

На этом этапе Р. м. устанавливает внутр. квазиравновесие в системе магнов, однако M и M_z сохраняют нач. значения. Характерное время этого этапа Р. м. имеет порядок $(kT_C/\hbar)(T/T_C)^4$, где T_C — темп-ра Кюри (*Кюри точка*). Дальнейшая релаксация обусловлена слиянием и расщеплением магнов за счёт дипольного взаимодействия, а также их взаимодействием с фононами. При этом сначала устанавливается равновесное значение M , а затем происходит поворот намагниченности к направлению $H_{\text{эф}}$. Последний этап описывается ур-нием (2); типичные значения λ имеют порядок 10^5 с⁻¹.

На практике значит. вклад в диссипацию магн. колебаний вносят неоднородности кристалла: нарушение порядка в расположении магн. ионов в узлах решётки, разориентация осей лёгкого намагничивания, поры, трещины, шероховатость поверхности и т. д. Неоднородности приводят к доплнит. рассеянию магнов — вклад этого механизма может на неск. порядков превосходить собственную спин-спиновую релаксацию. Значит. влияние на Р. м. оказывают также электроны проводимости в ферромагн. металлах, а также нек-рые магн. ионы с сильной спин-орбитальной связью (напр., трёхвалентные лантаниды), выступающие посредниками между СС и решёткой. В малых магн. полях в Р. м. вносят вклад процессы вязкого движения доменных стенок (см. *Доменной стенки динамика*).

Р. м. в ферромагнетиках и антиферромагнетиках обусловлена в общем теми же механизмами, что и в ферромагнетиках, однако её проявления осложнены наличием неск. магн. подрешёток. Особый случай представляют *спиновые стёкла*, характеризующиеся широким спектром времён Р. м. и длительной релаксацией метастабильных магн. состояний.

Диамagnetики. Для них Р. м. обычно не выделяется в самостоят. объект исследования, поскольку подчиняется обычным законам взаимодействия электронов (связанных или свободных) с магн. полем. Ширина линии *циклотронного резонанса* в металлах и полупроводниках определяется длиной свободного пробега носителей заряда. Исключение составляют аномально сильные диамagnetики — сверхпроводники, где процессы Р. м. наиб. существенны в смешанном состоянии *сверхпроводников второго рода*.

Методы исследования магнитной релаксации. Наиб. широко используются резонансные методы: *электронный парамагнитный резонанс*, *ядерный магнитный резонанс*, ферро-, ферри-, антиферромагнитный резонансы. Поперечная релаксация обычно проявляется в возрастании ширины ΔH резонансных линий до величины порядка $1/\tau_2$, а также в затухании сигналов спиновой прецессии и спинового эха. Спин-решёточная релаксация определяет величину стационарного поглощения энергии резонансного ВЧ-поля; кроме того, время τ_1 измеряется по восстановлению равновесной намагниченности после возбуждения мощным радиоимпульсом. Р. м. проявляется также в частотной зависимости динамич. магнитной *восприимчивости* — в частности, в релаксац. поглощении энергии на частотах порядка $1/\tau_1$ и $1/\tau_2$. Применяются сочетания резонансных и нерезонансных методов, двойные резонансы, магнитооптич. эффекты и пр. Обширную информацию о Р. м. в магнитоупорядоченных веществах даёт избират. возбуждение *спиновых волн* с помощью ВЧ-накачки, изучение спиновых нестабильностей, параметрических ВЧ-эффектов и пр.

Изучение Р. м. предоставляет ценную информацию о природе магнетизма в разл. веществах, позволяет исследовать спин-спиновые, спин-фононные и электронно-ядерные взаимодействия, атомно-молекулярную подвижность в конденсиров. средах. Р. м. играет существен. роль в работе устройств магн. памяти и магн. записи (см. *Памяти устройств*), во мн. случаях определяя их быстрдействие и частотный диапазон; в методах получения сверхнизких темп-р с помощью адиабатич. размагничивания (см. *Магнитное охлаждение*); в квантовых парамагн. усилителях (мазерах); в эффектах

динамич. поляризации ядер (см. *Ориентированные ядра*, *Овергаузера эффект*) и т. д.

Лит.: Абрагам А., Ядерный магнетизм, пер. с англ., М., 1963; Альтшулер С. А., Козырев Б. М., Электронный парамагнитный резонанс соединений элементов промежуточных групп, 2 изд., М., 1972; Сликтер Ч., Основы теории магнитного резонанса, пер. с англ., 2 изд., М., 1981; Ахизер А. И., Барьяхтар В. Г., Пелетминский С. В., Спиновые волны, М., 1967; Гуревич А. Г., Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках, М., 1973; Александров И. В., Теория магнитной релаксации в жидкостях и твёрдых неметаллических парамагнетиках, М., 1975; Абрагам А., Големан М., Ядерный магнетизм: порядок и беспорядок, пер. с англ., т. 1—2, М., 1984.

В. А. Азаркин.

РЕЛИКТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ — заполняющее Вселенную практически изотропное эл.-магн. излучение с червотельным спектром и темп-рой ок. 2,7 К (*фононое космическое излучение*), интерпретируемое как реликт нач. стадий её эволюции. Подробнее см. *Микроволновое фононое излучение*.

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ИНВАРИАНТНОСТЬ (лоренц-инвариантность) — независимость физ. законов и явлений от скорости движения наблюдателя (или, точнее, от выбора *инерциальной системы отсчёта*). Р. и. законов фундам. физ. взаимодействий означает невозможность ввести выделенную систему отсчёта и измерить «абс. скорость» тел. Принцип Р. и. возник в нач. 20 в. в результате обобщения разл. опытных данных, начиная с отрицат. результата экспериментов Майкельсона — Морли (1881—87) (см. *Майкельсона опыт*). Ныне наилучшие и наиб. многочисл. подтверждения Р. и. фундам. физ. взаимодействий дают опыты с элементарными частицами высоких энергий. Из принципа Р. и. вытекает существование нек-рой универсальной макс. скорости распространения всех физ. взаимодействий; эта скорость совпадает со скоростью света в вакууме. Математически Р. и. выражается в том, что ур-ния релятивистской механики Эйнштейна — Лоренца — Пуанкаре и электродинамики Максвелла (совокупность этих ур-ний образует спец. теорию относительности), а также теории сильного и слабого взаимодействий не изменяют своего вида, если входящие в них пространственно-временные координаты и физ. поля подвергаются *Лоренца преобразованиям*. Для построения релятивистски инвариантной теории гравитац. взаимодействия понятие Р. и. должно быть обобщено (см. ниже).

Фундам. свойством Р. и. является то, что она имеет место для пространства и времени вместе (а не по отдельности), т. е. преобразования Лоренца перемешивают пространственную и временную координаты. Это привело к введению понятия пространства-времени — четырёхмерного псевдоевклидова многообразия, точками к-рого являются разл. события [А. Пуанкаре (H. Poincaré), Г. Минковский (G. Minkowski)]. Преобразование Лоренца можно интерпретировать как четырёхмерный гиперболич. поворот в этом многообразии.

В предельном случае относит. скоростей v , много меньших скорости света (когда пренебрегают всеми эффектами порядка v^2/c^2 и выше), Р. и. переходит в галилееву (нерелятивистскую) инвариантность — инвариантность относительно преобразования Галилея (см. *Галилея принцип относительности*).

Р. и. специальной (частной) теории относительности, к-рая является г л о б а л ь н о й (в том смысле, что относит. скорость двух систем отсчёта и коэффициенты преобразований Лоренца постоянны во всём пространстве-времени), была обобщена в *общей теории относительности* Эйнштейна, где имеет место только л о к а л ь н а я Р. и. — преобразования Лоренца относятся к дифференциалам координат, а их параметры зависят от точки. Понятие Р. и. было также обобщено (с сохранением осн. свойств) на многомерные теории физ. взаимодействий, в т. ч. гравитац. взаимодействия (см. *Калуцы — Клейна теория*, *Суперструны*).

А. А. Старобинский.

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА — раздел теоретич. физики, в к-ром рассматриваются ре-