

## Ферромагнетик

**Ферромагнётик**, вещество, обладающее спонтанной намагниченностью при температурах ниже некоторой критической для данного материала (точка Кюри). При температурах выше точки Кюри ферромагнетики переходят в парамагнитное состояние в результате фазового перехода 2-го рода (см. Ферромагнетизм). Ферромагнетики, помещённые во внешнее магнитное поле, втягиваются в него.

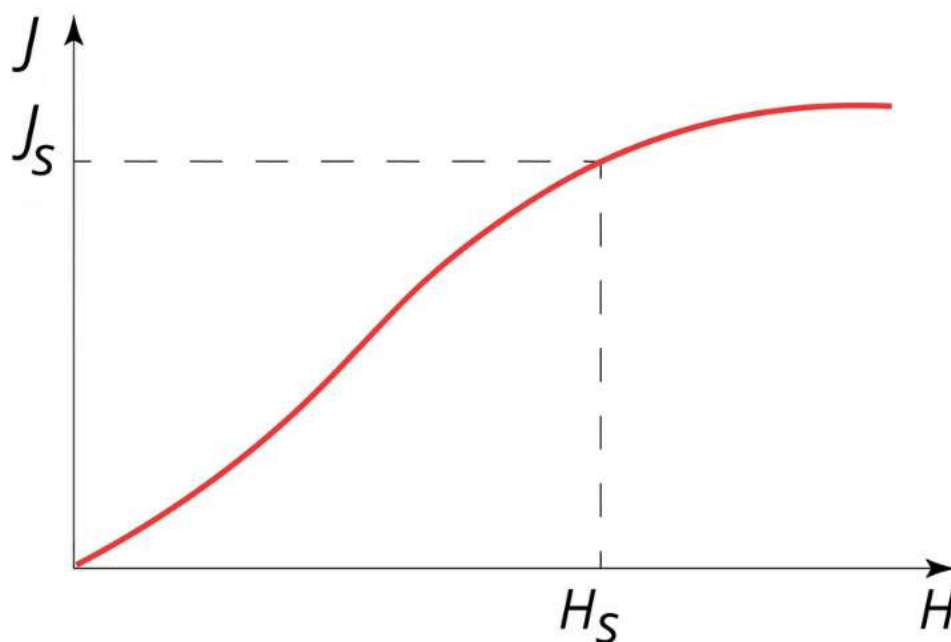


Рис. 1а. Зависимость намагниченности от напряжённости магнитного поля для ферромагнетиков.

Ферромагнетиками могут быть как химические элементы (переходные элементы: Fe, Co, Ni; редкоземельные элементы: Gd, Tb, Dy, Ho, Er), так и бинарные соединения и сплавы, а также небольшая группа соединений актиноидов.

Для ферромагнетиков зависимости намагниченности  $J=kH$  и магнитной индукции  $B=\mu_0(H+J)$  от напряжённости магнитного поля  $H$  представляют собой нелинейные функции (рис. 1. а, б).

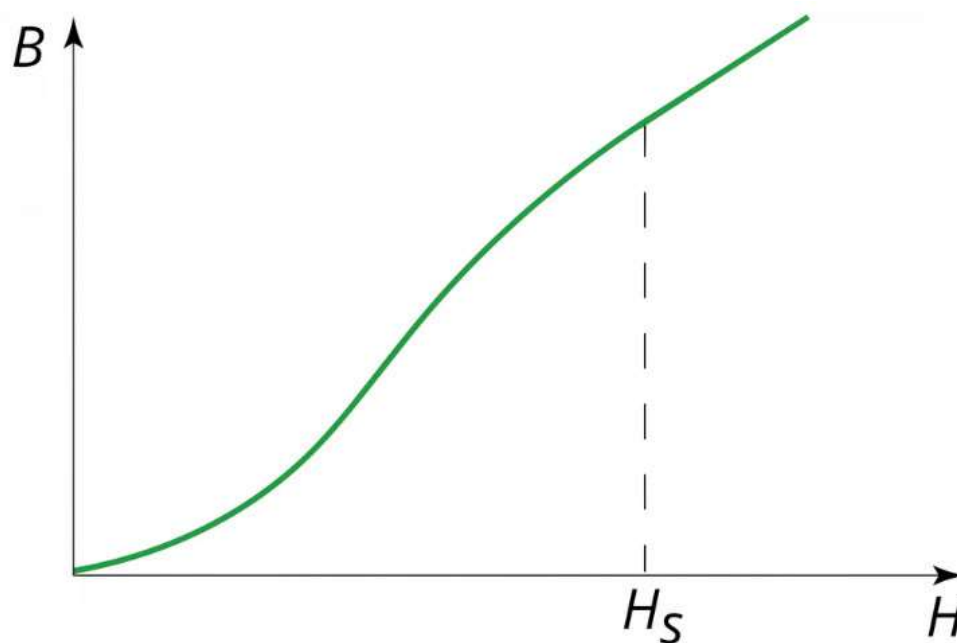


Рис. 1б. Зависимость магнитной индукции от напряжённости магнитного поля для ферромагнетиков.

Здесь  $J_s$  – предельное значение намагниченности, за которой следует насыщение,  $k$  – магнитная восприимчивость; на рис. 1б при  $H > H_s$  зависимость вектора магнитной индукции  $B = \mu_0 J_s + \mu_0 H$  линейна.

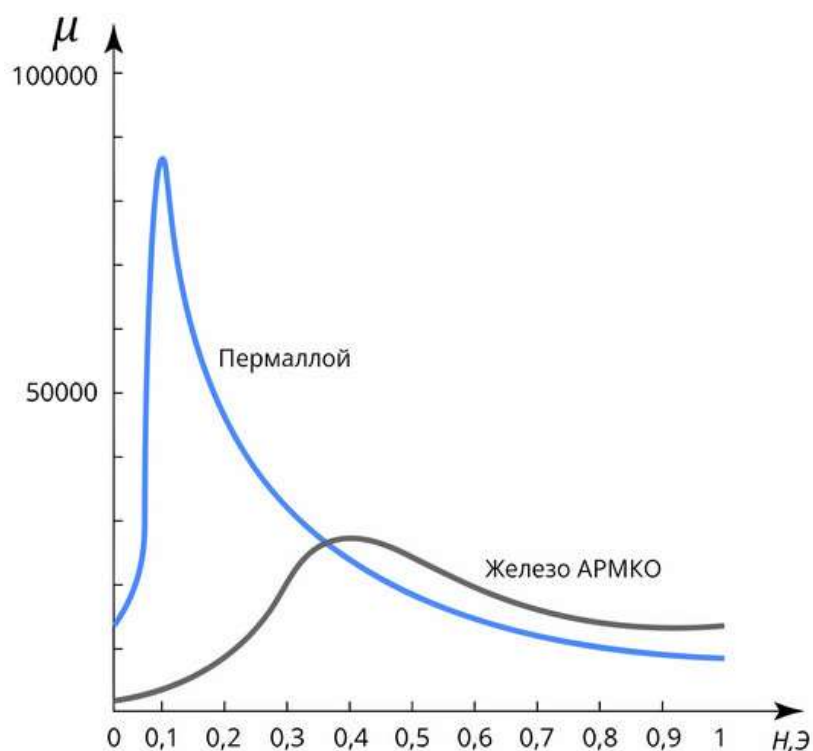


Рис. 2. Зависимость магнитной проницаемости от напряжённости магнитного поля для ферромагнетиков (кривые Столетова, основная кривая намагничивания).

Зависимость магнитной проницаемости  $\mu$  от напряжённости магнитного поля  $H$  имеет сложный характер (рис. 2); результаты исследования магнитной проницаемости впервые были получены А. Г. Столетовым (1872) для пермаллоя и технически чистого железа АРМКО (впоследствии полученные им зависимости получили название кривых Столетова или основных кривых намагничивания).

Характерной особенностью ферромагнетиков является наличие магнитного гистерезиса, при котором значения магнитной индукции  $B$  и намагниченности неоднозначны, а зависят от предшествующей истории намагничивания (рис. 3).

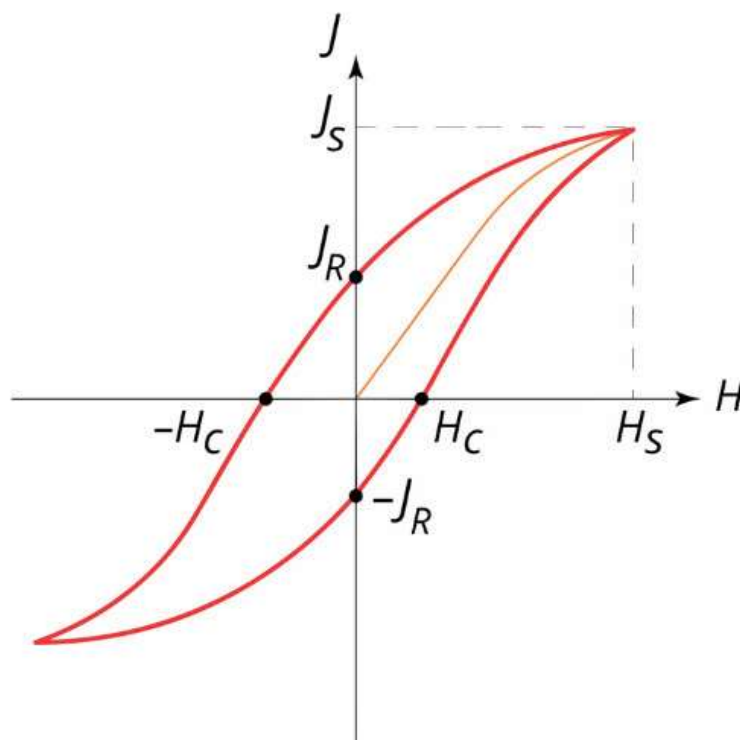


Рис. 3. Петля гистерезиса для ферромагнетиков.

Здесь  $J_S$  – намагниченность насыщения,  $J_R$  – остаточная намагниченность,  $H_C$  – коэрцитивная сила. Явление гистерезиса обусловлено доменной структурой ферромагнетиков. При перемагничивании ферромагнетики нагреваются; работа по перемагничиванию численно равна площади петли гистерезиса. Ферромагнетики, обладающие широкой петлёй гистерезиса (большой коэрцитивной силой), называются магнитотвёрдыми материалами и используются для создания постоянных магнитов, узкой (низкая коэрцитивная сила) – магнитомягкими материалами, применяющимися для производства, например, трансформаторов и магнитопроводов.



Ферромагнитная жидкость во внешнем магнитном поле.

Ферромагнитные жидкости используются в высокочастотных динамиках для отвода тепла от звуковой катушки, а также в медицине – для удаления и диагностики раковых опухолей и в технике – в уплотнителях смазки и нанoeлектромеханических системах.

Алёшин Алексей Николаевич

#### **Библиография:**

- Акулов Н. С. Ферромагнетизм. – Москва ; Ленинград : Гостехтеоретиздат, 1939.
- Бозорт Р. М. Ферромагнетизм : пер. с англ. – Москва : Издательство иностранной литературы, 1956.
- Вонсовский С. В. Магнетизм : магнитные свойства диа-, пара-, ферро-, антиферро- и ферримангнетиков. – Москва : Наука, 1971.
- Тикадзуми С. Физика ферромагнетизма. Магнитные свойства вещества / пер. с яп. М. В. Быстрова. – Москва : Мир, 1983.
- Херд К. М. Многообразие видов магнитного упорядочения в твердых телах // Успехи физических наук. – 1984. – Т. 142, № 2. – С. 331–355.