

геологич. изысканиях. Диапазон глубин, изучаемых посредством МТЗ, — от нескольких метров до сотен километров. Лит.: Ваньян Л. Л. Электромагнитные зондирования. М., 1997; Светов Б. С. Основы геоэлектрики. М., 2007. М. Н. Юдин.

МАГНИТОТОРМОЗНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, возникает при движении заряженных частиц в магнитном поле. В однородном магнитном поле заряженные частицы движутся по окружности или спирали; в этом случае при движении частиц с релятивистскими скоростями возникает *синхротронное излучение*, при нерелятивистских скоростях — *циклотронное излучение*. Если частицы движутся в неоднородном магнитном поле, может возбуждаться *ондуляторное излучение* (в случае периодич. магнитного поля), изгибное (магнитодрейфовое) излучение (при движении частиц вдоль искривлённых силовых линий магнитного поля) и др.

МАГНИТОУПРУГИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ (магнитоупругий датчик), *измерительный преобразователь* в системах измерения, автоматич. контроля и регулирования, действие которого основано на использовании зависимости магнитной проницаемости (намагниченности) материалов от механич. напряжений (магнитоупругий эффект). В М. п. изменение механич. величины (деформации, давления) преобразуется в изменение электрич. величины (электрич. сигнал). Конструктивно представляет собой *магнитопровод* (сердечник), на котором размещены одна или неск. обмоток. В магнитную цепь датчика входит деталь из магнитоупругого материала (мембрана или др.), воспринимающая действующее усилие. Изменения намагниченности сердечника при деформации проявляются в изменении индуктивности или взаимоиндуктивности обмоток. М. п. включается в мостовую схему, питаемую переменным током (см. *Мост измерительный*). Применяется в осн. для измерений малых деформаций (как постоянных, так и быстропеременных) в твёрдых телах, а также давлений жидкостей и газов, когда требуется высокая чувствительность измерений при относительно малой точности. На базе М. п. изготавливают магнитоупругие динамометры, манометры, тензометрич. аппаратуру и др.

МАГНИТОУПРУГИЙ ЭФФЕКТ, то же, что *Виллари эффект*.

МАГНИТОУПРУГОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ, взаимное влияние и взаимосвязь между спиновой (магнитной) и решёточной (упругой) подсистемами кристалла. Изменения в одной из подсистем, как правило, отражаются на другой. Хотя эти подсистемы и не всегда можно чётко разделить одну от другой, но степень влияния одной подсистемы на другую определяется взаимодействием между ними. Одним из проявлений влияния магнитной системы на упругую является изменение размеров и формы тела (образца) при его намагничивании под действием внешнего магнитного поля или при изменении степени

и типа магнитного упорядочения (линейная и объёмная *магнитоупругость*). Изменение величины намагниченности при деформации образца (магнитоупругий эффект, или *Виллари эффект*), изменение значений температур *магнитных фазовых переходов* и вида магнитных фазовых диаграмм, характера магнитного упорядочения, констант *магнитной анизотропии* и ряда др. магнитных параметров под действием статич. или динамич. деформаций, напр. при воздействии гидростатич. давления, происходят за счёт влияния упругой подсистемы на магнитную. М. в. может также приводить к заметным аномалиям упругих свойств магнитных материалов (напр., модулей упругости) в области температур магнитных фазовых переходов, а также к изменению характера фазового перехода.

Осн. причиной М. в. является существенная зависимость величины взаимодействия магнитных моментов атомов или ионов в веществе (*диполь-дипольного взаимодействия, обменного взаимодействия*, а также взаимодействия магнитных моментов с *внутрикристаллическим полем*) от расстояний между ними. Намагничивание кристалла изменяет характер этого взаимодействия, что проявляется в изменении расстояний между взаимодействующими атомами или ионами — деформации образца, которая, в свою очередь, изменяет силу взаимодействия их магнитных моментов, а следовательно, намагниченность, темп-ру Кюри, магнитную анизотропию и т. д. Степень взаимосвязи магнитного порядка и кристаллич. решётки определяет интенсивность М. в., которое в ряде случаев может даже приводить к комбинир. магнитно-структурным фазовым переходам 1-го рода. Особенно сильное М. в. имеет место в редкоземельных металлах и их интерметаллич. соединениях, что, напр., приводит к возникновению в них гигантской магнитоупругости. Разработаны эксперим. методы, позволяющие непосредственно отслеживать изменения (структурные фазовые переходы и изменение межатомных расстояний), возникающие в кристаллич. решётке при приложении магнитного поля.

Связанная с М. в. магнитоупругая энергия (энергия М. в.) определяется изменением полной энергии (магнитодипольной, обменной, энергии магнитной анизотропии) образца в результате изменения его размеров при намагничивании. Магнитоупругая энергия имеет анизотропную и изотропную составляющие. Первая, связанная с энергией магнитной анизотропии, приводит к линейной магнитоупругости и соответствующему изменению *симметрии кристалла* в соответствии с изменением *магнитной симметрии*. Изотропная составляющая имеет обменное происхождение и является причиной объёмной магнитоупругости, но не меняет симметрию кристалла. Динамич. процессы в магнитоупорядоченных средах могут быть описаны как резуль-

тат взаимодействия *спиновых волн* (магнонов) и упругих волн (фононов), вызывающего магнитоупругую волну (см. в ст. *Магнитоакустические эффекты*).

М. в. используют в технике (в частности, на нём основаны *магнитоупругие преобразователи*), в функциональной электронике (управляемые магнитным полем линии задержки, перестраиваемые резонаторы и фильтры, фазовые модуляторы, анализаторы спектра и др.) и СВЧ-электронике (используют М. в. поверхностных акустич. волн с *магнито-статическими волнами* в магнитных плёнках $Y_3Fe_5O_{12}$, Tb_xFe_{1-x} и др.). Лит.: Белов К. П. и др. Гигантская магнитоупругость // Успехи физических наук. 1983. Т. 140. № 6; Tishin A. M., Spichkin Y. L., Bohr J. Static and dynamic stresses // Handbook on the physics and chemistry of rare earths / Ed. by K. A. Gschneidner, J. Eyring, L. Eyring. Amst.; N. Y., 1999. Vol. 26; Kuz'min M. D., Tishin A. M. Theory of crystal-field effects in 3d-4f intermetallic compounds // Handbook of magnetic materials / Ed. by K. H. J. Buschow. Amst., 2007. Vol. 17.

А. М. Тишин.

МАГНИТОФОН, устройство, предназначенное для *магнитной записи* звуковых сигналов на магнитный носитель (напр., магнитную ленту, магнитный диск) и их последующего воспроизведения. Термин «М.» также используется для обозначения устройств, применяемых для записи др. сигналов, напр. телевизионных (включая звуковые), инфразвуковых (с частотами менее 20 Гц), ультразвуковых (с частотами выше 20 000 Гц).

М. состоит из транспортирующего механизма, магнитных головок для стирания, записи и воспроизведения сигналов, оборудования для усиления и преобразования сигналов, электронных блоков управления и автоматич. регулирования (напр., скорости движения ленты, вращения магнитных головок) и др. Осн. назначение транспортирующего механизма — перемещение магнитного носителя относительно магнитных головок (обычно с постоянной скоростью). Большинство М. также позволяют воспроизводить сигналы при ускоренном или замедленном протягивании ленты, напр. для сокращения времени воспроизведения информации, упрощения передачи сигналов по каналам связи. Часто М. комплектуют встроенными акустич. системами. Существуют разл. классификации М. В зависимости от области применения М. делят на профессиональные (напр., студийные), промышленные (для записи сигналов с аналоговых датчиков темп-ры, давления и др.) и бытовые. По конструктивному исполнению М. бывают стационарные, переносные (в т. ч. аудиоплееры), встроенные и др. По виду записываемых сигналов различают аналоговые и цифровые М. По числу воспроизводимых и записываемых дорожек М. подразделяют на 1, 2, 4-дорожечные и более. Напр., бытовые М., как правило, позволяют записывать стереофонич. сигналы по 2–4 дорожкам, проф. М., применяе-