

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
Научно-популярная серия

*Л. В. Киренский*

# МАГНЕТИЗМ

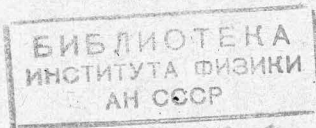
ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ, ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА» • МОСКВА 1967

Учение о магнетизме охватывает огромный круг явлений и широко используется в науке, технике и обыденной жизни. В книге рассказывается об истории развития учения о магнетизме, о природе магнитных явлений, о ферромагнетизме, без которого невозможны были бы современные достижения в области электро- и радиотехники, телевидения и при создании современных счетно-решающих машин. Рассмотрены также магнитные явления, позволяющие глубоко проникнуть в сущность строения вещества и таким образом помочь изготавливать материалы с разнообразными и нужными свойствами.

15436



2К-919

2-3-6  
3-67

## Введение

Окружающий нас мир велик и разнообразен, наполнен самыми различными предметами и явлениями. Многовековая деятельность человека показала, что все предметы и явления существуют не независимо друг от друга, что между ними имеются вполне определенные связи. Роль науки сводится к выявлению этих связей и указанию путей их использования для практических целей.

Некоторые связи носят весьма общий характер. Так, например, весьма общий характер имеют связи, определяемые силами всемирного тяготения. Согласно закону всемирного тяготения, установленному еще в XVII столетии Ньютоном, между двумя любыми телами существуют силы притяжения, зависящие от масс этих тел, а также от расстояния между ними. Любые два тела на Земле притягиваются друг к другу. Притягиваются друг к другу Земля и Солнце, Луна и Земля. Каждый атом на Земле связан с каждым атомом на Солнце силами всемирного тяготения. Силы всемирного тяготения управляют законами движения небесных тел. Исходя из закона всемирного тяготения можно объяснить движение планет, определить их массу, указать местоположение любого небесного тела в любой момент времени. Рожденные на нашей советской земле новые небесные тела — искусственные спутники Земли — обращаются вокруг Земли и не улетают в мировое пространство также вследствие сил тяготения.

Но силы тяготения не являются единственными силами, обладающими характером общности.

Огромный круг явлений природы определяется магнитными силами. Магнитные силы являются источником многих явлений микромира, т. е. поведения атомов, молекул, атомных ядер и элементарных частиц — электронов, протонов, нейтронов и пр.; магнитные явления характерны и для огромных небесных тел. Солнце и Земля — это огромные магниты. Половина энергии электромагнитных волн (радиоволн, инфракрасного, видимого и ультрафиолетового излучения, рентгеновых и гамма-лучей) является магнитной.

Немагнитных веществ не существует. Любое вещество всегда магнитно, т. е. изменяет свои свойства в магнитном поле. Иногда эти изменения невелики и обнаружить их можно только с помощью очень совершенной аппаратуры; иногда они весьма значительны и обнаруживаются без особого труда с помощью очень простых средств. К слабомагнитным веществам относятся медь, алюминий, вода, ртуть и пр., к сильномагнитным или просто магнитным (при обычных температурах) — железо, никель, кобальт, некоторые сплавы.

Изучение магнитных явлений чрезвычайно важно как с теоретической, так и с практической стороны. Современная электротехника весьма широко использует магнитные свойства вещества для получения электрической энергии, для ее превращения в различные другие виды энергии. В аппаратах проволочной и беспробочной связи, в телевидении, автоматике и телемеханике употребляются материалы с определенными магнитными свойствами. Магнитные явления играют существенную роль также в живой природе.

Необычайная общность магнитных явлений, их огромная практическая значимость, естественно, приводят к тому, что учение о магнетизме является одним из важнейших разделов современной физики.

В жизни современного человека физика играет особую роль. Глубоко проникая в тайны строения материи, устанавливая закономерности, лежащие в основе различных форм ее движения, разрабатывая необычайно тонкие методы исследования и контроля различных процессов и явлений, физика является основой всех естественных наук и прочным фундаментом современной техники.

Довести до широких читательских кругов достижения современной физики — важная и почетная задача ученых, работающих в этой области знания.

Из всего сказанного ясно необходимость ознакомления массового читателя и с физикой магнитных явлений. Школьный курс физики освещает очень небольшой круг магнитных явлений. Незначительный объем знаний этого раздела физики предусматривает и программа старших классов средней школы. В курсе общей физики высших учебных заведений рассматривается также небольшое количество вопросов, связанных с физикой магнетизма.

Автор ставит перед собой задачу: написать такую книгу о магнетизме, которая содержала бы достаточно обширный материал по физике магнетизма, выходящий за рамки курса физики высших технических учебных заведений; охватывала данные о некоторых последних исследованиях; была бы достаточно простой в изложении.

В книге приводятся данные из истории развития учения о магнетизме, магнитном поле токов и постоянных магнитов, рассматривается вопрос о магнитных свойствах основных элементарных частиц, атомов и молекул. Рассказывается о веществах, обладающих различными магнитными свойствами. Большое внимание уделено выяснению природы ферромагнетизма, технической кривой намагничивания, магнитной структуре ферромагнетиков, четным эффектам и, в частности, магнитострикции. Рассматриваются нечетные эффекты в ферромагнетиках, влияние упругих деформаций на ферромагнитные свойства. Уделено внимание магнитной радиоспектроскопии — ферромагнитному, электронному парамагнитному и ядерному магнитному резонансам — новым мощным методам исследования вещества. Приводятся новые данные о магнетизме редкоземельных металлов.

В книге также рассмотрены вопросы о магнитной дефектоскопии, магнитном структурном анализе, ферритах и тонких ферромагнитных пленках.

## *Из истории развития учения о магнетизме*

Магнитные свойства сильномагнитных веществ известны очень давно. Более трех тысяч лет назад свойство магнитных стрелок устанавливаться в направлении с севера на юг уже практически использовалось в Китае. Еще

тонкой структуры, объясняемой взаимодействием спаренного спина электрона со спинами атомных ядер, входящих в состав молекулы.

Метод ЭПР оказывается также пригодным для изучения различных неоднородностей кристаллической решетки, обладающих парамагнетизмом. Например, под действием рентгеновского или  $\gamma$ -излучения в решетке могут выбиваться электроны, что приводит к образованию так называемых  $F$ -центров, что равносильно появлению парамагнетизма.

Кривые резонансного поглощения внешне очень схожи с кривыми поглощения в ядерном магнитном резонансе. На рис. 191 в качестве примера показана кривая резонансного парамагнитного поглощения в сульфате марганца.

## Заключение

Таким образом, магнитные свойства вещества являются не только весьма общими, но и практически чрезвычайно важными для человека. Физическая картина явлений, протекающих в магнитном поле, так же как и природа самих магнитных явлений, в настоящее время в значительной мере выяснена, что позволяет широко использовать магнитные свойства вещества для практических целей, изготавливать магнитные материалы с необходимыми магнитными свойствами.

Однако в учении о магнетизме много еще нераскрытого, много непонятных явлений. Быстро развивающаяся наука наших дней обогатит еще не одним блестящим открытием учение о магнетизме, и человек получит новые возможности использования магнитных явлений.

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ . . . . .	3
ИЗ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ УЧЕНИЯ О МАГНЕТИЗМЕ . . . . .	5
ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ИСКУССТВЕННЫЕ МАГНИТЫ, ИХ СВОЙСТВА МАГНИТНОЕ ПОЛЕ . . . . .	9 12
МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА . . . . .	14
МАГНИТНЫЙ МОМЕНТ . . . . .	17
ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ НОСИТЕЛИ МАГНЕТИЗМА . . . . .	20
ДИАМАГНЕТИЗМ . . . . .	23
ПАРАМАГНЕТИЗМ . . . . .	23
ФЕРРОМАГНЕТИЗМ. ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ НОСИТЕЛИ ФЕРРОМАГ- НЕТИЗМА . . . . .	30
ПРИРОДА ФЕРРОМАГНЕТИЗМА . . . . .	36
НАМАГНИЧИВАНИЕ ФЕРРОМАГНЕТИКА . . . . .	41
РАЗМАГНИЧИВАЮЩИЙ ФАКТОР . . . . .	47
ГИСТЕРЕЗИСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ФЕРРОМАГНЕТИКАХ . . . . .	50
О САМОПРОИЗВОЛЬНОЙ (СПОНТАННОЙ) НАМАГНИЧЕННОСТИ В ФЕРРОМАГНЕТИКАХ . . . . .	55
МАГНИТНАЯ АНИЗОТРОПИЯ . . . . .	65
ОБЛАСТИ СПОНТАННОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ (ДОМЕНЫ) . . . . .	75
ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ ПРИ НАМАГНИЧИ- ВАНИИ ФЕРРОМАГНЕТИКА . . . . .	85
ЧЕТНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ФЕРРОМАГНЕТИКАХ . . . . .	94
НЕЧЕТНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ФЕРРОМАГНЕТИКАХ . . . . .	107
УПРУГИЕ ДЕФОРМАЦИИ И СВОЙСТВА ФЕРРОМАГНЕТИКОВ . . . . .	110
АНТИФЕРРОМАГНЕТИЗМ . . . . .	114
ФЕРРИМАГНЕТИЗМ. ФЕРРИТЫ . . . . .	118

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ФЕРРОМАГНЕТИКОВ . . . . .	123
НЕКОТОРЫЕ МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ . . . . .	127
ТОНКИЕ ФЕРРОМАГНИТНЫЕ ПЛЕНКИ . . . . .	131
ФЕРРОМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС . . . . .	153
ФЕРРОМАГНЕТИЗМ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ . . . . .	162
МАГНИТНАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ . . . . .	169
МАГНИТНЫЙ СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ . . . . .	176
НЕКОТОРЫЕ ДРУГИЕ ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФЕРРОМАГ- НЕТИКОВ . . . . .	179
ЯДЕРНЫЙ МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС . . . . .	184
ЭЛЕКТРОННЫЙ ПАРАМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС . . . . .	192
ЗАКЛЮЧЕНИЕ . . . . .	194

*Леонид Васильевич Киренский*

## **Магнетизм**

Издание второе, переработанное  
и дополненное

*Утверждено к печати  
редколлекцией научно-популярной литературы  
Академии наук СССР*

Редактор *Б. Н. Мацинашвили*  
Редактор издательства *Е. М. Кляус*  
Художник *К. Н. Никохристо*  
Технический редактор *Р. М. Денисова*  
Корректоры *Н. Н. Шкуратова, Н. Г. Сисекина*

Сдано в набор 9/XI 1966 г. Подписано к печати 20/III 1967 г.  
Формат 84×103<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага машиномелованная.  
Усл. печ. л. 10,71 (0,42 усл. печ. л. на гознаке). Уч.-изд. л. 9,6.  
Тираж 50000 экз. Т-03951. Тип. зак. 1533. Цена 34 коп.

Издательство «Наука». Москва, К-62, Подсосенский пер., 21

2-я типография издательства «Наука». Москва, Г-99, Шубинский пер., 10