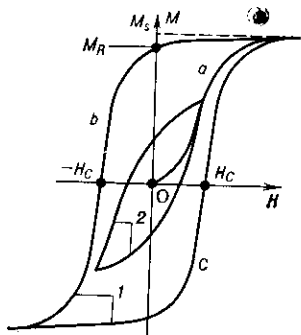


Лит.: Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Электродинамика сплошных сред, 2 изд., М., 1982; Сивухин Д. В., Общий курс физики, 2 изд., т. 4, М., 1985; Сиротин Ю. И., Шаскольская М. П., Основы кристаллофизики, 2 изд., М., 1979; Кизель В. А., Оптическая активность и диссимметрия живых систем, «УФН», 1980, т. 131, с. 209; Вайштейн С. И., Зельдович Я. Б., Румзайкин А. А., Турбулентное динамо в астрофизике, М., 1980. В. В. Кочаровский, Вл. В. Кочаровский.

ГИСТЕРЕЗИС (от греч. *hystérēsis* — отставание, запаздывание), явление, к-рое состоит в том, что физ. величина, характеризующая состояние тела (напр., намагниченность), неоднозначно зависит от физ. величины, характеризующей внеш. условия (напр., магн. поля). Г. имеет место в тех случаях, когда состояние тела в данный момент времени определяется внеш. условиями не только в тот же, но и в предшествующие моменты времени. Неоднозначная зависимость величин наблюдается в любых процессах, т. к. для изменения состояния тела всегда требуется определ. время (время *релаксации*) и реакция тела отстаёт от вызывающих её причин. Такое отставание тем меньше, чем медленнее изменяются внеш. условия. Однако для нек-рых процессов отставание при замедлении изменения внеш. условий не уменьшается. В этих случаях неоднозначную зависимость величин наз. гистерезисной, а само явление Г. Наблюдается Г. в разл. веществах и при разных физ. процессах. Наибольший интерес представляют *гистерезис магнитный*, *гистерезис сегнетоэлектрический* и *гистерезис упругий*.

ГИСТЕРЕЗИС МАГНИТНЫЙ — неоднозначная (необратимая) зависимость намагниченности M магнитоупорядоченного вещества (магнетика, напр. ферро- или ферримангнетика) от внеш. магн. поля H при его циклич. изменении (увеличении и уменьшении). Общей причиной существования Г. м. является наличие в определ. интервале изменения H среди состояний магнетика, отвечающих минимуму *термодинамического потенциала*, метастабильных состояний (наряду со стабильными) и необратимых переходов между ними. Г. м. можно также рассматривать как проявление магн. ориентационных фазовых переходов первого рода, для



к-рых прямой и обратный переходы между фазами в зависимости от H происходят, в силу указанной метастабильности состояний, при разл. значениях H .

На рис. схематически показана типичная зависимость Петли гистерезиса: 1 — максимальная, 2 — частного цикла, a — кривая намагничивания, b и c — кривые перемагничивания. M_R — остаточная намагниченность, H_c — коэрцитивная сила, M_s — намагниченность насыщения.

M от H в ферромагнетике; из состояния $M=0$ при $H=0$ с увеличением H значение M растёт по кривой a (осн. кривой намагничивания) и в достаточно сильном поле $H \geq H_m$ становится практически постоянной и равной намагниченности насыщения M_s . При уменьшении H от значения H_m обратный ход изменения $M(H)$ уже не будет описываться кривой a и намагниченность при $H=0$ не вернётся к значению $M=0$. Это изменение описывается кривой b (кривой намагничивания), и при $H=0$ намагниченность принимает значение $M = -M_R$ (т. е. намагниченность остаточная). Как видно из рис., для полного намагничивания вещества ($M=0$) необходимо приложить обратное поле $H = -H_c$, наз. коэрцитивной силой. Далее, когда поле достигает значения $H = -H_m$, образец намагничивается до насыщения ($M = -M_s$) в обратном направлении. При дальнейшем изменении H от $-H_m$ до $+H_m$ намагниченность изменяется вдоль кривой c . Ветви b и c , получающиеся

при циклич. изменении H от $+H_m$ до $-H_m$ и обратно, вместе образуют замкнутую кривую, наз. максимальной (или предельной) петлёй гистерезиса (ПГ). При этом b наз. нисходящей, а c — восходящей ветвями ПГ.

При циклич. намагничивании в полях $-H_1 \leq H \leq H_1$, где $H_1 < H_m$, зависимость $M(H)$ будет описываться замкнутой кривой (частью ПГ), целиком лежащей внутри макс. ПГ (кривые 2 на рис.). С увеличением H_1 частные ПГ расширяются и при $H_1 \geq H_m$ достигают макс. ПГ. Частная ПГ оказывается несимметричной, если макс. поля H_1 , прикладываемые в прямом и обратном направлениях, неодинаковы. Описанные ПГ характерны для достаточно медленных процессов перемагничивания, при к-рых сохраняется квазиравновесная связь между M и H для соответствующих метастабильных состояний, и наз. квазистатическими (или просто статическими). Отставание M от H при намагничивании и размагничивании приводит к тому, что энергия, приобретаемая ферромагнетиком при намагничивании, не полностью отдаётся при размагничивании. Теряемая за один полный цикл энергия равна интегралу $\oint H dM$, определяющему площадь

ПГ. В конечном итоге она превращается в теплоту, идущую на нагревание образца. Эти *потери магнитные*, определяемые статич. ПГ, наз. гистерезисными.

При динамич. перемагничивании образца переменным магн. полем H гистерезисные потери в общем случае составляют лишь часть полных магн. потерь. При этом зависимость $M(H)$ описывается динамической ПГ, не совпадающей со статической. Для петель одинаковой высоты (с одинаковым макс. M) динамич. ПГ обычно шире статической. Последнее обусловлено тем, что к квазиравновесным гистерезисным потерям добавляются динамич. потери, к-рые могут быть связаны с магнитной вязкостью, вихревыми токами (в проводниках) и др. явлениями.

Форма ПГ и наиболее важные характеристики Г. м. (потери, H_c , M_R и др.) существенно зависят от хим. состава вещества, его структурного состояния и температуры, от характера и распределения дефектов в образце, а следовательно, и от деталей технологии его приготовления и последующих физ. обработок (тепловой, механической, термомагнитной и др.). Т. о., варьируя обработку, можно существенно менять гистерезисные характеристики и вместе с ними свойства магн. материалов. Диапазон изменения этих характеристик весьма широк. Так, H_c может принимать значения от 10^{-3} Э для магнитно-мягких материалов до 10^4 Э для магнитно-твёрдых материалов.

Явления Г. м. наблюдаются не только при изменении поля H по величине и знаку, но также и при его вращении (гистерезис магн. вращения), что соответствует отставанию (задержке) в изменении направления M с изменением направления H . Гистерезис магн. вращения возникает также при вращении образца относительно фиксированного направления H .

Теория явлений Г. м. учитывает конкретную магнитную доменную структуру образца и её изменения в ходе намагничивания и перемагничивания. Эти изменения обусловлены смещением доменных границ и ростом одних доменов за счёт других, а также вращением вектора намагниченности в доменах под действием внеш. магн. поля. Всё, что задерживает эти процессы и способствует попаданию магнетиков в метастабильные состояния, может служить причиной Г. м.

В *однодоменных ферромагнитных частицах* (в частицах малых размеров, в к-рых образование доменов энергетически невыгодно) могут идти только процессы вращения M . Этим процессам препятствует магнитная анизотропия разл. происхождения (анизотропия самого кристалла, анизотропия формы частиц, анизотропия упругих напряжений и др.). Благодаря анизотропии, M как бы удерживается нек-рым внутр. полем H_d