

Л-934

ОРДЕНА ЛЕНИНА ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. П.Н.ЛЕБЕДЕВА АН СССР

2-82-270

На правах рукописи

ЛЮБОШИЦ

Владимир Львович

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ВНУТРЕННИХ СОСТОЯНИЙ
КВАНТОВЫХ СИСТЕМ

Специальность 01.04.02 – теоретическая
и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени доктора физико-математических наук

Москва - 1982

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований (Дубна).

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук профессор
Б.А. АРБУЗОВ (ИФВЭ, Серпухов),
доктор физико-математических наук старший
научный сотрудник М.В. КАЗАРНОВСКИЙ (ИЯИ АН СССР),
доктор физико-математических наук старший
научный сотрудник В.И. МАНЬКО (ФИАН СССР).

Ведущая организация - Институт атомной энергии им. И.В. Курчатова
(Москва).

Защита состоится "18" апреля 1983 г. в 12 часов на
заседании Специализированного ученого совета № 3 (ДОО2.39.03)
Физического института им. П.Н. Лебедева АН СССР, Москва,
Ленинский проспект, д. 53.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФИАН.

Автореферат разослан "11" марта 1983 г.

Ученый секретарь Специализированного
ученого совета № 3

доктор физико-математических наук
профессор

К.В. ВЛАДИМИРСКИЙ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Интерференционные явления, обусловленные квантовомеханическим принципом суперпозиции, играют важную роль как в атомной и ядерной физике, так и в физике элементарных частиц. Многие глубокие свойства микрообъектов наиболее четко проявляются в физических эффектах, связанных с поведением суперпозиций внутренних состояний квантовых систем. Внутренним состояниям соответствуют наблюдаемые, коммутирующие с операторами импульса и координаты, характеризующими движение системы как целого. Речь может идти о состояниях одной и той же частицы с разными проекциями спина на заданное направление, но вместе с тем о K^0 и \bar{K}^0 -мезонах - состояниях с разной странностью, ρ^0 и ω -мезонах - состояниях с разным изотопическим спином, возбужденных уровнях ядер, атомов или молекул. Интерференционные эффекты, отвечающие внутренним квантовым числам различной природы, имеют общие черты и описываются единым образом. Актуальность и перспективность исследования интерференции внутренних состояний определяется тем, что этот класс явлений содержит прямую информацию о внутренней структуре и о характере взаимодействия квантовых объектов. На языке интерференции внутренних состояний получают наглядную интерпретацию существенные особенности процессов рождения и распада нестабильных систем (в частности, нейтральных K -мезонов), поляризационных эффектов, парных корреляций, зависящих от внутренних квантовых чисел. В то же время последовательный анализ интерференции внутренних состояний имеет принципиальное значение для проблемы тождественности и различимости частиц в квантовой физике.

Цель работы - систематическое исследование эффектов интерференции внутренних состояний в процессах взаимодействия кванто-

**Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ**

вых систем (включающее анализ свойств частиц с неортогональными внутренними состояниями и его применение к непрерывному описанию поведения систем одинаковых и различающихся частиц).

Научная новизна. Предложена новая феноменологическая формулировка теории многоуровневых нестабильных систем, учитывающая в явном виде интерференцию неортогональных друг другу перекрывающихся уровней. Установлен общий характер связи неортогональности квазистационарных внутренних состояний нестабильных систем с принципами суперпозиции и унитарности. Показано, что из условия унитарности вытекает комплексность параметра электромагнитного смешивания возбужденных ядерных уровней с разными изотопическими спинами.

Разработан метод унитарного описания резонансных процессов при очень большой плотности интерферирующих ядерных уровней. Получены неизвестные ранее соотношения в теории длительности ядерных реакций и теории флуктуаций эффективных сечений, из которых следуют качественно новые выводы о характере резонансных реакций при сильном перекрывании промежуточных уровней. Введено представление о вероятностном распределении времени задержки волнового пакета и получено общее выражение для соответствующей функции распределения. Впервые показано, что при условии

$\Gamma \gg \frac{nD}{2\pi}$ (Γ — полная ширина, D — среднее расстояние между соседними уровнями, n — число открытых каналов) длительность столкновения во много раз превышает среднее время жизни для отдельного квазистационарного уровня, а вероятностное распределение времени задержки подчиняется неэкспоненциальному закону и в пределе $\Gamma/nD \rightarrow \infty$ имеет форму δ -образного пика.

Предсказан и впервые теоретически рассчитан эффект вра-

щения плоскости линейной поляризации γ -квантов при их прохождении через поляризованную электронную мишень (намагниченный ферромагнетик) в области больших энергий, в которой уже не действует стандартный механизм оптического вращения плоскости поляризации в магнитном поле. Впоследствии это явление было обнаружено экспериментально; эксперименты подтвердили количественные выводы теории.

Построена теория когерентных явлений при электрическом и магнитном 2^L -польном излучении системы, состоящей из возбужденного и невозбужденного центров (атомов, ядер), и получены явные выражения для частот и ширины спектральных линий. Решена задача о многократном рассеянии электромагнитных волн на двух дипольных центрах. Развита теория мультипольного излучения атома, находящегося на фиксированном расстоянии от поверхности проводника.

Получены соотношения, описывающие корреляции распадов долгоживущего и короткоживущего нейтральных K -мезонов в различных экспериментальных ситуациях с учетом нарушения CP -инвариантности. Впервые построено феноменологическое описание рождения пар нейтральных K -мезонов в инклюзивных процессах и проанализировано поведение корреляций типа $K_S^0 K_S^0$ и $K_S^0 K_L^0$ при малых относительных импульсах. Получены новые изотопические соотношения для двухчастичных инклюзивных реакций.

Проведен анализ интерференционных корреляций при взаимодействии частиц с неортогональными внутренними состояниями. Установлено, что скалярное произведение векторов внутренних состояний играет роль непрерывного параметра близости и различия микрочастиц, и на этой основе впервые разработано единое квантовомеханическое описание систем тождественных и систем нетождественных

частиц, включающее непрерывный переход от различающихся частиц к тождественным. С той же точки зрения исследованы диффузионные эффекты смешивания газов, атомы которых находятся в неортогональных друг другу внутренних состояниях (либо в смешанных состояниях с некомутирующими матрицами плотности). Доказана непрерывная зависимость изменения энтропии и других термодинамических величин от внутренних свойств смешиваемых атомов, что служит основой нового подхода к решению целого класса термодинамических парадоксов разрывности (в том числе парадоксов Гиббса и Зинштейна).

Научная и практическая ценность. Результаты диссертации могут найти применение:

а) при теоретическом и экспериментальном исследованиях свойств перекрывающихся резонансов в ядерной физике и физике элементарных частиц; при экспериментальном определении времени протекания резонансных реакций в условиях сильного перекрывания высоковозбужденных ядерных уровней;

б) при изучении влияния радиационных поправок на спиновые эффекты в комптоновском рассеянии, при разработке методики измерения малых поляризационных параметров в связи с экспериментальным исследованием несохранения четности в ядерных переходах;

в) при изучении влияния металлической поверхности на спектры мультиспольного излучения и времени жизни возбужденных атомов и молекул;

г) при изучении смешивания двух газов с поляризованными атомами;

д) при исследовании парного рождения нейтральных К-мезонов и определении пространственных размеров области их генерации;

е) при исследовании фундаментальных свойств нейтральных К-ме-

зонов (измерение электромагнитного радиуса и параметров нарушения CP-инвариантности, проверка CPT-инвариантности).

Содержащийся в диссертации анализ поведения систем с неортогональными внутренними состояниями приводит к более глубокому пониманию роли тождественности и различимости частиц в квантовой физике. Принципиально важным в этой связи является введение непрерывных параметров, характеризующих внутренние свойства квантовых систем.

Апробация работы. Результаты работ, лежащих в основе диссертации, многократно использовались советскими и зарубежными авторами. Результаты и выводы диссертации докладывались и обсуждались в 1968-1981 гг. на научных семинарах ФИАН, ИТЭФ, НИИЯФ МГУ, ЛИЯФ, ЛТФ, ЛВЗ, ЛНФ и ЛЯП ОИЯИ, научных сессиях отделения ядерной физики АН СССР, Зимних школах ЛИЯФ по физике атомного ядра и элементарных частиц (1972, 1974), IV Симпозиуме по гносеологическим проблемам теории измерений (Ужгород, 1971), Всесоюзном симпозиуме "Ядерные реакции и кластерные аспекты структуры ядра" (Воронеж, 1981), а также были представлены на XVIII Международной конференции по физике высоких энергий (Тбилиси, 1976), Международной конференции по гиперядрам и физике каонов низких энергий (Польша, Яблона, 1979), X Международном симпозиуме по многочастичной динамике (Индия, Гоа, 1979).

Объем работы. Диссертация содержит 285 страниц машинописного текста и состоит из введения, пяти глав, включающих 25 параграфов, и шести приложений; в списке цитируемой литературы 226 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В диссертации обсуждается следующий круг вопросов.

Во-первых, исследуются эффекты интерференции внутренних

состояний, соответствующих одной частице или одной сложной системе (без разделения на подсистемы). К ним, в частности, относятся интерференционные явления при сильном перекрывании резонансных уровней (§§ I-9), эффект вращения плоскости поляризации γ -квантов в среде с поляризованными электронами (§ II), интерференционные явления, связанные с когерентными свойствами суперпозиций нейтральных K-мезонов (§ IO, § 25, пункты I, 2).

Далее изучается поведение суперпозиций внутренних состояний типа $|\psi\rangle = \sum_i \sum_k a_{ik} |A_i\rangle |A_k\rangle$, относящихся к двум частицам или подсистемам ($|A_i\rangle$ - набор одночастичных внутренних состояний). В связи с этим исследуются когерентные явления при излучении системы, состоящей из возбужденного и невозбужденного центров (§§ I2-I5), интерференционные явления при взаимодействии и генерации пар частиц (§§ I7, I8, I9, 22), интерференционные корреляции при регистрации распадов двух нейтральных K-мезонов (§§ 23, 24, § 25 п.3).

Специальный анализ интерференционных корреляций для систем с неортогональными внутренними состояниями обнаруживает новые стороны проблемы тождественности и различимости частиц в квантовой механике и статистической физике.

Во введении дана краткая характеристика результатов диссертации.

Первая глава посвящена унитарной теории многоуровневых нестабильных систем и исследованию интерференции перекрывающихся уровней.

В §I показано, что унитарное правило сумм Белла-Штейнбергера, установленное первоначально для нейтральных K-мезонов в связи с проблемой нарушения CP-инвариантности, является общим следствием теории перекрывающихся резонансов и определяет ска-

лярное произведение векторов двух любых внутренних квазистационарных состояний нестабильной системы $^1/I$. Такой же вывод содержится в более поздних работах Вика (Wick G.C., Phys.Lett., 1969, v.30B, p.126) и Стодольского (Stodolsky, Phys.Rev., 1970, v.D1, p.2683). В § 2 рассмотрены осцилляции при распаде неортогональных друг другу квазистационарных состояний. Показано, что неэкспоненциальный распад, связанный с кратными полюсами S-матрицы, представляет собой частный случай затухающих с течением времени "биений" в пределе, когда скалярные произведения векторов квазистационарных состояний стремятся к единице.

В § 3 дано описание процессов генерации и распада суперпозиций неортогональных нестабильных уровней. Энергетический спектр продуктов распада выражается через амплитуды распада A_{k+n} и матричные элементы перехода в квазистационарные состояния g_j с помощью соотношений

$$dW_n \sim \frac{1}{2\pi} \left| \sum_{k=1}^N \frac{f_k A_{k+n}}{\xi_k - i\frac{\Gamma_k}{2} - \omega} \right|^2 d\omega, \quad f_k = \sum_{j=1}^N (\hat{U}^{-1})_{kj} g_j, \quad (I)$$

где \hat{U} - матрица, элементы которой определяются по формуле Белла-Штейнбергера:

$$U_{kj} = \langle k | j \rangle = \frac{\sum_n A_{k+n}^* A_{j+n}}{\frac{1}{2}(\Gamma_k + \Gamma_j) - i(\xi_k - \xi_j)} \quad (2)$$

($\Gamma_k = \sum_n |A_{k+n}|^2$ - ширина, ξ_k - энергия k-ого уровня).

В § 4 обсуждается электромагнитное смешивание нестабильных уровней. На примере возбужденных уровней ядра Be^8 со спином и четностью 2^+ , распадающихся по каналу $Be^8 \rightarrow 2d$, показано, что в силу унитарности параметр кулоновского смешивания перекрывающихся нестабильных состояний с разными изотопическими спинами является комплексным, а не действительным, причем квази-

стационарные состояния существенно неортогональны друг другу. Для степени неортогональности квазистационарных состояний Ve_1^8 и Ve_2^8 найдено значение $|\langle Ve_1^8 | Ve_2^8 \rangle| \approx 0,3^{1/2}$. Данные результаты учитывались при дальнейшем исследовании интерференции уровней Ve^8 (Кириллюк В.Д. и др. Ядерная физика, 1969, т.10, с.1081; Shanley P.S., Phys.Rev.Lett., 1975, v.34, p.218; Warke C.S., Phys.Rev. 1976, v.С13, p.9). В § 4 приводятся также аналогичные безмодельные оценки степени неортогональности ρ^0 и ω - мезонов, мнимой части параметра смешивания и относительной фазы амплитуд распада $\rho^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ и $\omega \rightarrow \pi^+ \pi^-$, следующие из соотношения Белла-Штейнбергера, Т-инвариантности и экспериментальных данных о парциальных ширинах резонансов^{/2/}.

В § 5 исследуется общая феноменологическая структура амплитуд многоканальных резонансных реакций, следующая из требования унитарности S -матрицы. Показано, что при любом числе интерферирующих друг с другом промежуточных уровней элементы резонансной S -матрицы могут быть представлены в виде суммы полюсных членов, вычеты которых выражаются через амплитуды распада и комбинации скалярных произведений векторов квазистационарных состояний, задаваемых правилом сумм Белла-Штейнбергера^{/3/}. Проведен учет нерезонансного фона и проанализированы следствия Т-инвариантности. Предложенный формализм автоматически включает предельный случай кратных полюсов S -матрицы.

В заключительном пункте § 5 и в § 6 изучаются свойства системы перекрывающихся уровней с одним каналом распада. Показано, что в зависимости от начальных условий различные виды одноканального распада системы, имеющей N внутренних степеней свободы, классифицируются по поведению при временах $t \rightarrow 0$: $P_n(t) \sim t^{2n}$, где $0 \leq n \leq N-1$. В частности, при мно-

венном возбуждении такой системы δ -образным пакетом частиц в распадном канале (предполагается, что разброс энергии пакета удовлетворяет условию $\Delta E \gg N\Gamma$, где Γ - средняя ширина) плотность вероятности распада в момент времени t описывается выражением

$$P_0(t) = \left(4\pi^2 \hbar \sum_{k=1}^N \Gamma_k \right)^{-1} \left| \int_{-\infty}^{\infty} (1-S(E)) e^{-iEt/\hbar} dE \right|^2, \quad (3)$$

где

$$S(E) = \prod_{k=1}^N \left(1 + i \frac{\Gamma_k}{E_k - E - \frac{i}{2}\Gamma_k} \right). \quad (4)$$

В этом случае $\hbar P_0(0) = \sum_{k=1}^N \Gamma_k$; $\int_0^{\infty} P_0(t) dt = 1$. При N -кратном вырождении уровней из (3) следует закон распада

$$P_0(t) = \frac{\Gamma}{N\hbar} \left(L_{N-1}^1 \left(\frac{\Gamma t}{\hbar} \right) \right)^2 e^{-\Gamma t/\hbar}, \quad (5)$$

где L_{N-1}^1 - присоединенный полином Лаггера.

Во второй главе исследуется характер резонансных процессов при большой плотности перекрывающихся уровней.

В § 7 в рамках одноканальной унитарной теории перекрывающихся уровней получены явные выражения для флуктуаций эффективных сечений и коэффициентов корреляции амплитуд и сечений^{/4/}. Рассмотрение основано на представлении S -функции при определенных значениях углового момента в виде произведения членов, соответствующих отдельным резонансам (формула (4)). При сильном перекрывании уровней, когда выполняется условие $\Gamma \gg D$, среднее значение S -функции в энергетическом интервале, заполненном большим числом резонансов, стремится к нулю, а относительная флуктуация парциальных сечений $\rho_{\sigma} \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}$. Показано, что в этом режиме корреляционная длина для флуктуаций эффективных сечений имеет величину $\xi_0 = \frac{D}{2\pi}$ и не совпадает с шириной резо-

нансных уровней Γ . В согласии с принципом неопределенности, в рассматриваемом случае время соударения $\tau \sim \frac{\hbar}{\epsilon_0} = \frac{2\pi\hbar}{D} \gg \frac{\hbar}{\Gamma}$. Дальнейший анализ временного хода резонансных процессов показывает, что и при наличии многих каналов флуктуации эффективных сечений, вообще говоря, не описываются общепринятой схемой Эриксона (Ericson T.E., Ann.Phys., 1963, v.23, p.390). Если $D \ll \frac{\Gamma}{n}$, где n — число открытых каналов, то корреляционная длина $\epsilon_0 = \frac{nD}{2\pi} \ll \Gamma$, причем коэффициент корреляции сечений при разных энергиях имеет нелоренцовскую форму. Результат Эриксона $\epsilon_0 = \Gamma$ может быть справедлив только при противоположном условии $D \gg \frac{\Gamma}{n}$ /5/.

В § 8 вводится представление о вероятностном распределении времени задержки волновых пакетов. Найдено общее выражение, связывающее функцию распределения времени задержки с энергетической зависимостью амплитуды реакции /6,7/. Исследуется чисто упругое (одноканальное) рассеяние пространственно узких пакетов, у которых основная часть спектра равномерно заполнена большим числом резонансных уровней. Показано, что при условии $\Gamma \gg D$ ввиду сильно выраженной интерференции промежуточных нестабильных состояний развитие процесса во времени имеет явно неэкспоненциальный характер и проходит в две стадии, разделенные промежутком времени $\tau_0 = \frac{2\pi\hbar}{D} \gg \frac{\hbar}{\Gamma}$. В половине случаев имеет место мгновенное дифракционное рассеяние, а в другой половине случаев — рассеяние с временной задержкой, сосредоточенной в относительно узкой области в окрестности значения $\tau_0 = \frac{2\pi\hbar}{D}$. Ширина этой области (в предположении, что разброс энергии пакета удовлетворяет условию $\Delta E \gg \Gamma$, а резонансы распределены по закону Пуассона) составляет $(\Delta\tau)^2)^{1/2} = \tau_0 \sqrt{\frac{D}{\Gamma}} \ll \tau_0$ /6,7,8/.

В § 9 развита теория длительности многоканальных ядерных

реакций в области перекрывающихся резонансов. Показано, что при произвольном числе каналов и интерферирующих уровней унитарная резонансная S -матрица, соответствующая определенному угловому моменту, удовлетворяет соотношению /5,7,9/

$$i S_p (\hat{S}(E) \frac{d\hat{S}^*(E)}{dE}) = \sum_k \frac{\Gamma_k}{(\epsilon_k - E)^2 + (\frac{\Gamma_k}{2})^2} \quad (6)$$

Из равенства (6) следует правило сумм, связывающее время на задержки резонансных реакций:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \bar{\tau}_{ij} \langle |S_{ij}(E) - \delta_{ij}|^2 \rangle = \frac{2\pi\hbar}{D} \quad (7)$$

Здесь

$$\bar{\tau}_{ij} = \langle |T_{ij}(E)|^2 \rangle^{-1} I_m \langle \frac{dT_{ij}(E)}{dE} T_{ij}^*(E) \rangle, \quad \hat{T}(E) = \hat{S}(E) - I,$$

символ $\langle \rangle$ означает усреднение по энергетическому спектру волнового пакета. Если средние значения всех элементов S -матрицы близки к нулю, то средняя длительность столкновения имеет величину $\tau \sim \frac{\pi\hbar}{nD}$. В рамках теории перекрывающихся резонансов данный режим может быть реализован только при условии $\Gamma \gg \frac{nD}{2\pi}$; в соответствии с этим $\tau \gg \frac{\hbar}{\Gamma}$ /5,7,9/.

Во втором пункте § 9 обсуждается вопрос о зависимости длительности столкновения от числа "входных состояний" (независимых суперпозиций уровней промежуточного ядра, амплитуды распада которых не равны нулю). Число "входных состояний" совпадает с рангом резонансной T -матрицы. Показано, что чем меньше ранг T -матрицы, тем сильнее деструктивная интерференция уровней и тем больше времена задержки. Результат $\tau \sim \frac{\pi\hbar}{nD}$ соответствует предположению о максимальном ранге, равном числу каналов n . Если число "входных состояний" меньше числа каналов ($m < n$), то при условии $\Gamma \gg \frac{mD}{2\pi}$ средняя длительность столкновения имеет величину $\tau \sim \frac{\pi\hbar}{mD} > \frac{\pi\hbar}{nD} \gg \frac{\hbar}{\Gamma}$. Таким образом, при фиксированных

значениях m время протекания реакций растет пропорционально плотности уровней. При этом возникает принципиальная возможность увеличения длительности ядерных реакций с ростом энергии возбуждения.

В третьем пункте § 9 исследуется двухстадийный характер развития резонансных процессов во времени. Взаимодействие частицы с ядром разделяется на мгновенную стадию и стадию образования составного ядра. Средние времена задержки на стадии составного ядра удовлетворяют правилу сумм

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{\tau}_{ij} \left(\langle |S_{ij}(E)|^2 \rangle - |\langle S_{ij}(E) \rangle|^2 \right) = \frac{2\pi\hbar}{D}. \quad (8)$$

В рамках модели n эквивалентных каналов справедливы одинаковые соотношения с заменой $D \rightarrow nD$:

$$|\langle S_{ij}(E) \rangle| = e^{-x/2} \delta_{ij}, \quad \tilde{\tau}_{ij} = \frac{\hbar}{\Gamma} \frac{x}{1-e^{-x}}; \quad (9)$$

$$\tau_c = \left(\frac{\tilde{\tau}^2 - (\tilde{\tau})^2}{(\tilde{\tau})^2} \right)^{1/2} = \left[\frac{2}{x} (1-e^{-x}) - e^{-x} \right]^{1/2}, \quad x = \frac{2\pi\Gamma}{nD}. \quad (10)$$

При условии $\Gamma \gg \frac{nD}{2\pi}$ неупругие процессы и флуктуационное упругое рассеяние запаздывают в среднем на время $\tau_0 = \frac{2\pi\hbar}{nD}$ с относительной флуктуацией $\eta_c = \sqrt{\frac{nD}{\pi\Gamma}} \ll 1$. Если $\Gamma \ll \frac{nD}{2\pi}$ (при большом числе каналов отношение Γ/D может быть по-прежнему велико), то распределение времени задержки оказывается таким же, как и в случае изолированного резонанса ($P(t) = \frac{\Gamma}{\hbar} e^{-\Gamma t/\hbar}$).

Основные результаты, изложенные во второй главе диссертации, нашли впоследствии подтверждение в ряде теоретических работ (Rosengaus E., Mello P.A., Bauer M., Amer.J.Phys., 1978, v. 46(11), p.1170; Bauer M., Mello P.A., J.Phys.G: Nucl.Phys., 1979, v.5, p.1199; Bauer M., Mello P.A., McVoy K.W., Zs.f.Phys., 1979, v. 293A, p.151). Временной ход резонансных реакций при большой плот-

ности промежуточных уровней может быть восстановлен экспериментально с помощью метода "теней" Тушинова (см. Барышевский В.Г. Ядерная физика, 1979, т.30, с.867), а также по спектру тормозного излучения мягких γ -квантов, сопровождающих рассматриваемую реакцию /6/.

В третьей главе изучаются эффекты интерференции внутренних состояний в электромагнитных процессах.

В § 10 с учетом быстрого роста эффективного сечения процесса $K_L^0 + e \rightarrow K_S^0 + e$ при увеличении энергии обоснована практическая возможность использования некогерентной регенерации $K_L^0 \rightarrow K_S^0$ на атомных электронах, идентифицируемой по распадам $K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ и релятивистским электронам отдачи, для экспериментального определения электромагнитного радиуса нейтрального K -мезона /10/.

В § 11 изложена теория нового явления - вращения плоскости поляризации γ -квантов при их прохождении через поляризованную электронную мишень (намагниченный ферромагнетик). При выходе за оптическую область спектра обычное фарадеевское вращение плоскости линейной поляризации в магнитном поле практически исчезает (угол поворота обратно пропорционален квадрату частоты и при энергии фотона $E_\gamma = 0,5$ МэВ в намагниченном до насыщения железе составляет $0,7 \cdot 10^{-7}$ рад/см). Однако именно при энергиях $\sim 0,1$ - 10 МэВ в поляризованной электронной мишени начинает действовать другой механизм вращения плоскости поляризации, связанный со спиновой зависимостью амплитуды рассеяния "вперед" фотона на свободном электроны. Такая зависимость отсутствует в борновском приближении и возникает только с учетом радиационных поправок к амплитуде комптоновского рассеяния. При вычислении радиационных поправок использовался метод дисперсионных соотношений /11/.

Амплитуда рассеяния "вперед" фотона с энергией $E_\gamma = \hbar\omega$ на покоящемся электроне имеет спиновую структуру

$$M = f_1(\omega) (\vec{e}_2^* \vec{e}_1) + i f_2(\omega) \vec{\sigma} [\vec{e}_2^* \vec{e}_1] \quad (II)$$

В борновском приближении $f_2(\omega) = 0$, однако с учетом радиационных поправок $f_2(\omega)$ имеет величину порядка $\frac{e^2}{\hbar c} r_0$ ($r_0 = \frac{e^2}{m_e c^2}$ - классический радиус электрона). Интерференция состояний фотона со спиральностями I и $-I$, которым в среде с поляризованными электронами соответствуют разные показатели преломления, приводит к повороту плоскости линейной поляризации на пути x на угол

$$\varphi = \frac{2\pi N c}{\omega} P x \cdot \text{Re} f_2(\omega) \quad (I2)$$

Здесь N - число электронов в единице объема, P - проекция вектора поляризации электрона на направление импульса фотона. В первом исчезающем приближении по электромагнитной константе величина $\text{Re} f_2(\omega)$ выражается в виде дисперсионного интеграла

$$\text{Re} f_2(\omega) = \frac{\omega^3}{4\pi^2 c} \int_0^\infty \frac{\sigma_{++}(\omega') - \sigma_{--}(\omega')}{\omega'(\omega'^2 - \omega^2)} d\omega' \quad (I3)$$

где σ_{++} и σ_{--} - полные сечения комптоновского рассеяния при параллельной и антипараллельной ориентации спинов электрона и фотона, вычисленные в борновском приближении /II/.

В случае распространения фотона в намагниченном до насыщения железе вдоль направления вектора поляризации электронов ($P = 2/26 \approx 0,077$) угол поворота плоскости линейной поляризации на единице длины равен (в рад/см)

$$\varphi_0 = 13,48 \cdot 10^{-3} \phi \left(\frac{\hbar\omega}{m_e c^2} \right), \quad \phi \left(\frac{\hbar\omega}{m_e c^2} \right) = \frac{2\pi c \text{Re} f_2(\omega)}{\omega r_0^2}$$

Функция $\phi(\xi)$ протабулирована в интервале $0,1 \leq \xi \leq 6$. В широкой области энергий от 0,2 до 2 МэВ угол поворота φ_0 имеет величину $(4+5) \cdot 10^{-3}$ рад/см и достигает при $E_\gamma = 603$ кэВ макси-

мального значения, равного $5,32 \cdot 10^{-3}$ рад/см. Это на пять порядков превышает результат стандартной теории. При асимптотических энергиях ($\hbar\omega \gg m_e c^2$) $\phi \approx \frac{\pi^2 m_e c^2}{4\hbar\omega}$ /I2/.

Обсуждаемый эффект, предсказанный в 1965 году /II/, был впоследствии обнаружен экспериментально в СССР и ФРГ. Теория находится в хорошем согласии с результатами измерений группы Лобашева (Лобашев В.М. и др. Письма в ЖЭТФ, 1971, т.14, с.273; ЖЭТФ, 1975, т.58, с.1220), а также Бока и Лукша (Bock P., Luksch P., Lett. Nuovo Cim., 1971, v.2, p.1081; Zs.f. Phys., 1973, v.263, p.147). Вращение плоскости линейной поляризации лежит в основе механизма наблюдавшейся экспериментально лево-правой асимметрии при многократном рассеянии γ -квантов на намагниченных рассеивателях.

В §§ I2-I4 исследуются коллективные явления в системе двух мультипольных излучателей, обусловленные интерференцией амплитуд распада двухчастичных внутренних состояний. Получено аналитическое решение задачи типа Дике (Dicke R.H., Phys. Rev. 1954, v.93, p.99) о спектре и угловом распределении излучения двух неподвижных центров (атомов, ядер), один из которых находится в основном состоянии A с нулевым спином, а другой в возбужденном состоянии B с целым спином $L \geq 1$. Энергии и радиационные ширины симметричных и антисимметричных коллективных состояний системы (AB) при произвольных расстояниях R между центрами имеют структуру /I3/

$$\Delta E_{Lm}^{(\pm)} = E_A + E_B \pm \hbar \gamma_L \text{Re} U_{|m|}^{(L)}(y), \quad \gamma_L^{(\pm)} = \gamma_L (1 \pm 2J_m U_{|m|}^{(L)}(y)) \quad (I4)$$

где γ_L - радиационная ширина изолированного центра B , m - проекция спина на вектор $\vec{R} = \vec{R}_1 - \vec{R}_2$, $y = (E_B - E_A)R/\hbar c$,

$$U_{|m|}^{(L)}(y) = \frac{1}{2} i \sum_{n=0}^L (-1)^{m+1} C_{L+1, L-1}^{2n0} C_{Lm, L-m}^{2n0} \sqrt{\frac{\pi}{2y}} H_{2n+1}^{(1)}(y) \quad (I5)$$

($H^{(1)}$ - функция Ганкеля первого рода). В длинноволновом пределе ($y \ll 1$) радиационные ширины всех симметричных коллективных состояний удваиваются, а ширины антисимметричных коллективных состояний малы ($\sim y^2$). Найдена зависимость эффективного сечения 2^L -го резонансного рассеяния фотона на двух бесспиновых идентичных центрах от энергии, направления импульса и поляризации. Исследуется общая спиновая структура резонансного мультипольного взаимодействия между невозбужденным и возбужденным центрами.

В § 13 детально анализируется случай электрических дипольных переходов и рассматривается его классическая интерпретация /14/. Получены явные выражения для ширин и сдвигов энергий коллективных уровней системы (AB) при значениях спинов: $S_B = 1, S_A = 0; S_B = 0, S_A = 1; S_A = S_B = 1/2$. Построена классическая теория многократного рассеяния электромагнитных волн на двух неподвижных дипольных рассеивателях и получены соотношения, связывающие амплитуду рассеяния монохроматического излучения на двухцентровой системе с амплитудами рассеяния на изолированных дипольных центрах при произвольных расстояниях между ними /15/. В случае двух одинаковых осцилляторов классическая теория приводит к тем же результатам, что и квантовое рассмотрение в § 12 для E1-переходов.

На основе результатов, изложенных в §§ 12-13, в § 14 исследуются свойства двухатомной молекулы с изомерными ядрами, одно из которых находится в основном, а другое - в возбужденном состоянии. Показано, что при энергиях возбуждения порядка 10-60 кэВ относительная разница во временах жизни вращательных уровней такой молекулы достигает нескольких процентов.

Используя аналогию с двухцентровой задачей, Моравитц применил формулы работ /14,15/, относящиеся к дипольному случаю, для описания наблюдавшегося на опыте эффекта изменения времени жизни

атома вблизи проводящей поверхности (Morawitz H., Phys.Rev., 1969, v. 187, p.1792). В § 15 развита более последовательная теория мультипольного излучения атома, находящегося на фиксированном расстоянии от поверхности идеального проводника /13/. Установлено, что вблизи поверхности проводника возбужденные атомные уровни расщепляются на "штарковские" компоненты с различными временами жизни, зависящими от модуля проекции спина на нормаль к проводящей поверхности. Найден зависящий от расстояния до металлического зеркала сдвиг энергии основного состояния атома.

Четвертая глава посвящена исследованию взаимодействия систем с неортогональными внутренними состояниями. В §§ 16-19 на основе принципа суперпозиции внутренних состояний выдвигается и обосновывается положение о существовании в рамках квантовой механики непрерывного перехода от нетождественных частиц к тождественным.

В § 16 вводится представление о частицах, которые не являются ни полностью одинаковыми, ни полностью различными. Непрерывной мерой их близости служит скалярное произведение векторов внутренних состояний $\langle C|D \rangle$. Существует бесконечное множество состояний $|D\rangle$, близких к состоянию $|C\rangle$, но не совпадающих с ним. В пределе $|\langle C|D \rangle| \rightarrow 1$ частицы полностью тождественны, при $\langle C|D \rangle \rightarrow 0$ полностью различны /16-22/.

В § 17 строится теория рассеяния частиц с неортогональными внутренними состояниями. Показано, что в случае непрерывного сближения двух начальных состояний $|C\rangle$ и $|D\rangle$ или двух конечных состояний $|L\rangle$ и $|M\rangle$, фиксируемых одночастичными детекторами, автоматически обеспечиваются свойства симметрии и правила запрета, характерные для амплитуд рассеяния тождественных частиц. В частности, если потенциал взаимодействия не зависит от внутренних квантовых чисел, то с учетом интерференции двухчастичных внутренних

состояний амплитуда регистрации частиц C и D , рассеянных на угол θ , принимает вид

$$F_{LM}^{CD}(\theta) = f(\theta) \langle L|C \rangle \langle M|D \rangle \pm f(\pi-\theta) \langle L|D \rangle \langle M|C \rangle \quad (I6)$$

(знак "плюс" относится к бозонам, знак "минус" - к фермионам); очевидно $F_{LM}^{CC}(\theta) = \pm F_{LM}^{CC}(\pi-\theta)$, $F_{LL}^{CD}(\theta) = \pm F_{LL}^{CD}(\pi-\theta)$. Эффективное сечение рассеяния, просуммированное по внутренним квантовым числам конечных частиц, описывается выражением^{/16/}

$$\sigma(\theta) = |f(\theta)|^2 + |f(\pi-\theta)|^2 \pm 2 \operatorname{Re}(f(\theta)f^*(\pi-\theta)) \langle C|D \rangle^2, \quad (I7)$$

которое содержит в качестве предельных случаев известные формулы для сечений рассеяния одинаковых частиц (при $|\langle C|D \rangle| \rightarrow 1$) и полностью различающихся частиц (при $\langle C|D \rangle \rightarrow 0$). Таким образом, при изменении параметра $|\langle C|D \rangle|$ в интервале $0 \leq |\langle C|D \rangle| \leq 1$ осуществляется непрерывный переход от рассеяния нетождественных частиц к рассеянию тождественных частиц. Анализ временной зависимости сечения рассеяния волновых пакетов с нестационарными внутренними состояниями, проведенный в § 18, показывает, что традиционные представления о наличии скачка между свойствами тождественных и нетождественных частиц связаны с абсолютизацией предельного случая больших разностей масс базисных стационарных состояний.

В § 19 исследуется общая интерференционная структура волновой функции двух частиц с неортогональными друг другу внутренними состояниями. Получены коммутационные соотношения для операторов рождения и уничтожения частиц с неортогональными внутренними состояниями. Показано, что аппарат вторичного квантования приводит к единому описанию свойств тождественных и нетождественных частиц, включающему непрерывный переход от различающихся внутренних состояний к одинаковым^{/20,21/}.

Введение непрерывных параметров близости и различия частиц позволяет с новой точки зрения проанализировать термодинамические эффекты смешивания газов^{/22-25/}. В § 20 обсуждается изменение энтропии при смешивании двух идеальных бальмановских газов, атомы которых отличаются только спиновой поляризацией. Найдена аналитическая зависимость энтропии смешения от элементов начальных спиновых матриц плотности. Из полученных соотношений (остающихся справедливыми при любой природе внутренних квантовых чисел) вытекает, что энтропия смешения газов, находящихся первоначально в объемах V_1 и V_2 при равных давлениях и температурах, может принимать непрерывный ряд значений в интервале $0 \leq \Delta S \leq \kappa N_1 \ln \frac{V_1+V_2}{V_1} + \kappa N_2 \ln \frac{V_1+V_2}{V_2}$ (N_1 и N_2 - числа атомов в первом и втором объемах, κ - постоянная Больцмана). Минимальное значение ΔS , равное нулю, соответствует одинаковым газам, максимальное - различным, полностью разделяемым газам. Если атомы смешиваемых газов находятся в неортогональных друг другу внутренних состояниях, то изменение энтропии является непрерывной функцией параметра $|\langle C|D \rangle|$ на отрезке $0 \leq |\langle C|D \rangle| \leq 1$:

$$\Delta S = -\kappa (N_1 + N_2) (P_1 \ln P_1 + P_2 \ln P_2),$$

$$P_{1,2} = \frac{1}{2} \left\{ 1 \pm \left[\left(\frac{V_1 - V_2}{V_1 + V_2} \right)^2 + \frac{4V_1 V_2}{(V_1 + V_2)^2} |\langle C|D \rangle|^2 \right]^{1/2} \right\}. \quad (I8)$$

В случае равных начальных объемов

$$P_{1,2} = \frac{1}{2} (1 \pm |\langle C|D \rangle|), \quad \Delta S_{max} = 2\kappa N \ln 2.$$

При $|\langle C|D \rangle| \rightarrow 1$ энтропия смешения ΔS стремится к нулю, а при $\langle C|D \rangle \rightarrow 0$ к максимальному значению. Если $0 < |\langle C|D \rangle| < 1$, квантовые ансамбли, хотя и различаются, но не могут быть полностью разделены с помощью квантовомеханических анализаторов (фон Нейман Дж., Математические основы квантовой механики, гл.5, Наука, 1964). В этом

случае ΔS принимает промежуточные значения. При таком подходе устраняется указанный Гиббсом парадоксальный скачок в поведении ΔS при переходе от близких по своим свойствам газов к полностью идентичным. Видимость такого скачка возникает при ограниченном анализе, относящемся только к двум предельным ситуациям: $\langle C|D \rangle = 0$ и $|\langle C|D \rangle| = 1$.

С учетом квантовомеханического вырождения смешивание различающихся газов, имеющих одинаковые концентрации и температуры, приводит к изменению не только энтропии, но и других термодинамических величин (внутренней энергии, давления и т.д.). В § 21 исследуются эффекты смешивания близких по своим свойствам квантовых идеальных газов с одинаковыми давлениями, температурами и массами атомов. Показано, что изменения энергии и давления при изотермическом перемешивании таких газов непрерывно зависят от степени неортогональности внутренних состояний атомов в первом и втором объемах, достигают максимальных по абсолютной величине значений для газов с разными атомами ($\langle C|D \rangle = 0$) и исчезают при переходе к идентичным газам ($|\langle C|D \rangle| = 1$) /22,25/. Тем самым ликвидируется скачок в поведении термодинамических величин для смеси квантовых идеальных газов, указанный впервые Эйнштейном (1924г.). Парадоксы Эйнштейна и Гиббса имеют одинаковую физическую природу и связаны с абсолютизацией отличия между поведением тождественных частиц и поведением полностью различных частиц, внутренние состояния которых ортогональны.

В третьем пункте § 21 обсуждаются аналогичные эффекты смешивания для реальных поляризованных газов с атомами одного и того же сорта, находящимися в неортогональных друг другу спиновых состояниях $|C\rangle$ и $|D\rangle$ /22/. При достаточно малых концентрациях изменения энергии и давления в результате изотермического

смешивания таких газов (а также изменения температуры и давления при адиабатическом смешивании) выражаются через обменную часть второго вириального коэффициента и пропорциональны $(1 - |\langle C|D \rangle|^2)$. В случае частично поляризованных газов квантовые эффекты диффузионного смешивания пропорциональны $S_P(\hat{\rho}^{(C)} - \hat{\rho}^{(D)})^2$, где $\hat{\rho}^{(C)}$ и $\hat{\rho}^{(D)}$ — спиновые матрицы плотности газов до смешивания.

В пятой главе развивается и конкретизируется теория интерференционных корреляций типа Эйнштейна-Подольского-Розена при парном рождении частиц.

В § 22 дан общий анализ интерференционных явлений при регистрации нетождественных частиц двумя одночастичными детекторами, выделяющими суперпозиции этих частиц /26/. Установлена связь интерференционных корреляций с характером симметрии полной волновой функции двух бозонов или фермионов относительно перестановки пространственных и внутренних переменных. Получены соотношения, описывающие пространственно-временную (либо энергетическую) зависимость корреляций распадов двух нестабильных частиц по общим каналам. Рассмотрен процесс регистрации парного рождения нестабильных частиц с неортогональными внутренними состояниями по распадам одной из частиц (некорреляционный опыт) /27,28/. В этом случае вероятность распада, соответствующая любому каналу, содержит осцилляционный член (или интерференционный член в распределении эффективных масс), исчезающий при переходе к ортогональным внутренним состояниям.

Двухчастичные корреляции, проанализированные в § 22, четко проявляются при генерации пар нейтральных К-мезонов. В § 23 исследуется влияние конденсированных сред и нарушения CP- и CPT

инвариантности на корреляционные свойства состояний $K^0 \bar{K}^0$ с четными и нечетными орбитальными моментами /29,30/.

В 1964 году вскоре после открытия несохранения CP-четности в распадах нейтральных K-мезонов нами были предложены эксперименты по наблюдению интерференции распадов $K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ и $K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ в пучке K^0 -мезонов в вакууме и в пучке K_L^0 -мезонов, прошедших через слой вещества (Любошиц В.Л., Оконов Э.О., Подгорепский М.И., У Цзун-фань, Ядерная физика, 1965, т. I, с. 497-506). Эти эксперименты были впоследствии осуществлены в полном объеме; они окончательно исключили возможность имитации распада $K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ в первоначальных опытах и позволили с хорошей точностью определить фазу параметра нарушения CP-инвариантности $\eta_+ = A_{K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-} / A_{K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-}$. Использование корреляционных свойств пар $K^0 \bar{K}^0$ позволяет путем регистрации одного из нейтральных K-мезонов соответствующими детекторами выделять определенные суперпозиции состояний $|K_S^0\rangle$ и $|K_L^0\rangle$ в кинематически сопряженном направлении. Это открывает возможность дальнейшего исследования нарушения CP-инвариантности не только в двухпионных, но и в других распадах нейтральных K-мезонов. В § 24 получены соотношения, описывающие пространственно-временную зависимость вероятности регистрации распадов двух нейтральных K-мезонов по произвольным каналам. Подробно исследуются интерференционные корреляции двухпионных распадов нейтральных K-мезонов, рождающихся в реакциях $\bar{p}p \rightarrow \bar{K}^0 K^0$ и $e^+e^- \rightarrow \bar{K}^0 K^0$. Указаны условия, благоприятные для изучения интерференции распадов K_S^0 и K_L^0 мезонов при различных отношениях распадных амплитуд; изучена зависимость корреляций в системе $K^0 \bar{K}^0$ от относительного вклада C-четных и C-нечетных состояний /31/. Аналогичные вопросы

в дальнейшем обсуждались многими авторами (Лукстиньш и Оконов, 1967; Липкин, 1968; Гольдхабер и Янг, 1970; Байер, 1973; Дэсс, 1974).

В § 25 рассматриваются интерференционные явления при регистрации распадов одного из нейтральных K-мезонов, входящих в состав системы $K^0 \bar{K}^0$. Если пара $K^0 \bar{K}^0$ имеет определенную зарядовую четность (C=+1 или C=-1), то осцилляционный член в выражении для вероятности распада по определенному каналу, зависящий от разности масс K_S^0 и K_L^0 -мезонов, пропорционален степени неортогональности состояний $|K_S^0\rangle$ и $|K_L^0\rangle$ и отличен от нуля только с учетом нарушения CP-инвариантности /27,28/. Вводятся матрицы плотности, описывающие внутренние состояния одного и двух нейтральных K-мезонов; построено общее феноменологическое описание распадных свойств нейтральных K-мезонов, рождающихся в одночастичных и двухчастичных инклюзивных процессах при сохранении странности /32/. Исследуется характер зависимости структурных функций пар $K_S^0 K_S^0$, $K_L^0 K_L^0$ и $K_S^0 K_L^0$ при малых относительных импульсах от пространственно-временных размеров области генерации /33/.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертации.

В приложениях рассмотрены некоторые дополнительные вопросы, связанные с содержанием диссертации. Получено предасимптотическое выражение для среднего значения S-матрицы при большой плотности перекрывающихся уровней. Дана термодинамическая трактовка полученных во второй главе диссертации правил сумм, связывающих средние времена задержки резонансных реакций. Приведен простой вывод формулы для спектра излучения при каскадном переходе - в частности, в случае возбуждения двух одинаковых цент-

ров, находящихся на фиксированном расстоянии друг от друга. Обсуждается аналогия между квантовым изотропным осциллятором, расположенным вблизи поверхности проводника, и системой, состоящей из возбужденного и невозбужденного центров со спинами

$S_B = I, S_A = 0$. Сформулированы и доказаны теоремы, определяющие направление и интервалы непрерывного изменения термодинамических величин при смешивании газов, атомы которых имеют произвольную внутреннюю структуру /22,24/. Получены новые изотопические соотношения для двухчастичных инклюзивных реакций; проанализированы парные корреляции тождественных и нетождественных частиц, входящих в один и тот же изотопический мультиплет, при малых относительных импульсах /34,35/.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

1. На основе требования унитарности дано замкнутое феноменологическое описание интерференции неортогональных друг другу квазистационарных состояний в процессах генерации и распада нестабильных систем.

2. Развита унитарная теория флуктуаций эффективных сечений при большой плотности перекрывающихся промежуточных уровней. При очень сильном перекрывании резонансных уровней корреляционная длина не зависит от их ширины Γ и имеет величину $L_0 \approx \frac{nD}{2\pi}$, где D - среднее расстояние между соседними уровнями, n - число открытых каналов.

3. Установлены унитарные правила сумм, связывающие средние времена задержки резонансных ядерных реакций при большом числе перекрывающихся уровней.

4. Показано, что при условии $\Gamma \gg \frac{mD}{2\pi}$ (m - число входных состояний промежуточной системы, которое меньше или

равно числу открытых каналов) развитие резонансных процессов во времени имеет явно неэкспоненциальный характер, а среднее время запаздывания пропорционально плотности уровней и составляет $\tau \sim \frac{\pi \hbar}{mD} \gg \frac{\hbar}{\Gamma}$.

5. Обоснована возможность экспериментального определения электромагнитного радиуса K^0 -мезона путем изучения процесса некогерентной регенерации $K_L^0 \rightarrow K_S^0$ на атомных электронах при высоких энергиях.

6. Предсказан и теоретически исследован эффект вращения плоскости линейной поляризации γ -квантов в поляризованной электронной мишени, обусловленный вкладом радиационных поправок в амплитуду комптоновского рассеяния "вперед". При энергиях фотонов несколько сотен кэВ - несколько МэВ углы поворота плоскости поляризации при прохождении γ -квантов через намагниченное железо достигают величин $(4+5) \cdot 10^{-3}$ радиан/см.

7. Получены формулы, описывающие спектр электрического и магнитного 2^L -польного излучения системы двух центров, один из которых находится в основном, а другой в возбужденном состоянии (в частности, двухатомной молекулы с изомерными ядрами); найдены энергии и времена жизни коллективных возбужденных состояний. Вычислены энергии и ширины уровней атомов, находящихся вблизи проводящей поверхности.

8. Проанализированы интерференционные явления при взаимодействии и регистрации частиц с неортогональными внутренними состояниями.

9. Установлено, что скалярное произведение векторов внутренних состояний играет роль непрерывного параметра близости и различия микрочастиц. На этой основе разработан единый подход

к описанию поведения тождественных и нетождественных частиц и доказано существование в рамках квантовой механики непрерывного перехода от различающихся частиц к тождественным.

Ю. Получены соотношения, описывающие непрерывную зависимость диффузионных эффектов смешивания газов от степени неортогональности внутренних состояний атомов до перемешивания. Показано, что введение непрерывных параметров различия, относящихся к внутренним состояниям смешиваемых атомов, приводит к устранению парадоксальных скачков в поведении энтропии и других термодинамических величин при переходе от различающихся газов к одинаковым.

II. Построена теория интерференционных корреляций при парном рождении нестабильных частиц, имеющих общие каналы распада. Исследованы корреляционные свойства пар $K^0\bar{K}^0$ с учетом влияния макроскопической среды и несохранения CP-четности. Получены соотношения, описывающие пространственно-временные осцилляции вероятности регистрации произвольных распадов двух нейтральных K-мезонов (в частности, двухионных распадов). Дано феноменологическое описание генерации пар нейтральных K-мезонов в инклюзивных процессах в терминах матрицы плотности.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Барышевский В.Г., Любошиц В.Л., Подгорецкий М.И. - Неортогональные квазистационарные состояния - ЖЭТФ, 1969, т.57, с.157-164 (ОИЯИ P2-4086, Дубна, 1968).
2. Любошиц В.Л. - Соотношение унитарности и $\rho^0 - \omega$ - смешивание. - Ядерная физика, 1976, т.23, с.442-446.
3. Любошиц В.Л. - К теории резонансного рассеяния при наличии

перекрывающихся уровней с одинаковыми сохраняющимися квантовыми числами. - Сообщения ОИЯИ P2-5809, Дубна, 1970.

4. Любошиц В.Л., Подгорецкий М.И. - О флуктуациях эффективных сечений в унитарной теории. - Ядерная физика, 1976, т.24, с.214-226 (ОИЯИ P4-8988, Дубна, 1975).

5. Любошиц В.Л. - Унитарные правила сумм и время соударения при сильном перекрывании резонансных уровней. - Письма в ЖЭТФ, 1978, т.28, с.32-37.

6. Копылов Г.И., Любошиц В.Л., Подгорецкий М.И. - К вопросу о тормозном излучении при рассеянии в области перекрывающихся резонансов. - Сообщения ОИЯИ P2-9688, Дубна, 1976.

7. Любошиц В.Л. - О длительности ядерных реакций в условиях сильного перекрывания резонансных уровней. - Ядерная физика, 1978, т.27, с.948-957.

8. Любошиц В.Л., Подгорецкий М.И. - К вопросу о длительности ядерных реакций в области перекрывающихся резонансов. - Сообщения ОИЯИ P2-10138, Дубна, 1976.

9. Lyuboshitz V.L. - On the collision duration in the presence of strong overlapping resonance levels. - Physics Letters, 1977, v. 72B, p.41 - 44.

Ю. Любошиц В.Л. - Некогерентная регенерация $K_L^0 \rightarrow K_S^0$ на атомных электронах при высоких энергиях и электрический радиус K^0 -мезона. - Письма в ЖЭТФ, 1973, т.18, с.432-435.

II. Барышевский В.Г., Любошиц В.Л., - О вращении плоскости поляризации γ -квантов при прохождении через поляризованную электронную мишень. - Ядерная физика, 1965, т.2, с.666-669 (ОИЯИ P-1999, Дубна, 1965).

12. Барышевский В.Г., Думбрайс О.В., Любошиц В.Л. - К вопросу о вращении плоскости линейной поляризации γ -квантов в намагниченном ферромагнетике. - Письма в ЖЭТФ, 1972, с.113-116.
13. Любошиц В.Л. - О когерентных свойствах системы двух одинаковых квантовых излучателей при электрических и магнитных переходах произвольной мультипольности. - ЖЭТФ, 1977, т.72, с.1875-1891.
14. Любошиц В.Л. - О резонансном взаимодействии двух идентичных дипольных излучателей. - ЖЭТФ, 1967, т.53, с.1630-1640.
15. Любошиц В.Л. - Рассеяние электромагнитных волн на системе дипольных центров. - ЖЭТФ, 1967, т.52, с.926-936 (ОИЯИ Р-2896, Дубна, 1966).
16. Любошиц В.Л. - О рассеянии частиц с неортогональными внутренними состояниями. - Сообщения ОИЯИ Р2-4631, Дубна, 1969.
17. Любошиц В.Л., Подгорецкий М.И. - К вопросу о тождественности элементарных частиц. - ЖЭТФ, 1971, т.60, с.9-20.
18. Любошиц В.Л., Подгорецкий М.И. - Проблема тождественности в квантовой механике. - Сообщения ОИЯИ Р2-6116, Дубна, 1971.
19. Любошиц В.Л., Подгорецкий М.И. - Проблема тождественности в квантовой механике. - В сб. "Современный детерминизм и наука" т.2, Новосибирск, Наука, 1975, с.185-209.
20. Любошиц В.Л., Подгорецкий М.И. - Симметризация волновых функций тождественных частиц и принцип интерференции квантово-механических амплитуд. - Сообщения ОИЯИ Р2-5809, Дубна, 1971.
21. Любошиц В.Л. - Неортогональные внутренние состояния в формализме вторичного квантования. - Сообщения ОИЯИ Р2-12268, Дубна, 1979.
22. Гельфер Я.М., Любошиц В.Л., Подгорецкий М.И. - Парадокс Гиббса и тождественность частиц в квантовой механике: М, Наука, 1975, с.272.

23. Любошиц В.Л., Подгорецкий М.И. - Энтропия поляризованного газа и парадокс Гиббса. - Доклады АН СССР, 1970, т.194, с.547-550.
24. Любошиц В.Л. - Экстремальные свойства энтропии при смешивании поляризованных газов. - Доклады АН СССР, 1970, т.195, с.63-66.
25. Любошиц В.Л., Подгорецкий М.И. - Парадокс Гиббса. - Успехи физич. наук, 1971, т.105, с.353-359 (ОИЯИ Р4-5257, Дубна, 1970).
26. Любошиц В.Л., Подгорецкий М.И. - Интерференция нетождественных частиц. - ЖЭТФ, 1968, т.55, с.904-916.
27. Любошиц В.Л., Подгорецкий М.И. - Интерференционные явления при регистрации пар нестабильных частиц. - ЖЭТФ, 1969, т.57, с.175-182.
28. Любошиц В.Л. - Распады в смешанном ансамбле нейтральных К-мезонов. - Ядерная физика, 1966, т.3, с.895-902 (ОИЯИ Р-2289, Дубна, 1965).
29. Любошиц В.Л., Оконов Э.О., Подгорецкий М.И. - Влияние среды на свойства пар $K^0\bar{K}^0$ -мезонов. - ЖЭТФ, 1964, т.47, с.1868-1873.
30. Любошиц В.Л., Оконов Э.О., Подгорецкий М.И. - О некоторых корреляционных свойствах пар $K^0\bar{K}^0$. - Ядерная физика, 1967, т.6, с.1248-1250.
31. Любошиц В.Л., Оконов Э.О. - Интерференция распадов $K_L^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ и $K_L^0 \rightarrow \pi^0\pi^0$ в корреляционных экспериментах с парами $K^0\bar{K}^0$. - Ядерная физика, 1966, т.4, с.1194-1201.
32. Любошиц В.Л. - Замечания о свойствах нейтральных К-мезонов, рождающихся в инклюзивных процессах. - Ядерная физика, 1976, т.23, с.1266-1271 (ОИЯИ Р2-9042, Дубна 1975).
33. Любошиц В.Л., Подгорецкий М.И. - Интерференционные корреляции при регистрации пар нейтральных К-мезонов. - Ядерная физика, 1979, т.30, с.789-797.

34. Любошиц В.Л., Подгорецкий М.И. - Изотопические соотношения для двухчастичных инклюзивных реакций. -Ядерная физика, 1975, т.21, с.205-213 (ОИЯИ Р2-7807, Дубна, 1974).
35. Копылов Г.И., Любошиц В.Л., Подгорецкий М.И. - Корреляции частиц с малыми относительными импульсами. -Сообщения ОИЯИ Р2-8069, Дубна 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 апреля 1982 года.