

Саратовский национальный исследовательский государственный университет
имени Н. Г. Чернышевского
Зональная научная библиотека имени В. А. Артисевич
Отдел научной информации

МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И НАНОСТРУКТУРЫ

технология изготовления, физические свойства, применение

Виртуальная выставка

Часть I. I век до н. э. – 70-е годы XX века

Саратов
2021

Магнитные материалы, Магнетики – материалы, вступающие во взаимодействие с магнитным полем, выражающееся в его изменении, а также в других физических явлениях – изменение физических размеров, температуры, проводимости, возникновению электрического потенциала и т. д. В этом смысле к магнетикам относятся практически все вещества (поскольку ни у какого из них магнитная восприимчивость не равна нулю). Магнитными материалами могут быть различные сплавы, химические соединения, жидкости. Выделяют несколько основных типов магнетиков, различимых по конфигурации их магнитных структур.

Диамagnéтики – вещества, намагничивающиеся против направления внешнего магнитного поля. В присутствии внутреннего магнитного поля диамagnetики магнитны. Магнитная восприимчивость у диамagnetиков всегда отрицательна. По абсолютной величине диамagnetическая восприимчивость мала и сильно зависит как от напряжённости магнитного поля, так и от температуры.

Парамагнетики – вещества, которые намагничиваются во внешнем магнитном поле в направлении внешнего магнитного поля и имеют положительную магнитную восприимчивость, но значительно меньшую единицы. Парамагнетики относятся к слабомагнитным веществам, магнитная проницаемость незначительно отличается от единицы. Парамагнетиками становятся ферро- и антиферромагнитные вещества при температурах, превышающих, соответственно, **температуру Кюри** или **Нееля** (температуру фазового перехода в парамагнитное состояние).

Ферромаagnéтики – вещества (как правило, в твёрдом кристаллическом или аморфном состоянии), в которых ниже определённой критической температуры (**точки Кюри**) устанавливается дальний ферромагнитный порядок магнитных моментов атомов или ионов (в неметаллических кристаллах) или моментов коллективизированных электронов (в металлических кристаллах). Иными словами, ферромагнетик – такое вещество, которое (при температуре ниже точки Кюри) способно обладать намагниченностью в отсутствие внешнего магнитного поля. Магнитная восприимчивость ферромагнетиков положительна и значительно больше единицы. При не слишком высоких температурах ферромагнетики обладают самопроизвольной (спонтанной) намагниченностью, которая сильно изменяется под влиянием внешних воздействий. Для ферромагнетиков характерно явление гистерезиса. Ферромагнетики притягиваются магнитом. Ферромагнетики делятся на две большие группы – **Магнитотвёрдые материалы** и **Магнитомягкие материалы**.

Антиферромагнетики – вещества, в которых установился антиферромагнитный порядок магнитных моментов атомов или ионов. В антиферромагнетиках спиновые магнитные моменты электронов самопроизвольно ориентированы антипараллельно друг другу. Такая ориентация охватывает попарно соседние атомы. В результате антиферромагнетики обладают очень малой магнитной восприимчивостью и ведут себя как **слабые парамагнетики**. Обычно вещество становится антиферромагнетиком ниже определённой температуры, так называемой точки Нееля и остаётся антиферромагнетиком вплоть до точки Кюри.

Ферримагнетики – материалы, у которых магнитные моменты атомов различных подрешёток ориентируются антипараллельно, как и в антиферромагнетиках, но моменты различных подрешёток не равны, и, тем самым, результирующий момент не равен нулю. Ферримагнетики характеризуются спонтанной намагниченностью. Ферримагнетики можно рассматривать как нескомпенсированные антиферромагнетики. Своё название эти материалы получили от **ферритов** – первых нескомпенсированных антиферромагнетиков, а магнетизм ферритов назвали **ферримагнетизмом**. У ферритов доменная структура, как и у ферромагнетиков, образуется при температурах ниже точки Кюри. К ферритам применимы все магнитные характеристики, введённые для ферромагнетиков. В отличие от ферромагнетиков, они имеют высокое значение удельного сопротивления, меньшую величину индукции насыщения, более сложную температурную зависимость индукции.

Также существуют другие типы магнитных материалов: **магнитострикционные материалы, магнитооптические материалы, термомагнитные материалы.**

Открытие магнитных свойств вещества произошло, по-видимому, несколько тысяч лет тому назад. Наиболее древние письменные свидетельства о магнетизме идут из Китая. В частности, более двух тысяч лет тому назад китайский историк Сума Тзян собрал достаточно надёжные отрывки древних летописей, в которых описывались применения естественных постоянных магнитов в виде компасов. Поэтому надо считать, что в Китае магнетизм впервые был использован в практических целях. Вполне понятно, конечно, что само явление магнетизма естественных постоянных магнитов было известно человеку задолго до изобретения компаса.

В античную эпоху свойства магнитов были также хорошо известны. Указанием на это может служить упоминание о «камне магнитном», вызывающем бушующее движение железных опилок и колец, которое мы находим в гениальной натурфилософской поэме знаменитого римского учёного-материалиста *Лукреция Кара «О природе вещей»* [См. Слайд 7]. В средние века магнетизм также привлекал внимание. Свидетельством этому может служить экспериментальная работа 1269 году о магните *Пьера Перегрина де Марикура* (псевдоним – *Петрус Перегринус*). В эпоху Возрождения наиболее подробные исследования по магнетизму принадлежат известному английскому натурфилософу *Уильяму Гильберту*, закончившему в 1600 году свой многолетний большой труд «*De Magnete*» [См. Слайд 8], в котором был подведён итог всему, что в то время было известно о магнетизме. Почти одновременно с трудом Гильберта вышел из печати труд о магнетизме итальянского учёного *Иона Бантиста Порты*. Оба эти учёные считали, что магнитные силы относятся к классу духовных сил. Материалистическую концепцию магнетизма мы находим в трудах великого французского философа *Рене Декарта*, который дал первую подробную теорию магнетизма. *Кулон* (1788 год) распространил открытый им закон взаимодействия точечных элементарных зарядов на взаимодействие точечных полюсов магнита. Однако настоящее начало развитию учения о магнитных свойствах материи было положено лишь в первой половине XIX века, когда *Эрстед* в 1820 году открыл магнитные действия электрического тока, а затем *Ампер* (также в 1820 году) высказал свою знаменитую гипотезу молекулярных токов, в которой была предвосхищена в качественной форме современная электронная теория магнитных свойств атомов и веществ.

Огромный вклад в учение об электромагнетизме сделал великий английский учёный *Майкл Фарадей* [*См. Слайд 9*], который в **1831** году открыл закон электромагнитной индукции и ввёл впервые термин «магнитное поле», а в **1848** году ввёл термин «парамагнетизм» и разделил все вещества на ферромагнитные, диамагнитные, парамагнитные, сперомагнитные (асперомагнетики) и ферримагнитные (миктомагнетики). Стройная система законов электромагнитного поля в последовательной математической форме была сформулирована в замечательных работах Максвелла [*См. Слайд 10*]. Подробные экспериментальные исследования диа- и парамагнитных веществ в широком интервале температур проводил *Пьер Кюри* [*См. Слайд 12*], который установил практическую температурную независимость диамагнитной восприимчивости и знаменитый закон Кюри для температурного хода парамагнитной восприимчивости. Ланжевен (1905 год) [*См. Слайд 13*], развил электронную (классическую) трактовку диамагнетизма и парамагнетизма.

Систематическое изучение магнитных свойств ферромагнетиков была начато в знаменитой работе *А. Г. Столетова* (1873 год) «*О функции намагничивания железа*» [*См. Слайд 11*], в которой впервые была снята кривая магнитной, проницаемости ферромагнетика (*кривая Столетова*). Исследования Столетова имели важное значение не только для развития физики ферромагнетизма, но и дали рациональные основы для расчётов магнитных цепей электрических машин и трансформаторов.

Впервые идея о существовании внутри ферромагнитного тела особого «молекулярного поля» была высказана в **1892** году русским физиком *Б. Л. Розингом* [*См. Слайд 11*], который называл это поле «частичной магнитной силой», вызываемой «магнитным движением вещества». Количественно последовательную термодинамическую теорию «молекулярного поля» в ферромагнетиках разработал известный французский физик *Пьер Вейсс* [*См. Слайд 14*]. Результаты экспериментального изучения анизотропии ферромагнитных свойств монокристаллов нашли своё теоретическое объяснение в известных исследованиях *Н. С. Акулова* [*См. Слайд 22*], в которых были заложены основы современной теории кривых намагничивания ферромагнитных моно- и поликристаллов. Знаменитая работа *Ландау и Лифшица* (1935 год) [*См. Слайд 66*] дала окончательное теоретическое обоснование гипотезе *Вейсса* о доменах, и в ней также была предложена конкретная модель доменной структуры.

Физическая природа ферромагнитного состояния вещества была раскрыта лишь после появления квантовой механики. Существенное значение в истории этого открытия сыграли опыты по гиромангнитным эффектам, в которых была открыта спиновая природа ферромагнетизма в большинстве известных тогда ферромагнетиков. Поэтому стало ясным, что ферромагнетизм есть особая форма спинового парамагнетизма. Квантовомеханическая теория ферромагнетизма была создана в работах *Френкеля* (коллективизированная модель) и *Гейзенберга* (модель локализованных спинов). Была также предложена промежуточная полярная модель кристаллов в работах *Слэтера*, *Шубина* и *Вонсовского* [См. Слайды 64, 65, 67], *Боголюбова* и *Тябликова*. *Шубин* также предложил s - d -обменную модель ферромагнитных металлов, которая получила развитие в работах *Вонсовского* и др.

Ландау и *Неель* [См. Слайд 15] предсказали существование антиферромагнетизма. В работах *Нееля* была дана теория ферромагнетизма. После открытия *Неелем* ферромагнетизма и введения представления о магнитных подрешётках были предсказаны, а затем обнаружены неколлинеарные магнитные структуры.

Огромное значение в развитии теории ферро- и антиферромагнетизма имело применение ядерных методов исследования – магнитной нейтронографии, ядерного магнитного резонанса, эффекта Мессбауэра, ядерного вклада в теплоёмкость.

Работы *Аркадьева* [См. Слайд 21] положили начало развитию магнетодинамики – изучению поведения магнитных сред в переменных магнитных полях. *Дорфман* предсказал явление электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), которое было затем открыто в работе *Завойского* [См. Слайд 32]. *Гортер* [См. Слайд 25] открыл явление парамагнитной релаксации.

Параллельно с развитием физики магнитных явлений шло развитие технических применений магнетизма: создавались и совершенствовались технические магнитные материалы, а также методы магнитного контроля, магнитных измерений и магнитной дефектоскопии.

ЛУКРЕЦИИ



А634801

Лукреций, Тит Кар. О природе вещей / Тит Лукреций Кар ; перевод с латинского Ф. Петровского ; вступительная статья Т. Васильевой ; художник В. Носков. – Москва : Художественная литература, 1983. – 383 с. : 7 рис. – (Библиотека античной литературы). – Текст : непосредственный.

Поэма Лукреция «О природе вещей» (I в. до н. э.) представляет собой одну из вершин философской мысли человечества и вместе с тем одну из вершин римской поэзии. Вместе с тем описание этих явлений даёт ему повод развернуть великолепную поэтическую картину, пластически наглядную и красочную. Мировая литература не знала больше такого единства философии и поэзии, как у Лукреция..

Книга шестая Магнит (906–1089).

О ПРИРОДЕ ВЕЩЕЙ

Кроме того, и от солнца лучей будоражится влага
И, с нарастанием дня, разрезается трепетным зноем,
Это причина того, что она семена огневые
Все отдает. Так вода всю ту стужу, что в ней находилась,
Часто теряет и лед, ослабляя узлы, распускает.

- Также холодный еще существует родник, над которым
880 Пакля, занявшись огнем, разгорается пламенем сразу;
Факел таким же путем зажигается там и по волнам,
Ярко пылая, плывет, уносимый порывами ветра.
Не мудрено, потому что в воде заключается много
Жара семян, и притом, из-под самой земли поднимаясь,
Всюду в источник идут непременно тела огневые
И одновременно вон, испаряясь, выходят на воздух;
Но не настолько их много, чтоб сам разогрелся источник.
Кроме того, заставляя их вон вырываться отдельно,
Лишь над поверхностью вод собирает их эта же сила.
890 В этом же роде родник, находящийся в море Арадском.
Пресную воду он бьет, разгоняя соленые волны.
Да и в других областях доставляет морская равнина
Пользу засушную всем морякам при томительной жажде,
Между соленых валов пресноводный родник извергая.
Стало быть, также, в родник прорываясь, способны наружу
Бить семена и, сходясь в поднесенной к источнику пакле
Или на факел садясь смоляной и к нему прилипая,
Вспыхнуть сейчас же легко, ибо также в себе заключают
Много семян огневых сокровенных и пакля и факел.
900 Да и не видишь ли ты, что когда к починку мы подносим
Свежепогашенный трут, то, еще не успев прикоснуться
К пламени лампы, он вдруг зажигается так же, как факел?
Многое, кроме того, загорается издали силой
Жара еще до того, что огонь его схватит вплотную.
Делаться то же должно и в источнике нашем, конечно.

Мне остается сказать, по какому закону природы
Может железо к себе притягивать камень, который
Греки «магнитом» зовут по названию месторождения,
Ибо находится он в пределах отчизны магнетов.
910 Этому камню народ удивляется, ибо нередко
Цепью звено к звену, от него исходя, повисает.
Можно ведь видеть порой, что, качаясь от легкого ветра,
Пять или больше таких свободно спускается звеньев.

841398

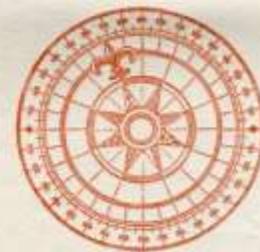


841398

Гильберт, В. О магните, магнитных телах и о большом магните – Земле. Новая физиология, доказанная множеством аргументов и опытов / В. Гильберт ; перевод с латинского А. И. Доватура ; редакция, статья и комментарии А. Г. Калашникова. – Москва : Издательство Академии Наук СССР, 1956. – 412 с. : 89 рис. + 1 портр. + 16 рис. – Текст : непосредственный.

ВИЛЬЯМ ГИЛЬБЕРТ
О МАГНИТЕ,
МАГНИТНЫХ ТЕЛАХ
И О БОЛЬШОМ МАГНИТЕ-ЗЕМЛЕ
◇
НОВАЯ ФИЗИОЛОГИЯ, ДОКАЗАННАЯ
МНОЖЕСТВОМ АРГУМЕНТОВ
И ОПЫТОВ

ПЕРЕВОД С ЛАТИНСКОГО
А. И. ДОВАТУРА
РЕДАКЦИЯ, СТАТЬЯ И КОММЕНТАРИИ
А. Г. КАЛАШНИКОВА



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА · 1956

М. ФАРАДЕЙ

278055

ИЗБРАННЫЕ
РАБОТЫ
ПО
ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ

278055

Фарадей, М. Избранные работы по электричеству / М. Фарадей ; перевод под редакцией с биографическим очерком и примечаниями З. А. Цейтлина. – Москва ; Ленинград : Государственное объединенное научно-техническое издательство, Редакция технико-теоретической литературы, 1939. – 304 с. : рис. – Библиогр. в статьях. – Текст : непосредственный. – Имеется электронная версия публикации. – URL: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/electric.htm> (дата обращения: 16.06.2021). – Режим доступа : свободный

О НОВЫХ МАГНИТНЫХ ДЕЙСТВИЯХ
И О МАГНИТНОМ СОСТОЯНИИ ВСЯКОЙ МАТЕРИИ(Том III. Серия XXI¹, § 27.)

VII. ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

2417. Таковы факты, которые в связи с явлениями света доказывают магнитное действие или состояние материи, неизвестные до сих пор. Под влиянием этого свойства продольная часть такого вещества обычно (пп. 2253, 2384) располагается перпендикулярно к линиям магнитной силы; этот результат может обнаружиться в более простой форме отталкивания вещества обоими магнитными полюсами. Положение продольной части, или отталкивание всей массы, продолжается все время, пока поддерживается магнитная сила, и прекращается с прекращением ее.

2418. При действии этой новой силы движущееся тело может пойти или *вдоль* магнитных линий или *поперек* их, и оно может двигаться *вдоль* или *поперек* их в обоих или во всяком направлении. Таким образом две части вещества, одновременно подверженные этой силе, можно заставить приближаться друг к другу, как будто они взаимно притягиваются, или удаляться друг от друга, как будто они

¹ Серии XX—XXIII содержат знаменитое открытие Фарадея — открытие диамагнетизма и магнитокристаллической силы. После того как в ноябре 1845 г. Фарадей сообщил об открытии вращения плоскости поляризации света, 6 декабря им была сообщена XX серия, посвященная диамагнетизму, а 24 декабря — XXI серия, в которой вопрос трактуется всеобъемлюще и устанавливается деление всех тел на парамагнитные и диамагнитные. В специальной работе 1846 г. (Ann. Transact., 1846, нап. Pogg. Ann., LXVIII) Фарадей рассматривает вопрос о диамагнетизме пламени и газов. (Ред.)

A810809



A810809

Максвелл, Дж. К. Трактаат об электрИчество и магнетИзме. В двух томах. Том 2 / Дж. К. Максвелл. – Москва : Наука, 1989. – 440 с. : 66 + 20 рис. – Библиогр. (в сносках и к Приложению). – ISBN 5-02-000042-6. – Текст : непосредственный.

Глава I. Элементарная теория магнетИзма.

Глава IV. Индуцированная намагниченность.

Глава VII. Магнитные измерения.

Глава XXII. Объяснение ферромагнетИзма и диамагнетИзма молекулярными токами

ДЖЕЙМС КЛЕРК МАКСВЕЛЛ

ТРАКТАТ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ И МАГНЕТИЗМЕ

В ДВУХ ТОМАХ
Том II

ПЕРЕВОД:

Б. М. БОЛОТОВСКОГО, И. Л. БУРШТЕЙНА,
М. А. МИЛЛЕРА, Е. В. СУВОРОВА

ПОД РЕДАКЦИЕЙ:

доктора физико-математических наук
М. Л. ЛЕВИНА,

доктора физико-математических наук
М. А. МИЛЛЕРА,

кандидата физико-математических наук
Е. В. СУВОРОВА



МОСКВА «НАУКА» 1989

718067

ИЗСЛѢДОВАНИЕ

О

ФУНКЦИИ НАМАГНИЧЕНИЯ

МЯГКАГО ЖЕЛѢЗА.

А. СТОЛѢТОВА.

= 251204

МОСКВА.

1872.

718067

Столетов, А. Г. Исследование о функции намагничивания мягкого железа (прочитано 20 ноября 1871 г. в Московском Математическом Обществе) / А. Г. Столетов. — Москва : Университетская Типография (Катков и К^о), 1872. — 80 с. : черт. — Текст : непосредственный.

5156



Изъ Ж. Р. Ф. Х. О. т. XXIV, вып. 6, 1892.

О МАГНИТНОМЪ ДВИЖЕНІИ ВЕЩЕСТВА.

Б. Розинга.

I. Общія уравненія.

1. Въ этой статьѣ я намѣренъ изложить динамическую теорію магнетизма съ новой точки зрѣнія: съ точки зрѣнія магнитнаго движенія вещества. Сущность моихъ предположеній сводится къ тому, что въ тѣлѣ, въ которомъ происходитъ магнитная индукція, кромѣ известныхъ уже векторовъ: Φ —магнитная сила, J —намагничиваніе и \mathfrak{B} —магнитная индукція — существуетъ еще новый, характеризующій собою *нѣкоторое особенное движеніе вещества*. Я его назову черезъ \mathcal{J} . Какого рода это движеніе, — я оставляю вопросъ этотъ въ сторонѣ; относительно него я утверждаю только слѣдующее: 1) это движеніе есть внутреннее движеніе по отношенію къ частицамъ тѣла и 2) въ каждой точкѣ тѣла оно имѣетъ опредѣленную ось, совпадающую по направленію съ векторомъ J . Въ сущности того, что называется магнитной индукціей, я тоже не углубляюсь и принимаю только согласно воззрѣніямъ Фарадея, что это есть *возмущенное состояніе эфира*, притомъ по Максвеллу — *состояніе кинетическаго характера*.

2. И такъ, представимъ себѣ тѣло, погруженное въ среду эфира, въ которомъ происходитъ магнитная индукція. По высказаннымъ выше предположеніямъ это значитъ, что какъ въ веществѣ, такъ и въ эфирѣ существуетъ нѣкоторое неизвѣстное намъ движеніе. Кромѣ этого движенія существуютъ, конечно, и другія — наприимѣръ, *тепловое*. Но о тепловомъ движеніи въ послѣдующемъ я совсѣмъ не буду говорить и вотъ почему: тепловое движеніе можетъ быть опредѣлено только по отношенію къ совокупности

1

Розинг, Б. Л. О магнитном движении вещества / Б. Л. Розинг. — Текст : непосредственный // Журнал Русского Физико-Химического Общества (часть физическая). — 1892. — Т. 24, № 6. — С. 105-144. — Библиогр.: в сносках.

ANNALES
DE
CHIMIE ET DE PHYSIQUE,PAR
MM. BERTHELOT, PASTEUR, FRIEDEL,
MASCART.

SEPTIÈME SÉRIE. — TOME V. 9858

PARIS,

G. MASSON, ÉDITEUR,
LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE,
Boulevard Saint-Germain
(en face de l'École de Médecine).IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1895

PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES DES CORPS A DIVERSES
TEMPÉRATURES;

PAR M. P. CURIE.

INTRODUCTION.

Les corps se divisent, au point de vue de leurs propriétés magnétiques, en trois groupes distincts :

1° Les corps *diamagnétiques*, qui comprennent le plus grand nombre des corps simples et composés;

2° Les corps *faiblement magnétiques*, parmi lesquels se trouvent l'oxygène, le bioxyde d'azote, le palladium, le platine, le manganèse, enfin les sels de manganèse, de fer, de nickel, de cobalt, de cuivre, de didyme;

3° Les corps *ferro-magnétiques*, qui comprennent le fer, le nickel, le cobalt, la magnétite (Fe^2O^3) et encore l'acier, la fonte et divers alliages.

A première vue, ces trois groupes sont absolument tranchés; cette séparation supporte-t-elle un examen plus approfondi? Existe-t-il des transitions entre ces groupes? S'agit-il de phénomènes entièrement différents, ou avons-nous affaire seulement à un phénomène unique plus ou moins déformé? Ces questions préoccupaient beaucoup Faraday qui y revient souvent dans ses Mémoires. On lui doit sur ce sujet une expérience importante: On savait depuis fort longtemps que le fer perd à la chaleur rouge ses propriétés magnétiques. Faraday a montré qu'aux températures élevées le fer reste encore magnétique, bien que faiblement. Un même corps peut

Ann. de Chim. et de Phys., 7^e série, t. V. (Juillet 1845.) 19

ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE,

PAR MM.

BERTHELOT, MASCART, MOISSAN.

HUITIÈME SÉRIE. — TOME V.



PARIS,

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS,
LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE,
Boulevard Saint-Germain, 120
(en face de l'École de Médecine).

IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1905

Pa .8° 1457

70

P. LANGEVIN.

de ces corps et de ces séries quand les déterminations expérimentales qui les concernent auront été faites (*).

MAGNÉTISME ET THÉORIE DES ÉLECTRONS;

PAR M. P. LANGEVIN.

1. On sait combien, depuis quelques années, s'est déjà montrée féconde la conception qui fait de la matière une agglomération de centres électrisés ou *électrons*, ceux-ci fournissant le lien nécessaire entre l'éther, siège des champs électriques et magnétiques, et la matière, source et récepteur des perturbations électromagnétiques que l'éther transmet. M. Lorentz, qui plus que tout autre a contribué à son développement, vient de donner de cette théorie une exposition magistrale où peut se mesurer l'ampleur de la synthèse déjà réalisée (2). L'attention des physiciens, vivement attirée de ce côté par les remarquables prévisions de M. Lorentz à propos du phénomène de Zeeman, n'a fait que s'accroître depuis les récentes découvertes qui aboutissent *par voie purement expérimentale* à la notion du corpuscule cathodique, deux mille fois moins inerte que l'atome d'hydrogène, véritable

(*) M. Berthelot a fait connaître (*Annales de Chim. et de Phys.*, 7^e série, t. XX, p. 158) la chaleur de combustion de quelques composés organo-mercuriels comme $(\text{CH}^3)_2\text{Hg}$, etc.; on arrive à reproduire les valeurs trouvées, avec une certaine exactitude, en conservant pour les C et H leur appoint ordinaire et en admettant que celui du Hg est de 61,64; on a, en effet :

	$(\text{CH}^3)_2\text{Hg}$.	$(\text{C}^2\text{H}^5)_2\text{Hg}$.	$(\text{C}^6\text{H}_5)_2\text{Hg}$.
Mesuré.....	431,8	735	1563,3
Calculé.....	430	744	1560
Approximation.....	(3)	(r)	(3)

(2) H.-A. LORENTZ, *Encyk. d. math. Wissensch.*, Band V, Hef 1, p. 145.

Langevin, P. Magnétisme et théorie des électrons / P. Langevin. – Текст : непосредственный // *Annales de Chimie et de Physique*. – 1905. – 8e sér. – Т. 5. – P. 70-127 : 3 Fig. – Bibliogr. в сносках. – Имеется электронная версия публикации. – URL: <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k34935p/f68.item> (дата обращения: 16.09.2021). – Режим доступа : свободный.

champ αz . Comme ces paramètres représentent le produit du rapport de la charge à la masse par le carré de la période des électrons et que les périodes suivant αx et αy sont *nécessairement* très voisines si les bandes sont sensibles, j'avais pris le même paramètre c pour les directions αx et αy .

Les conclusions énoncées par M. Voigt s'appliquent à des cas limites. Les formules et les courbes données dans mes précédentes Notes ⁽¹⁾ montrent que les résultats peuvent s'écarter notablement des lois limites, principalement pour les bandes floues, pour lesquelles les coefficients d'amortissement \mathcal{S}'_1 et \mathcal{S}'_2 sont grands.

M. Voigt donne l'explication des modifications subies par le spectre de la vibration *parallèle au champ* et montre que l'on peut rendre compte des résultats expérimentaux en considérant un vecteur auxiliaire \mathcal{J}_k dont la période doit être supposée différente de celle de la polarisation \mathcal{J}_k lorsque les modifications sont dissymétriques. J'étais arrivé à la même formule, que je n'avais pas encore publiée; d'ailleurs, les courbes relatives à la vibration normale au champ peuvent également représenter les variations du coefficient d'absorption de la vibration parallèle au champ, à la condition de remplacer \mathcal{S}_{02} et \mathcal{S}'_2 par la période et l'amortissement du vecteur \mathcal{J}_k , \mathcal{S}_{01} et \mathcal{S}'_1 par la période \sqrt{b} et l'amortissement a du vecteur auxiliaire \mathcal{J}_k , enfin le terme $c_k R$ par le terme $d_k \mathcal{S}$ de la formule de M. Voigt. Les formes dissymétriques des courbes sont tout à fait conformes aux aspects que prennent les bandes dans le spectre de la vibration parallèle au champ.

PHYSIQUE. — *La variation du ferromagnétisme avec la température.*

Note ⁽²⁾ de M. PIERRE WEISS, présentée par M. J. VIOLLE.

M. Langevin ⁽³⁾, après avoir montré que le magnétisme des corps faiblement magnétiques peut s'expliquer par l'équilibre statique résultant de l'action d'un champ extérieur sur les molécules douées de moments magnétiques et de l'agitation thermique, conclut: « On voit donc quelle est, dans les substances ferromagnétiques, l'importance des actions mutuelles entre les molécules qui seules rendent possible la saturation magnétique encore extrêmement éloignée, pour le même champ extérieur, dans le cas des substances faiblement magnétiques. De ce point de vue se justifie pleinement l'assimilation faite par Pierre Curie de la transition entre le magnétisme faible et le ferroma-

⁽¹⁾ JEAN BECQUEREL, *Comptes rendus*, 19 novembre et 3 décembre 1906.

⁽²⁾ Présentée dans la séance du 10 décembre 1906.

⁽³⁾ P. LANGEVIN, *Ann. Chim. Phys.*, 8^e sér., t. IV, 1905, p. 70 et suivantes.

Weiss, P. La variation du ferromagnétisme avec la température / P. Weiss. — Текст : непосредственный // *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences.* — 1906. — Vol. 143, No. 26. — P. 1136-1139 : 2 Fig. — Bibliogr. в сносках. — Имеется электронная версия. — URL: <https://www.biodiversitylibrary.org/item/31398#page/1144/mode/1up> (дата обращения: 16.09.2021). — Режим доступа : свободный.

L'HYPOTHÈSE DU CHAMP MOLÉCULAIRE ET LA PROPRIÉTÉ FERROMAGNÉTIQUE;

Par M. Pierre WEISS ⁽¹⁾.

M. Langevin ⁽²⁾ a donné récemment une théorie qui rend compte d'une manière remarquable des propriétés des corps diamagnétiques et paramagnétiques.

Il suppose que chaque molécule d'un gaz paramagnétique a un moment magnétique différent de zéro, résultant de l'addition géométrique des moments magnétiques des trajectoires fermées que les corpuscules décrivent avec de grandes vitesses autour du reste de l'atome. Un champ extérieur agissant sur ces molécules tend à les orienter, l'agitation thermique et les chocs qui l'accompagnent tendent à rétablir constamment l'état de désordre primitif. Il en résulte un équilibre statique pour lequel le moment magnétique par unité de volume, c'est-à-dire l'intensité d'aimantation I , est fonction du quotient du champ H par la force vive d'agitation thermique, qui est proportionnelle à la température absolue T . M. Langevin trouve en effet :

$$(1) \quad I_0 = \frac{cha}{sba} - \frac{1}{a},$$

où la signification de α est donnée par :

$$(2) \quad \alpha = \frac{\mu H}{rT}.$$

I_0 représente la somme de tous les moments magnétiques des molécules dans 1 centimètre cube, c'est-à-dire l'intensité d'aimantation que l'on obtiendrait si tous ces moments étaient dirigés parallèlement; μ , le moment magnétique d'une molécule, et rT , deux fois la force vive correspondant à un degré de liberté de la molécule.

La relation (1) est représentée par la courbe de la fig. 1. Elle met en évidence un accroissement de l'aimantation d'abord proportionnel à α , c'est-à-dire à H , pour une température donnée, et dans les champs très intenses une aimantation à saturation I_0 correspondant

⁽¹⁾ Conférence faite à la Société française de Physique, le 4 avril 1907.

⁽²⁾ P. LANGEVIN, *Ann. Chim. Phys.*, 8^e série, t. V, p. 70 et suiv.; 1905.

J. de Phys., 4^e série, t. VI (Septembre 1907).

Weiss, P. L'hypothèse du champ moléculaire et la propriété ferromagnétique / P. Weiss. — DOI 10.1051/jphys:019070060066100. — Текст : непосредственный // *Journal de Physique Théorique et Appliquée.* — 1907. — Vol. 6, No. 1. — P. 661-690. : 3 Tabl., 10 Fig. — Bibliogr. в сносках (18 ref.). — ISSN 0368-3893. — Имеется электронная версия. — URL: <https://jphys.theoriejournaldephysique.org/articles/jphys:019070060066100> (дата обращения: 06.09.2021). — Режим доступа : свободный.



Неель, Л. Магнетизм и локальные молекулярные поля (Нобелевские лекции по физике 1970 г.) / Л. Неель ; перевод с английского Л. М. Коврижных. – DOI 10.3367/UFNr.0107.197206a.0185. – Текст : непосредственный // Успехи Физических Наук. – 1972. – Т. 107. – № 6. – С. 185-200. : 20 рис. – Библиогр.: с. 200 (21 назв.). – ISSN 0042-1294. – Имеется электронная версия. – URL: <https://ufn.ru/ru/articles/1972/6/a> (дата обращения: 08.09.2021). – Режим доступа: свободный.

НОБЕЛЕВСКИЕ ЛЕКЦИИ ПО ФИЗИКЕ 1970 г. *)

538.22

МАГНЕТИЗМ И ЛОКАЛЬНЫЕ МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ПОЛЯ **)

Л. Неель

1. МОЛЕКУЛЯРНОЕ ПОЛЕ ВЕЙССА

Уже давно известно, что ферромагнетизм связан с взаимодействием между атомными магнитными моментами, стремящимися вопреки тепловому движению расположиться параллельно друг другу. Для количественного объяснения экспериментальных данных Пьер Вейсс предположил^{1а, в}, что ферромагнетик ведет себя как чистый парамагнетик, т. е. как парамагнетик с независимыми носителями моментов, намагниченность которого определяется выражением $J = f(H/T)$, и что эффект взаимодействия эквивалентен взаимодействию с фиктивным магнитным полем h_m , называемым молекулярным полем, пропорциональным намагниченности:

$$h_m = nJ,$$

которое прибавляется к внешнему приложенному полю H . Таким образом, при достаточно малой напряженности поля H получается закон намагничивания, называемый законом Кюри – Вейсса:

$$J = \frac{cH}{(T-\Theta)}, \quad (1)$$

где $\Theta = nC$. Для положительных значений Θ восприимчивость J/H становится бесконечной, когда температура опускается ниже точки Кюри Θ . Начиная с этой температуры Θ , вплоть до абсолютного нуля, вещество обладает некоторой спонтанной намагниченностью J_s , возникшей под действием молекулярного поля $h_m = nJ_s$.

В этой модели молекулярное поле рассматривается как однородное поле, существующее внутри ферромагнитного образца. Кроме того, чтобы придать своей теории более законченный вид, Вейсс ввел энергетическое молекулярное поле, определяемое из внутренней энергии U посредством соотношения

$$H_m = -\frac{\partial U}{\partial J},$$

*) Copyright the Nobel Foundation 1971.

**) Louis Néel, Magnétisme et champ moléculaire local. Conférence Nobel, 11 décembre 1970. Reimpression de Les prix Nobel en 1970, Stockholm, 1971, pp. 57–177. Перевод Л. М. Коврижных.

Some New Results on Antiferromagnetism and Ferromagnetism

LOUIS NÉEL

Institut Fourier, Grenoble, France

1. The study of the thermomagnetic properties of a natural single crystal of rhombohedral iron sesquioxide, Fe_2O_3 , by Pauthenet, confirms the hypothesis of the superposition of a fundamental antiferromagnetism and a parasitic ferromagnetism. Below 260°K the direction of antiferromagnetism coincides with the ternary axis; above 260°K this direction is situated in the plane perpendicular to the ternary axis, with complete freedom of orientation in this plane. The parasitic ferromagnetism seems to be formed of two parts, one isotropic, the other anisotropic. The latter, tightly coupled with the direction of antiferromagnetism, can be observed only above 260°K and in a direction perpendicular to the ternary axis. The corresponding spontaneous magnetization may arise from the local imperfections in the compensation of the two constituent sublattices of the antiferromagnetism, and it is the freedom of orientation of the antiferromagnetism in the basic plane which permits observation of this spontaneous magnetization.

I. RHOMBOHEDRAL Fe_2O_3

AS it was foreseen in the early theory,¹ we know that in antiferromagnetic substances there exists a coupling between the direction of antiferromagnetism and the directions of the axes of the crystal, analogous to the magnetocrystalline coupling which, in ferromagnetics, ties the direction of spontaneous magnetization to the axes of the crystal. Unfortunately, the properties connected with the orientation of the direction of antiferromagnetism are much more difficult to demonstrate than those which are connected with the orientation of spontaneous magnetization. In particular, while several thousands of oersteds are usually sufficient to align the spontaneous magnetization of a ferromagnetic body in the direction of an applied magnetic field, several hundreds of thousands of oersteds are probably necessary in most cases to orient the direction of antiferromagnetism in the plane perpendicular to the preferred direction (see reference 2, p. 161). To study these couplings, which are of great theoretical interest, it is almost indispensable to prepare single crystals and to study them magnetically in different directions. Up to now two examples are known: Bizette and Tsai on the one hand, Stout and Griffel on the other, have studied ferrous fluoride FeF_2 , which is an antiferromagnetic of the classic type, while C. J. Gorter and his colleagues have studied copper chloride, $CuCl_2 \cdot 2H_2O$, which becomes antiferromagnetic at the temperature of liquid helium.

Thus it is particularly interesting to study from this point of view rhombohedral iron sesquioxide, αFe_2O_3 ,

¹L. Néel, Ann. phys. 5, 232 (1936).

2. Pyrrhotite corresponds closely to the molecular formula Fe_7S_8 . The crystal structure contains holes: one of the eight sites which could be occupied by iron ions is vacant. Bertaut showed that at room temperature these holes form an ordered lattice such that the crystal unit of Fe_7S_8 does not have the NiAs unit but one much more complicated, pseudohexagonal and slightly monoclinic, containing 8 Fe_7S_8 . This unit is such that the successive planes of iron perpendicular to the pseudo-hexagonal axis are not identical: only the odd-numbered planes contain holes. Because the two sublattices are crystallographically different, we have imperfect antiferromagnetism or ferrimagnetism, analogous to that of ferrites. A magnetic study by Benoit, at temperatures above the Curie point, seems to show that the ordered distribution of the holes disappears at 560°K. Finally, a thermomagnetic study by Pauthenet shows that the pseudo-hexagonal axis, which at ordinary temperature is a direction of very difficult magnetization, becomes progressively, at lower temperatures, a direction of easy magnetization.

which is found in nature in the form of large, almost pure crystals (hematite). Unfortunately, as is shown in the works of Townsend Smith² and especially of Chevallier,³ the magnetic properties of this substance are extremely complex. However, as we noted several years ago,⁴ it seems that these properties are the result of the presence of a fundamental antiferromagnetism superimposed on a weak parasitic ferromagnetism, one hundred to a thousand times smaller than that of ordinary ferromagnetics. This ferromagnetism could arise from a defect of stoichiometry or of defects of crystallization, and we will discuss this later.

As to the fundamental antiferromagnetism, it is probably caused by strong negative interactions of superexchange of the type Fe-O-Fe, produced by the intermediary of oxygen ions. Iron atoms are arranged in almost-plane layers, perpendicular to the ternary axis. Each layer is spontaneously magnetized to saturation in a definite direction, and the successive layers are magnetized alternately in opposite directions. This structure, deduced from the study of magnetic properties^{4,5} was subsequently confirmed by Shull and his colleagues⁶ by means of neutron diffraction.

At my request, Mr. Pauthenet has studied⁷ a natural single crystal of αFe_2O_3 which came from the island of Elbe and appeared quite pure. The separation of the

²T. Townsend Smith, Phys. Rev. 8, 721 (1916).
³R. Chevallier and S. Mathieu, Ann. phys. 18, 258 (1943); R. Chevallier, Rapport à la Réunion Int. Ferromagnétisme et Antiferromagnétisme, Grenoble, 1950.
⁴L. Néel, Ann. phys. 4, 249 (1949).
⁵L. Néel, Ann. phys. 3, 137 (1948).
⁶Shull, Strauser, and Wollan, Phys. Rev. 83, 333 (1951).
⁷L. Néel and R. Pauthenet, Compt. rend. 234, 2172 (1952).



Science in the making 2: From 1940 to the early 1980s / La science en mouvement 2 : de 1940 aux premières années 1980

Louis Néel: His multifaceted seminal work in magnetism

Louis Néel : son œuvre fondatrice à multiples facettes en magnétisme

Bernard Barbara ^{a,b,*}

^a Institut Néel, CNRS, 38042 Grenoble, France
^b Université Grenoble-Alpes, 38400 Grenoble, France



ARTICLE INFO

Article history:
Available online 14 August 2019

Keywords:
Molecular field
Antiferromagnetism
Domains and domain walls
Nanomagnetism
Ferrimagnetism

Mots-clés:
Champ moléculaire
Domaines et parois
Antiferromagnétisme
Nanomagnétisme
Ferrimagnétisme

ABSTRACT

Louis Néel was a world-renowned scientist who devoted the research part of his multifaceted career to magnetism. Covering roughly the period 1930–1970, his work is explained for a non-specialized audience, with particular attention given to work published in the *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*.

© 2019 Published by Elsevier Masson SAS on behalf of Académie des sciences. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

RÉSUMÉ

Louis Néel fut un savant de réputation mondiale. De ses activités multiples, celle consacrée à la recherche concerne principalement le magnétisme. Elle s'étend de 1930 à 1970. Nous exposons ses travaux à l'intention des non-spécialistes, en insistant sur ceux publiés dans les *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*.

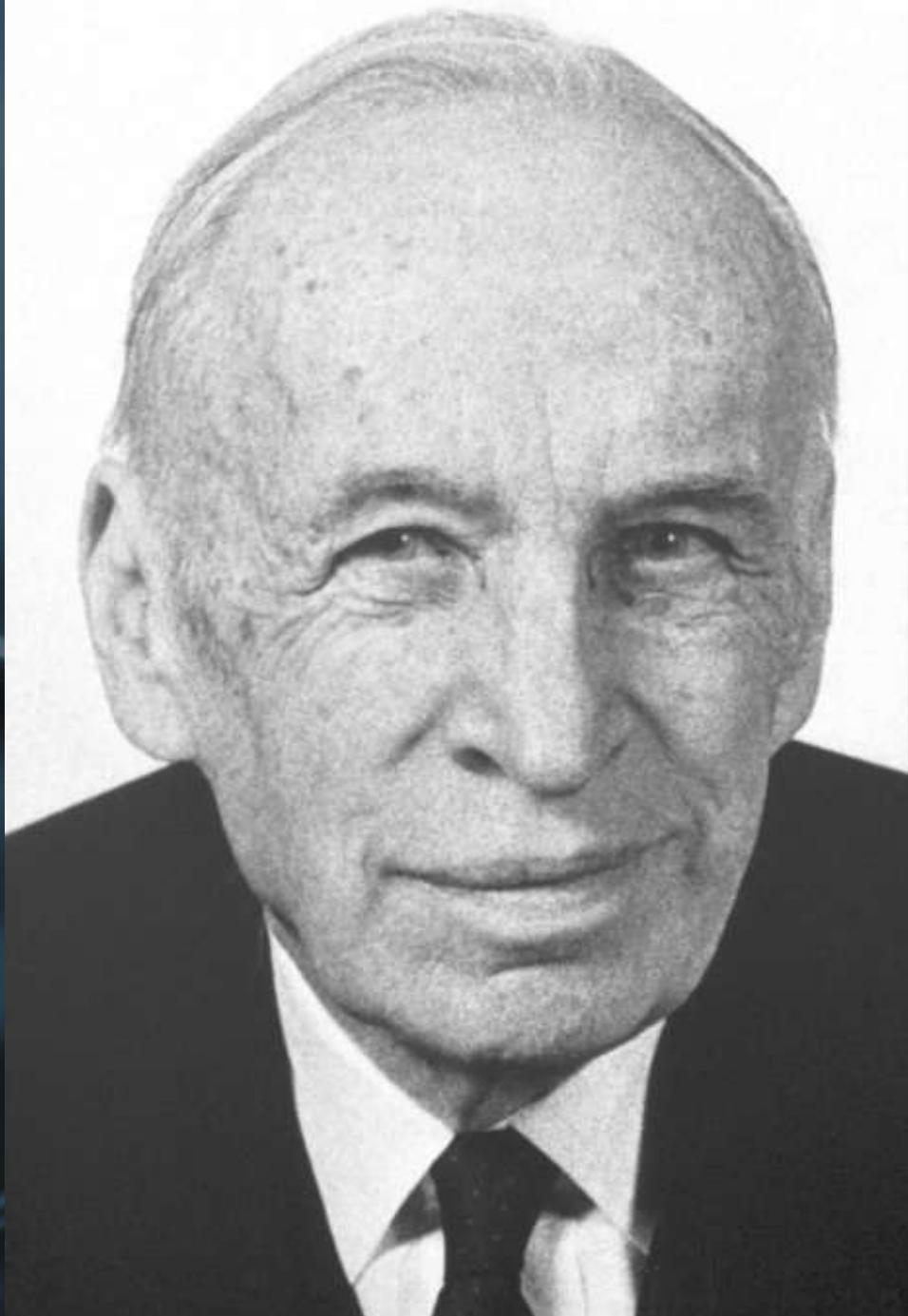
© 2019 Published by Elsevier Masson SAS on behalf of Académie des sciences. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introduction

The *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences* (or "CRAS" for short), published by the French "Académie des sciences," has a long and rich history covering a period of about three and a half centuries. It started in 1666 with the creation of the "Académie royale des sciences," ancestor of the present Academy, in a time when printing, under royal control, was not widespread in France. Since then, some of the works of scientists, among the most famous, have been published, discussed or/and extended in this journal. Here, we shall concentrate on the second part of the 20th century with, in particular, the works on magnetism of the 1970 Nobel laureate, Louis Néel. With a total of about 200 publications, mostly written in French, but with a strong international impact, Néel's contributions to the CRAS were frequent: almost 40 papers before 1950 – around the middle of his scientific career – and 30 afterwards. Here, we have included the seven papers that Néel published during the Occupation in an ephemeral journal, *Cahiers de physique*, presumably created under the auspices of the Academy (section 4).

* Institut Néel, 25 avenue des Martyrs, BP 166, 38042 Grenoble cedex, France.
E-mail address: bernard.barbara@grenoble.cnrs.fr.

Barbara, B., Louis Néel: His multifaceted seminal work in magnetism / B. Barbara. – DOI 10.1016/j.crhy.2019.07.003. – Текст : непосредственный // Comptes Rendus Physique. – 2019. – Vol. 20. – Iss. 7-8. – P. 631-649 : 11 Fig. – Bibliogr.: P. 646-649 (135 ref.). – ISSN 1631-0705. – Имеется электронная версия. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631070519301033> (дата обращения: 31.08.2021). – Режим доступа: по подписке СГУ.



УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

Ван-Флек, Дж. Квантовая механика – ключ к пониманию магнетизма (Нобелевская лекция по физике, 1977 г.) / Дж. Ван-Флек ; перевод с английского К. И. Кугеля. – DOI 10.3367/UFNr.0127.197901a.0003. – Текст : непосредственный // Успехи Физических Наук. – 1979. – Т. 127. – № 1. – С. 3-18. : 2 табл., 7 рис. – Библиогр.: с. 17-18 (56 назв.). – ISSN 0042-1294. – Имеется электронная версия. – URL: <https://ufn.ru/ru/articles/1979/1/a> (дата обращения: 08.09.2021). – Режим доступа: свободный.

НОБЕЛЕВСКИЕ ЛЕКЦИИ ПО ФИЗИКЕ 1977 ГОДА

538.14

КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА – КЛЮЧ К ПОНИМАНИЮ МАГНЕТИЗМА,*)

Дж. Ван-Флек

О существовании веществ с магнитными свойствами было известно уже со времен почти доисторических, однако только в XX веке стало ясно, как и почему химический состав и кристаллическая структура оказывают влияние на магнитную восприимчивость. Пионерские работы Эрстеда, Ампера, Фарадея и Джозефа Генри выявили в XIX веке тесную взаимосвязь между электричеством и магнетизмом. Классические уравнения электромагнитного поля, полученные Максвеллом, проложили путь для беспроводного телеграфа и радио. В начале нынешнего века вторая Нобелевская премия по физике была присуждена Зеemannу и Лоренцу, соответственно, за открытие и объяснение в рамках классической теории так называемого нормального эффекта Зеемана. Полуэмпирические теории Ланжевена и Вейсса представляют собой другую примечательную раннюю попытку описать магнетизм на атомном уровне. Ланжевен¹ в 1905 г. предположил специально для описания парамагнетизма, что магнитный момент, которым обладает атом или молекула, имеет постоянное значение, и его распределение в пространстве определяется бoльцмановским законом. То, что такая изящная в своей простоте идея не пришла в голову никому-нибудь физика раньше, кажется сегодня почти неправдоподобным, тем более, что Больдман разработал свою знаменитую статистическую теорию за четверть века до этого. Согласно модели Ланжевена средняя намагниченность, даваемая N элементарными магнитными диполями величины μ в поле H , определяется выражением

$$M = \frac{N\mu \int \int \cos \theta e^{\mu H \cos \theta / kT} d\omega}{\int \int e^{\mu H \cos \theta / kT} d\omega} = NL \left(\frac{\mu H}{kT} \right), \quad (1)$$

где $L(x) = \text{cth}(x) - (1/x)$. При обычных температурах и напряженностях поля можно считать, что аргумент x функции Ланжевена мал по сравнению с единицей. Тогда $L(x) = x/3$, и равенство (1) сводится к условию

$$M = N \cdot \frac{\mu^2}{3kT} H. \quad (2)$$

При этом магнитная восприимчивость χ обратно пропорциональна температуре; именно это соотношение десятью годами ранее было экспери-

*1) Van Vleck J. H. Quantum Mechanics. The Key to Understanding Magnetism: Nobel Lecture. 8 December 1977. — Перевод К. И. Кугеля.

© The Nobel Foundation 1978.
Перевод на русский язык,
Гибридная редакция Физико-математической
литературы издательства «Наука».
«Успехи физических наук», 1979.

Успехи физических наук



Журнал основан в 1918 г.

2008 декабрь
том 178

№ 12

Нанотехнологии позволяют изготовить чувствительные считывающие головки для компактных жёстких дисков. – DOI: 10.3367/UFN.0178.200812e.1335. – Текст : непосредственный // Успехи физических наук. – 2008. – Т. 178, № 12. – С. 1335. – Имеется электронная версия печатной публикации. – URL: <https://ufn.ru/ru/articles/2008/12/e> (дата обращения: 10.02.2021). – Режим доступа: свободный. – ISSN 0042-1294.

декабрь 2008 г.

Том 178, № 12

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

НОБЕЛЕВСКИЕ ЛЕКЦИИ ПО ФИЗИКЕ — 2007

Нанотехнологии позволяют изготовить чувствительные считывающие головки для компактных жестких дисков

PACS number: 01.10.Fv

DOI: 10.3367/UFN.0178.200812e.1335

9 октября 2007 г. по решению Шведской Королевской академии наук Нобелевская премия по физике за 2007 г. была присуждена совместно Альберту Ферту (Albert Fert) (Совместная физическая лаборатория CNRS/Thales, Уинверсетт Париз-Юг, Орсе, Франция) и Петеру Грюнбергу (Peter Grünberg) (Исследовательский центр Юлиха, Германия) за открытие явления гигантского магнетосопротивления.



Альберт Ферт



Петер Грюнберг

В этом году премия по физике присуждена за технологию, которая используется для считывания данных в жестких дисках. Именно благодаря этой технологии стала возможной радикальная миниатюризация жестких дисков, произошедшая в последние годы. Чувствительные считывающие головки необходимы для считывания данных, например, с компактных жестких дисков в портативных компьютерах или некоторых музыкальных проигрывателях.

В 1988 г. француз Альберт Ферт и немец Петер Грюнберг независимо друг от друга открыли совершенно новый физический эффект — гигантское магнетосопротивление (ГМС). Очень слабые изменения магнитных свойств приводят к значительным изменениям электрического сопротивления в ГМС-системах. Системы такого типа — это оптимальный инструмент для считывания данных с жестких дисков, когда магнитная информация должна быть преобразована в электрический ток. Вскоре исследователи и инженеры начали работу по использованию этого эффекта в считывающих головках. В 1997 г. была выпущена первая считывающая головка на основе эффекта ГМС, и вскоре эта технология стала стандартной. Даже самые современные технологии считывания являются дальнейшими разработками ГМС.

Жесткий диск хранит информацию, например музыку, в микроскопических областях, намагниченных в различных направлениях. Информация восстанавливается с помощью считывающей головки, которая сканирует диск и регистрирует изменение намагниченности. Чем меньше и компактней жесткий диск, тем меньше размеры отдельных магнитных областей и меньше величины их магнитных моментов. Следовательно, для более плотной записи информации на жесткий диск требуются более чувствительные считывающие головки. Считывающие головки на основе эффекта ГМС могут преобразовать очень малые изменения намагниченности в изменения электрического сопротивления и, следовательно, в изменения тока на выходе устройства. Ток — это сигнал со считывающей головки, и различные значения силы тока соответствуют единицам и нулям.

Эффект ГМС был открыт благодаря новым технологиям, разработанным в 1970-е годы для изготовления очень тонких пленок различных материалов. Чтобы эффект ГМС заработал, требуются структуры, состоящие из слоев толщиной всего в несколько атомов. По этой причине ГМС может рассматриваться как одно из первых практических применений многообещающей области — нанотехнологии.

Информация Нобелевского комитета
(Перевод с английского)

Дополнительную информацию см. на официальном веб-сайте Нобелевского комитета:
http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2007/index.html

110 028
ПРОБЛЕМЫ 48 р.
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

КНИГА 42

Б. А. ВВЕДЕНСКИЙ и Г. С. ЛАНДСБЕРГСОВРЕМЕННОЕ УЧЕНИЕ
О МАГНЕТИЗМЕ

*

1929

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

110021

Введенский, Б. А. Современное учение о магнетизме / Б. А. Введенский, Г. С. Ландсберг. – Москва ; Ленинград : Государственное Издательство, 1929. – 348 (352) с., 96 рис. – Библиогр. в сносках. – Текст : непосредственный.

1 р. 50 к., пер. 25 к.

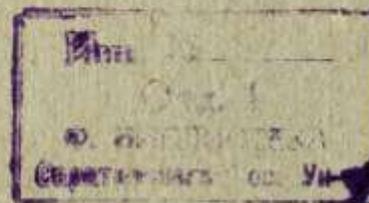
135542

НОВЕЙШИЕ ТЕЧЕНИЯ
НАУЧНОЙ МЫСЛИ

2

ЭДМ. СТОНЕР

МАГНЕТИЗМ

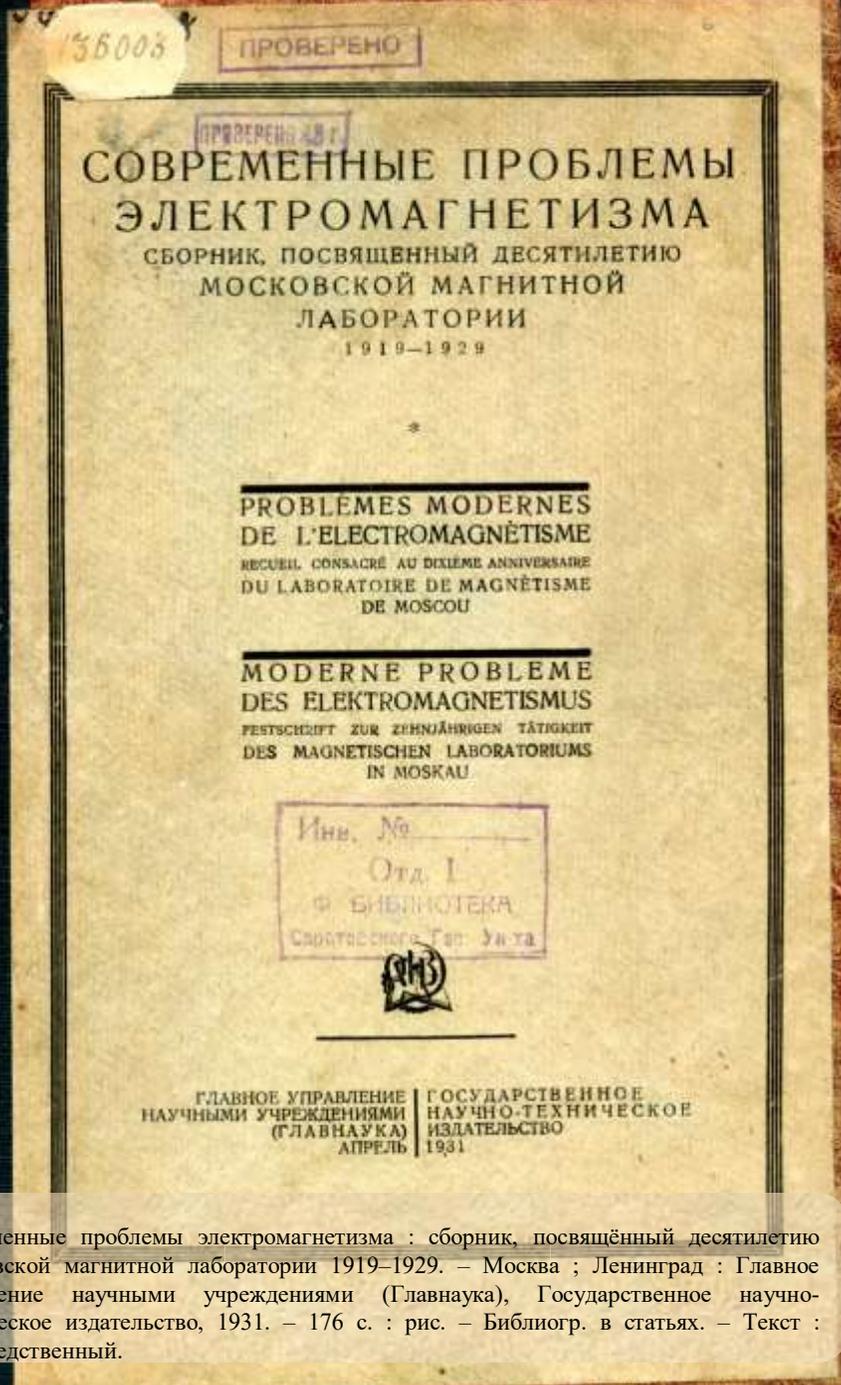


1932

ГОСУДАРСТВЕННОЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО

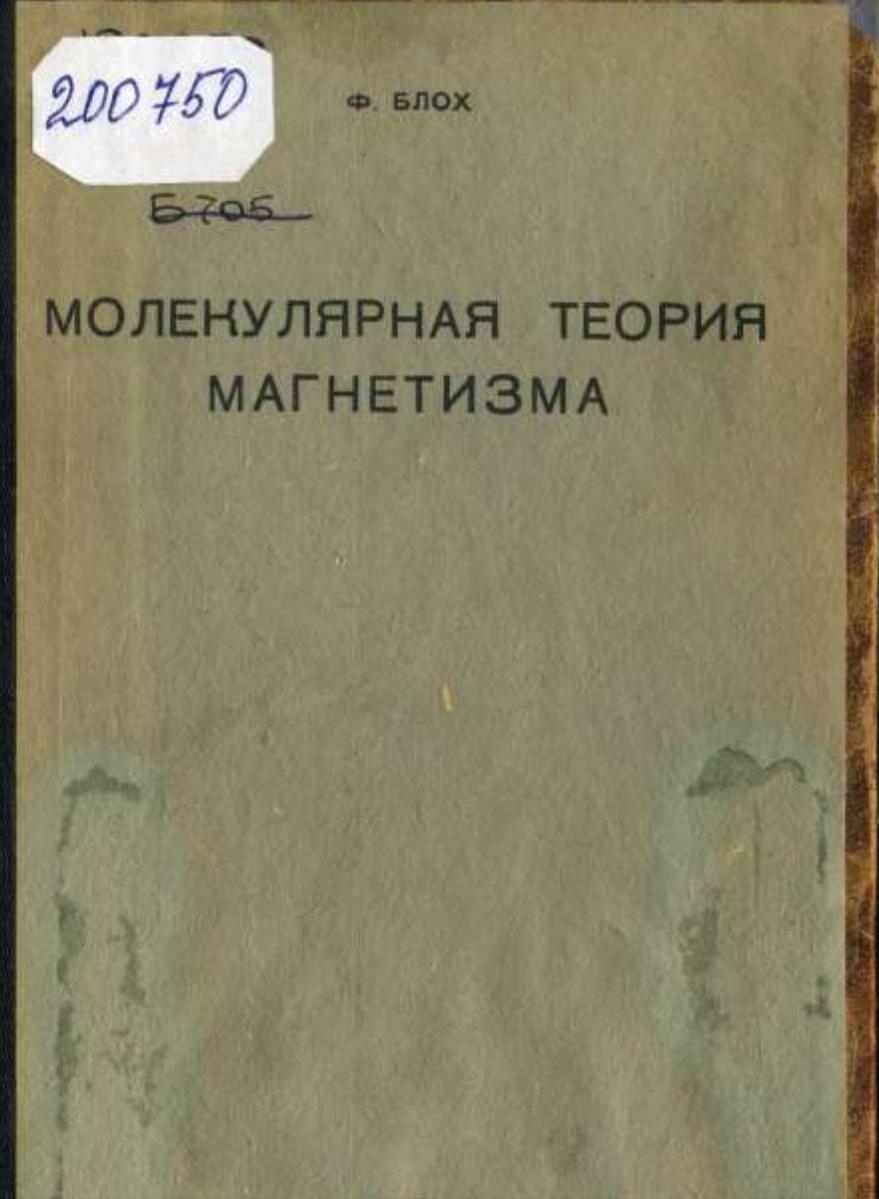
135542

Сонер, Э. Магнетизм = Magnetism / Э. Сонер ; перевод с английского К. В. Григорова, И. К. Кикоина под редакцией Я. Г. Дорфмана. – Москва ; Ленинград : Государственное научно-техническое издательство, 1932. – 176 с. : 20 рис. – Библиогр. в сносках. – Текст : непосредственный.



136003

Современные проблемы электромагнетизма : сборник, посвящённый десятилетию Московской магнитной лаборатории 1919-1929. – Москва ; Ленинград : Главное управление научными учреждениями (Главнаука), Государственное научно-техническое издательство, 1931. – 176 с. : рис. – Библиогр. в статьях. – Текст : непосредственный.



200750

Блох, Ф. Молекулярная теория магнетизма = Molekulartheorie des Magnetismus / Ф. Блох ; перевод с немецкого Б. И. Давыдова. – Москва ; Ленинград : ОНТИ, Главная редакция общетехнической литературы, 1936. –127,[8]с. :7 рис. – Библиогр. в сносках. – Текст : непосредственный.

180476
6В. К. АРКАДЬЕВЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ
ПРОЦЕССЫ
В МЕТАЛЛАХ

ЧАСТЬ I

ПОСТОЯННОЕ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ
И МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

НКТП СССР

ОБЪЕДИНЕННОЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ

ИЗДАТЕЛЬСТВО

180476

Аркадьев, В. К. Электромагнитные процессы в металлах. Часть I : Постоянное электрическое и магнитное поле / В. К. Аркадьев. – Москва ; Ленинград : ОНТИ, Главная редакция энергетической литературы, 1935. – 230, [2] с. : 218 рис. – Библиогр. в сносках. – Текст : непосредственный.

180476

В. К. АРКАДЬЕВ53
A82ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ
ПРОЦЕССЫ
В МЕТАЛЛАХ

ЧАСТЬ II

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ
ПОЛЕ

180476

Аркадьев, В. К. Электромагнитные процессы в металлах. Часть II : Электромагнитное поле. Применение теории Максвелла к рациональному использованию металлов в электротехнике / В. К. Аркадьев. – Москва ; Ленинград : ОНТИ, Главная редакция энергетической литературы, 1936. – 304 с. : 210 рис. – Библиогр. в сносках. – Текст : непосредственный.

286658

Н. С. АКУЛОВ

ФЕРРОМАГНЕТИЗМ

1939

286658

Акулов, Н. С. Ферромагнетизм / Н. С. Акулов. – Москва ; Ленинград : Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1939. – 188 с. : 60 рис. – Библиогр. (в сносках). – Текст : непосредственный.

273286

В. КЛЕММ

МАГНЕТОХИМИЯ

ГОСХИМИЗДАТ • 1939

273286

Клемм, В. Магнетохимия = Magnetochemie / В. Клемм ; перевод с немецкого М. Ф. Мамотенко под редакцией Н. С. Акулова. – Москва : Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1939. – 234 с. : 104 рис. – Библиогр. в сносках. – Текст : непосредственный.

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

267590

И. В. АНТИК, Е. И. КОНДОРСКИЙ,
Е. П. ОСТРОВСКИЙ, Б. А. САДИКОВ

МАГНИТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

267590

Магнитные измерения / И. В. Антик, Е. И. Кондорский, Е. П. Островский, Б. А. Садиков ; под редакцией В. К. Аркадьева. – Москва ; Ленинград : Государственное объединённое научно-техническое издательство НКТП СССР, Редакция технико-теоретической литературы, 1939. – 192 с. : 143 рис. – Библиогр.: с. 189-192 (по главам). – Текст : непосредственный.

296949

ПРОБЛЕМЫ

АКАДЕМИИ НАУК СОЮЗА ССР
ОТДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУКПРОБЛЕМЫ
ФЕРРОМАГНЕТИЗМА
И
МАГНЕТОДИНАМИКИ

296949

Проблемы ферромагнетизма и магнетодинамики / под редакцией В. К. Аркадьева. – Москва ; Ленинград : Издательство Академии Наук СССР, 1946. – 176с. : рис. – Библиогр. в статьях. – Текст : непосредственный.

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА 1946 ЛЕНИНГРАД

392824

С. В. ВОНСОВСКИЙ
Я. С. ШУР

ФЕРРОМАГНЕТИЗМ

A851675, A856831

Гуревич, А. Г. Магнитные колебания и волны / А. Г. Гуревич, Г. А. Мелков. – Москва : Физматлит : Наука, 1994. – 464 с. : 17 табл., 240 рис. – Библиогр.: с. 448-459 (466 назв.). – ISBN 5-02-014366-9. – Текст : непосредственный. Излагаются.

419347

Я. Сноек

ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ НОВЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

A227001, A227002, A582720-A582723

Гуревич, А. Г. Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках / А. Г. Гуревич. – Москва : Главная редакция физико-математической литературы : Наука, 1973. – 592 с. : 8 табл., 29 рис. – Библиогр.: 574-591 (573 назв.) – Текст : непосредственный. Книга представляет собой

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

421654

К. Гортер

ПАРАМАГНИТНАЯ
РЕЛАКСАЦИЯ

421654

Гортер, К. Парамагнитная релаксация = Paramagnetic Relaxation / К. Гортер: перевод с английского С. В. Тябликова под редакцией С. А. Альтшулера и Е. М. Козырева. – Москва : Издательство иностранной литературы, 1949. – 144 с. : 25 рис. – Библиогр. в конце глав. – Текст : непосредственный.

440294

Физика ферромагнитных областей : сборник статей / переводы с английского и французского Л. А. Шубиной под редакцией С. В. Вонсовского / Москва : Издательство иностранной литературы, 1951. – 324 с. : рис. – Библиогр. в статьях. – Текст : непосредственный.

ФИЗИКА
ФЕРРОМАГНИТНЫХ
ОБЛАСТЕЙ

сборник статей

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

408901

408901

Ферромагнитный резонанс и поведение ферромагнетиков в переменных магнитных полях : сборник статей / перевод Л. А. Шубиной ; под редакцией С. В. Вонсовского. – Москва : Издательство иностранной литературы, 1952. – 350 с. : рис. – Библиогр. в статьях. – Текст : непосредственный.

ФЕРРОМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС

Сборник статей

К
Н
И
Г
И

492108

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ

2.2.6482

С.В. Вонсовский

СОВРЕМЕННОЕ УЧЕНИЕ О МАГНЕТИЗМЕ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
1953

492108

Вонсовский, С. В. Современное учение о магнетизме / С. В. Вонсовский. – Москва : Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1953. – 440 с. : 119 рис. – Библиогр. с. 423-440 (569 назв.). – (Современные проблемы естествознания. Книга 42). – Текст : непосредственный.

К
Н
И
Г
И

823217

Я. Г. ДОРФМАН

МАГНИТНЫЕ
СВОЙСТВА
И СТРОЕНИЕ
ВЕЩЕСТВА

823217

Дорфман, Я. Г. Магнитные свойства и строение вещества / Я. Г. Дорфман. – Москва : ГИТТЛ, 1955. – 376 с. : 169 рис. – Библиогр. с. 368-376 (445 назв.). – Текст : непосредственный.

606030

АНТИФЕРРОМАГНЕТИЗМ

606030

Антиферромагнетизм : сборник статей / перевод Л. А. Шубиной ; под редакцией С. В. Вонсовского. – Москва : Издательство иностранной литературы, 1956. – 488 с. : рис. – Библиогр. в статьях. – Текст : непосредственный.

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

527335

Р. Бозорт

ФЕРРОМАГНЕТИЗМ

527335

Бозорт, Р. Ферромагнетизм = Ferromagnetism / Р. Бозорт ; перевод с английского под редакцией Е. И. Кондорского, Б. Г. Лившица. – Москва : Издательство Иностранной Литературы, 1956. – 784 с. : 825 рис. – Библиогр.: с. 700-758 (1777 назв.). – Текст : непосредственный.

618874

К. П. БЕЛОВ
—1—
УПРУГИЕ, ТЕПЛОВЫЕ
И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ
ЯВЛЕНИЯ
В ФЕРРОМАГНЕТИКАХ

618874

Белов, К. П. Упругие, тепловые и электрические явления в ферромагнетиках / К. П. Белов. – Издание второе, дополненное. – Москва : Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1957. – 280 с. : 162 рис. – Библиогр. в конце глав. – (Физико-математическая библиотека инженера). – Текст : непосредственный.

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

601918

К. М. ПОЛИВАНОВ

ФЕРРОМАГНЕТИКИ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ • 1957

601918

Поливанов, К. М. Ферромагнетики. Основы теории технического применения / К. М. Поливанов. – Москва ; Ленинград : Государственное энергетическое издательство, 1957. – 256 с. : 185 рис. – Библиогр. по главам. – Текст : непосредственный.

606128

МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

Том I

А. С. ЗАЙМОВСКИЙ и Л. А. ЧУДНОВСКАЯ

МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

606128

Займовский, А. С. Магнитные материалы / А. С. Займовский, Л. А. Чудновская. – Москва ; Ленинград : Государственное Энергетическое Издательство, 1957. – 224 с. : 62 табл., 271 рис. – Библиогр. (по главам). – (Металлы и сплавы в электротехнике. Том I). – Текст : непосредственный.

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

629583

П. СЕЛВУД

МАГНЕТОХИМИЯ

629583

Селвуд, П. Магнетохимия = Magnetochemistry / П. Селвуд ; перевод с английского А. Б. Нейдинга. – Москва : Издательство иностранной литературы, 1958. – 458 (460) с. : 148 рис. – Библиогр. в конце глав. – Текст : непосредственный.

641318

МАГНИТНАЯ СТРУКТУРА ФЕРРОМАГНЕТИКОВ

641318

Магнитная структура ферромагнетиков : сборник статей / перевод Л. А. Шубиной под редакцией С. В. Вонсовского. – Москва : Издательство иностранной литературы, 1959. – 515 с. : рис. – Библиогр. в конце статей. – Текст : непосредственный.

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

648052

К. П. БЕЛОВ

МАГНИТНЫЕ
ПРЕВРАЩЕНИЯ

648052

Белов, К. П. Магнитные превращения / К. П. Белов. – Москва : Государственное
Издательство физико-математической литературы, 1959. – 260 с. : 145 рис. –
Библиогр.: с. 252-259 (244 назв.). – Текст : непосредственный.

712388

ФЕРРИТЫ

712388

Ферриты. Физические и физико-химические свойства / ответственный редактор Н. Н.
Сирота. – Минск : Издательство Академии наук БССР, 1960. – 656 с. : рис. –
Библиогр. в статьях. – Текст : непосредственный.

МИНСК · 1960

730000 -

НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО МАГНЕТИЗМУ АН СССР
КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В. И. УЛЬЯНОВА-ЛЕНИНА
КАЗАНСКИЙ ФИЛИАЛ АН СССР

ПАРАМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС

Доклады на совещании
по парамагнитному резонансу

ИЗДАТЕЛЬСТВО
КАЗАНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
1960

730000

Парамагнитный резонанс : доклады на совещании по парамагнитному резонансу (Казань, 1-5 июня 1959 г.). – Казань : Издательство Казанского Университета, 1960. – 211 с. : рис. – Библиогр. в статьях. – Текст : непосредственный.

710857

Л. И. РАБКИН
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА И РЕДАКЦИЯ

Л. И. РАБКИН — ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ФЕРРОМАГНЕТИКИ

710174

Рабкин, Л. И. Высокочастотные ферромагнетики / Л. И. Рабкин. – Москва : Государственное издательство физико-математической литературы, 1960. – 528 с. : 318 рис. – Библиогр.: с. 513-525 (425 назв.). – Текст : непосредственный.

ФИЗМАТГИЗ • 1960

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

784259

СОВРЕМЕННЫЕ
ПРОБЛЕМЫ
ФИЗИКИ

Я. Г. ДОРФМАН

784259

Дорфман, Я. Г. Диализмагнетизм и химическая связь / Я. Г. Дорфман. – Москва : Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. – 232 с. : 38 рис. – Библиогр. 228-231 (127 назв.). – (Современные Проблемы Физики). – Текст : непосредственный.

ДИАЗМАГНЕТИЗМ
И ХИМИЧЕСКАЯ
СВЯЗЬ

716115

ФЕРРИТЫ
В НЕЛИНЕЙНЫХ
СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫХ
УСТРОЙСТВАХ

716115

Ферриты в нелинейных сверхвысокоочастотных устройствах : сборник статей / перевод с английского под редакцией А. Г. Гуревича. – Москва : Издательство иностранной литературы, 1961. – 636 с. : рис. – Библиогр. в статьях. – Текст : непосредственный.

729223

СОВРЕМЕННЫЕ
ПРОБЛЕМЫ
ФИЗИКИ

Φ ЕРРОМАГНИТНЫЙ
РЕЗОНАНС

729223

Ферромагнитный резонанс. Явление резонансного поглощения высокочастотного электро магнитного поля в ферромагнитных веществах / под редакцией С. В. Вонсовского. – Москва : Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. – 344 с. : рис. – Библиогр. в статьях. – (Современные проблемы физики). – Текст : непосредственный.

538
792952

Л. И. РАБКИН С. А. СОСКИН Б. Ш. ЭПШТЕЙН

 ТЕХНОЛОГИЯ
ФЕРРИТОВ

792952

Рабкин, Л. И. Технология ферритов / Л. И. Рабкин, С. А. Соскин, Б. Ш. Эпштейн. – Москва ; Ленинград : Государственное энергетическое издательство, 1962. – 360 с. : 227 рис. – Библиогр.: с. 347-359 (по главам). – Текст : непосредственный.

Госэнергиздат

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

781694
?

ИТОГИ НАУКИ

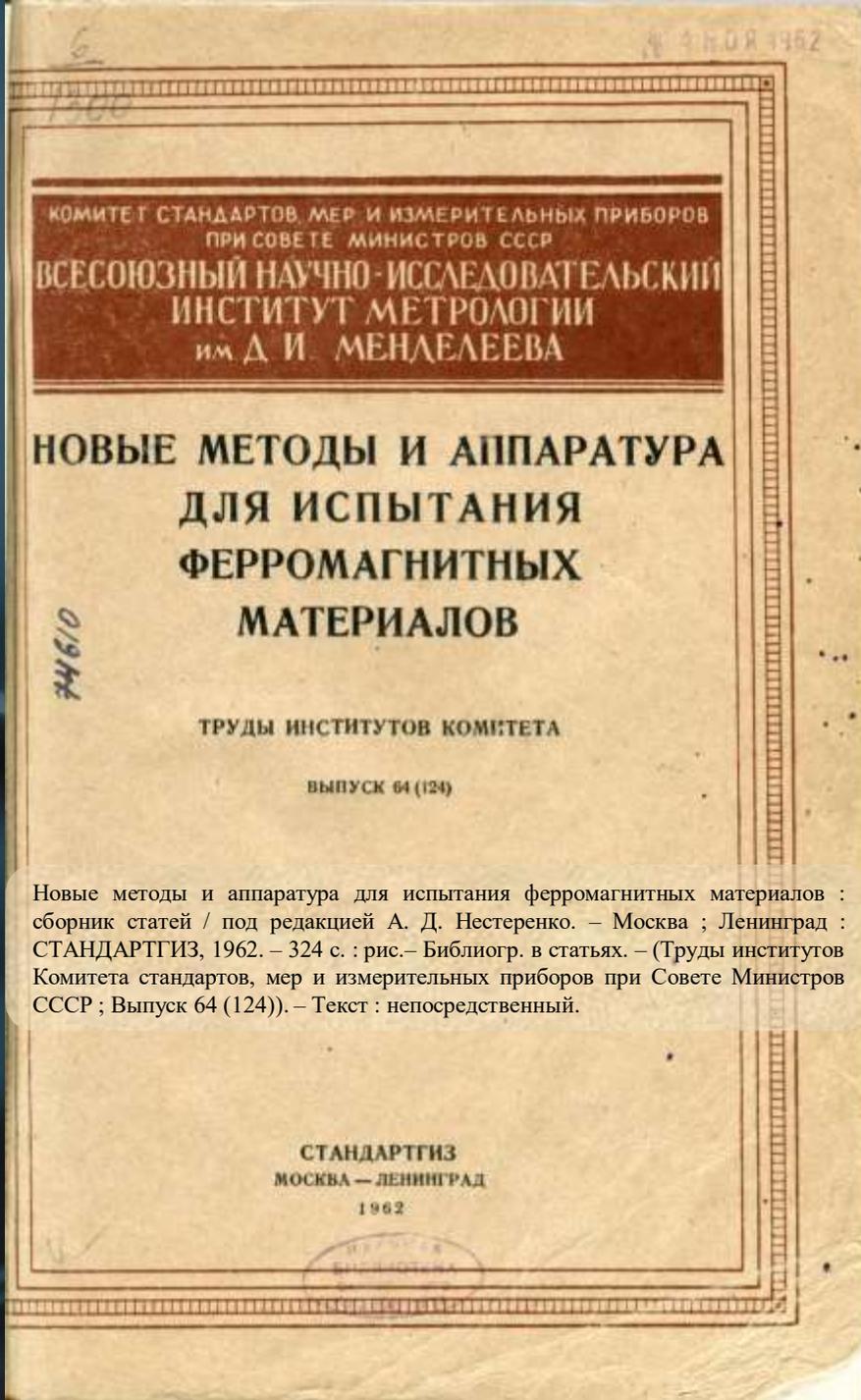
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ
НАУКИ

4

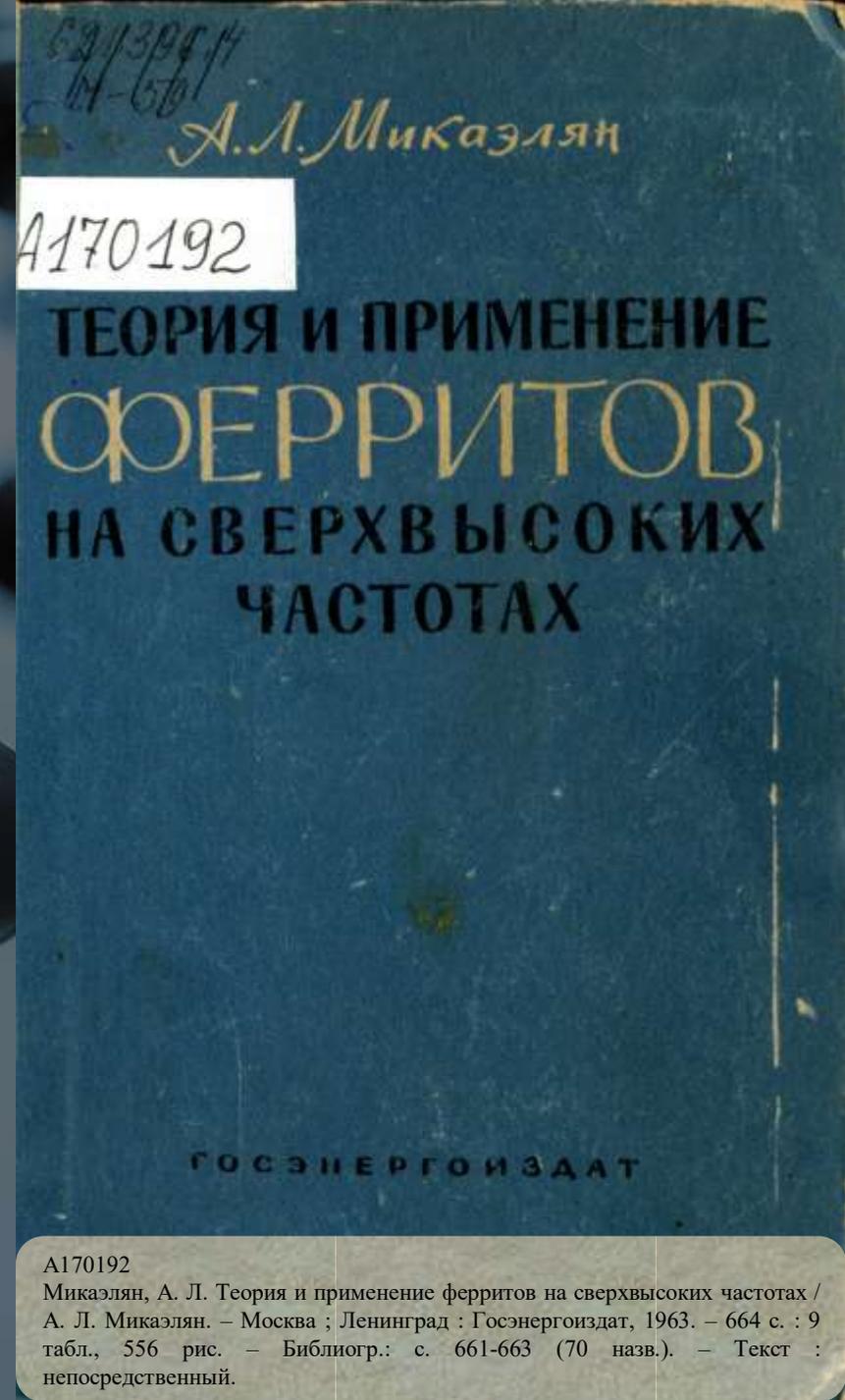
АНТИФЕРРОМАГНЕТИЗМ
И ФЕРРИТЫ

781694

Антиферромагнетизм и ферриты / ответственный редактор Я. Г. Дорфман. – Москва : Издательство Академии Наук СССР, 1962. – 216 с. : 118 рис. – Библиогр. 276 + 303 (после каждой части). – (Итоги науки. Физико-математические науки, Вып. 4). – Текст : непосредственный.



Новые методы и аппаратура для испытания ферромагнитных материалов : сборник статей / под редакцией А. Д. Нестеренко. — Москва ; Ленинград : СТАНДАРТГИЗ, 1962. — 324 с. : рис.— Библиогр. в статьях. — (Труды институтов Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР ; Выпуск 64 (124)). — Текст : непосредственный.



A170192

Микаэлян, А. Л. Теория и применение ферритов на сверхвысоких частотах / А. Л. Микаэлян. — Москва ; Ленинград : Госэнергоиздат, 1963. — 664 с. : 9 табл., 556 рис. — Библиогр.: с. 661-663 (70 назв.). — Текст : непосредственный.

822649

Нелинейные
свойства ферритов
в полях с.в.ч.

822649, 825516, 826509

Нелинейные свойства ферритов в полях с. в. ч. / перевод с английского В. Я. Антоньянца [и др.] ; под редакцией А. Л. Микаэляна. – Москва : Издательство иностранной литературы, 1963. – 256 с. : рис. – Библиогр. в статьях. – Текст : непосредственный.

621.385
Ф-43
822418

822418

Ферриты и бесконтактные элементы / ответственный редактор Н. Н. Сирота. – Минск : Издательство Академии Наук БССР, 1963. – 420 с. : рис. – Библиогр. в статьях. – Текст : непосредственный.



ФЕРРИТЫ
И
БЕСКОНТАКТНЫЕ
ЭЛЕМЕНТЫ

621.3
M-12
830912

МАГНИТНЫЕ и ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ
Г. В. КАТЦА

830912, 834602

Магнитные и диэлектрические приборы = Solid State Magnetic and Dielectric Devices. В двух частях. Часть 1 : перевод с английского / под редакцией Г. В. Катца. – Москва ; Ленинград : Энергия, 1964. – 416 с. : 252 рис. – Библиогр.: с. 399-410 (по главам). – Текст : непосредственный.

836285

МАГНИТНЫЕ и ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ
Г. В. КАТЦА

834506, 836285

Магнитные и диэлектрические приборы = Solid State Magnetic and Dielectric Devices. В двух частях. Часть 2 : перевод с английского под редакцией Г. В. Катца. – Москва ; Ленинград : Энергия, 1964. – 200 с. : 124 рис. – Библиогр.: с. 186-197(по главам). – Текст : непосредственный.

832961

Ю. СИТИДЗЕ
Х. САТО

ФЕРРИТЫ

832961

Ситидзе, Ю. Ферриты / Ю. Ситидзе, Х. Саго ; перевод с японского Л. М. Голдина, В. М. Багирова под редакцией И. И. Петрова. – Москва : Мир, 1964. – 408с. : 38 табл., 239 рис. – Библиогр. в конце каждой части. – Текст : непосредственный.

829195

З. ФАКТОР
Л. ГРОУДНЫЙ
И. СТАРЫЙ
З. ТИШЕР

МАГНИТНО-МЯГКИЕ МАТЕРИАЛЫ

829195

Магнитномягкие материалы в технике связи = Magneticky měkké materiály ve sdělovací technice : перевод с чешского / З. Фактор, Л. Грудный, И. Старый, З. Тишер. – Москва ; Ленинград : Энергия, 1964. – 312 с. : 125 рис. – Библиогр.: с. 311-312 (45 назв.). – Текст : непосредственный.

Издательство
«ЭНЕРГИЯ»

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

848191

848191

Преображенский, А. А. Магнитные материалы / А. А. Преображенский. – Москва: Высшая школа, 1965. – 235 с. : 35 табл., 107 рис. – Библиогр.: с. 230-232 (49 + 13 назв.). – Текст : непосредственный.

МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

К
Н
И
Г
И

956544

956544



СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ
ФЕРРИТЫ И
ФЕРРИМАГНЕТИКИ

956544

Лакс, Б. СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ФЕРРИТЫ И ФЕРРИМАГНЕТИКИ = Microwave Ferrites and Ferrimagnetics / Б. Лакс, К. Баттон ; перевод с английского под редакцией А. Г. Гуревича. – Москва : Мир, 1965. – 675 с. : 27 табл., 456 рис. – Библиогр.: с. 7 (22 назв.). – Текст : непосредственный.

К
Н
И
Г
И



999158

Шольц, Н. Н. Ферриты для радиочастот / Н. Н. Шольц, К. А. Пискарев. – Москва ; Ленинград : Энергия, 1964. – 259 с. : 47 табл., 162 рис. – Библиогр. с. 253-255 (85 назв.). – Текст : непосредственный.

Н. Н. ШОЛЬЦ, К. А. ПИСКАРЕВ
ФЕРРИТЫ ДЛЯ РАДИОЧАСТОТ

А 15706.

А11670, А15705, А15706

Третьяков, Ю. Д. Термодинамика ферритов / Ю. Д. Третьяков. – Ленинград : Химия, Ленинградское отделение, 1967. – 304 с. : 137 рис. – Библиогр. в конце глав. – Текст : непосредственный.

ТЕРМОДИНАМИКА ФЕРРИТОВ

Ю. Д. Третьяков

ХИМИЯ • 1967

Magnetismus

Struktur und Eigenschaften magnetischer Festkörper

538

877707
М.П.



877707

Magnetismus. Struktur und Eigenschaften magnetischer Festkörper. Vorträge, gehalten auf der Internationalen Konferenz Magnetismus, 5. Gemeinschaftskonferenz der Reihe «Metall» vom 13. bis 15. Oktober 1966 in Dresden. – Leipzig : VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1967. – 276 S. : 38 Tabel., 195 Bild. – Bibliogr. в статьях. – Текст : непосредственный.

538
М-34
А 16333

Д. МАТТИС

Теория магнетизма

A16333

Маттис, Д. Теория магнетизма. Введение в изучение кооперативных явлений = The Theory of Magnetism. An Introduction to the Study of Cooperative Phenomena / Д. Маттис; перевод с английского под редакцией И. М. Лифшица, М. И. Каганова. – Москва : Мир, 1967. – 408 с. : 38 рис. – Библиогр. с. 390-398 (+ в конце глав). – Текст : непосредственный.

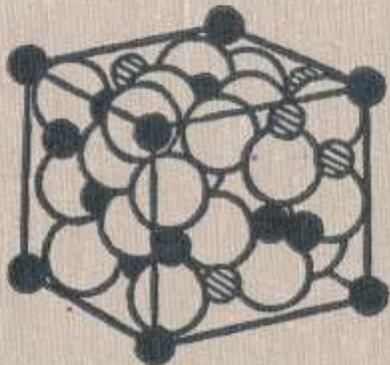
К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

A 58227

A47635, A52533, A52534, A57454, A58226, A58227

Рабкин, Л. И. Ферриты. Структура, свойства, технология производства / Л. И. Рабкин, С. А. Соскин, Б. Ш. Эпштейн. – Ленинград : Энергия, Ленинградское отделение, 1968. – 384 с. : 217 рис. – Библиогр.: с. 360-378 (по главам). – Текст : непосредственный.



Л. И. РАБКИН, С. А. СОСКИН, Б. Ш. ЭПШТЕЙН

ФЕРРИТЫ

Дж. Сمارт

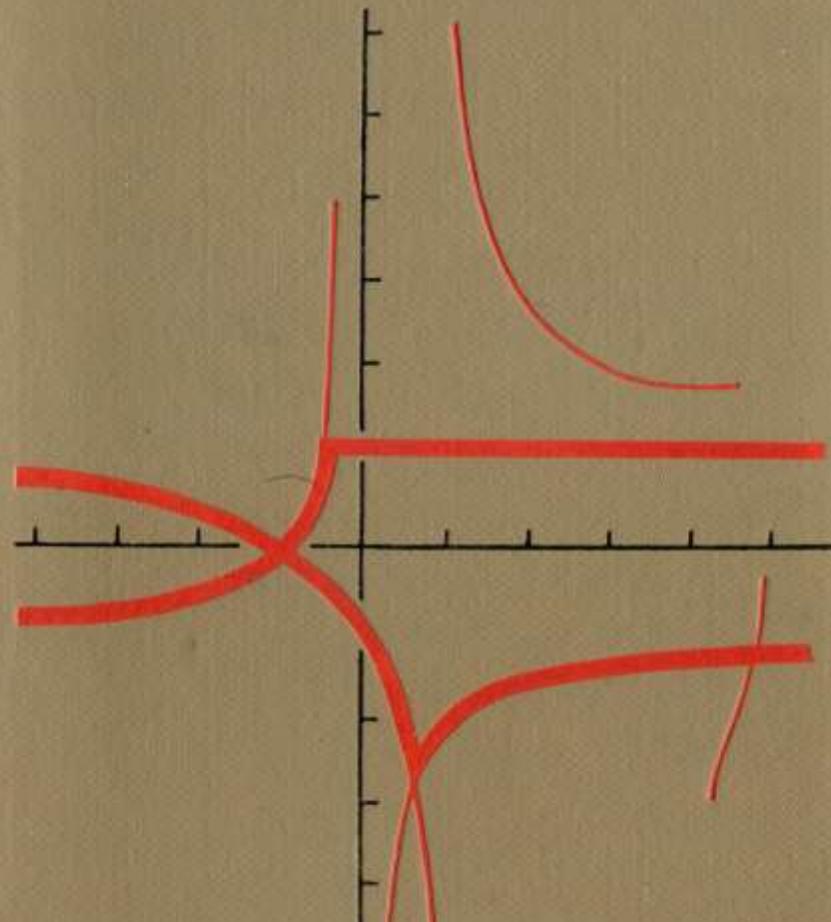
ЭФФЕКТИВНОЕ

ПОЛЕ

В ТЕОРИИ

МАГНЕТИЗМА

A 63774



A63774

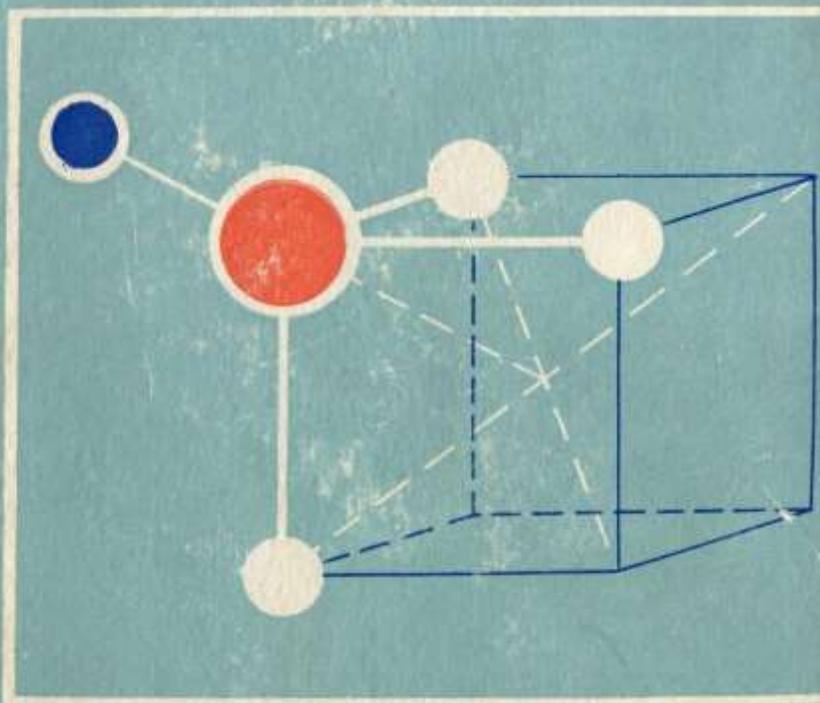
Смарт, Дж. Эффективное поле в теории магнетизма = Effective Field Theories Of Magnetism / Дж. Смарт ; перевод с английского В. Т. Хозяинова под редакцией С. В. Тябликова. – Москва : Мир, 1968. – 272 с. :40 +9 рис. – Библиогр.: с.159-162 (144 назв.). –Библиогр.: 265-268 (148 назв.). – Текст : непосредственный.

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

А 60121 -

Ферриты



А60121

Ферриты / ответственный редактор Н. Н. Сирота. – Минск : Наука и техника, 1968. – 516 с. : рис. – Библиогр. в статьях. – Текст : непосредственный.

А62155



СПРАВОЧНИК

А62155

Ферриты и магнитоэлектрики : справочник / под общей редакцией Н. Д. Горбунова, Г. А. Матвеева. – Москва : Советское радио, 1968. – 176 с. : 73 табл., 81 рис. – Библиогр.: с. 173 (22 назв.). – Текст : непосредственный.

ферриты

и магнито-

диэлектрики

А 67548

Е. А. ТУРОВ
М. П. ПЕТРОВ

A67548

Туров, Е. А. Ядерный магнитный резонанс в ферро- и антиферромагнетиках / Е. А. Туров, М. П. Петров. – Москва : Наука, 1969. – 260 с. : 26рис. – Библиогр.: с. 248-260 (356 назв.). – Текст : непосредственный.

ЯДЕРНЫЙ
МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС
В ФЕРРО -
И АНТИФЕРРО -
МАГНЕТИКАХ

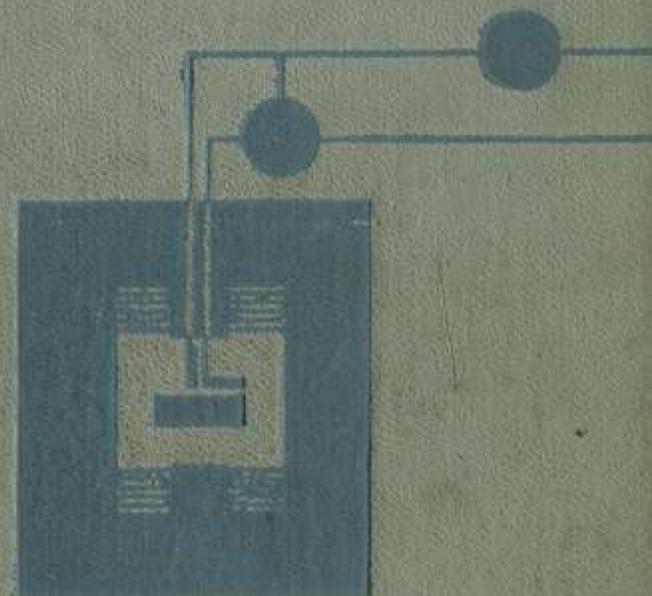


A A96582

Н. Е. ФЕВРАЛЁВА

**МАГНИТНО-
ТВЕРДЫЕ
МАТЕРИАЛЫ
И ПОСТОЯННЫЕ
МАГНИТЫ**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ХАРАКТЕРИСТИК



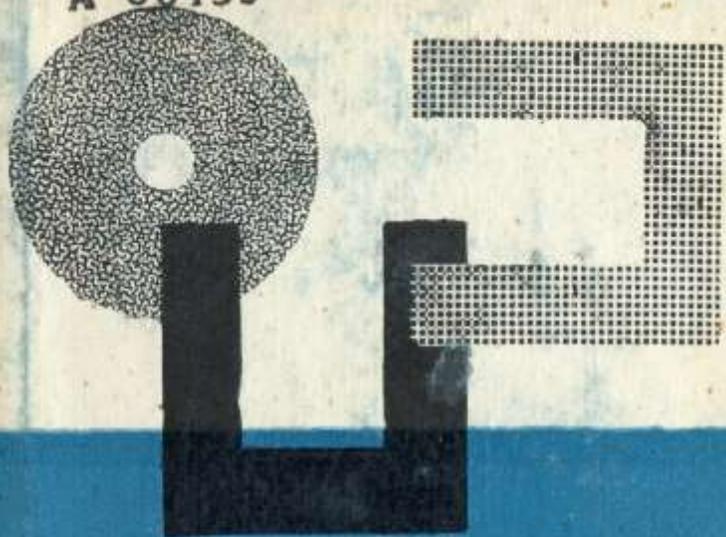
A96582

Февралёва, Н. Е. Магнитотвёрдые материалы и постоянные магниты : определение характеристик : справочник / Н. Е. Февралёва. – Киев : Наукова думка, 1969. – 232 с. : 10 табл., 148 рис. – Библиогр.: с. 223-230 (159 назв.). – Текст : непосредственный.

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

А 86435



Ферритовые
параметроны
и терморезисторы
в бесконтактных
переключающих
схемах

А86435

Богданов, Г. Б. Ферритовые параметроны и терморезисторы в бесконтактных переключающих схемах / Г. Б. Богданов, П. А. Сависько, В. В. Зотов. – Москва : Советское радио, 1970. – 272 стр. : 21 табл., 134 рис. – Библиогр.: с. 261-265 (103 назв.). – Текст : непосредственный.

538
Ж - 91
А 88624

Г. И. ЖУРАВЛЕВ

Химия
и технология
ФЕРРИТОВ



А88624

Журавлев, Г. И. Химия и технология ферритов / Г. И. Журавлев. – Ленинград : Химия, 1970. – 192 с. : 38 табл., 107 рис. – Библиогр. в конце глав. – Текст : непосредственный.

А 97855 -



В.А. ЗЛОБИН, В.А. АНДРЕЕВ, Ю.С. ЗВОРОНО

ФЕРРИТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

А97855

Злобин, В. А. Ферритовые материалы / В. А. Злобин, В. А. Андреев, Ю. С. Зворно.
– Ленинград : Энергия, 1970. – 112 с. : 14 табл., 77 рис. – Библиогр.: с. 104-108 (86
назв.). – Текст : непосредственный.

А 86345

А86345, А87158, А87159

Изюмов, Ю. А. Теория магнитоупорядоченных кристаллов с примесями :
монография / Ю. А. Изюмов, М. В. Медведев. – Москва : Наука, Главная
редакция физико-математической литературы, 1970. – 272с. : 3 табл., 31 рис. –
Библиогр. с. 270-571 (66 назв.). – Текст : непосредственный.

ТЕОРИЯ МАГНИТО – УПОРЯДОЧЕННЫХ КРИСТАЛЛОВ С ПРИМЕСЯМИ

Ю. А. ИЗЮМОВ, М. В. МЕДВЕДЕВ



К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

537

А73577

С. В. В О Н С О В С К И Й

МАГНЕТИЗМ

А73577

Вонсовский, С. В. Магнетизм. Магнитные свойства диа-, пара-, ферро-, антиферро-, и ферримагнетиков : монография / С. В. Вонсовский. – Москва : Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1971. – 1032 с. : 57 табл., 446 рис. – Библиогр.: с. 1020-1032 (7000 назв.). – Текст : непосредственный.

А113233

МАГНИТНЫЕ И КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФЕРРИТОВ



А113233

Магнитные и кристаллохимические исследования ферритов : сборник статей / под редакцией К. П. Белова и Ю. Д. Третьякова. – Москва : Издательство Московского университета, 1971. – 271 с. : табл., рис. – Библиогр. в статьях. – Текст : непосредственный.

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

1971
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР
МОСКОВСКИЙ ордена ЛЕНИНА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

27 АВГ 1971

Т Р У Д Ы
МОСКОВСКОГО ордена ЛЕНИНА
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

МЕТОДЫ И АППАРАТУРА
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Выпуск 79

Москва

1971

Методы и аппаратура для исследования магнитных материалов / редакторы : А. И. Пирогов, А. Я. Шихин. – Москва : МЭИ [издание], 1971. –160 с. : рис.– Библиогр. в статьях. – (Труды Московского ордена Ленина Энергетического Института ; Выпуск 79). – Текст : непосредственный.

27 АВГ 1971

СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ МЕТРОЛОГИИ

6
3215

Т Р У Д Ы

В Ы П У С К 12

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ
ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛОВ
НА ВЫСОКИХ И СВЕРХВЫСОКИХ
ЧАСТОТАХ

Измерение электромагнитных параметров материалов на высоких и сверхвысоких частотах / редактор Р. Л. Дудник. – Новосибирск : Сибирский государственный научно-исследовательский институт метрологии [издание], 1971. – 172 с. : рис. – Библиогр. в статьях. – (Труды Сибирского государственного научно-исследовательского института метрологии, Выпуск 12). – Текст : непосредственный.

НОВОСИБИРСК ♦ 1971



A170735

К. П. БЕЛОВ

ФЕРРИТЫ
В СИЛЬНЫХ
МАГНИТНЫХ
ПОЛЯХ



A170735

Белов, К. П. Ферриты в сильных магнитных полях / К. П. Белов. – Москва : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1972. – 200 с. : 12 таблиц : 73 рис. – Библиогр.: с. 190-200 (333 назв.). – Текст : непосредственный.

A171069

В. Н. КАЩЕЕВ

A171069

Кащеев, В. Н. Ферромагнетизм при высоких температурах / В. Н. Кащеев. – Рига : Зинатне, 1972. – 163с. – Библиогр.: с. 156-160 (140 назв.). – Текст : непосредственный.

ФЕРРО-
МАГНЕТИЗМ
ПРИ ВЫСОКИХ
ТЕМПЕРАТУРАХ

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

A 582720

МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС В ФЕРРИТАХ И АНТИФЕРРОМАГНЕТИКАХ

А.Г.ГУРЕВИЧ



A227001, A227002, A582720-A582723

Гуревич, А. Г. Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках / А. Г. Гуревич. – Москва : Главная редакция физико-математической литературы : Наука, 1973. – 592 с. : 8 табл., 29 рис. – Библиогр.: 574-591 (573 назв.) – Текст : непосредственный.

A 210317

A210317

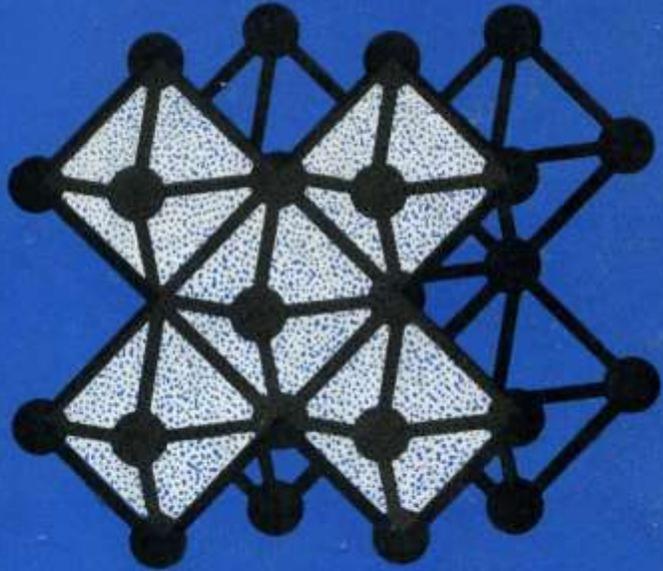
Богданов, Г. Б. Частотно-избирательные системы на ферритах и применение их в технике СВЧ / Г. Б. Богданов. – Москва : Советское радио, 1973. – 352 с. : 5 табл., 205 рис. – Библиогр.: с. 344-349 (120 назв.). – Текст : непосредственный.

Г.Б.БОГДАНОВ

**ЧАСТОТНО-
ИЗБИРАТЕЛЬНЫЕ
СИСТЕМЫ НА ФЕРРИТАХ
И ПРИМЕНЕНИЕ ИХ
В ТЕХНИКЕ СВЧ**

A202623

ТРЕТЬЯКОВ, Ю. Д. ОЛЕЙНИКОВ, В. А. ГРАНИК



**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ТЕРМИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ
ФЕРРИТОВ**

A202623
Третьяков, Ю. Д. Физико-химические основы термической обработки ферритов / Ю. Д. Третьяков, Н. Н. Олейников, В. А. Граник. – Москва : Издательство Московского университета, 1973. – 204 с. : 26 табл., 68 рис. – Библиогр. в конце глав. – Текст : непосредственный.

A189659

К. ХЕК

М
М

**Магнитные
материалы
и их
техническое
применение**

A189659
Хек, К. Магнитные материалы и их техническое применение = Magnetische Werkstoffe und ihre technische / К. Хек ; перевод с немецкого под редакцией Л. Ш. Казарновского. – Москва : Энергия, 1973. – 304 с. : 150 табл., 479 рис. – Библиогр.: с. 272-295 (по главам). – Текст : непосредственный.

К
Н
И
Г
И

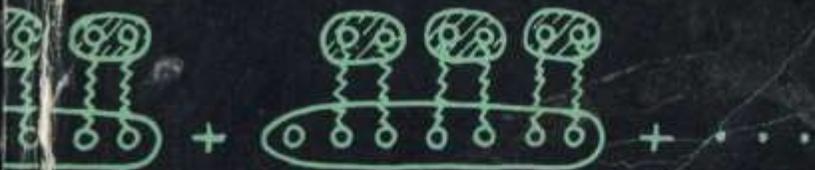
К
Н
И
Г
И

A313621

537 Ю.А. Изюмов, Ф.А. Кассан-оглы
1-39 Ю.Н. СкрыбинПОЛЕВЫЕ МЕТОДЫ
В ТЕОРИИ
ФЕРРОМАГНЕТИЗМА

A313621

Изюмов, Ю. А. Полевые методы в теории ферромагнетизма : монография / Ю. А. Изюмов, Ф. А. Кассан-оглы, Ю. И. Скрыбин. – Москва : Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1974 г. – 224 с. : 43 рис. – Библиогр.: с. 221-223 (102 назв.). – Текст : непосредственный.



$$= \frac{1}{\sqrt{4\pi x}} \int_{-\infty}^{+\infty} \exp\left(-\frac{z^2}{4x}\right) v(y+z) dz$$

A243157

Г. Рейнбот

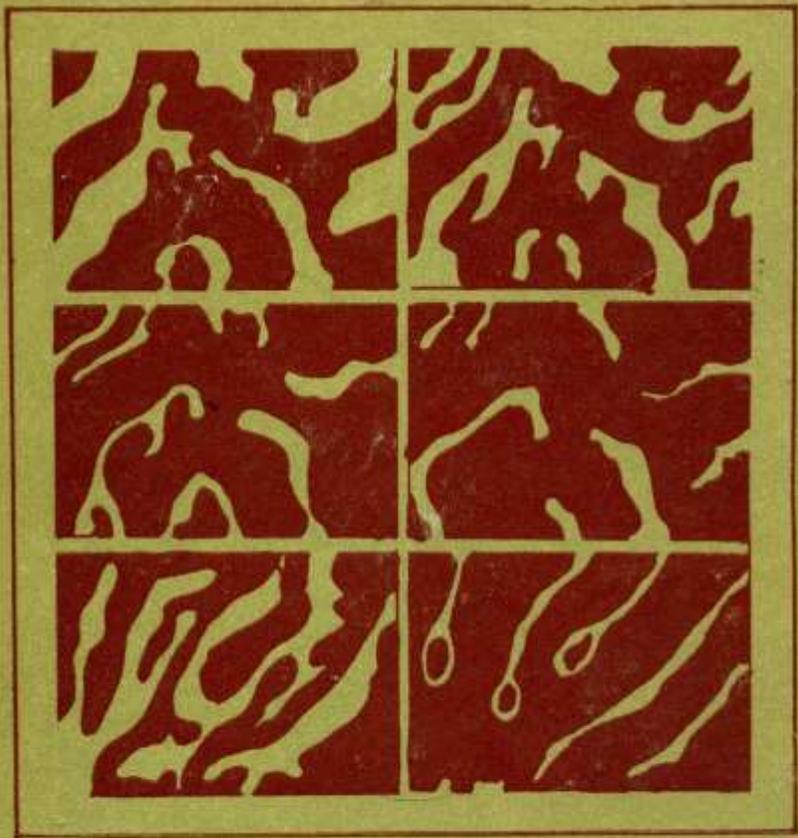
Магнитные
материалы
и их
применение

A243157

Рейнбот, Г. Магнитные материалы и их применение = Technologie und Anwendung magnetischer Werkstoffe / Г. Рейнбот ; перевод с немецкого под редакцией А. А. Преображенского. – Ленинград : Энергия, 1974. – 384 с. : 57 табл., 229 рис. – Библиогр.: с. 381-381 (28 назв.). – Текст : непосредственный.

A240391

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ФЕРРИТОВ



A240391

Структура и свойства ферритов / редактор Н. Н. Сирота. – Минск : Наука и техника, 1974. – 280 с. : рис. – Библиогр. в статьях. – Текст : непосредственный.

A239941

A231819, A239939, A239941

Физика магнитных диэлектриков / ответственный редактор Г. А. Смоленский. – Ленинград : Наука, Ленинградское отделение, 1974. – 454 с. : 21 табл., 109 рис. – Библиогр. в конце глав (430 назв.). – Текст : непосредственный.

ФИЗИКА МАГНИТНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ



К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

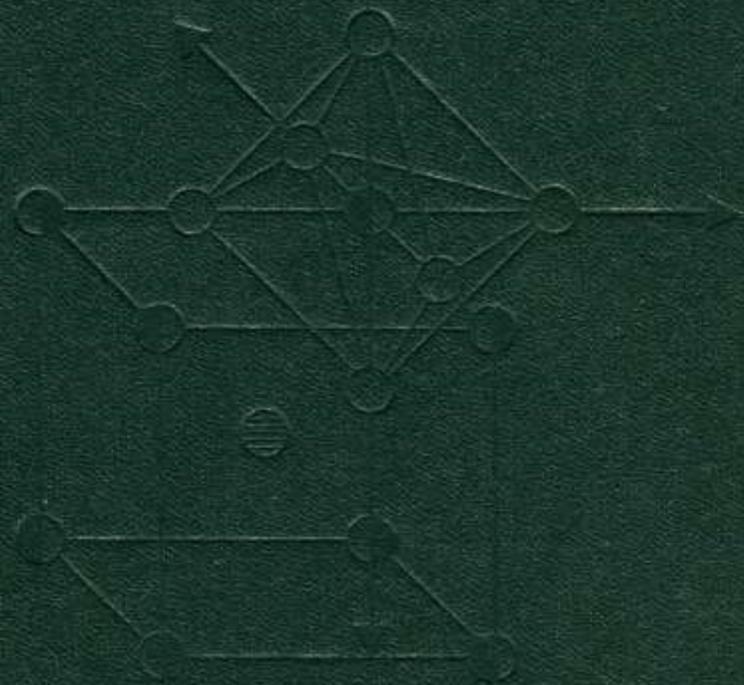


Методы и аппаратура для испытаний ферромагнитных материалов / редакторы: А. И. Пирогов, И. В. Сильванский, А. Я. Шихин. – Москва : МЭИ [издание], 1974. – 152 с. : рис. – Библиогр. в статьях. – (Труды Московского ордена Ленина Энергетического Института ; Выпуск 169). – Текст : непосредственный.

В. В. Еременко **ВВЕДЕНИЕ
В ОПТИЧЕСКУЮ СПЕКТРОСКОПИЮ
МАГНЕТИКОВ**

A334608

Ерёменко, В. В. Введение в оптическую спектроскопию магнетиков / В. В. Ерёменко. – Киев : Наукова думка, 1975. – 472 с. : 146 рис. – Библиогр.: с. 432-469 (1014 назв.). – Текст : непосредственный.



А326584

И. В. АЛЕКСАНДРОВ

ТЕОРИЯ МАГНИТНОЙ РЕЛАКСАЦИИ

•
РЕЛАКСАЦИЯ
В ЖИДКИХ И ТВЕРДЫХ
НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ
ПАРАМАГНЕТИКАХ

А326584

Александров, И. В. Теория магнитной релаксации. Релаксация в жидкостях и твердых неметаллических парамагнетиках / И. В. Александров. – Москва : Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1975 г. – 400 с. : 16 рис. – Библиогр. с. 397-399 (93 назв.). – Текст : непосредственный.



538
Т 99
А333468

МЕТОДЫ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ МАГНЕТИЗМА

С. В. ТЯБЛИКОВ



А333468

Тябликов, С. В. Методы квантовой теории магнетизма : монография / С. В. Тябликов. – Издание 2-е, исправленное и дополненное. – Москва : Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1975. – 528 с. : 15 рис. – Библиогр.: с. 504-527 (708 назв.). – Текст : непосредственный.

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

A319094

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Г. А. СМОЛЕНСКИЙ • В. В. ЛЕМАНОВ

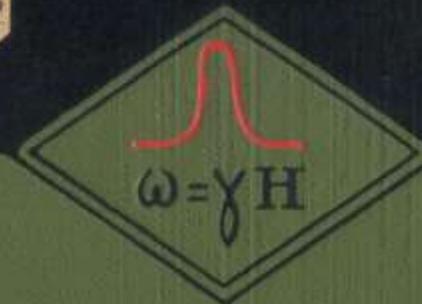
ФЕРРИТЫ

И ИХ ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

A319094

Смоленский, Г. А. Ферриты и их техническое применение / Г. А. Смоленский, В. В. Леманов. – Ленинград : Наука, Ленинградское отделение, 1975. – 219 с. : 4 табл., 82 рис. – Библиогр.: с. 211-217 (140 назв.). – Текст : непосредственный.

A315568



Ю.М. Яковлев
С.Ш. Генделев

МОНО- КРИСТАЛЛЫ ФЕРРИТОВ В РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ

A315568

Яковлев, Ю. М. Монокристаллы ферритов в радиоэлектронике / Ю. М. Яковлев, С. Ш. Генделев. – Москва : Советское радио, 1975. – 360 с. : 57 табл., 192 рис. – Библиогр.: с. 325-360 (627 назв.). – Текст : непосредственный.

К
Н
И
Г
И

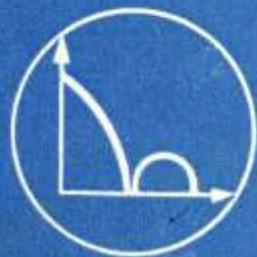
К
Н
И
Г
И

A317931

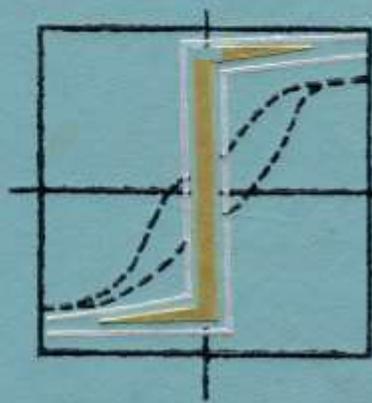
A317931

Ферромагнетизм / под редакцией К. П. Белова, Ю. Д. Третьякова. – Москва :
Издательство Московского университета, 1975. – 208 с. : рис. – Библиогр. в статьях. –
Текст : непосредственный.

ФЕРРИМАГНЕТИЗМ



A357173



А. Г. ЛЕСНИК

НАВЕДЕННАЯ МАГНИТНАЯ АНИЗОТРОПИЯ

A353835, A357173

Лесник, А. Г. Наведённая магнитная анизотропия / А. Г. Лесник. – Киев : Наукова
думка, 1976. – 164 с. : 74 рис. – Библиогр. с. 154-161 (169 назв.). – Текст :
непосредственный.

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

С. КРУПИЧКА

ФИЗИКА ФЕРРИТОВ

И РОДСТВЕННЫХ ИМ МАГНИТНЫХ ОКИСЛОВ

ТОМ 1

A372376

A372376

Крупичка, С. Физика ферритов и родственных им магнитных окислов = Physik der Ferrite und der Verwandten Magnetischen Oxide. В двух томах. Том 1 / С. Крупичка ; перевод с немецкого под редакцией А. С. Пахомова. – Москва : Мир, 1976. – 356, [5]с. : 130 рис. – Библиогр. в конце глав. – Текст : непосредственный.



С. КРУПИЧКА

ФИЗИКА ФЕРРИТОВ

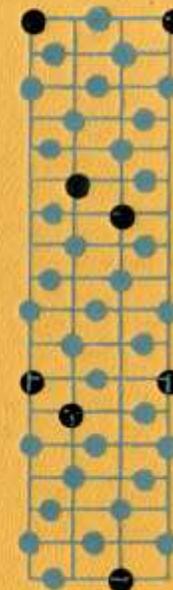
И РОДСТВЕННЫХ ИМ МАГНИТНЫХ ОКИСЛОВ

ТОМ 2

A373911

A373911

Крупичка, С. Физика ферритов и родственных им магнитных окислов = Physik der Ferrite und der Verwandten Magnetischen Oxide. В двух томах. Том 2 / С. Крупичка ; перевод с немецкого под редакцией А. С. Пахомова. – Москва : Мир, 1976. – 504 с. : 535 рис. – Библиогр. в конце глав. – Текст : непосредственный.



A367892

Е.В.КУЗЬМИН
Г.А.ПЕТРАКОВСКИЙ
Э.А.ЗАВАДСКИЙ

A366127, A367892

Кузьмин, Е. В. Физика магнитоупорядоченных веществ / Е. В. Кузьмин, Г. А. Петраковский, Э. А. Завадский. – Новосибирск : Наука, Сибирское Отделение, 1976. – 288 с. : 76 рис. – Библиогр. в конце глав. – Текст : непосредственный.

ФИЗИКА МАГНИТОУПОРЯДОЧЕННЫХ ВЕЩЕСТВ

A400902



А.Хуберт

Теория доменных стенок в упорядоченных средах

A400902

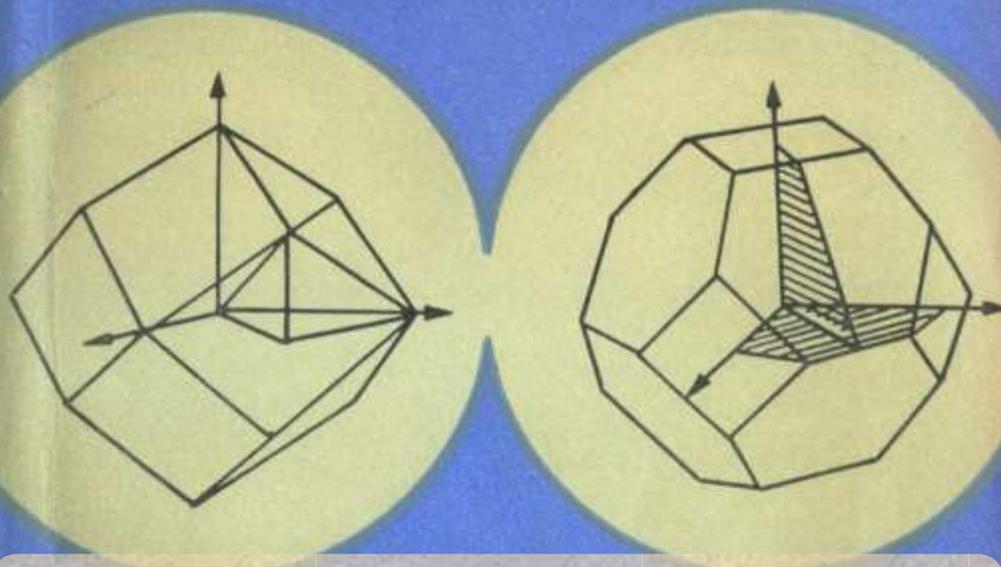
Хуберт, А. Теория доменных стенок в упорядоченных средах = Theorie Der Domänenwände In Geordneten Medien / А. Хуберт ; перевод с немецкого Н. Н. Кировой, С. А. Бразовского под редакцией В. М. Елеонского. – Москва : Мир, 1977. – 308, [4] с. : 100 рис. – Библиогр. в конце глав. – Текст : непосредственный.

К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

A 433959

А. А. Абдурахманов



A433959, A437846, A437847

Абдурахманов, А. А. Кинетические эффекты в ферромагнитных металлах / А. А. Абдурахманов. – Ростов : Издательство Ростовского университета, 1978. – 304 с. : 22 рис. – Библиогр.: с. 293-301 (321 назв.). – Текст : непосредственный.

КИНЕТИЧЕСКИЕ
ЭФФЕКТЫ
В ФЕРРОМАГНИТНЫХ
МЕТАЛЛАХ

A507828

Ш. Ш. Башкиров
А. Б. Либерман
В. И. Сияевский

A506410, A507828

Башкиров, Ш. Ш. Магнитная микроструктура ферритов / Ш. Ш. Башкиров, А. Б. Либерман, В. И. Сияевский. – Казань : Издательство Казанского университета, 1978. – 181 с. : 78 рис. – Библиогр.: с. 173-179 (243 назв.). – Текст : непосредственный.

Магнитная
микро -
структура
ферритов

A504850

Ф. В. ЛИСОВСКИЙ
 ФИЗИКА
 ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ
 МАГНИТНЫХ
 ДОМЕНОВ



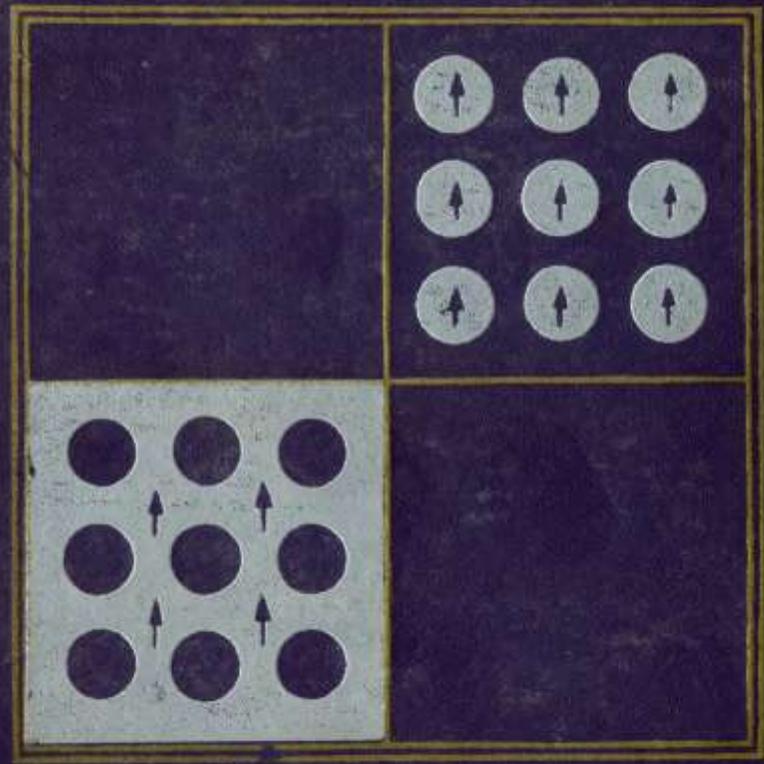
A504850
 Лисовский, Ф. В. Физика цилиндрических магнитных доменов / Ф. В. Лисовский.
 – Москва : Советское радио, 1979. – 192 с. : 68 рис. – Библиогр.: с. 183-190 (142 назв.). – Текст : непосредственный.

A 446336

Э. Л. НАГАЕВ

A446336
 Нагаев, Э. Л. Физика магнитных полупроводников / Э. Л. Нагаев. – Москва :
 Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 432 с. : 3
 табл., 80 рис. – Библиогр.: с. 420-431 (441 назв.). – Текст : непосредственный.

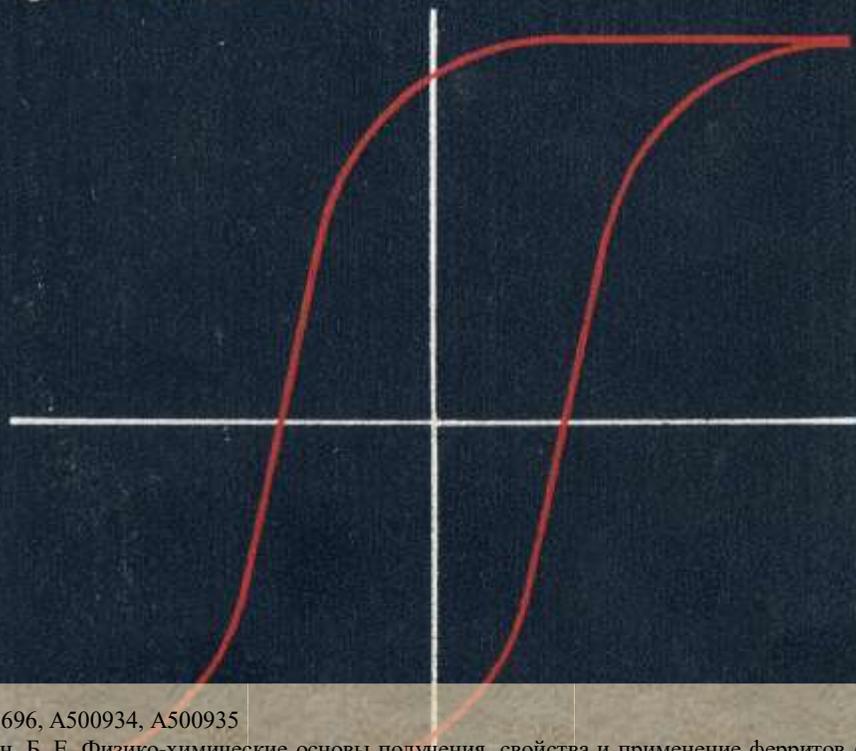
ФИЗИКА МАГНИТНЫХ
 ПОЛУПРОВОДНИКОВ



К
Н
И
Г
И

К
Н
И
Г
И

A500934

Б. Е. ЛЕВИН
Ю. Д. ТРЕТЬЯКОВ
Л. М. ЛЕТЮКФизико-химические
основы получения,
свойства и применение
ферритов

A448696, A500934, A500935

Левин, Б. Е. Физико-химические основы получения, свойства и применение ферритов / Б. Е. Левин, Ю. Д. Третьяков, Л. М. Летюк. – Москва : Металлургия, 1979. – 471 с. : 75 табл., 192 рис. – Библиогр. в конце глав. – Текст : непосредственный.

A522803

Белов, К. П. Редкоземельные магнетики и их применение / К. П. Белов. – Москва : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 240 с. : 25 табл., 97 рис. – Библиогр.: с. 226-239 (368 назв.). – Текст : непосредственный.

A522803

К. П. БЕЛОВ

Редкоземельные
магнетики
и их применение

ЖУРНАЛ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

ОТВЕТСТВЕННЫЕ РЕДАКТОРЫ:

АКАД. А. Ф. ИОФФЕ И

АКАД. Л. И. МАНДЕЛЬШТАМ

ПОМОЩНИК РЕДАКТОРА

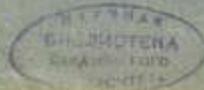
Ю. В. ХАРИТОН

ТОМ 6

ВЫП. 2



НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СЕКТОР НАРКОМТЕЛПРОМА СССР
УПРАВЛЕНИЕ УНИВЕРСИТЕТОВ И НАУЧНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ НАРКОМПРОСА
ОБЪЕДИНЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛЕНИНГРАД 1936 МОСКВА



Шубин, С. П. К вопросу о квазиклассической трактовке ферромагнетизма / С. П. Шубин, М. Золотухин. — Текст : непосредственный // Журнал Экспериментальной и Теоретической Физики. — 1936. — Т. 6, № 2. — С. 105-109. — Библиогр. в сносках (3 назв.). — ISSN 0044-4510.

К ВОПРОСУ О КВАЗИКЛАССИЧЕСКОЙ ТРАКТОВКЕ ФЕРРОМАГНЕТИЗМА

С. Шубин и М. Золотухин

В интересной статье Крамерса и Геллера* поставлен вопрос о возможности квазиклассического вычисления суммы для системы электронов при наличии обменных сил. Совершаемый этими авторами переход к квазиклассике заключается в том, что в выражении для энергии обмена вектор спина каждого электрона рассматривается не как совокупность трех операторов, а как обычный вектор, могущий принимать любые ориентации в пространстве. Однако даже и в этом предположении Крамерсу и Геллеру не удалось точно вычислить упомянутую фазовую сумму ни для одного случая, и примененные ими методы приближения дают в случае линейной и плоской решетки расходящиеся результаты.

В настоящей заметке мы хотим показать, что для линейной цепочки атомов квазиклассическая задача теории ферромагнетизма в этой постановке** может быть решена совершенно точно.

1. Выражение для энергии обмена системы электронов с точностью до постоянного члена, как известно*** гласит

$$E = -\frac{1}{4} \sum_{q \neq q'} I_{qq'} \sigma_q \sigma_{q'} \quad (1)$$

где $I_{qq'}$ есть интеграл обмена между электронами q и q' , а σ_q — оператор вектора спина q -того электрона (в единицах $\frac{h}{2\pi}$). Переход к квазиклассической теории заключается в том, что мы пишем это выражение так:

$$E = -\frac{1}{4} \sum_{q \neq q'} I_{qq'} \cos \theta_{qq'} \quad (2)$$

где

$$\cos \theta_{qq'} = \cos \theta_q \cos \theta_{q'} + \sin \theta_q \sin \theta_{q'} \cos (\varphi_q - \varphi_{q'}) \quad (3)$$

и рассматриваем переменные θ_q и φ_q — полярный угол и азимут q -того спина — как обычные классические переменные, могущие принимать все значения, соответственно от 0 до π и от 0 до 2π .

Фазовый интеграл системы в этом предположении имеет вид

$$Z = \int \dots \int e^{\frac{i k T}{\hbar}} \sum_{q \neq q'} I_{qq'} \cos \theta_{qq'} \prod_q \sin \theta_q d\theta_q d\varphi_q \quad (4)$$

Трудность вычисления этого интеграла заключается в том, что переменные, относящиеся к различным спином, как видно из формулы (3), не разделяются.

* Kramers und Heller, Amst. Proc. 37, 378, 1934.

** Как и в постановке Изинга: Ising, ZS. f. Phys. 31, 253, 1925.

*** См. напр. Дирак, Основы квантовой механики, ГИИТ, § 86.

Schubin, S. On the electron theory of metals / S. Schubin, S. Wonsowsky. – DOI 10.1098/rspa.1934.0089. – Текст : непосредственный // Proceedings of the Royal Society of London A. – 1934. – Vol. 145, Iss. 854. – P. 159-180. : 6 Fig. – Bibliogr. в сносках (7 ref.). – ISSN 0009-2665. – Имеется электронная версия публикации. – URL: <https://doi.org/10.1098/rspa.1934.0089> (дата обращения: 08.09.2021). – Режим доступа: свободный. – Русский перевод см. в книге: Шубин С. П. Избранные труды по теоретической физике (Свердловск, 1991).

On the Electron Theory of Metals.

By S. SCHUBIN and S. WONSOWSKY.

Sverdlovsk Physical Technical Institute.

(Communicated by R. H. Fowler, F.R.S.—Received December 29, 1933.)

Introduction and Summary.

The most serious defect of the modern theory of metals† is the very unsatisfactory manner in which it takes account of the forces of interaction between the valency electrons of the metal. This is well shown in the anomalies characteristic of the electrical properties of the *ferromagnetics*; from the standpoint of Bloch's theory they are quite inexplicable, as the criterion of ferromagnetism itself can be formulated only in the language of a more accurate theory which takes account of the exchange effects.

The problem of constructing such a systematic theory of metals, which could enable us to treat their electric and magnetic properties simultaneously, reduces itself substantially to choosing a suitable approximation scheme. At first sight it would seem most natural to use the scheme applied so successfully by Heisenberg in explaining the phenomena of ferromagnetism. Here the metal is considered, in the zero approximation, as an assembly of isolated *electrically neutral atoms*; in the following approximations, account is taken of the interaction of the valency electrons not only with the ions of the metal but also with each other. In his Leipzig Report,‡ Bloch asserts that such a scheme affords an adequate tool for dealing with all the characteristic properties of metals, in particular with the electrical conduction. We are, however, of the opinion that this assertion is *incorrect*, and that, in reality, Heisenberg's approximation cannot be used in the theory of electrical conduction simply because, in this approximation, the metal is not a conductor. In fact, it can be proved in quite a general manner (for special cases it has already been proved by Slater§), that in all the stationary states of Heisenberg's scheme the total current carried by the valency electrons of the metal is equal to zero; this result does not depend on any one special property of the perturba-

† Bloch, 1928.

‡ 'Leipziger Vorträge,' P. Debye, Leipzig und Berlin (1930).

§ 'Phys. Rev.,' vol. 35, p. 509 (1930).

Schubin, S. Zur Elektronentheorie Der Metalle. I. / S. Schubin, S. Wonsowsky. – Текст : непосредственный // Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion. – 1935. – Bd. 7, H. 3. – P. 292-328. – Bibliogr. в сносках (5 ref.). – Русский перевод см. в книге: Шубин С. П. Избранные труды по теоретической физике (Свердловск, 1991).

ZUR ELEKTRONENTHEORIE DER METALLE. I.

Von S. Schubin und S. Wonsowsky.

(Eingegangen am 13. November 1934.)

Es wird eine Theorie des zuerst von Slater vorgeschlagenen „polaren“ Modells eines Metalls entwickelt. Dieser von dem üblichen etwas verschiedene Standpunkt führt zu einer Reihe von Schlussfolgerungen der Elektronentheorie der Metalle. Zum Schluss werden einige Fragen betreffend der elektrischen Eigenschaften der Ferromagneta diskutierte.

Der Zweck der vorliegenden Arbeit ist die Diskussion einiger Eigenschaften des von Slater¹ vorgeschlagenen „polaren“ Modells eines Metalls. Die Zweckmässigkeit einer solchen Diskussion ist dadurch gerechtfertigt, dass das erwähnte Modell es erlaubt, ein Metall folgerichtig in gewisser Annäherung als ein Vielelektronensystem zu behandeln. Auf dieser Grundlage ist es möglich, zu einer Reihe von Schlussfolgerungen der Metalltheorie von einem von dem üblichen etwas verschiedenen Standpunkt zu gelangen.

Eine kurze Darstellung dieser Arbeit ist in den Proc. Roy. Soc.² gegeben worden; wir behandeln deshalb hier nur diejenigen Punkte, welche in jener Mitteilung nicht eingehend auseinandergesetzt wurden oder eine Weiterentwicklung der Theorie darstellen. In einigen Punkten wurde die in der Proc. Roy. Soc. gegebene Darstellung hier etwas geändert; auch einige ungenaue Behauptungen sind berichtigt.

§ 1. Bezeichnungen und Ausgangsformeln der Theorie. Wir betrachten ein einvalentes Metall mit $N = 2n$ Atomen und suchen die Wellenfunktionen eines Systems von Valenzelektronen in der Form von linearen Kombinationen der Produkte der Wellenfunktionen der einzelnen Metallatome.³ Dabei berücksichtigen wir nur die *S*-Zustände der

¹ Phys. Rev. **35**, 509, 1930.

² Proc. Roy. Soc. **145**, 159, 1934.

³ Dieser Fall ist typisch; im Weiteren werden wir uns besonders bei denjenigen Änderungen aufhalten, welche in die Theorie in anderen Fällen eingeführt werden müssen.

PHYSIKALISCHE
ZEITSCHRIFT
DER SOWJETUNIONHERAUSGEGEBEN
VOM VOLKSKOMMISSARIAT FÜR
SCHWERINDUSTRIE DER UdSSR

TECHNISCHER STAATSVIRLAG CHARKOW

ON THE THEORY OF THE DISPERSION OF MAGNETIC
PERMEABILITY IN FERROMAGNETIC BODIES.*By L. Landau and E. Lifshitz.*

(Received June 3, 1935).

The distribution of magnetic moments in a ferromagnetic crystal is investigated. It is found that such a crystal consists of elementary layers magnetized to saturation. The width of these layers is determined. In an external magnetic field the boundaries between these layers move; the velocity of this propagation is determined. The magnetic permeability in a periodical field parallel and perpendicular to the axis of easiest magnetization is found.

§ 1. It was pointed out by Bloch¹ and Heisenberg² that a ferromagnetic crystal consists magnetically of elementary regions, which are magnetized nearly to saturation. They presumed that these regions are thread-like; we shall show here that they should more likely be considered as elementary layers. This can possibly be brought into accord with the experimental evidence obtained by various authors³ by photographing the distribution of colloidal particles of Fe_2O_3 on a surface of a ferromagnetic crystal. In unmagnetized crystals these elementary layers are magnetized successively in opposite directions, so that the crystal has no magnetic moment as a whole. When the crystal is magnetized the boundaries between the oppositely magnetized layers move, so that the layers with one direction of magnetic moment grow at the cost of the layers with moments in the opposite direction.

Some authors (among them also F. Bloch, loc. cit.) tried to apply statistical considerations to determine the number

¹ F. Bloch, ZS. f. Phys. 74, 295, 1932.² W. Heisenberg, ZS. f. Phys. 69, 287, 1931.³ Mc Keehan and Elmore, Phys. Rev. 46, 226, 1934. N. Miller and D. Steinberg, Technical Physics 1, No. 2, 1934.

PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT DER SOWJETUNION

HERAUSGEGEBEN
VOM VOLKSKOMMISSARIAT FÜR
SCHWERINDUSTRIE DER UdSSR



MOSCOW MOSCOU MOSKAU
STAATSVLAG FÜR THEORIE UND TECHNIK—ONTI

Schubin, S. Zur Elektronentheorie Der Metalle. II. / S. Schubin, S. Wonsowsky. — Текст : непосредственный // *Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion*. — 1936. — Bd. 10, H. 3. — P. 348-377. — Bibliogr. в сносках (4 ref.). — Русский перевод см. в книге: Шубин С. П. Избранные труды по теоретической физике (Свердловск, 1991).

ZUR ELEKTRONENTHEORIE DER METALLE. II.

Von S. Schubin und S. Wonsowsky.

(Eingegangen am 15. Juni 1936.)

Als Fortsetzung einer früheren Arbeit der Verfasser werden einige Fragen aus der Theorie der Metalle vom Standpunkt der Heitler-London'schen Näherung (mit Berücksichtigung polarer Zustände) behandelt. Es werden für einige Spezialfälle das Eigenwertspektrum und die Eigenfunktionen des Problems berechnet.

Die vorliegende Arbeit bildet die Fortsetzung einer in dieser Zeitschrift erschienenen Veröffentlichung,¹ worin der Versuch gemacht worden war, die Heitler-London'sche Näherungsmethode auf die Behandlung der elektrischen Eigenschaften von Metallen anzuwenden. Die Schwierigkeit dieser ersten Arbeit bestand darin, dass deren Überlegungen auf einem eigenartigen Näherungsverfahren basierten (Übergang zu quasiklassischen Gleichungen), welches zuerst von Bloch² vorgeschlagen war. Dieses Verfahren gestattete zwar, gewisse und, wie wir im weiteren sehen werden, im wesentlichen richtige Vorstellungen über das Energiespektrum des Systems zu erhalten, bot jedoch keinerlei Möglichkeit, seine Eigenschaften eingehender zu untersuchen. In der vorliegenden Arbeit verzichten wir auf die Anwendung dieses Verfahrens und versuchen eine wirkliche—freilich nur in gewisser Näherung gültige—Lösung der Störungsgleichungen des Problems zu finden.

1. Wir nehmen an, dass die einzelnen Gitteratome sich in verhältnismässig grossem Abstände voneinander befinden. Weiter wollen wir annehmen, dass (a) in jedem Atom für sich nur ein äusseres Elektron vorhanden ist, (b) die Anregungsenergie dieses Elektrons sehr gross ist, so dass man

¹ Sow. Phys. 7, 292, 1935 (im folgenden als „1“ zitiert). S. auch Proc. Roy. Soc. A 145, 159, 1934.

² F. Bloch, ZS. f. Phys. 74, 293, 1932.