

бо изменением магнитоупругих свойств вещества сердечника. 4) Изменением магн. проницаемости материала сердечника за счёт вспомогат. магн. поля (ферромодуляционные ИП).

Рассмотренные индукц. ИП являются преобразователями активного типа. Частотный диапазон этих ИП ограничен областью постоянных и медленно меняющихся магн. полей. В особенности это ограничение относится к ИП с механ. модуляцией параметра, в к-рых частота модуляции не превышает неск. герц. Ферромодуляц. ИП (*феррозонды*), имеющие гораздо более высокую частоту модуляции, используются при измерениях как постоянных, так и переменных магн. полей широкого спектра звуковых частот.

В индукц. ИП пассивного типа здесь возникает за счёт изменения измеряемой магн. индукции при неизменном положении катушки и постоянстве её параметров. Такие ИП используются только в М. для измерения переменных и импульсных магн. полей. У некоторых пассивных ИП нет ферромагн. сердечника.

Преимущества. применение для измерения параметров магн. полей получили М. с ферромодуляц. и пассивными ИП. С их помощью проводятся наземные и подводные измерения слабых и сверхслабых магн. полей, аэрозондировка полезных ископаемых, исследования магн. полей космич. пространства, неразрушающий контроль материалов. Индукц. М. с вращающейся и вибрирующей катушкой входят в состав испытательных установок, предназначенных для исследования параметров и характеристик *магнитных материалов*.

Квантовые М. основаны на квантовых эффектах и явлениях, возникающих при взаимодействии микрочастиц с магн. полем: *ядерном магнитном резонансе* (ЯМР), *электронном парамагнитном резонансе* (ЭПР), *Зеемана эффекте*, *Джозефсона эффекте* (см. *Квантовый магнитометр*, *Скивид*).

Широко применяются ЯМР-магнитометры двух типов:

1) на основе метода свободной прецессии ядер (протонные М.) для измерения слабых магн. полей (порядка земного);

2) на основе метода вынужденной прецессии ядер для измерения более сильных полей (0,01—2,5 Тл).

Использование в ЯМР-магнитометрах метода динамич. поляризации ядер (см. *Ориентированные ядра*, *Оверхаузера эффект*) позволяет увеличить быстродействие М. и уменьшить размеры ИП. Для измерения сильных и сравнительно неоднородных магн. полей применяют т. н. нутац. метод ЯМР в проточной воде.

Квантовые М. с *оптической ориентацией* атомов, или М. с оптич. накачкой (МОН), используются для измерения магн. индукции от 10^{-14} Тл до единиц тесла при решении задач магн. разведки полезных ископаемых, в космич. исследованиях, в метрологии. В зависимости от рабочего вещества, применяемого в МОН, различают рубидиевые, цезиевые, калиевые, гелиевые М.

Рекордно высокой чувствительностью ($\sim 10^{-16}$ Тл) обладают скивиды — сверхпроводящие М. на стационарном эффекте Джозефсона. С их помощью проводятся измерения сверхслабых магн. полей, создаваемых головным мозгом, сердцем и мышцами человека (см. *Магнитные поля биологических объектов*); выполняются геофизич. исследования и уникальные физ. эксперименты.

Магнитооптические М. основаны на изменении оптич. свойств веществ под действием магн. поля (*Фарадея эффект*, *Керра эффект*, *Зеемана эффект*, *Ханле эффект* и др.) и применяются в основном в лаб. исследованиях для измерения магн. индукции слабых, средних и сильных магн. полей (как постоянных, так и переменных). Линейная зависимость угла поворота плоскости поляризации света от магн. индукции, отсутствие электр. цепей в области измеряемого магн. поля, практич. безынерционность магнитооптич. эффекта Фарадея обуславливают перспективность при-

менения этого метода для измерения импульсных магн. полей.

Гальваномагнитные М. основаны на использовании эффектов, возникающих при одноврем. воздействии на полупроводник электр. и магн. полей: эффекта Холла, магниторезистивного эффекта (см. *Магнетосопротивление*), магнитокоцентрационного и магнитодиодного эффектов. Наиб. широко практич. применение для измерения магн. индукции постоянных, переменных и импульсных полей получили М. с ИП на основе эффекта Холла, обладающие линейной зависимостью возникающего электр. поля от магн. поля в широком диапазоне его значений и чувствительностью $\sim 10^{-7}$ — 10^{-8} Тл. Тесламетры Холла применяются для контроля магн. систем электроизмерит. и электронных приборов; для измерения магн. индукции в зазорах электродвигателей, генераторов, эл.-магн. реле; для измерения и анализа полей рассеяния источников постоянных, переменных и импульсных магн. полей.

Магниторезистивные тесламетры применяются в области сильных полей (св. 1—2 Тл), где зависимость электр. сопротивления от магн. индукции линейна.

В практике магн. обсерваторий и метрологич. институтов, а также для определения намагничённости земных пород и свойств магн. материалов применяются **магнито механические М.**, основанные на силовом взаимодействии измеряемого магн. поля с постоянным магнитом (кварцевые М., круглые М., магн. весы, магн. теодолиты, астагич. М. и др.). Создаются М. на новых физ. принципах и явлениях: волоконно-оптич. М. на магнитоотрицательном эффекте; М., основанные на использовании *магнитоупругих волн*; М. с ИП на тонких ферромагн. плёнках.

Лит.: ГОСТ 24284—80. Гравиразведка и магниторазведка. Термины и определения; ГОСТ 20906—75. Средства измерений магнитных величин. Термины и определения; Померанцев Н. М., Рыжков В. М., Скроцкий Г. В., Физические основы квантовой магнитометрии, М., 1972; Средства измерений параметров магнитного поля, Л., 1979; Сергеев В. Г., Шихин А. Я., Магнитоизмерительные приборы и установки, М., 1982; Видулин И. М., Видулина Л. Ф., Стафеев В. И., Гальваномагнитные приборы, М., 1983; Абрамзон Г. В., Обоимов Ю. П., Индукционные измерительные преобразователи переменных магнитных полей, Л., 1984; Афанасьев Ю. В., Феррозондовые приборы, Л., 1986. В. Н. Заболотнов.

МАГНИТОМЕХАНИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ (гиромангнитные явления) — группа явлений, обусловленных взаимосвязью *магнитного момента* микрочастиц (напр., электронов в атомах и ионах) с их собственным угловым (механич.) моментом (спиновым и орбитальным). *Спины* микрочастицы (электрона, протона, нейтрона и др.) соответствует определ. магн. момент. Напр., проекция магн. момента электрона на направление магн. поля H равна (в системе СГС) $\mu_e = \pm |e| \hbar / 2m_e c = \pm (|e| / m_e c) \cdot s_z$ (без учёта релятивистских поправок, см. *Магнетизм микрочастиц*), где s_z — проекция спина на направление H (ось z || H). Механич. момент атома (иона) складывается из спинового и орбитального моментов образующих атом микрочастиц. Изменение макроскопич. углового момента системы микрочастиц (физ. тела) приводит к изменению магн. момента этой системы, и, наоборот, при изменении магн. момента меняется угловой момент системы частиц (тела). Одно из М. я. — *Барнетта эффект* [С. Барнетт (S. Barnett), 1909] — заключается в возникновении дополнит. магн. момента у ферромагнетика, приведённого во вращение. Обратное явление — возникновение вращающего момента при намагничивании [открытое в 1915 А. Эйнштейном (A. Einstein) и В. Й. де Хаазом (W. J. de Haas)] наз. *Эйнштейна — де Хааза эффектом*.

М. я. в принципе позволяют определить т. н. *магнито механическое отношение* g (гиромангн. отношение), равное отношению магн. момента к угловому моменту частицы. Из квантовой теории атома следует, что $g=2$, если магн. момент атома обусловлен только