

А. Б. МИГДАЛ

**ТЕОРИЯ
КОНЕЧНЫХ
ФЕРМИ-СИСТЕМ
И СВОЙСТВА
АТОМНЫХ
ЯДЕР**



**ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1965**

М 57
53.03
УДК 539.101

АННОТАЦИЯ

В книге развит метод рассмотрения систем сильно взаимодействующих ферми-частиц, который прилагается к теории ядра и может быть также использован для расчета электронных процессов в атомах и сложных молекулах. Методом функций Грина доказано, что даже при сильном взаимодействии между частями система может во многих случаях рассматриваться как газ квазичастиц, взаимодействие между которыми определяется несколькими константами. Теория позволяет целой введением этих констант устанавливать точные соотношения между различными наблюдаемыми процессами.

Первая часть книги содержит общую теорию изолированных ферми-систем и ферми-систем во внешнем поле. Вторая часть посвящена приложению полученных результатов к теории ядра.

Книга рассчитана на физиков-экспериментаторов, занимающихся ядерной физикой, и физиков-теоретиков, а также может быть использована аспирантами и студентами старших курсов физических вузов.

Мигдал Аркадий Бейнусович

Теория конечных ферми-систем и свойства атомных ядер

М., 1965 г., 572 стр. с илл.

Редактор *Дубнова В. Я.*

Техн. редактор *Брудно К. Ф.*

Корректор *О. А. Сигал*

Сдано в набор 15/VI 1965 г. Подписано к печати 28/X 1965 г.
Бумага 84×108/32. Физ. печ. л. 17,88. Условн. печ. л. 30,04.
Уч.-изд. л. 26,03. Тираж 4000 экз. Т-13746. Цена книги 1 р. 57 к.
Заказ 1114.

Издательство «Наука»

Главная редакция физико-математической литературы

Москва, В-71, Ленинский проспект, 15.

Московская типография № 16 Главполиграфпрома
Государственного комитета Совета Министров СССР по печати.
Москва, Трехпрудный пер., 9.

2-3-2
93-65

Предисловие	9
ВВЕДЕНИЕ	13
Физические свойства ферми-систем	13

Ферми-системы с сильным взаимодействием между частицами (13). Природа первых возбужденных состояний (14). Метод взаимодействующих квазичастиц (16). Одночастичные возбуждения. Обоснование модели оболочек (20). Системы во внешнем поле. Уравнение для эффективного поля в ядре (23). Уравнение для эффективного поля в случае парной корреляции (25). Взаимодействие между квазичастицами (26). Условия устойчивости ядерного вещества. Сведения об амплитудах взаимодействия, извлекаемые из опыта (28). Нужно ли вводить квадрупольно-квадрупольное взаимодействие в ядрах? (31). Изменение матрицы плотности от добавления частиц (33). Изменение матрицы плотности в сильных полях. Квантовые скачки радиуса и формы ядра (34). Изменение радиуса и формы ядра при возбуждениях (36). Магнитные моменты ядер (37). Изотопическое смещение и квадрупольные моменты ядер (38). Моменты инерции (40). Вероятности переходов. Дипольный фотоэффект (41). β -распад в ядрах, l -запрещенные переходы (43).

1. ИЗУЧЕНИЕ ФЕРМИ-СИСТЕМ МЕТОДОМ ФУНКЦИЙ ГРИНА

1.1. Функции Грина и графический метод	47
--	----

Функция Грина одной частицы (49). Функция Грина частицы во внешнем поле (52). Функция Грина для двух взаимодействующих частиц (54). Амплитуда рассеяния. Импульсное представление (59). Связанные состояния (63). Функция Грина

системы взаимодействующих частиц. Соотношения унитарности (66). Одночастичная и двухчастичная функции Грина в системе из N частиц (69). Рекуррентные соотношения между функциями Грина (73). Графики Фейлмана (77). Разложение по точным функциям Грина. Уравнение Дайсона (83). Энергия основного состояния (86).

1.2. Аналитические свойства функций Грина ферми-систем 87

Спектральное разложение (88). Физический смысл и характер особенностей функции Грина (93). Спектральное разложение для собственно-энергетической части (97). Мнимая часть функции Грина (99). Вид функции Грина вблизи поверхности Ферми (101). Энергия и затухание квазичастиц (102). Скачок в распределении частиц по импульсам (103). Аналитические свойства двухчастичной функции Грина (104).

1.3. Одночастичные функции Грина в бесконечной системе 108

Система без парной корреляции (109). Одночастичная функция Грина в случае сверхтекучести (110). Одночастичный спектр и распределение по импульсам в системе с куперовской парной корреляцией (115). Уравнение для $\Delta^{(1,2)}$ (116). Перенормировка взаимодействия (118). Выражение для перенормированного взаимодействия. Условие сверхтекучести (121).

1.4. Одночастичные функции Грина в конечных системах 125

Уравнение для одночастичных собственных функций (126). Квазиклассические оценки матричных элементов (131). Одночастичная функция Грина в случае спаривания (132). Правила обхода полюсов в системах с четным и нечетным числом частиц (135). Распределение частиц и квазичастиц по состояниям (138). Уточнение функций Грина в конечных системах. (139). Уравнение для Δ (143).

1.5. Амплитуда рассеяния в среде 149

Уравнение для двухчастичной функции Грина (151). Уравнение для амплитуды рассеяния по двум каналам (152). Перенормировка амплитуды рассеяния (156). Кулоновское взаимодействие (160).

Взаимодействие между квазичастицами (160).
 Функция распределения для двух типов квази-
 частиц. Коллективные возбуждения (164). Усло-
 вия устойчивости (167). Уравнение для амплитуды
 рассеяния в конечной системе (168).

II. ФЕРМИ-СИСТЕМЫ ВО ВНЕШНЕМ ПОЛЕ

II.1. Системы без парной корреляции 173

Изменение функции Грина в поле. Функция Грина дырки в поле (174). Уравнение для вершины. Перенормировка (178). Уравнение для вершины в однородной бесконечной системе. Импульсное представление (182). Уравнение для эффективного поля в конечной системе. λ -представление (184). Уравнение для функции распределения квазичастиц во внешнем поле. Эффективное поле и заряд квазичастиц (185).

II.2. Системы с парной корреляцией 189

Изменение функций Грина в поле. Сильные и слабые поля (190). Изменение функций Грина в поле. Графический вывод (195). Уравнение для эффективного поля. Перенормировка (196). Соотношения между эффективными полями частицы и дырки (199). Изменение Δ во внешнем поле. Уравнения для вершин $\tau^{(1)}$ и $\tau^{(2)}$ (202). Уравнение для эффективного поля в бесконечной системе. Импульсное представление (204). Уравнения для эффективного поля в конечной системе. λ -представление (206). Деформированные ядра (212). Изменение матрицы плотности во внешнем поле (216).

II.3. Эффективные поля и законы сохранения. Заряды квазичастиц 218

Калибровочная инвариантность (220). Тожество Уорда (223). Нейтронное и протонное эффективные поля (225). Конечные системы (227). Системы с парной корреляцией (228). Эффективные поля в случае диагональных возмущений (230). Заряд квазичастиц для различных полей (233).

II.4. Вероятности и частоты одночастичных и коллективных переходов 239

Классификация возбужденных состояний (240). Уравнение для собственных состояний. Энергия одночастичных возбуждений (242). Уравнение для собственных частот и собственных состояний в случае парной корреляции (244). Амплитуда перехода (246). Перенормировка выражения для амплитуды перехода (249). Другой вывод формулы для амплитуды перехода (250). Одночастичные переходы (251). Вероятность одночастичных переходов для слабого взаимодействия между частицами (254).

II.5. Изменение матрицы плотности от добавления частиц 258

Поле добавленной частицы как слабое возмущение (261). Уточнение теории возмущений (262). Связь между матрицами плотности для частиц и квазичастиц (264). Изменение собственно энергетической части. Эффективное поле, вызываемое перераспределением частиц (269). Вычисление средних значений (272). Малое изменение взаимодействия между частицами. Кулоновские поправки (274). Парная корреляция (275). Сильные возмущения. Скачкообразные изменения радиуса и формы систем (278). Переход к макроскопическим уравнениям (279).

III. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ В ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ

III.1. Обоснование и уточнение модели оболочек 282

Структура основного состояния (284). Модель оболочек (286). Равенство между числом частиц и квазичастиц (290). Эффективная масса. Энергия границы Ферми (294). Влияние близких уровней (296). Последовательное «улучшение» квазичастиц (298). Взаимодействие одночастичных возбуждений с коллективными (299).

III.2. Взаимодействие между нуклонами в ядре 301

Локальное взаимодействие между нуклонами (304). Локальное взаимодействие вблизи поверхности ядра (308). Сведение взаимодействия через «остов» к локальному взаимодействию (311). Условия

устойчивости ядерного вещества. Неприменимость газового приближения (314). Нахождение констант взаимодействия из опыта (315).

III.3. Энергия симметрии и сжимаемость ядерного вещества 317

Энергия симметрии (318). Сжимаемость ядерного вещества (319). Приближенный учет конечности ядра (320).

III.4. Магнитные моменты ядер 321

Метод вычисления магнитных моментов. Уравнение для эффективного поля (323). Орбитальная часть магнитного момента (326). Спиновая часть магнитного момента (327). Уравнение для магнитной восприимчивости (330). Спин-орбитальные поправки к магнитному моменту (332). Магнитные моменты сферических ядер (334). Октапольные магнитные моменты (335).

III.5. Изотопическое смещение спектральных линий и квадрупольные моменты ядер 337

Изменение квадрупольного момента при добавлении нуклонов (338). Механизм изотопического смещения (340). Изменение распределения протонов (341). Вычисление средних с помощью эффективного поля (342). Уравнение для эффективного поля (343). Сравнение с экспериментом (345).

III.6. Моменты инерции ядер 347

Оператор возмущения (348). Изменение матрицы плотности (349). Орбитальная часть эффективного поля (349). Спиновая часть эффективного поля (350). Уточнение энергий (351). Зависимость Δ от λ (351). Переход к нечетным ядрам (351). Заключение (352).

III.7. Электромагнитные переходы 353

Энергии возбужденных состояний и вероятности переходов (354). Дипольные переходы. Гигантский резонанс (358). Зависимость сечения от частоты (360). Переходы, для которых существенна парная корреляция (363). Калибровочная инвариантность. Сохранение числа частиц (365). Коллективные возбуждения. Приближенное решение уравнений (366). Частоты и вероятности переходов (370). Влияние поверхности ядра. Знак константы взаимодействия (373).

III.8. β -распад в ядрах	376
<p>Гамильтониан возмущения (378). Эффективное поле β-перехода (380). Решение уравнения для фермиевских переходов (383). Решение уравнения для гамов-теллеровских переходов (384). Вычисление матричных элементов M_{GT} (385). Три типа разрешенных β-переходов (385). L-запрещенные переходы (387).</p>	
III.9. Дальнейшее развитие теории	388
<p>Ядерные реакции (388). Поверхностные уровни. Разница в радиусе ядра для нуклонов и электронов (389). α-распад и протонный распад (390). Флуктуации радиусов и формы ядер (390). Массы ядер (391). Кулоновское поле ядра как возмущение (391). Перенормировка аксиальной константы β-распада (392). Вычисление констант взаимодействия, введенных в теорию (392).</p>	
IV. РАБОТЫ ПО ТЕОРИИ ЯДРА	
IV.1. Распределение магнитного заряда в ядрах (<i>М. А. Троицкий</i>)	393
IV.2. Изотопическое смещение и квадрупольные моменты ядер (<i>Г. Г. Бунатян, М. А. Микулинский, В. А. Беляков</i>)	428
IV.3. Простейшие фотоядерные реакции (<i>А. А. Лушников</i>)	451
IV.4. Массы околomagических ядер (<i>Э. Е. Саперштейн, М. А. Троицкий</i>)	488
IV.5. Разность масс зеркальных ядер (<i>И. Г. Ивантер, М. А. Троицкий</i>)	500
IV.6. Отделение угловых переменных в уравнениях для эффективного поля в сферических ядрах (<i>Ю. В. Гапонов, В. П. Крайнов</i>)	506
IV.7. L -запрещенные переходы в ядрах (<i>В. А. Ходель</i>) . .	520
IV.8. К теории μ -захвата в ядрах (<i>В. М. Новиков, М. Г. Урин</i>)	526
IV.9. Вычисление вероятности μ -захвата (<i>Г. Г. Бунатян</i>)	546
IV.10. Уравнение для эффективного поля в сферических ядрах с незаполненной оболочкой (<i>Э. Е. Саперштейн, В. А. Ходель</i>)	557
Дополнение. Сохранение числа квазичастиц	569