

Кубка России (1998, 1999, 2001). Победитель многочисл. междунар. состязаний, в т.ч. Евролиги (1999, 2000) и Кубка европ. чемпионов (2008); в 1990–2006 выступал в ледовом Дворце спорта им. И.Х. Ромазана (3,5 тыс. мест), ныне – на «Арене-Металлург» (открыта в 2007; 7,7 тыс. мест).

Градообразующее предприятие – Магнитогорский металлургич. комбинат (входит в Группу ММК) – крупнейший в России (12 млн. т стали и 11,5 млн. т проката, 2008); производит горячекатаный и холоднокатаный прокат, металлопрокат с оцинкованным и полимерным покрытием, слябы, спецпрофиль и др. В составе Группы ММК также заводы: метизный и калибровочный (с 2007 объединены в «ММК-Метиз»; калиброванный прокат, ж.-д. и машиностроит. крепёж, ленты, порошковая проволока, электроды), прокатных валков, цементно-огнеупорный, «Огнеупор» (огнеупоры, кирпич, огнеупорные порошки и др.), стекловый и керамический; коксохимич. произ-во; предприятие по выпуску эмалированной посуды. Заводы: крановый (мостовые краны), механомонтажных заготовок «Востокметаллургмонтаж» (буровое оборудование, трубы), по ремонту автомобилей и с.-х. техники; фабрики: пластиковой посуды и упаковки «Алькор», обувная. Произ-во хлебобулочных, кондитерских и ликёро-водочных изделий, безалкогольных напитков и др. Объединение «Прокатмонтаж» (монтаж пром. оборудования, строительство и ремонт инж. сетей).

В окрестностях М. – горнолыжный центр «Металлург-Магнитогорск» (близ оз. Банное, Абзелиловский район Башкирии).

Лит.: Май Э. К проекту генерального плана Магнитогорска // Советская архитектура. 1933. № 3; Бумажный Л. О., Морозов М. Г. Магнитогорск. М., 1958; Казаринова В. И., Павличенков В. И. Магнитогорск. М., 1961; Никифорова Т. А. Магнитогорск вчера, сегодня, завтра. Челябинск, 1978; Десярев А. Г. Летопись горы Магнитной и города Магнитогорска. Магнитогорск, 1993; Галигузов И. Ф., Баканов В. П. Станица Магнитная: от казачьей станицы до города металлургов. [Магнитогорск], 1994; История Магнитостроя. Магнитогорск, 1999; Федосихин В. С., Хорошанский В. В. Магнитогорск – классика советской социалистической архитектуры, 1918–1991. Магнитогорск, 1999; Магнитогорск: Краткая энциклопедия. Магнитогорск, 2002; Баканов В. П. История станицы Магнитной станицы. Магнитогорск, 2003.

С. В. Рассказов (история, экономика). **МАГНИТОГРАФ**, прибор для непрерывной регистрации изменений магнитного поля во времени (магнитных вариаций). М. состоит из одного или нескольких *магнитных вариометров* и регистрирующего устройства, осуществляющего обработку и анализ результатов измерений, а в ряде случаев и передачу данных на значит. расстояния. Такие М. называются магнитовариационными станциями. Этими приборами оснащены магнитные обсерватории, а также мобильные пунк-

ты наблюдений, предназначенные для электромагнитных исследований строения земной коры. Данные М. используются также при прогнозировании магнитных бурь и землетрясений.

В нач. 21 в. термин «М.» в значении прибора для измерения магнитных вариаций практически не употребляется, а под этим термином, как правило, понимают *солнечный магнитограф*. Ю. А. Бурцев.

**МАГНИТОДВИЖУЩАЯ СИЛА** (намагничивающая сила), величина, характеризующая магнитное действие электрич. тока. Вводится в электротехнике для *магнитных цепей* по аналогии с *электродвижущей силой* в электрич. цепях. М. с.  $F$  равна циркуляции вектора напряжённости магнитного поля  $\mathbf{H}$  по замкнутому контуру  $L$ , охватывающему электрич. токи, которые создают это магнитное поле:

$$F = \oint_L \mathbf{H} d\mathbf{l} = \oint_L H_l dl = \sum_{i=1}^n I_i$$

(в единицах СИ). Здесь  $H_l$  – проекция  $\mathbf{H}$  на направление элемента контура интегрирования  $d\mathbf{l}$ ,  $n$  – число проводников (витков) с током  $I_i$ , охватываемых контуром. Единица М. с. в СИ – ампер (или ампер-виток), в системе единиц СГС – *гильберт*.

**МАГНИТОДИЭЛЕКТРИКИ**, см. в ст. *Магнитные диэлектрики*.

**МАГНИТОЖЁСТКИЕ МАТЕРИАЛЫ**, то же, что *магнитотвёрдые материалы*.

**МАГНИТОЗВУКОВЫЕ ВОЛНЫ**, низкочастотные электромагнитные колебания, распространяющиеся в плазме поперёк магнитного поля. Описаны впервые в 1942 Х. Альвеном, который рассмотрел колебания проводящей намагниченной жидкости и установил существование магнитогидродинамич. волн, распространяющихся вдоль магнитного поля (*альвеновские волны*) и поперёк поля. М. в. представляют собой сжатия – разрежения плазмы вместе с вмороженным в неё магнитным полем, перемещающиеся вдоль направления распространения (аналогично звуковой волне). Поэтому в определении скорости М. в. надо учитывать и газовое, и магнитное давления (см. *Магнитная гидродинамика*). Существуют «быстрые» М. в., в которых колебания магнитного и газового давлений происходят синфазно, и «медленные» М. в., в которых колебания магнитного и газового давлений происходят в противофазе. В холодной плазме, где газовое давление много меньше магнитного, скорость М. в. равна скорости альвеновских волн. См. также *Волны в плазме*.

Лит.: Электродинамика плазмы / Под ред. А. И. Ахиезера. М., 1974; Кадомицев Б. Б. Коллективные явления в плазме. М., 1988.

Л. М. Зелёный, Х. В. Малова.

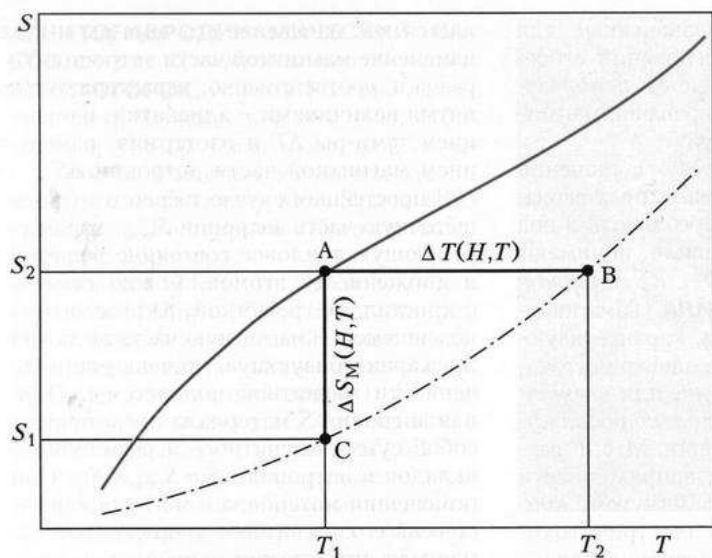
**МАГНИТОКАЛОРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ**, изменение термодинамического (теплого) состояния магнитного материала при изменении степени его магнитного упорядочения (магнитного состояния). Изменение теплового состояния образца прояв-

ляется как изменение его темп-ры и как изменение магнитной части энтропии образца и, соответственно, характеризуется двумя величинами – адиабатич. изменением темп-ры  $\Delta T$  и изотермич. изменением магнитной части энтропии  $\Delta S_M$ .

В простейшем случае твёрдого тела решёточную часть энтропии  $S_{\text{реш}}$ , характеризующую тепловое состояние решётки и движение её атомов, можно связать с кристаллич. решёткой, а с магнитной подсистемой – магнитную часть энтропии  $S_M$ , характеризующую степень упорядоченности магнитной подсистемы. Полная энтропия  $S$  материала представляет собой сумму магнитного и решёточного вкладов в энтропию:  $S = S_{\text{реш}} + S_M$ . При помещении материала в магнитное поле степень его магнитного упорядочения изменится, что вызовет изменение магнитной части энтропии на величину  $\Delta S_M$ . Если процесс происходит в адиабатич. условиях, когда материал не получает и не отдаёт теплоту, и изменение его полной энтропии равно нулю ( $\Delta S = 0$ ), то изменение магнитной части энтропии должно вызвать соответствующее изменение решёточной части энтропии:  $\Delta S_{\text{реш}} = -\Delta S_M$ . Изменение решёточной части энтропии означает изменение теплового состояния материала (при этом предполагается, что изменение электронной части энтропии, связанной со свободными электронами материала, мало). Таким образом, М.э. возникает в результате изменения степени упорядоченности магнитной подсистемы материала и взаимодействия между кристаллич. решёткой и магнитной подсистемой. В результате такого взаимодействия энергия, тратившаяся до упорядочения магнитных моментов на их разориентацию, переходит в энергию тепловых колебаний атомов кристаллич. решётки, что вызывает изменение темп-ры материала.

На рис. представлены зависимости полной энтропии ферромагнитного материала от темп-ры при отсутствии магнитного поля ( $H = 0$ ) и в магнитном поле ( $H \neq 0$ ). Если ферромагнитный образец, находящийся при темп-ре  $T_1$  в отсутствие магнитного поля (точка А на рис.), поместить в магнитное поле напряжённостью  $H$  при адиабатич. условиях (изменение полной энтропии  $\Delta S = 0$ ), то произойдёт его переход из термодинамич. состояния А в термодинамич. состояние В. При этом переходе темп-ра образца изменится на величину адиабатич. изменения темп-ры  $\Delta T = T_2 - T_1$ . Если процесс проводится не адиабатически, а изотермически, т. е. с теплообменом с окружающей средой при сохранении начальной темп-ры образца  $T_1$ , то образец переходит из состояния А в состояние С. При этом переходе его полная энтропия меняется на величину изотермич. изменения магнитной части энтропии  $\Delta S_M = S_2 - S_1$ .

М.э. открыт нем. физиком Е. Варбургом в железе в 1881. В дальнейшем М.э. в осн. исследовался при низких темп-рах в парамагнитных солях разл.



Зависимость полной энтропии ферромагнитного материала от температуры в отсутствие магнитного поля ( $H=0$ , верхняя кривая) и при его наличии ( $H \neq 0$ , нижняя кривая).

металлов, что было связано с его использованием для магнитного охлаждения. В последние десятилетия интерес к М.э. возрос в связи с возможностью его практич. применения в технологии магнитного охлаждения как в области криогенных, так и в области комнатных температур. Исследованы магнитокалорич. свойства большого числа материалов с разл. типами магнитного упорядочения – ферромагнитного, антиферромагнитного, ферримагнитного и сложными типами неколлинеарных магнитных структур. Макс. значений М.э. достигает в области магнитных фазовых переходов порядок – беспорядок (магнитоупорядоченное – парамагнитное состояние) и порядок – порядок (переходы со сменой типа магнитного упорядочения). Наибольшие величины М.э. обнаружены при магнитных фазовых переходах 1-го рода, а также в случае, когда магнитный переход сопровождается структурным переходом. Макс. величина М.э. наблюдалась при фазовом переходе 1-го рода порядок – порядок в интерметаллиде  $\text{Fe}_{49}\text{Rh}_{51}$ , в котором относит. величины адиабатич. изменения темп-ры и изотермич. изменения энтропии составляют  $\Delta T/\Delta H = 7,08$  К/Тл,  $\Delta S_M/\Delta H = 24,6$  Дж/(кг·К·Тл) соответственно. Существенных величин М.э. достигает в соединении  $\text{Gd}_5\text{Ge}_2\text{Si}_2$  [ $\Delta T/\Delta H = 3,7$  К/Тл,  $\Delta S_M/\Delta H = -7$  Дж/(кг·К·Тл)], в котором магнитный фазовый переход сопровождается структурным переходом.

Величины  $\Delta T$  и  $\Delta S_M$ , характеризующие М.э., определяют либо прямым методом (напр., с помощью датчика темп-ры измеряют изменение темп-ры образца, намагничиваемого в адиабатич. условиях), либо вычисляют косвенным образом на основе измерений намагниченности или теплоёмкости образца. Из измерений намагниченности можно вычислить  $\Delta S_M$  с помощью соотношения Максвелла:

$$\left(\frac{\partial S}{\partial H}\right)_{T,p} = \left(\frac{\partial M}{\partial T}\right)_{H,p},$$

где  $M$  – намагниченность,  $T$  – темп-ра,  $p$  – давление. На основе данных измере-

ний температурных зависимостей теплоёмкости в отсутствие магнитного поля и при его наличии вычисляются температурные зависимости энтропии  $S(H=0, T)$  и  $S(H, T)$ , из которых затем определяются зависимости  $\Delta T(H, T)$  и  $\Delta S_M(H, T)$  (рис.).

Лит.: Tishin A. M., Spichkin Y. I. The magnetocaloric effect and its application. Bristol; Phil., 2003. Ю. И. Спичкин, А. М. Тишин.

**МАГНИТОМЕТР**, прибор для измерения характеристик магнитного поля и магнитных свойств объектов и материалов. Некоторые М. имеют спец. названия в зависимости от измеряемой величины: эрстедметры измеряют напряжённость магнитного поля, градиентометры и вариометры – изменения напряжённости в пространстве и времени, инклинометры и деклинаторы – направление вектора напряжённости, тесламетры – величину магнитной индукции. М. измеряют также следующие характеристики объектов и материалов: магнитную проницаемость и магнитную восприимчивость (мю-метры и каппа-метры), коэрцитивную силу (коэрцитиметры), поток магнитной индукции (веберметры или флюксметры), магнитный момент, кривые намагничивания, потери на гистерезис и др. Часто магнитометрич. датчики используются при косвенных измерениях немагнитных величин.

По принципу действия М. можно разделить на магнитостатические (механические), индукционные, квантовые и др.

**Магнитостатические магнитометры.** Принцип действия этих М. основан на механич. воздействии магнитного поля на магнит. К таким приборам относятся компас магнитный и буссоль, определяющие направление магнитного поля Земли, кварцевые вариометры, позволяющие регистрировать геомагнитные вариации с точностью  $10^{-3}$ – $10^{-4}$  А/м и магнитные весы, применяемые в лабораторных условиях для исследования магнитной восприимчивости образцов. В магнитных весах восприимчивость магнитного материала определяется по силе, с которой исследуемый образец, имеющий форму длинного цилиндра, втягивается

в поле электромагнита (метод Гуи), или по силе, действующей на образец малого размера, помещённый в неоднородное магнитное поле (метод Фарадея). В методе Гуи требуется большая масса вещества (1–10 г), а метод Фарадея позволяет работать с миллиграммами вещества и требует более сложного оборудования.

**Индукционные магнитометры.** Работа этих М. основана на явлении электромагнитной индукции; они регистрируют изменение потока магнитной индукции в измерит. катушке, вызванное разл. причинами. Индукционные М. условно делят на пассивные и активные: в первых эдс в катушке возбуждается изменением во времени внешнего магнитного поля, во вторых – изменениями в самом приборе. Пассивные М. представляют собой длинную цилиндрич. катушку, намотанную на ферромагнитный сердечник и фактически являются антеннами сверхнизкой частоты. Такие М. используются для детектирования ядерных взрывов, связи с подводными лодками, магнитотеллурич. зондирования земной коры, изучения взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли и волновых процессов в космич. плазме.

К активным индукционным М. относятся, напр., рок-генератор и феррозондовый М. В рок-генераторе исследуемый образец помещается на спец. площадку, вращающуюся в центре измерит. катушки с частотой 40 Гц. В результате в катушке возникает эдс, величина которой пропорциональна величине намагниченности образца. Для исключения влияния внешнего магнитного поля на результаты измерений катушка (вместе с вращающейся площадкой и образцом) закрыта многослойным пермалловым экраном. Рок-генератор применяется при исследованиях магнитных свойств горных пород, напр. при изучении палеомагнетизма.

Феррозондовые М. основаны на периодич. изменении магнитной проницаемости ферромагнетиков при перемагничивании (до насыщения) переменным полем возбуждения. На обмотку возбуждения подаётся переменный ток; при этом в измерит. катушке наводится переменная эдс, чётные гармоники которой пропорциональны продольной компоненте внешнего поля. Простейший феррозондовый датчик состоит из стержневого ферромагнитного сердечника и находящихся на нём обмоток измерения и возбуждения. В наиболее распространённых феррозондовых М. используется тороидальный сердечник с обмоткой возбуждения или два стержневых сердечника с распределёнными по их длине обмотками возбуждения, включёнными последовательно-встречно (т. е. электрически последовательно, но магнитные поля, создаваемые обмотками, имеют противоположное направление). Измерения производятся либо при помощи одной общей сигнальной обмотки, либо с использованием двух обмоток, соединённых так, что нечётные