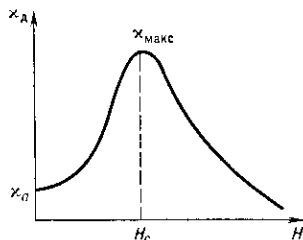


к Кюри точке  $M$ . в. ФМ становится столь же незначительной, как и обычных парамагнетиков (область *парапроцесса*). Вид кривой  $\chi(H)$  (кривая Столетова, рис.) обусловлен сложным механизмом намагничивания ФМ. Типичные значения  $\chi_a$  и  $\chi_{\max}$ : для Fe  $\approx 1400$  и  $\approx 22000$ , для Ni  $\approx 12$  и  $\approx 80$ , для сплава пермаллой (50% Fe, 50% Ni)  $\approx 800$  и  $\approx 8000$  (в норм. условиях). Наряду с  $\chi_d$  вводят также обратную  $M$ . в.  $\chi_{\text{обр}} = \lim_{\Delta H \rightarrow 0} (\Delta M / \Delta H)$ ,

причём существенно, что изменение поля должно происходить в сторону его уменьшения от нач. значения



Кривая зависимости дифференциальной магн. восприимчивости  $\chi_d$  ферромагнетиков от напряжённости намагниченного поля  $H$  (кривая А. Г. Столетова, 1872).

( $\Delta H < 0$ ). Всегда  $\chi_{\text{обр}} < \chi_d$ . Разность  $\chi_d$  и  $\chi_{\text{обр}}$ , достигающая максимума вблизи значений  $H \approx H_c$  ( $H_c$  — коэрцитивная сила), может быть принята за меру необратимости процессов намагничивания и размагничивания (меру *гистерезиса магнитного*).

$M$ . в., как правило, существенно зависит от темп-ры (исключения составляют большинство ДМ и нек-рые ПМ — щелочные и отчасти щёлочноземельные и др. металлы, см. *Парамагнетизм*).  $M$ . в. ПМ уменьшается с темп-рой, следуя Кюри закону или Кюри — Вейса закону. В ФМ  $M$ . в. с ростом темп-ры увеличивается, достигая резкого максимума вблизи точки Кюри.  $M$ . в. антиферромагнетиков увеличивается с ростом темп-ры до Нееля точки, а затем падает по закону Кюри — Вейса.

В перем. магн. полях (синусоидальных)  $M$ . в. — комплексная величина (см. *Магнитная проницаемость*).  $M$ . в. анизотропных тел (ферроферритамагнетиков) — тензор.  $M$ . в. ФМ зависит от частоты перем. магн. поля. Эту зависимость изучает магн. спектроскопия.

Лит.: Вонсовский С. В., *Магнетизм*, М., 1971; Бозорт Р., *Ферромагнетизм*, пер. с англ., М., 1956; Таблицы физических величин, М., 1976. С. В. Вонсовский.

**МАГНИТНАЯ ВЯЗКОСТЬ** (магнитное последствие) — отставание по времени изменения намагниченности ферромагнетика (ФМ) от изменения напряжённости магн. поля. В наиб. простых случаях изменение намагниченности  $\Delta M$  в зависимости от времени  $t$  описывается ф-лой

$$\Delta M(t) = [M(t) - M_0] = (M_\infty - M_0)(1 - e^{-t/\tau}).$$

Здесь  $M_0$  и  $M_\infty$ , соответственно, значение намагниченности непосредственно после изменения магн. поля ( $t=0$ ) и после установления нового равновесного состояния;  $\tau$  — константа, характеризующая скорость процесса и наз. временем релаксации. Значение  $\tau$  зависит от природы  $M$ . в. и в разных материалах может изменяться от  $10^{-9}$  с до неск. десятков ч. В общем случае для описания процесса последствия одного значения  $\tau$  недостаточно.

Различают два осн. вида  $M$ . в.: диффузионный (рихтеровский) и термофлуктуационный (иордановский). В первом из них  $M$ . в. определяется диффузией примесных атомов или дефектов кристаллич. структуры. Напр., в большинстве «классических» экспериментов по изучению  $M$ . в. в качестве образцов использовалось железо с примесью углерода или азота. Объяснение роли примесей было дано Я. Снуком (J. Snoek), а более строгая теория построена Л. Неелем (L. Néel). Она базируется на предположении о преимуществ. диффузии примесных атомов в те межатомные

промежутки кристалла, к-рые определённым образом ориентированы относительно направления спонтанной намагниченности. Это создаёт локальную наведённую анизотропию, приводящую к стабилизации доменной структуры. Поэтому после изменения магн. поля новая доменная структура устанавливается не сразу, а после диффузионного перераспределения примеси, что и является причиной  $M$ . в. Второй вид  $M$ . в. более универсален и наблюдается практически во всех ФМ, особенно в области магн. полей, сравнимых с коэрцитивной силой. Неелем был предложен термофлуктуац. механизм для объяснения этого вида  $M$ . в. Тепловые флуктуации способствуют преодолению доменными стенками энергетич. барьеров в магн. полях, меньших критич. поля. В высококоэрцитивных сплавах, состоящих из однодоменных областей, наблюдается особенно большая  $M$ . в. В данном случае термич. флуктуации сообщают энергию для необратимого вращения спонтанной намагниченности тех частиц, потенциальная энергия к-рых во внеш. магн. поле недостаточна для их перемагничивания. Кроме этих осн. механизмов  $M$ . в. существуют и другие. Напр., в нек-рых ферритах вклад  $M$ . в. даёт перераспределение электронной плотности (диффузия электронов между ионами разной валентности). С  $M$ . в. тесно связаны такие явления в ФМ, как потери на перемагничивание, временной спад проницаемости, частотная зависимость проницаемости.

Лит.: Кюппер Н., *Nachwirkung in Ferromagnetika*, В.—[u. a.], 1968; Вонсовский С. В., *Магнетизм*, М., 1971; Мишин Д. Д., *Магнитные материалы*, М., 1981. А. С. Ермоленко.

**МАГНИТНАЯ ГИДРОДИНАМИКА** — наука о движении электропроводящих газов и жидкостей во взаимодействии с магн. полем. При движении электропроводящей среды (газа, жидкости), находящейся в магн. поле, в ней индуцируются электрич. поля и токи, на к-рые действует магн. поле и к-рые сами могут повлиять на магн. поле. Т. о. возникает сложная картина взаимодействия магн. и гидродинамич. явлений, к-рая должна рассматриваться на основе совместных ур-ний гидродинамики и эл.-магн. поля. Магн. проницаемость среды, изучаемых  $M$ . г., обычно мало отличается от единицы, так что магн. индукция  $B$  и напряжённость магн. поля  $H$  совпадают и можно говорить просто о магн. поле.

$M$ . г. была сформулирована как самостоят. наука в 40-х гг. 20 в. Х. Альвеном (H. Alfvén), к-рый показал большое значение  $M$ . г. для астрофизики и предсказал теоретически новый вид волн, характерных для хорошо проводящей среды, находящейся в магн. поле, т. н. МГД-волны (*Альвеновские волны*). Первые приложения  $M$ . г. относились к физике Солнца, рассматривающей такие задачи, как механизм генерации основного магн. поля Солнца, образование и динамика солнечных пятен, конвекция в разл. слоях атмосферы Солнца, разнообразные проявления солнечной активности — протуберанцы, солнечные вспышки и т. д. Кроме обычных звёзд (таких, как Солнце) и т. н. магн. звёзд с магн. полями  $\sim 10^4$  Гс интереснейшими объектами  $M$ . г. являются также белые карлики с полями  $\sim 10^7$ — $10^8$  Гс, взрывающиеся звёзды — новые и сверхновые — и пульсары — нейтронные звёзды, магн. поля к-рых достигают  $\sim 10^{12}$  Гс. Поведение разреженного межзвёздного газа, пронизанного слабыми магн. полями  $\sim 10^{-3}$ — $10^{-5}$  Гс, тоже определяется законами  $M$ . г., т. к. в них плотность магн. энергии имеет тот же порядок величины, что и плотность энергии вещества (см. ниже). К задачам  $M$ . г. относятся и происхождение магн. поля Галактики, проблема геомагн. поля Земли, к-рое генерируется МГД-процессами в жидком земном ядре (см. *Гидромагнитное динамо*), а также процессы, обусловленные взаимодействием солнечного ветра с геомагн. полем, разнообразные явления в магнитосфере Земли. Аналогичные задачи возникают при изучении др. планет и связанных с ними магн. полей.  $M$ . г. развивалась также в связи с исследованиями проблемы УТС, к-рый может осуществляться в горячей плазме, удерживаемой магн. полем.