=f(I)$
2.	2,4				?	1,2	
3.	3,1				?	1,3	
4.	3,6				?	1,35	

10. (В.11.51) Замкнутый железный сердечник длиной $l=50$ см имеет обмотку из $N=1000$ витков. По обмотке течет ток $I_1=1$ А. Какой ток I_2 надо пустить через обмотку, чтобы при удалении сердечника индукция осталась прежней?

Ответ: $I_2=630$ А.

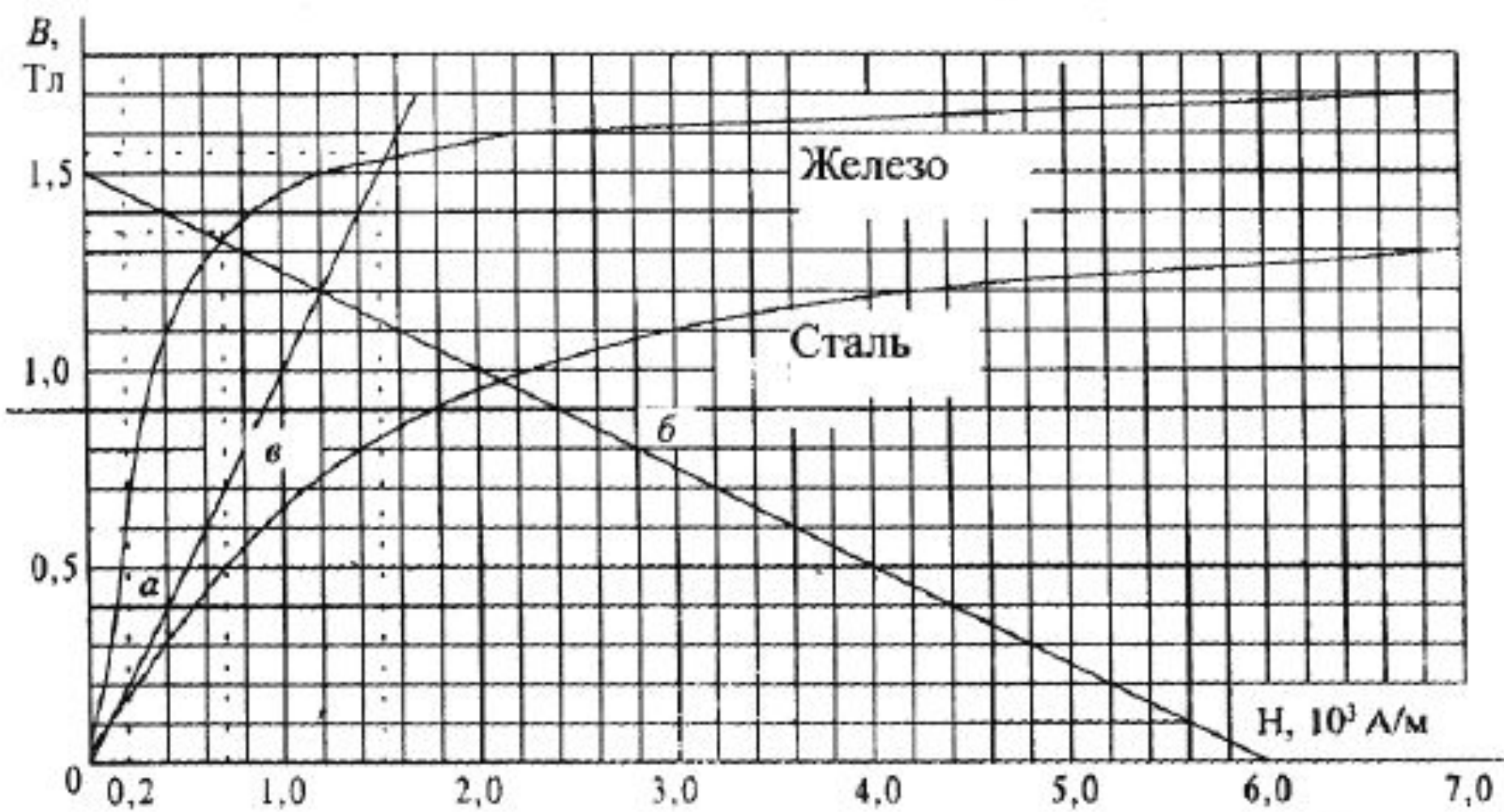


Рис. 7.3

II. (Ч.27.6) Висмутовый шарик радиусом $R=1$ см помещен в однородное магнитное поле $B_0=0,5$ Тл. Определить магнитный момент p_m , приобретенный шариком, если магнитная восприимчивость висмута $\chi = -1,5 \cdot 10^{-4}$.

Ответ: $p_m = 250$ мкА·м².