ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2-81-771

НАМСРАЙ
Хавтгайн

ИССЛЕДОВАНИЕ КЛАССИЧЕСКИХ И КВАНТОВЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ГИПОТЕЗЫ О СТОХАСТИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Специальность: 01.04.02 - теоретическая и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук

Дубна 1981

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук,
профессор
ФАЙНБЕРГ В.Я.

доктор физико-математических наук,
профессор
СМОРОДИНСКИЙ Я.А.

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник
ТЮРИН Н.Е.

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт теоретической физики АН УССР, Киев

Автореферат разослан "24" марта 1982 года

защита состоится "28" апреля 1982 года в 16⁰⁰ часов на заседании Специализированного ученого совета Д047.01.01 при Лаборатории теоретической физики О И Я И по адресу: г. Дубна, Московской области, Лаборатория теоретической физики О И Я И

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ

Ученый секретарь Совета
Р.А. АСАНОВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Структура пространства и явления материального мира в нем находятся в диалектическом единстве и являются неотделимыми друг от друга объектами человеческого познания. За последние годы изучению структуры пространства придается большое значение в связи с экспериментальными исследованиями, проводимыми в физике высоких энергий и с открытием новых свойств материи. Возможный отказ от понятия локальности /1,2/ на малых расстояниях, диктуемый внутренними проблемами квантовой теории поля /3/ (такими, как ультрафиолетовые расходимости, проблема собственной энергии электрона и т.д.) и гипотеза о фундаментальной длине /4/ дали особенно большой толчок к исследованию пространственно-временных свойств материи /5,6,7/.

В настоящее время считается общепринятым, что происхождение ультрафиолетовых расходимостей явным или неявным образом связано со свойствами пространства-времени на малых расстояниях или с самой природой взаимодействия при высоких энергиях, присущей всем типам взаимодействия. При построении физических теорий наметилось два различных подхода. Первый из них основывается на идее о едином описании всех типов взаимодействий в рамках калибровочных теорий со спонтанно нарушенной симметрией /8/. Во втором подходе выдвигается гипотеза о том, что характер физических процессов (в частности, вид взаимодействия между квантованными полями) на малых пространственно-временных расстояниях меняется из-за того, что на этих расстояниях модифицируется сама структура пространства и времени /4-7/.

Среди гипотез о свойствах пространства на малых расстояниях (изменение геометрии пространства-времени /4/, мелкомасштабная и решеточная (дискретная) структуры /9/ и т.п.) особое место занимает идея о стохастическом характере самого пространства-времени /5-7/. Впервые Д.И. Блохинцевым /5/ была замечена возможная глубокая связь между понятием нелокальности и гипотезой о стохастичности пространства. Такая возможность стимулирует построение нелокальной квантовой теории поля и тем самым позволяет единым образом учитывать эффекты нелокальности (или стохастичности) во всех физических процессах. Более того, универсальный характер этой гипотезы дает нам возможность заново осмыслить динамику стохастических частиц и исследовать некоторые важные проблемы теории стохастических процессов (такие, как релятивистское описание диффузионного и фейнмановского процессов и вопрос о происхождении самотурбулентности в движениях свободных частиц в нелинейной механике и др.).

Цель работы – исследование классических и квантовых систем в рамках гипотезы о стохастическом пространстве;

- построение градиентно-инвариантной теории электромагнитного и четырехфермионного слабого взаимодействий лептонов;
- вычисление конкретных физических процессов и поправок к ним за счет стохастичности пространства в рамках этой теории;
- построение нерелятивистской и релятивистской динамики частиц с точки зрения стохастичности пространства;
- систематическое исследование некоторых следствий гипотезы о стохастическом пространстве и о фундаментальной длине;
- решение задачи Коши эволюционного уравнения (уравнение Шредингера в представлении взаимодействия при мнимом времени, т.е. в евклидовой метрике) с запаздыванием в квантовой теории поля с нелокальным взаимодействием.

Новизна работы состоит в том, что найден математический метод, основанный на сдвиге временного аргумента $t \to t + i\tau$ и позволяющий вводить стохастичность в пространство с недефинитной метрикой (в пространство Минковского). Этот метод согласуется с основными требованиями нормируемости и инвариантности распределения вероятностей координат стохастического пространства. Также предложен метод усреднения в стохастическом пространстве, обеспечивающий переход от стохастической микро-области к макрошкале нестохастического пространства и приводящий к правильному описанию протяженных (нелокальных) объектов (частиц).

Научная ценность работы. В диссертации в рамках гипотезы о стохастическом пространстве предложена схема построения S-матрицы для нелокальной теории электромагнитного и четырехфермионного слабого взаимодействий лептонов, удовлетворяющей основным принципам релятивистской квантовой теории: унитарности, причинности, градиентной инвариантности, конечности и релятивистской ковариантности. Показано, что полученная S-матрица также является решением задачи Коши эволюционного уравнения с запаздыванием в евклидовой метрике. Тем самым на уровне математической физики решен вопрос о построении причинной S-матрицы как решения уравнения с корректно поставленной задачей Коши при мнимом времени.

С точки зрения стохастичности пространства выведены и исследованы нелинейные уравнения стохастической механики /10-12/, решения которых ведут себя как некоторые турбулентные процессы. Построены релятивистские диффузионные и фейнмановские процессы с реальной вероятностной мерой гауссовского типа. Показано, что в нашей схеме введение фундаментальной длины приводит к ограничению плотности материи значением $\mathcal{U}_\ell \sim \hbar \pi^{-2} \ell^{-4}/c$ и ее распаду с временем жизни $t \sim \ell^{-4} m_\rho^{-5}$.

В рамках нашей теории три подхода к построению теории стохастических процессов, именно: традиционный подход, описывающий диффузионные явления (также броуновские движения) и два других подхода, исходящие из гипотезы о стохастических свойствах электромагнитного фонового поля /13/ (вакуума) и самого пространства- времени (к последнему направлению теории стохастических процессов относится настоящая диссертация), связаны между собой, и связывающим элементом служит гипотеза о стохастичности пространства. Эта связь отчетливо проявляется при исследовании евклидова марковского поля в стохастическом пространстве. В нашем подходе двухточечная функция Швингера для усредненного евклидова поля в стохастическом пространстве является также нелокальной, а спектральная плотность электромагнитного фонового поля модифицируется при наличии фундаментальной длины. Наша схема построения квантовых и классических теорий физических систем в стохастическом пространстве переходит в обычную теорию, когда вкладом за счет стохастичности $(\ell \to 0)$ можно пренебречь. Это является выражением своеобразного принципа соответствия, выполняющегося в данной теории.

Следующие основные результаты диссертации выдвигаются для защиты:

1. Понятие диффузионного и фейнмановского процессов обобщено на релятивистский случай. Построены релятивистские интегральные уравнения типа уравнений Смолуховского и Фейнмана для плотности вероятности $\rho(\vec{x},t)$ и для амплитуды вероятности $\varphi(\vec{x},t)$ с реальной вероятностной мерой гауссовского типа, порождающие релятивистские уравнения Фоккера-Планка и Клейна-Гордона для $\rho(\vec{x},t)$ и $\varphi(\vec{x},t)$ соответственно.

2. Построены уравнения движения нерелятивистской и релятивистской частицы в стохастическом пространстве и полученный результат обобщен на случай двух тел.

3. Получены нерелятивистское и релятивистское уравнения Сивашинского /14/ для самотурбулентного движения свободной частицы.

4. Объяснено происхождение самотурбулентности в движении свободной частицы как результат действия стохастичности пространства в малом масштабе.

5. Доказано, что S -матрица, построенная по лагранжиану взаимодействия усредненных полей в стохастическом пространстве, совпадает с нелокальной S -матрицей в теории Г.В. Ефимова с единственным отличием, что причинные функции $\mathcal{D}_0(\hat{p})$ любых заряженных полей заменяются на функции $\mathcal{D}_0(\hat{p})V(-p^2\ell^2)$, где $V(-p^2\ell^2)$ - формфактор теории.

6. Дан способ построения S -матрицы, удовлетворяющей всем перечисленным выше принципам (включая градиентную инвариантность) релятивистской квантовой теории поля.

7. Доказано, что гипотеза о стохастическом пространстве и фундаментальной длине приводит к изменению спектральной плотности электромагнитного фонового поля (ЭМФП) в стохастической электродинамике, а также к ограничению плотности материи.

8. На основе понятия осцилляции нейтрона и суперполя установлена связь между значением фундаментальной длины и временем жизни материи. Из экспериментальных данных получено ограничение на величину фундаментальной длины $\ell \lesssim 10^{-29}$ см.

9. На полуэмпирическом уровне и в рамках гипотезы о существовании семейства черных дыр найдено, что характерные длины в иерархии физических взаимодействий (включая масштаб большого объединения) кратны $\alpha/2$, где α - константа тонкой структуры.

10. Доказано, что конечная и унитарная S -матрица, описывающая нелокальные взаимодействия квантованных полей, является решением задачи Коши эволюционного уравнения с запаздыванием.

11. Построена градиентно-инвариатная квантовая электродинамика (КЭД) на основе понятия о стохастическом пространстве. Исследованы матричные элементы и условия градиентной инвариантности S -матрицы. Вычислены поправки за счет стохастичности к аномальному магнитному моменту лептонов и лэмбовскому сдвигу атомных уровней. Получены ограничения на универсальную постоянную размерности длины $\ell \lesssim 10^{-15}$ см.

12. Обобщена схема построения КЭД на случай частиц со спинами 0 и I в стохастическом пространстве.

13. Построена градиентно-инвариатная четырехфермионная теория слабого взаимодействия в рамках гипотезы о стохастическом пространстве. Исследованы ряд теории возмущений и условия градиентной инвариантности и вычислены характеристики конкретных процессов.

14. В рамках стохастической теории рассмотрена проблема осцилляции нейтрино и ее следствия. Исследованы некоторые экзотические распады и электромагнитные свойства нейтрино . Вычислены поправки к зарядовому радиусу нейтрино и его магнитному моменту.

15. Построено гауссовское случайное поле в стохастическом пространстве и получена двухточечная (нелокальная) функция Швингера. На основе предположения о ненаблюдаемости величины диффузионного параметра ν в квантовой теории поля получена нелокальная теория Ефимова из евклидовой марковской теории с формфактором из класса целых аналитических функций.

<u>Практическая ценность работы.</u> Построенная на основе гипотезы о стохастическом пространстве S -матрица для электромагнитного и четырехфермионного слабого взаимодействий позволяет вычислить любые низкоэнергетические процессы в желаемом порядке теории возмущений по константе связи α и G_F . Наша схема может претендовать на роль одной из самосогласованных моделей физических процессов, в рамках которой можно анализировать экспериментальные данные по проверке основных принципов (в частности, локальности и причинности) релятивистской квантовой теории поля на малых расстояниях. Некоторые результаты, полученные в данной диссертации, могут быть использованы при проектировании и анализе новых экспериментов по поиску некоторых экзотических распадов (включая распад протона) и сверхплотного состояния материи. Наша схема может также применяться при экспериментальном и теоретическом изучениях стохастических процессов, основанных на нелинейных динамических уравнениях, порождающих некоторые турбулентные процессы.

<u>Апробация работы.</u> Результаты диссертации докладывались на семинарах ЛТФ ОИЯИ, МИАН СССР, Института математики АН МНР и на международном совещании по нелокальной теории поля (Алушта, 1976 г.), а также на многочисленных научных конференциях и сессиях Монгольской академии наук.

<u>Публикации.</u> В основу настоящей диссертации легли результаты 19 работ, опубликованных в виде сообщений ОИЯИ, обзоров и статей в журналах ТМФ, ЭЧАЯ, Foundations of Physics, Inter. J. Theor. Phys., Phys. Lett., Journal of Phys. A. Math. Gen.

Объем работы. Диссертация состоит из семи глав, заключения, двух приложений и библиографии, включающей 167 наименований. Диссертация содержит 15 рисунков и 4 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В главе I изложены общая постановка проблемы и краткое содержание диссертации. Здесь также даны способ введения стохастичности в пространство и метод усреднения в нем. Стохастичность в пространство вводится на уровне арифметизации событий, т.е. понятие стохастичности пространства проявляется в процессе приписывания каждому событию координат – арифметизация точек пространства-времени. В разделе I.2 введен метод сдвига временного аргумента $t \to t + i\tau$, играющий ключевую роль в построении стохастического пространства $R_4(\hat{x})$ с малой стохастической компонентой, где

$$\hat{x} = \hat{x}_\mu = (x_\mu + b_\mu) = (x_0 + i b_4,\ \vec{x} + \vec{b}),\ (x_0 = t,\ b_4 = \tau). \tag{1}$$

x_μ – регулярная часть координаты точки $\hat{x}_\mu$, а $b^E_\mu = (b_4, \vec{b})$ – некоторый случайный вектор с распределением $w(b^2_E/\ell^2)$ удовлетворяющим условиям

$$\int d^4 b_E\, w(b_E^2/\ell^2) = 1, \qquad w(b_E^2/\ell^2) \geq 0, \tag{2}$$

здесь ℓ – некоторая универсальная (фундаментальная) длина. Такой метод сдвига переменной $t \to t + i\tau$ вместе с предположением, что физические величины рассматриваются как функции комплексного времени $t + i\tau$ $(\tau = b_4)$ в пределе $\tau \to 0$, τ -стохастическая переменная, позволяя вводить гипотезу о стохастичности евклидова пространства $E_4(\vec{x}, \tau)$ вместо пространства $R_4(\vec{x}, t)$ Минковского. В разделе I.3 предложено математическое построение, обеспечивающее переход от стохастической микрообласти к макрошкале нестохастического пространства путем усреднения по мере $w(b_E^2/\ell^2)$ в каждой точке $\hat{x}$ пространства $R_4(\hat{x})$. Показано, что любая физическая величина, скажем поле $\varphi(\hat{x})$, в результате усреднения

$$\Phi(\vec{x}, t) = \langle \varphi(\hat{x}) \rangle_{R_4(\hat{x})} = \int d^4 b_E\, w(b_E^2/\ell^2)\, \varphi(\vec{x} + \vec{b},\ x_0 + i b_4) \tag{3}$$

становится размазанным (нелокальным) в пространстве большого масштаба.

Глава 2 посвящена построению динамики нерелятивистских и релятивистских частиц с точки зрения стохастичности пространства; полученный результат обобщен на случай двух тел. Здесь основное внимание уделяется обобщению стохастической механики Нельсона на релятивистский случай. Во введении к этой главе отмечается возможная взаимосвязь между теорией стохастических процессов, квантовой механикой и евклидовой квантовой теорией поля, известной под общим названием теории стохастического квантования систем (или стохастической механики) /10-12/. В разделе 2.2. стохастичность пространства рассматривается с точки зрения случайного блуждания и исследован вопрос о движении частицы в стохастическом пространстве $R_3(\hat{\vec{x}})$. Показано, что свободная частица в таком пространстве подобна броуновской частице, движение которой характеризуется дисперсией $\mathcal{D}$, зависящей от универсальной длины ℓ. В последующем разделе изучается нерелятивистское движение частицы в силовом поле в рамках подхода Кершоу, основанного на уравнениях Смолуховского для плотности вероятности нахождения частицы $\rho(\vec{x}, t)$ и для средних скоростей вперед и назад. Показано, что в первом приближении по параметру ℓ движение частицы во внешнем силовом поле описывается уравнениями, совпадающими по форме с уравнениями стохастической механики Д. Кершоу, Э. Нелсона и Пена-Ауэрбаха.

В разделе 2.4. исследуется движение релятивистской частицы в четырехмерном стохастическом пространстве и получены уравнения движения частицы в ковариантном виде. Эти уравнения являются обобщением уравнений Лера-Парка /15/, Гуэрра и Руджиэро /16/, Вижье /17/, полученных на основе математического подхода Э.Нелсона, и уравнений Пена-Ауэрбаха, представляющих собой формальное ковариантное обобщение нерелятивистских уравнений стохастической механики.

Самым интересным, с математической точки зрения, среди полученных результатов следует, по-видимому, считать тот факт, что построенные нами динамические уравнения стохастической механики – это нелинейные дифференциальные уравнения в частных производных, которые допускают линеаризацию. При этом полученные линейные уравнения формально совпадают с уравнениями Шредингера и Клейна-Гордона, если положить коэффициент диффузии $\mathcal{D}$, равным $\hbar/2m$.

В разделе 2.5 изучена проблема двух стохастических частиц в нерелятивистском и релятивистском случаях. В первом случае показано, что уравнение движения двух частиц, взаимодействующих через потенциал $U(|\vec{x}_1 - \vec{x}_2|)$, распадается на две независимые части: одна из них описывает движение центра инерции, а другая – их относительное движение. Получены релятивистские уравнения движения двух стохастических частиц, которые совпадают с уравнениями Куфаро Петрони и Вижье /18/.

В нерелятивистском пределе эти уравнения для свободной частицы приводят к обычному двухчастичному уравнению Шредингера, мнимая часть которого соответствует уравнению Гамильтона-Якоби для двух частиц, взаимодействующих через нелокальный квантовый потенциал.

В главе 3 диссертации исследуются уравнения движения и задача Коши для стохастической механики, а также рассматриваются некоторые ее специфические проблемы, такие, как самотурбулентные явления и фейнмановские процессы. Здесь также дается физическая интерпретация полученных результатов в стохастической механике.

Раздел 3.I посвящен выводу уравнения Сивашинского для самотурбулентного движения свободной частицы в рамках стохастической теории, основанной на гипотезе о стохастическом пространстве, и тем самым дано обоснование возникновения потенциала, генерирующего турбулентность в движении частицы, которая имеет стохастическое происхождение. Показано, что, если учесть члены порядка ℓ^2 при описании динамики частиц в стохастическом пространстве, то в нашей схеме появляется самотурбулентное явление, характерное для нелинейной системы. Получены нерелятивистские и релятивистские уравнения Сивашинского, решения которых ведут себя как некоторые турбулентные процессы.

Далее в разделе 3.2 показано, что можно построить фейнмановский процесс, формально рассматривая его как одно из диффузионных явлений, происходящих в евклидовом проостранстве. Это позволяет ввести реальную вероятностную меру в схему квантовой механики, предложенную Фейнманом. Таким образом строго в математическом смысле определены релятивистские интегралы фейнмановского типа.

В разделе 3.3. дан физический смысл параметров, входящих в нашу схему, и сделана попытка обосновать метод описания динамики релятивистских частиц, основанный на понятии производной по направлению. В последующих разделах подробно исследованы уравнения движения стохастической механики и получены некоторые их частные решения для простого случая. Рассмотрена также задача Коши уравнения диффузии.

Глава 4 посвящена построению градиентно-инвариантной квантовой электродинамики частиц со спинами 0, I/2 и I в стохастическом пространстве. Во введении отмечается актуальность проверки КЭД на малых расстояниях в рамках такой теории, в которой способ нарушения локальности, т.е. введение нелокальности должен быть самосогласованным. Это означает, что предлагаемая теория должна удовлетворять основным принципам релятивистской квантовой теории. В диссертации было показано, что исходя из гипотезы о стохастичности пространства можно построить нелокальную теорию Ефимова с тем единственным отличием, что в нашей схеме изменяется также пропагатор

заряженных частиц. Это приводит к дополнительным трудностям при построении S -матрицы, связанным с требованием градиентной инвариантности теории.

В разделе 4.2 сформулированы алгебраические соотношения, выполнение которых гарантирует градиентную инвариантность теории. Наш результат основан на работе Кролла /19/; его метод так называемой d- -операции обобщен на случай целых функций. Здесь получены все необходимые соотношения для доказательства градиентной инвариантности теории электромагнитного и слабого взаимодействий лептонов.

В параграфе 4.3 строятся лагранжианы системы полей с помощью усредненного поля (3) и дан метод построения S -матрицы, которая воспроизводит обычный по структуре ряд теории возмущений с тем отличием, что, во-первых, причинные функции всех локальных полей заменяются на нелокальные функции $\mathcal{D}_0(\hat{p}) \to \mathcal{D}(\hat{p}) = \mathcal{D}_0(\hat{p})\, V(-p^2\ell^2)$, во-вторых, согласно процедуре Кролла, в вершинах внешних фотонных линий ставится обобщенная вершина:

$$\gamma_\mu \to \mathcal{U}_\mu(q,\kappa) = -d_\mu(\kappa)\,\mathcal{D}^{-1}(\hat{q}).$$

Вычисление матричных элементов для замкнутых заряженных лептонных циклов производится с помощью d -операции Кролла.

В разделе 4.4 исследован ряд теории возмущений в КЭД. Вычислены диаграммы поляризации вакуума, собственной энергии и вершинной функции. Рассчитаны поправки к аномальному магнитному моменту лептонов и лэмбовскому сдвигу атомных уровней за счет нелокальности (стохастичности) теории. Получены ограничения на параметр (длину) $\ell \lesssim 10^{-15}$ см.

Раздел 4.5 посвящен построению КЭД частиц со спинами 0 и I. Наше построение основывалось на уравнении первого порядка Дэффина-Кеммера. В КЭД бозонов исследование ряда теории возмущений для S-матрицы, построенной на основе этих уравнений, формально будет таким же, как и в спинорной электродинамике. Здесь исследованы некоторые примитивные неприводимые диаграммы Фейнмана для бозонов со спином 0 и I.

В главе 5 строится градиентно-инвариантная четырехфермионная теория слабого взаимодействия в рамках гипотезы о стохастическом пространстве. Во введении к этой главе высказывается соображение, что необходимость построения четырехфермионной теории, свободной от ультрафиолетовых расходимостей, или новой теории слабых взаимодействий (электрослабая теория Вайнберга-Салама) становится особенно ясной при рассмотрении двух предельных случаев. В частности, когда энергия недостаточна для рождения промежуточных частиц (например, $W^{\pm}$, Z, Хиггс - бозоны и т.д.), необходимых в калибровочных теориях (т.е. энергия мала по сравнению с некоторыми предельными значениями E_K), слабые процессы в основном должны описываться с помощью 4-фермионной теории. Наоборот, когда $E \gtrsim E_K$, калибровочная теория будет играть главенствующую роль в слабых взаимодействиях. Здесь E_K - то значение энергии, начиная с которого, будут рождаться новые частицы $W^{\pm}$, Z и т.д., если они существуют. На языке расстояний это означает, что, начиная с некоторого малого масштаба $\ell_K \sim 1/E_K$, рост сечения слабых процессов должен компенсироваться за счет вкладов от промежуточных бозонов. В рамках нашей схемы проведенный анализ экспериментальных данных о слабых процессах показал, что величина этого масштаба $\ell_K \sim 10^{-16}$ см, и унитарный предел в рассматриваемой модели достигается при энергиях $E_K \sim$ 100-200 ГэВ в зависимости от выбора формфактора. Вполне возможно, что в этой области энергий начинается процесс объединения слабых и электромагнитных взаимодействий. Далее показано, что в стохастической (или в нелокальной) теории понятие стохастичности пространства (или нарушения локальности) характеризуется не только расстоянием ℓ_K, но еще и формой распределения $w(\ell_E^2/\ell^2)$ (или видом формфактора $V(-p^2\ell^2)$) на малых расстояниях. Особенно это проявляется при изучении распада $K_L^0 \to \mu^+\mu^-$ и разности масс K_L^0- и K_S^0-мезонов в рамках нашей схемы.

В разделе 5.2 подробно исследовалась градиентная инвариантность S-матрицы в теории слабого взаимодействия.

В разделе 5.3 вычислены "слабые" поправки к аномальному магнитному моменту лептонов и лэмбовскому сдвигу.

В разделе 5.4 рассматриваются некоторые следствия осцилляций нейтрино в рамках нашей гипотезы о стохастическом пространстве и подробно исследованы некоторые экзотические распады, скажем $\mu \to 3e$ и $K_L^0 \to \mu e$. Показано, что ширины распадов для этих процессов сильно зависят от вида формфакторов $V(-p^2\ell^2)$.

В разделе 5.5 исследуются электромагнитные свойства нейтрино и вычислены поправки к величинам среднеквадратичного зарядового радиуса и магнитного момента нейтрино. В этих разделах физическим свойствам нейтрино уделено особое внимание в связи с быстрым развитием нейтринных экспериментов, проводимых научными центрами различных стран.

Раздел 5.6 посвящен исследованию распада $K_L^0 \to \mu^+\mu^-$ и разности масс K_L^0- и K_S^0-мезонов в рамках нашей схемы. Показано,

что с помощью соответствующего выбора формы распределения $w(\ell_E^2/\ell^2)$ в стохастическом пространстве можно легко согласовать представление о естественном "обрезании" роста слабых взаимодействий с энергией при энергиях порядка 10^2 - 10^3 ГэВ ($\ell_K \sim 10^{-16} - 10^{-17}$ см) с экспериментальными данными ($K_L^0 \to \mu^+\mu^-$ и $\Delta m(K_L^0 - K_S^0)$), требующими обрезания при значительно меньших энергиях - порядка нескольких десятков ГэВ. Таким образом, проблема подавления величин порядка $O(G_F^2)$ в распаде $K_L^0 \to \mu^+\mu^-$ и разности масс $\Delta m(K_L^0 - K_S^0)$ может быть решена в рамках нашего подхода без введения четвертого кварка. В этой главе изучались в основном низкоэнергетические слабые процессы. Это связано с тем обстоятельством, что при очень высоких энергиях проверка локальности слабых взаимодействий может быть затруднена эффектами интерференции между слабыми и электромагнитными взаимодействиями. Например, в стандартной модели электрослабых взаимодействий проверка поведения пропагатора фотона будет невозможной из-за интерференции с Z - фотоном.

В Приложении А к этой главе дан способ вычисления контурных интегралов, встречающихся в различных фейнмановских диаграммах в тексте.

В главе 6 рассматриваются некоторые физические следствия гипотезы о стохастическом пространстве и о фундаментальной длине. Во введении дано краткое содержание этой главы. Раздел 6.2 посвящен исследованию евклидова марковского скалярного поля в стохастическом пространстве $R_4(\hat{x})$ в рамках стохастической теории Дэвидсона. Показано, что марковское поле, усредненное в пространстве $R_4(\hat{x})$, эквивалентно нелокальному евклидовому марковскому полю, временной аргумент которого умножается на общий фактор, зависящий от диффузионного параметра ν. Далее вычислена нелокальная двухточечная функция Швингера для скалярного поля. На основе предположения о ненаблюдаемости величины ν в квантовой теории доказана эквивалентность нелокальной теории Ефимова и евклидовой марковской теории с формфактором из класса целых функций. Здесь дан метод вычисления формфактора теории в зависимости от вида распределения $w(\ell_E^2/\ell^2)$ в стохастическом пространстве $R_4(\hat{x})$. Далее результат, полученный в этом разделе, обобщен на случай электромагнитного поля. Показано, что евклидово марковское электромагнитное поле (нелокальное) воспроизводит электромагнитное фоновое поле в стохастической электродинамике (СЭД). Это позволяет построить некоторую стохастическую электродинамику (нелокальную) с модифицированной спектральной плотностью на малых расстояниях. В СЭД плотность энергии ограничена. Далее показано, что введение фундаментальной длины в стохастическую теорию автоматически приводит к ограничению плотности материи некоторым значением, равным $\mathcal{U}_\ell \sim \hbar \pi^{-2} \ell^{-4}/c$. Здесь же в рамках нелокальной СЭД и полуклассического подхода Вельтона вычислена поправка к лэмбовскому сдвигу за счет изменения спектральной плотности электромагнитного вакуума при наличии фундаментальной длины и получено ограничение на величину $\ell \leq 8 \cdot 10^{-18}$ см. В нашем случае нелокальная СЭД переходит в обычную СЭД при предельном случае, когда $\ell \to 0$.

В разделе 6.4 рассмотрен вопрос о возможности существования некоторого иерархического масштаба длины. На полуэмпирическом уровне и в рамках гипотезы о существовании семейства черных дыр **найдено**, что характерные длины в иерархии физических взаимодействий (включая масштаб большого объединения) кратны $\partial/2$.

В разделе 6.5 сделана попытка связать время жизни материи с величиной фундаментальной длины. Здесь дается общее понятие об осцилляции частиц и рассмотрена возможность осцилляции нейтрона в рамках нового подхода к теории гравитации /20/. Показано, что если ввести понятие суперполя, то осцилляции нейтрона возможны при наличии гравитационного поля. Далее установлена явная связь между нестабильностью материи и значением фундаментальной длины. Обсуждается такая возможность, что, если фундаментальная длина не существует вплоть до планковского расстояния $\ell_{Pl} \sim 10^{-33}$ см, то распад материи может идти за счет только гравитационного взаимодействия, а время жизни материи в этом случае порядка 10^{43} лет.

<u>В главе 7</u> исследуется уравнение Шредингера в квантовой теории поля с нелокальным взаимодействием. Во введении к этой главе сформулирована постановка задачи и отмечается актуальность исследования уравнения Шредингера при построении S-матрицы в квантовой теории поля. Показано, что S-матрица, описывающая нелокальные взаимодействия квантованных полей, является решением задачи Коши эволюционного уравнения с запаздыванием. При этом не требуется вводить никаких дополнительных степеней свободы по сравнению с обычным пространством Фока физических частиц.

В разделе 7.2 исследованы полевые операторы при мнимом времени и введена операция T-произведения по мнимому времени τ. Далее определяется двухточечная евклидова функция Грина, которая является аналитическим продолжением при $t \to i\tau$ причинной функции в пространстве Минковского. Показано, что только T-произведение операторов физического поля $\phi(x)$ имеет разумный математический смысл. Здесь вводятся в рассмотрение новые операторы $R[\Phi]$ вида

$$R[\phi]=\sum_n \frac{1}{n!}\int dx_{1E}\dots\int dx_{nE}\, R_n(x_{1E},\dots,x_{nE})\, T\big(\phi(x_{1E})\dots\phi(x_{nE})\big) \qquad (4)$$

и определяется операция умножения двух операторов $R_1[\Phi]$ и $R_2[\Phi]$.

Раздел 7.3 посвящен построению пространства состояний при мнимом времени. При этом пространство состояний Ψ системы определяется с помощью оператора $R[\Phi]$. Показано, что любое состояние в фоковом пространстве F может быть представлено в виде $\Psi = R[\Phi]|0\rangle$ при соответствующем выборе набора функций $\{R_n(x_E)\}$ в операторе $R[\Phi]$. Далее определена норма векторов состояний с помощью оператора $R[\Phi]$. Известно /21/, что для свободного евклидова поля существует гауссовская положительная мера $d\mu_f$, такая, что

$$\int d\mu_f\, f(x_{1E})\dots f(x_{nE}) = \langle 0|\, T\big(\phi(x_{1E})\dots\phi(x_{nE})\big)|0\rangle.$$

Отсюда, согласно (4), в нашей схеме евклидова норма запишется

$$\|\psi\|^2 = (\psi,\psi) = \langle 0|R^*[\Phi]R[\Phi]|0\rangle = \int d\mu_f\, |R[f]|^2 < \infty.$$

В разделе 7.4 построены гамильтонианы взаимодействия и эволюционное уравнение при мнимом времени. Здесь сформулирована задача Коши для этого уравнения с запаздыванием. Показано, что задача Коши единственна и разрешима в случае квантовой теории поля с нелокальным взаимодействием, и ее решение воспроизводит S-матрицу, которая полностью совпадает с S-матрицей, построенной и исследованной в /1/. Тем самым показано, что причинность есть не что иное как корректность задачи Коши **квантовополевого** уравнения Шредингера при мнимом времени. Следует отметить, что, строго говоря, формулировка такого уравнения с корректно поставленной задачей Коши при мнимом времени не дает прямого ответа на вопрос о причинности S-матрицы в пространстве Минковского. Однако однозначная аналитическая связь между S-матрицами в пространствах Евклида и Минковского, безусловно, говорит о том, что причинность эволюционного уравнения должна обеспечить отсутствие каких-либо физических наблюдаемых непричинных явлений.

<u>Результаты диссертации опубликованы в работах</u>:

1. Намсрай Х. Стохастическая механика, ЭЧАЯ, 1981, том. 12, в. 5, с. 1116.
2. Kh.Namsrai, M.Dineykhan. Electromagnetic and Weak Interactions in Stochastic Space-Time: A.Review. Inter. J.Theor.Phys. 1982 (in press).

3. М.Динейхан, Х.Намсрай. К построению градиентно-инвариантной квантовой электродинамики в стохастическом пространстве. ТМФ, 1977, 33, с. 32-41.
4. G.V.Efimov, Kh.Namsrai. The Schrödinger Equation in the Quantum Field Theory with Nonlocal Interactions. Preprint JINR, E2-80-705, Dubna, 1980.
5. Kh.Namsrai. Relativistic Dynamics of Stochastic Particles. Found. Phys. 1980, 10, p. 353-361.
6. Kh.Namsrai. A Stochastic Derivation of the Sivashinsky Equation for the Self-Turbulent Motion of a Free Particle. Found.Phys. 1980, 10, p. 731-742.
7. Kh.Namsrai. Relativistic Feynman-Type Integrals. Inter.J.Theor. Phys. 1980, 19, p. 397-404.
8. Kh.Namsrai. A Stochastic Model for the Motion of Two Relativistic Particles. J.Phys.A: Math.Gen. 1981, 14, p. 1307-1311.
9. Kh.Namsrai. The Hypothesis of Stochastic Space and the General Connection of Stochastic Theory. Phys.Lett. 1981, 82A, p. 103-106.
10. Kh.Namsrai. Hierarchical Scales and Family of Black Holes. Inter. J. Theor.Phys. 1981, 20, p.
11. Kh.Namsrai. A Nonlocal Stochastic Model for the Free Scalar Field Theory. Inter. J.Theor.Phys. 1981, 20, p.
12. Kh.Namsrai. Zero-Point Electromagnetic Field and Nonlocality. Preprint JINR, E2-80-755, Dubna, 1980.
13. Х.Намсрай. Распад протона в теории гравитации и гипотеза о фундаментальной длине. Препринт ОИЯИ, Р2-81-206, Дубна, 1981.
14. Kh.Namsrai. A Note on the Problem of Two Interacting Stochastic Particles. Communication JINR, E2-80-56, Dubna, 1980.
15. М.Динейхан, Х.Намсрай, З.Омбоо. К построению градиентно-инвариантной квантовой электродинамики частиц со спинами 0 и I в стохастическом пространстве. Сообщение ОИЯИ, Р2-10963, Дубна, 1977.
16. М.Динейхан, Х.Намсрай. Электромагнитные свойства нейтрино в нелокальной теории слабых взаимодействий. Сообщение ОИЯИ, Р2-10964, Дубна, 1977.
17. М.Динейхан, Х.Намсрай. Исследование распада $K_L^0 \to \mu^+\mu^-$ и разности масс K_L^0- и K_S^0- мезонов в нелокальной и стохастической теориях слабых взаимодействий. Сообщение ОИЯИ, Р2-10962, Дубна, 1977.
18. Х.Намсрай. Классическая теория в стохастическом пространстве и времени. Сообщение ОИЯИ, Р2-11144, Дубна 1978.
19. М.Динейхан, Х.Намсрай. Построение градиентно-инвариантной четырехфермионной теории слабых взаимодействий в стохастическом пространстве. Сообщение ОИЯИ, Р2-11474, Дубна, 1978.

Цитируемая литература

1. Г.В.Ефимов. Нелокальные взаимодействия квантованных полей. "Наука", М., 1977.
2. Д.А.Киржниц. Нелокальная квантовая теория поля. УФН, 1966, 90, с. 129-142.
H.Yukawa. Quantum Theory of Non-Local Fields. Part I. Free Fields. Phys.Rev., 1950, 77, p. 219-226.
3. Н.Н.Боголюбов, Д.В.Ширков. Введение в теорию квантованных полей. "Наука", М., 1973.
4. а. В.Г.Кадышевский. Новый подход к теории электромагнитных взаимодействий. ЭЧАЯ, 1980, II, с. 5-39.
б. Р.М.Мир-Касимов. Квантовая теория поля с пространством импульсов постоянной кривизны. Автореферат докторской диссертации. ОИЯИ, 2-12529, Дубна, 1979.
в. S.Fubini. Summary Talk: Present Trends in Particle Physics in Proceedings of the XVII Inter.Conf. on High Energy Physics. London, 1974, Chilton.
г. J.P.Hsu, E.Mac. Fundamental Length, Bubble Electrons and Non-local Quantum Electrodynamics. Nuovo Cimento, 1979, 49, p. 55-67.
5. Д.И.Блохинцев. Пространство и время в микромире. "Наука", М., 1970; Стохастические пространства. ЭЧАЯ, 1974, 5, с. 606-644.
6. М.А.Марков. Гипероны и K -мезоны. Физматгиз. М., 1958.
7. C.Frederick. Stochastic Space-Time and Quantum Theory. Phys.Rev. 1976, D13, p. 3183-3191.
8. S.Weinberg. Conceptual Foundations of the Unified Theory of Weak and Electromagnetic Interactions. Rev.Modern Phys. 1980, 52, p. 515-523;
A.Salam. Gauge Unification of Fundamental Forces. Rev.Modern.Phys. 1980, 52, p. 525-538;
S.L.Glashow. Towards a Unified Theory; Threads in a Tapestry. Rev.Modern Phys. 1980, 52, p. 539-543.
9. А.И.Вяльцев. Дискретное пространство-время. "Наука", М., 1965;
K.G.Wilson. Confinement of Quarks. Phys.Rev., 1974, D10, p. 2445-2459.
J.Kogut, L.Susskind. Hamiltonian Formulation of Wilson's Lattice Gauge Theories. Phys.Rev. 1975, D11, p. 395-408.
E.A.B.Cole. The Classification of Displacements and Rotations in a Cellular Space-Time. Int. J.Theor.Phys., 1972., 5, p. 437-446.
10. E.Nelson. Derivation of the Schrödinger equation from Newtonian Mechanics. Phys.Rev., 1966, 150, p. 1079-1085; Dynamical Theories of Brownian Motion. Prin.Univ. Press. Princeton New Jersey, 1967.

11. L. de la Pena - Auerbach. New Formulation of Stochastic Theory and Quantum Mechanics. Jour.Math.Phys., 1969, 10, p. 1620-1630.
L. de la Pena - Auerbach, A.M.Cetto. Stochastic Theory of Classical and Quantum Mechanics Systems. Foun.Phys. 1975, 5, p. 355-370.
12. D.Kershaw. Theory of Hidden Variables. Phys.Rev. 1964, B136, p. 1850-1856.
13. T.H.Boyer. Random Electrodynamics: The Theory of Classical Electrodynamics with Classical Electromagnetic Zero-Point Radiation. Phys.Rev. 1975, D11, p. 790-808.
E.Santos. The Harmonic Oscillator in Stochastic Electrodynamics. Nuovo Cimento. 1974, 19B, p. 57-89.
P.Braffort et al. L'energie moyenne d'un oscillateur harmonique non relativiste en electrodynamique aleatoire. C.R.Acad.Sci. Paris, 1965, 261, p. 4339-4341.
T.W.Marshall. Statistical Electrodynamics. Proc. Camb.Phil.Soc. 1965, 61, p. 537-546.
14. G.I.Sivashinsky. Self-Turbulence in the Motion of a Free Particle. Found.Phys. 1978, 8, p. 735-744; Turbulence in the Motion of a Free Particle and de Broglie Waves. Lett. Nuovo Cim. 1980, 27 (15), p. 504-508.
15. W.J.Lehr, J.L.Park. A Stochastic Derivation of the Klein-Gordon Equation. J.Math.Phys. 1977, 18(6), p. 1235-1240.
16. F.Guerra, P.Ruggiero. A Note on Relativistic Markov Processes. Lett. Nuovo Cim., 1978, 23 (15), p. 529-534.
17. J.P.Vigier. Model of Quantum Statistics in Terms of a Fliud with Irregular Stochastic Fluctuations Propagating at the Velocity of Light: a Derivation of Nelson's Equations. Lett. Nuovo Cim. 1979, 24(8), p. 265-272.
18. N.Cufaro Petroni, J.P.Vigier. Causal Superluminal Interpretation of the Einstein-Podolsky-Rosen Paradox. Lett.Nuovo Cim. 1979, 26(5), p. 149-154.
19. N.M.Kroll. Ad Hoc Modifications of Quantum Electrodynamics. Nuovo Cim., 1966, 45A, p. 65-92.
20. V. de Alfaro, S.Fubini, G.Furlan. A New Approach to the Theory of Gravitation. Nuovo Cim., 1980, 57B(2), p. 227-252.
21. **Б.Саймон. Модель $P(\varphi)_2$ эвклидовой квантовой теории. Пер. с англ. "Мир", М., 1976;**
G.V.Efimov. Vacuum Energy in $g\varphi_d^4$ - Theory for $g \to \infty$. Commun. Math.Phys., 1979, 65, p. 15-44.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 декабря 1981 года.