

ните, магнитных телах и о большом магните — Земле» (1600). В этом труде показано, что Земля — *диполь магнитный*, и доказана невозможность разъединения двух разномённых магн. полюсов. Далее учение о М. развивалось в трудах Р. Декарта (R. Descartes), Ф. Эпикуса (F. Epicurus) и Ш. Кулона (Ch. Coulomb). Декарт — первый автор метафиз. теорий М. и геомагнетизма («Начала философии», ч. 4, 1644); он исходил из существования особой магн. субстанции, обуславливающей своим движением М. тел. В трактате «Опыт теории электричества и магнетизма» (1759) Эпинус подчеркнул сходство электричества и М., а Кулон (1785—89) показал и определ. количеств. соответствие явлений: взаимодействие точечных магн. полюсов подчиняется тому же закону, что и взаимодействие точечных электрич. зарядов (Кулона закон). В 1820 Х. Эрстед (H. Ørsted) открыл магн. поле электрич. тока, и тогда же А. Ампер (A. Ampère) установил законы магн. взаимодействия токов, эквивалентность магн. свойств кругового тока и тонкого плоского магнита; М. веществ он объяснил существованием молекулярных токов. В 30-х гг. 19 в. К. Гаусс (C. Gauß) и В. Вебер (W. Weber) развили математич. теорию *земного магнетизма* и разработали методы магн. измерений.

Новый этап изучения М. начался с М. Фарадея (M. Faraday), к-рый дал последоват. трактовку М. на основе представлений о реальном эл.-магн. поле. Ряд важнейших открытий в области электромагнетизма (электромагнитная индукция — Фарадей, 1831; правило Ленца — Э. Х. Ленц, 1833, и др.), теоретич. обобщение эл.-магн. явлений в трудах Дж. К. Максвелла (J. C. Maxwell, 1872), систематич. изучение свойств ФМ и ПМ А. Г. Столетовым (1872), П. Кюри (P. Curie, 1895) и др. заложили основы совр. макротеории М. Изучение М. на микроуровне стало возможным после открытия электронно-ядерной структуры атомов. На основе классич. электронной теории вещества Х. А. Лоренца (H. A. Lorentz) П. Ланжевэн (P. Langevin) создал теорию диамагнетизма и парамагнетизма. В 1892 Б. Л. Розинг и в 1907 П. Вейс (P. Weiss) высказали идею о существовании внутр. молекулярного поля, обуславливающего ферромагнетизм. Открытие спина электрона и его М. [С. Гаудсмит (S. Goudsmit), Дж. Уленбек (G. Uhlenbeck), 1925], создание квантовой механики привели к развитию квантовой теории диа-, пара- и ферромагнетизма. На основе квантовой механики (пространств. квантования) Л. Бриллюэн (L. Brillouin, 1926) нашёл зависимость намагниченности ПМ от H и T . В 1927 Ф. Хунд (F. Hund) провёл сравнение эксперим. и теоретич. значений эффективных магн. моментов ионов в разл. парамагн. солях, что привело к открытию влияния электрич. полей парамагн. кристалла на «замораживание» орбитальных моментов ионов. Исследование этого явления позволило установить, что, напр., ферромагнетизм d -металлов определяется почти исключительно спиновыми моментами [У. Пенни (W. Penney), Р. Шлапп (R. Schlapp), Дж. Х. Ван Флек (J. H. Van Vleck), 1932].

Детальная квантовая теория парамагнетизма атомов и молекул была разработана Ван Флеком в 1932, к-рый наряду с обычным классич. ориентац. парамагнетизмом открыл т. н. *ванфлюковский парамагнетизм* (июляризационный), связанный с виртуальными квантовыми переходами электронов между стационарными энергетич. уровнями атомов или молекул. В 1927—30 была построена квантовомеханич. теория М. электронов проводимости металлов (см. *Паули парамагнетизм*, *Ландау диамагнетизм*). Существ. значение для развития теории парамагнетизма имело предсказанное Я. Г. Дорфманом (1923) и открытое Е. К. Завойским (1944) явление *электронного парамагнитного резонанса* (ЭПР). Созданию квантовой теории ферромагнетизма предшествовали работы (1925) Э. Изинга (E. Ising, одномерная модель ПМ) и Л. Онсагера (L. Onsager, двумерная модель), Я. Г. Дорфмана (1927, им была доказана

немагн. природа молекулярного поля), В. Гейзенберга (W. Heisenberg, квантовомеханич. расчёт атома Hc, 1926), В. Гайтлера и Ф. Лондона (W. Heitler, F. London, расчёт молекулы H₂, 1927). В двух последних работах был использован открытый в квантовой механике эффект обменного взаимодействия электронов [П. Дирак (P. Dirac), 1926] в оболочке атомов и молекул и установлена его связь с магн. свойствами электронных систем, подчиняющихся *Ферми — Дирака статистике* (*Паули принцип*). Квантовая теория ферромагнетизма была начата работами Я. И. Френкеля (1928, коллективизиров. модель ферромагн. металлов) и Гейзенберга (1928, модель локализованных спинов). Рассмотрение ферромагнетизма как кооперативного явления [Ф. Блох (F. Bloch) и Дж. Слэтер (J. Slater), 1930] привело к открытию спиновых волн. В 1932—33 Л. Нель (L. Néel) и Л. Д. Ландау предсказали существование антиферромагнетизма. Затем Нель объяснил сущность ферромагнетизма. Изучение новых классов магнетиков — АФМ и ферритов — позволило глубже понять природу М. вообще. Была выяснена роль магнитоупругой энергии в происхождении энергии магн. анизотропии и в явлении магнитострикции. Начиная с 1931 стали разрабатываться методы наблюдения магн. доменной структуры ФМ [1931, Ф. Биттер (F. Bitter); 1932, Н. С. Акулов, метод порошковых фигур]. Создание теории доменной структуры началось с работ Я. И. Френкеля и Я. Г. Дорфмана (1930) и особенно после работы Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица (1935, см. *Ландау — Лифшица уравнение*).

Дальнейшее развитие квантовомеханич. моделей М. металлов и ПП, рассматривавшихся в работах Я. И. Френкеля (1928), Ф. Блоха (1930) и Э. Стокера (E. Stoner, 1930), было осуществлено в работах С. П. Шубина и С. В. Вонсовского (1934, полярная и обменная $s-d$, f модели ферромагнетизма, см. *Шубина — Вонсовского модель*). Частным случаем полярной модели является *Хаббарда модель* (J. Hubbard, 1964). Теория М. продолжает интенсивно развиваться, этому в значит. мере способствует создание новых эксперим. методов исследования веществ. Нейтроннографич. методы (см. *Магнитная нейтронография*) позволили определить типы атомных магн. структур. *Ферромагнитный резонанс*, открытый и исследованный в работах В. К. Аркадьева (1913), а затем Дж. Гриффитса (J. Griffiths, 1946), и антиферромагн. резонанс [К. Гортгер (C. Gorter) и др., 1951] открыли возможность исследования процессов магн. релаксации, а также дали независимый метод определения эффективных полей анизотропии в ФМ и АФМ. Физ. методы исследований, осн. на явлении *ядерного магнитного резонанса* [Э. Перселл (E. Purcell) и др., 1946], и *Мёссбауэра эффект* (1958) существенно углубили знания о пространств. распределении спиновой плотности в веществе, особенно в магн. металлах. Наблюдения рассеяния нейтронов и света позволили для ряда веществ определить спектры спиновых волн. Параллельно с эксперим. работами развивались и разл. аспекты теории М.: магн. симметрия кристаллов, ферромагнетизм коллективизиров. электронов, применения новых расчётных методов в теории М. (диаграммная техника, методы *Грина функции* и т. п.), изучение магн. фазовых переходов и критич. явлений, разработка моделей квазидоменных и двумерных магнетиков. Открытие и исследование *квантового Холла эффекта* [К. Клитцинг (K. Klitzing), 1980], *Кондо эффекта*, веществ с переменной валентностью, примесных систем кондовского типа, вещества с *тяжёлыми фермионами* — всё это позволило глубже понять магн. свойства веществ.

Успехи в изучении магн. явлений позволили осуществить синтез новых перспективных магн. материалов: ферритов для СВЧ-устройств, высококоэрцитивных соединений типа SmCo₅ (см. *Магнит постоянный*), прозрачных ферромагнетиков, магн. плёнок типа «сандвичей» с уникальными магн. свойствами, аморфным