

Поскольку  $C_{p,H}/T > 0$ , изменение темп-ры магнетика — охлаждение ( $\Delta T < 0$ ) или нагрев ( $\Delta T > 0$ ) — зависит от знака производной  $(\partial M/\partial T)_{p,H}$  и изменения внеш. магн. поля ( $\Delta H > 0$  — намагничивание,  $\Delta H < 0$  — размагничивание). Наиб. хорошо изучен М. э., связанный с увеличением (уменьшением) числа одинаково ориентированных атомных магн. моментов (спиновых или орбитальных) вещества при включении (выключении) магн. поля. М. э. такого типа наблюдается в парамагнетиках (ПМ), а также в ферромагнетиках (ФМ) при истинном намагничивании (парапроцессе), когда магн. поле выстраивает по направлению  $H$  те атомные магн. моменты, к-рые оставались ещё не повернутыми вследствие дезориентирующего действия теплового движения. В указанных случаях (ПМ, классич. ФМ — Fe, Co, Ni и их сплавы)  $(\partial M/\partial T)_{p,H} < 0$ , так что  $\Delta T > 0$  при включении поля и  $\Delta T < 0$  при его выключении ( $\Delta H < 0$ ). Особенно больших значений М. э. парапроцесса достигает вблизи Кюри точки, где намагниченность  $M$  резко уменьшается при нагревании магнетика [производная  $(\partial M/\partial T)_{p,H}$  очень велика]. М. э. в ФМ был подробно исследован П. Вейсом, Р. Форрером и К. П. Беловым [2, 3].

В ферримагнетиках при парапроцессе наблюдается не только положительный, но и отрицательный М. э. [4]. Наиб. просто можно интерпретировать М. э. в ферримагн. соединениях редкоземельных металлов с железом, где, согласно нейтронографич. данным, магнитную атомную структуру можно представить состоящей из двух магнитных подрешёток: подрешётки железа и подрешётки редкоземельных ионов [5]. Магн. моменты этих подрешёток антипараллельны. При темп-ре магнитной компенсации и  $T_K$  намагниченность  $M_1$  подрешётки железа равна намагниченности  $M_2$  подрешётки редкоземельных ионов. При  $T < T_K$ ,  $M_2 > M_1$ , а при  $T > T_K$ , наоборот,  $M_2 < M_1$ .

В М. э., наблюдаемый в этих соединениях, свой вклад вносит как подрешётка железа ( $\Delta T_1$ ), так и подрешётка редкоземельных ионов ( $\Delta T_2$ ).

При  $T < T_K$  по полю направлена намагниченность  $M_2$ , к-рая при включении поля возрастает, поэтому М. э. за счёт редкоземельной подрешётки  $\Delta T_2 > 0$ . Намагниченность  $M_1$  направлена в этом случае против поля, вследствие чего она уменьшается при увеличении  $H$  ( $\Delta T_1 < 0$ ). Т. к. по абс. величине  $\Delta T_2 > \Delta T_1$ , то при  $T < T_K$  наблюдается суммарный положительный М. э.

При  $T > T_K$  по полю направлена намагниченность  $M_1$  подрешётки железа, а против поля — намагниченность  $M_2$  редкоземельной подрешётки. Здесь возрастание поля приводит к магн. упорядочению подрешётки железа и разупорядочению редкоземельной подрешётки, вследствие чего  $\Delta T_1 > 0$ , а  $\Delta T_2 < 0$ . Суммарный М. э. при  $T > T_K$  получается отрицательным (вблизи  $T_K$ ), поскольку  $|\Delta T_2| > |\Delta T_1|$ .

В ферромагн., ферримагн. и антиферромагн. кристаллах существует также М. э., обусловленный изменением энергии магн. анизотропии вследствие вращения вектора намагниченности относительно кристаллографич. осей, а также вследствие изменения констант магн. анизотропии под действием приложенного поля [6]. М. э. вследствие смещения доменных стенок имеет существенно меньшую величину.

При магнитных фазовых переходах, вызываемых изменением магн. поля (напр., антиферромагнетизм  $\rightarrow$  ферромагнетизм), также наблюдается М. э., обусловленный тем, что энтропии разл. магн. фаз не равны друг другу [7].

М. э. при адиабатич. размагничивании парамагнетиков используется для получения сверхнизких темп-р (см. Магнитное охлаждение). При низких темп-рах  $C_{p,H} \sim T^3$ , поэтому метод магн. охлаждения особенно эффективен, если исходная темп-ра уже достаточно низка. В технике обоснована возможность создания

новых типов холодильных машин, действие к-рых основано на использовании М. э. [8].

Лит.: 1) Вонсовский С. В., Магнетизм, М., 1971, с. 368; 2) Weiss P., Fougere R., Aimantation et phénomène magnéto-calorique du nickel, «Ann. de Phys.», 1926, v. 5, p. 153; 3) Белов К. П., Уругие, тепловые и электрические явления в ферромагнетиках, 2 изд., М., 1957; 4) Белов К. П., Редкоземельные магнетики и их применение, М., 1980; 5) Никитин С. А. и др., Магнитокалорический эффект в соединениях редкоземельных металлов с железом, «ЖЭТФ», 1973, т. 65, с. 2058; 6) Никитин С. А. и др., Особенности магнитного поведения и магнитокалорич. эффект в монокристалле гадолиния, «ЖЭТФ», 1978, т. 74, с. 205; 7) Никитин С. А. и др., Магнитные фазовые превращения и магнитокалорический эффект в монокристаллах сплавов Tb—Y, «ЖЭТФ», 1977, т. 73, с. 228; 8) Архаров А. М., Брандт Н. Б., Жердев А. А., О возможности создания магнитных холодильных машин, «Холодильная техника», 1980, № 8, с. 43. С. А. Никитин.

**МАГНИТОМЕТРЫ** — приборы для измерения модуля полного вектора магнитной индукции или его составляющих. Наряду с термином «М.» употребляются термины «тесламетр» и «гауссметр» (по наименованию единицы измеряемой величины), а также термин «измеритель магнитной индукции». Место М. среди других магнитоизмерит. приборов показано на рис.



Классифицируют М. по физ. явлению или эффекту, на к-ром основано его действие, по областям применения, по условиям эксплуатации, по степени информативности (скалярные, векторные и тензорные), что находит отражение в наименовании прибора: «квантовый магнитометр», «морской буксируемый магнитометр», «трёхкомпонентный микротесламетр». Наиб. распространена классификация М. по физ. явлению, используемому в измерительных преобразователях (ИП) прибора.

**Индукционные М.** основаны на использовании явления электромагнитной индукции. В М. этого типа ИП осуществляет связь между индукцией магн. поля и индуцированной в контуре прибора электродвижущей силой (эдс). Осн. элементом индукц. ИП является, как правило, многовитковая катушка с ферромагн. сердечником. Сердечник концентрирует магнитный поток, пронизывающий катушку. Изменение магн. потока в катушке осуществляется: 1) вращением (колебанием, вращением, перемещением) измерит. катушки в измеряемом поле. Эдс, возникающая при этом в катушке т. н. измерит. генератора, пропорциональна значению магн. индукции  $B_H$  и частоте вращения катушки. 2) Изменением площади катушки. Витки катушки охватывают грани пьезокристалла. При подаче на грани переменного электрич. напряжения кристалл деформируется, меняя площадь витков катушки. В результате в катушке возникает эдс, пропорциональная  $B_H$  и частоте колебаний граней кристалла. 3) Периодич. изменением магн. проницаемости магн. цепи ИП, что достигается вращением (перемещением) ферромагн. ротора относительно ферромагн. статора с измерит. катушками, ли-