

Б-916

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2-92-267

БУРУНДУКОВ
Александр Сергеевич

УДК 530.12:531.51
+530.145

ПРОГРАММА ДЮМАНД
И ЭФФЕКТЫ КВАНТОВОЙ ГРАВИТАЦИИ

Специальность: 01.04.02 - теоретическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1992

Работа выполнена в Тихоокеанском океанологическом институте РАН

Научные руководители:

доктор физико-математических наук,
профессор

У. Х. Копвиллем

доктор физико-математических наук

А. В. Алексеев

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
профессор

Н. А. Черников

кандидат физико-математических наук

Ю. В. Грац

Ведущая организация:

Институт физики Белорусской АН

Автореферат разослан " ____ " _____ 199 г.

Защита диссертации состоится " ____ " _____ 199 г.

в _____ час. на заседании Специализированного совета

КО47.01.01. Лаборатории теоретической физики Объединенного
института ядерных исследований, г. Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ

Ученый секретарь совета

кандидат физико-математических наук

А. Е. ДОРОХОВ

Актуальность проблемы. Одной из главных задач современной теоретической физики является включение гравитации в унифицированную ренормируемую модель фундаментальных взаимодействий и создание единой теории типа супергравитации и суперструн, а также предсказание новых квантовых процессов, которые могли бы получить экспериментальное подтверждение, необходимое для верификации теории. Детальное изучение квантовых гравитационных эффектов и построение эффективных алгоритмов фильтрации сигналов черенковского излучения уже сегодня диктуется следующими обстоятельствами:

1. Реализация международного проекта DUMAND (Deep Underwater Muon And Neutrino Detection) с программами ATHENE (ATMOSPHER HIGH Energy Neutrino Experiment) и UNICORN (UNDERWATER INTERSTELLAR COSMIC RAY NEUTRINO) позволит проводить регистрацию процессов с очень малым поперечным сечением рассеяния⁽¹⁾. При этом возникает важная задача поиска экзотических процессов с помощью этой установки.

2. Планируемые в настоящее время как у нас в стране, так и за рубежом эксперименты, альтернативные веберовскому, ставят проблему детектирования квантовых гравитационных эффектов. Поэтому вполне определенный интерес представляет теоретическое изучение процессов взаимодействия гравитонов оптических частот с веществом, в частности, двухфотонный распад гравитона.

3. Сечения многих исследованных ранее процессов с участием гравитонов и гравитино растут с энергией, в то время, как сечения, обусловленные остальными типами взаимодействий, уменьшаются. Сечения становятся сравнимыми при планковских энергиях. Поэтому представляется интересным исследование поведения сечений квантовых гравитационных эффектов при энергиях, сравнимых с планковской.

4. Полные сечения некоторых процессов неупругого гравитационного рассеяния обращаются в бесконечность. Необходимо выяснить причину этого и получить конечные оценки.

⁽¹⁾ Березинский В.С., Зацепин Т.Г. *Возможности экспериментов с космическими нейтрино очень высоких энергий: проект "ДЮМАН"*, УФН, 1977, т. 122, с. 3-36.

5. Модели великого объединения предсказывают существование частиц с массами $M \sim 10^{15}$ ГэВ, для которых процессы излучения гравитонов при аннигиляции и распаде уже не являются пренебрежимо малыми. Поэтому интересно получить оценку рождения подобных частиц в процессах рассеяния гравитонов на фермионах.

6. Поиск надежных алгоритмов фильтрации и восстановления параметров трека заряженной частицы в настоящее время является важнейшей задачей при разработке погружных модулей в ТОИ ДВО.

Цель работы можно сформулировать следующим образом: выяснить поведение сечений процессов неупругого рассеяния гравитонов высоких энергий на фермионах. Для расчетов необходимо рассмотреть гравитационное взаимодействие в современных моделях физики элементарных частиц (квантовой электродинамике, квантовой хромодинамике, модели Вайнберга - Салама, моделях великого объединения), построить теорию возмущений и соответствующую диаграммную технику Фейнмана и провести расчеты процессов гравитонного рассеяния в первых порядках теории возмущений, а также построить алгоритмы фильтрации оптических сигналов и восстановления параметров трека заряженной частицы по ее черенковскому излучению.

Научная новизна исследований состоит в следующем:

1. построена теории возмущений для современных моделей физики элементарных частиц с учетом гравитации;
2. вычислены сечения процессов с участием гравитонов в первых порядках теории возмущений;
3. созданы алгоритмы фильтрации оптического сигнала и восстановления параметров трека заряженной частицы.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на Всесоюзных конференциях "Современные теоретические и экспериментальные проблемы теории относительности" (У и УИ Советские гравитационные конференции, Москва, 1981, 1984 гг.), на Всесоюзной конференции по прикладной физике "Использование физических методов в неразрушающем контроле" (Хабаровск, 1981), на II Всесоюзном съезде океанологов (Ялта, 1982), Рабочем совещании "Перспективы осуществления программы DUMAND в Тихом океане" (Владивосток, 1986), II Всесоюзной школе океанологов (Севастополь, 1989), Первом Советско-китайском симпозиуме по

океанографии (Владивосток, 1990), Первом международном семинаре по электромагнитным полям в океане ЕМІ (Владивосток, 1991), IY и Y ежегодных семинарах "Гравитационная энергия и гравитационные волны" (Дубна, ОИЯИ ЛТФ, 1991, 1992), а также были приняты в виде тезисов на международные конференции GR 10 (Италия, 1983), GR 11 (Швеция, 1986) и MG 5 (Австралия, 1988).

Публикации. По результатам диссертационной работы опубликовано четырнадцать печатных работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы, состоящего из 170 названий, 5 рисунков. Общий объем диссертации - 120 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель работы и кратко изложено содержание диссертации.

Первая глава диссертации посвящена изложению принятых в настоящее время методов квантования гравитационного поля в приближении линеаризованной гравитации⁽²⁾ и построению диаграммной техники Фейнмана для современных моделей квантовой теории поля с учетом гравитации [13].

В первом параграфе изложен стандартный подход для описания взаимодействия спинорного поля с гравитационным и полями Янга-Миллса.

Во втором параграфе описана процедура квантования калибровочных полей. Кратко изложена история развития двух формализмов - канонического гамильтонова и ковариантного лагранжевого и проблемы, возникавшие при их использовании.

В третьем параграфе рассматривается применение описанного выше подхода для квантования системы спинорного, гравитационного и янг-миллсовского полей в явно ковариантной формулировке⁽²⁾.

В четвертом параграфе изложена квантовая электродинамика (группа внутренней симметрии $U(1)$) при наличии гравитации. В

⁽²⁾ De Witt B.S., Phys. Rev., 160, 1967, p.1113, 162, 1967, p. 1195, p. 1293., Faddeev L.D., Popov V.N., Phys. Lett., 25B, 1967, p. 30.

калибровке Лоренца поле госта остается стерильным относительно электромагнитного взаимодействия, но взаимодействует с гравитацией.

В пятом параграфе рассматривается другая теория с точной внутренней симметрией - квантовая хромодинамика (группа SU(3)) с учетом гравитации. В теории возникает цветной триплет кварков, октеты глюонов и гостов, взаимодействующих с гравитацией.

В шестом параграфе строится диаграммная техника первой единой теории электрослабого взаимодействия с нарушенной симметрией - модель Вайнберга - Салама (группа SU(2)⊗U(1)) при наличии гравитационного поля. В теории, кроме электромагнитного сектора, появляются нейтрино, заряженный W[±] и нейтральный Z бозоны, хиггсовские частицы, голдстоуновские и гостовские поля.

В седьмом, заключительном параграфе, рассматривается модель великого объединения (группа SU(5)) с учетом гравитации. Так как взаимодействие гравитонов с фотонами, глюонами, хиггсами, W[±] и Z бозонами рассмотрено выше, в данном параграфе рассматривается лишь лепто-кварковый сектор при наличии гравитации.

Во второй главе диссертации представлены расчеты процессов гравитонного рождения скаляров и векторных частиц на фермионах. Для этого строится следующий базис в системе центра инерции t-канала:

$$e_{11} = \frac{[(u-m_1^2 - M^2) - 2M^2(s-m^2)/(t-M^2)]q_1 - (s-m_1^2)k_1 - (t-M^2)p_{11}}{\sqrt{(t-M^2)(su-m_1^2m_2^2) + M^2(s-m_1^2)(u-m_2^2)}}$$

$$e_{21} = \frac{2\varepsilon_{1j k_1} p_{1j} k_k q_1}{\sqrt{(t-M^2)(su-m_1^2m_2^2) + M^2(s-m_1^2)(u-m_2^2)}}$$

$$e_{31} = -2Mq_1 / (t-M^2) - k_1/M$$

Здесь M - масса бозона, m₁ и m₂ - массы начального и конечного фермионов, q, k, p₁, p₂ - 4-импульсы гравитона, бозона, начального и конечного фермионов, s, u, t, - переменные Манделштама. Базис обладает следующими свойствами:

$$(e_1 q) = (e_1 k) = (e_2 q) = (e_2 k) = (e_2 p_1) = (e_2 p_2) = (e_3 k) = 0$$

$$(e_1 p_1) = (e_1 p_2) = \sqrt{(t-M^2)(su-m_1^2m_2^2) + M^2(s-m_1^2)(u-m_2^2)/(t-M^2)}$$

$$(e_3 p_1) = -M(s-m_1^2)/(t-M^2) + (u-m_1^2-M^2)/2M$$

$$(e_3 p_2) = M(u-m_2^2)/(t-M^2) - (s-m_2^2-M^2)/2M$$

$$(e_3 q) = (t-M^2)/2M$$

Вычисления лучше проводить в спиральном базисе, где выражения для амплитуд имеют наиболее простой вид.

Диаграммы Фейнмана процессов, рассмотренных во второй главе имеют вид:

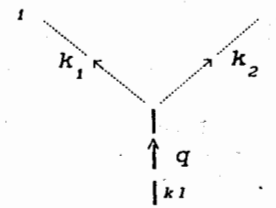


Рис. 1. Двухфотонный распад гравитона.

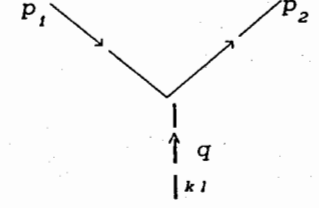


Рис. 2. Процесс ионизации атома гравитоном.

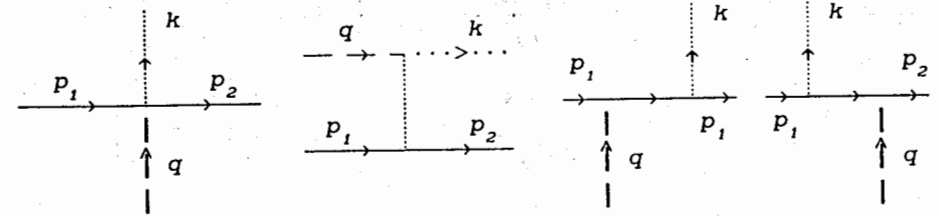


Рис. 3. Процесс рождения бозона гравитоном.

В первом параграфе рассмотрен новый тип "сверхсветовых" квантовых явлений в веществе - процесс распада гравитона на два фотона [2]. Полная вероятность двухфотонного распада в диэлектрике с коэффициентом преломления n(k) равна

$$w = \frac{k^2}{256(2\pi)} \int_{k_{min}}^{k_{max}} (n-1)^2 \left\{ (nq-2k)^2 - 6q^2 + \frac{q^4}{(nq-2k)^2} \right\} dk$$

здесь k и q - трехмерные импульсы фотона и гравитона, $\kappa = \sqrt{16\pi G_N}$, G_N - гравитационная постоянная Ньютона. Вероятность

распада максимальна при значении угла θ между направлением движения гравитона и фотонов $\theta = 2\arccos(1/n)$. Обратный процесс типа $2\gamma \rightarrow g$ может оказаться интересным при решении задачи о генерации когерентного гравитационного излучения оптических частот. Оценка вероятности этого процесса позднее была опубликована в⁽³⁾.

Во втором параграфе изложено решение задачи об ионизации атома водорода или водородоподобного иона гравитоном, рассмотрен и релятивистский и нерелятивистский случаи [9]. Полное поперечное сечение процесса нерелятивистской ионизации гравитоном имеет вид:

$$\sigma = \frac{32\kappa^2}{15} \frac{I^3}{\omega^4} (4\omega - 3I) \frac{e^{-4\xi \operatorname{arccotg} \xi}}{1 - e^{-2\pi\xi}}$$

где I - энергия ионизации, ω - энергия гравитона. Полное сечение в релятивистском случае запишется как

$$\sigma = \frac{\kappa^2 Z^5 e^{10}}{8\pi} \frac{\gamma^6 (\gamma^2 + 2)}{(\gamma - 1)^5 (\gamma^2 - 1)^{5/2}} \left\{ \frac{8}{3} + \frac{\gamma(\gamma - 1)^2}{(\gamma^2 + 2)} \times \right. \\ \left. \times \left[1 - \frac{\gamma^2 + 6\gamma + 1}{2\gamma(\gamma - 1)^2 \sqrt{\gamma^2 - 1}} \ln \left| \frac{\gamma + \sqrt{\gamma^2 - 1}}{\gamma - \sqrt{\gamma^2 - 1}} \right| \right] \right\}$$

а для ультрарелятивистского случая

$$\sigma_{ultrrel} = \frac{\kappa^2 Z^5 e^{10}}{8\pi} \frac{1}{\gamma}$$

В третьем параграфе приведены расчеты процесса расщепления дейтрона гравитоном [9]. Полное поперечное сечение процесса расщепления дейтрона имеет вид

$$\sigma = \frac{16}{15} \kappa^2 \frac{\sqrt{I}}{2\pi} \frac{1}{1 - a\eta} \frac{(\omega - I)^{5/2}}{\omega^3}$$

здесь a - эффективный радиус ядерных сил.

⁽³⁾ Гальцов Д.В., Грац Ю.В., Петухов В.И. Излучение гравитационных волн электродинамическими системами, М.:Изд. МГУ, 1984.

В четвертом параграфе рассматривается эффект рождения хиггсов на фермионах [10]. Полное поперечное сечение рождения хиггсов записывается в виде:

$$\sigma = \frac{\sqrt{2} G_N G_F}{4(s-m^2)^2} \left\{ b(a+M^2) \frac{s}{s-m^2} + bM^2 \left[1 + 2 \left(\frac{s}{s-m^2} \right)^2 - \frac{m^2}{M^2} \left(1 + 8 \left(\frac{s}{s-m^2} \right)^2 \right) \right] - \right. \\ \left. - m^2 \left[\frac{s-m^2}{2} - 4(M^2 - 4m^2) \left(1 - \frac{1}{2} \frac{M^2 - m^2}{s-m^2} \right) \right] \ln \left| \frac{s-a+b-(M^2-m^2)}{s-a-b-(M^2-m^2)} \right| + \right. \\ \left. + 2M^2(M^2-m^2) \left[\ln \left| \frac{a+b+M^2}{a-b+M^2} \right| + bM^2 \left(\frac{1}{(a+M^2)^2 - b^2} - \frac{m^4}{M^4} \frac{1}{(s-a-M^2-m^2)^2 - b^2} \right) \right] \right\}$$

где M и m - массы хиггса и фермиона соответственно, G_F - константа Ферми.

$$a = \frac{1}{2} \left[s - M^2 - 2m^2 \left(1 + \frac{1}{2s} (M^2 - m^2) \right) \right]$$

$$b = \frac{1}{2} \sqrt{ \left[s - M^2 - 2m^2 \left(1 + \frac{1}{2s} (M^2 - m^2) \right) \right]^2 - \frac{4M^2 m^2}{s} }$$

В пятом параграфе изучается процесс рождения массивных векторных бозонов W^\pm , Z и лептокварков X и Y . Дифференциальное сечение процесса имеет вид:

$$d\sigma = -G_N g_i^2 \rho^2 \frac{dt}{s-m_i^2} \frac{u-m_1^2}{t-M^2} \left(1 + \frac{m_1^2}{s-m_1^2} + \frac{m_1^2}{u-m_2^2} + \frac{M^2}{t-M^2} \right) \left\{ (a^2 + b^2) \times \right. \\ \times \left[\left(\frac{m_1^2}{s-m_1^2} + \frac{m_2^2}{u-m_2^2} + \frac{M^2}{t-M^2} \right)^2 + \left(\frac{m_1^2}{s-m_1^2} + \frac{m_2^2}{u-m_2^2} + \frac{M^2}{t-M^2} \right) - \right. \\ \left. - \frac{1}{4} \left(\frac{s-m_1^2}{u-m_2^2} + \frac{u-m_2^2}{s-m_1^2} \right) - \frac{1}{2} \frac{M^2}{t-M^2} \left(1 + \frac{m_1^2}{s-m_1^2} + \frac{m_2^2}{u-m_2^2} + \frac{M^2}{t-M^2} \right) \right] \times \\ \times \left[\left(1 + 2 \frac{m_1^2 - m_2^2}{M^2} - \frac{(m_1^2 - m_2^2)^2}{M^4} \right) \frac{s-m_1^2}{u-m_2^2} + 6 - 2 \frac{(m_1^2 - m_2^2)^2}{M^2} + \left(1 - 2 \frac{m_1^2 - m_2^2}{M^2} - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{(m_1^2 - m_2^2)^2}{M^4} \right) \frac{u-m_2^2}{s-m_1^2} \right] + \frac{a^2 (m_1 \mp m_2)^2 + b^2 (m_1 \pm m_2)^2}{(s-m_1^2)(u-m_1^2)} \left[1 + \frac{m_1^2}{s-m_1^2} + \frac{m_2^2}{u-m_2^2} + \right. \\ \left. + \frac{M^2}{t-M^2} - \frac{t-M^2}{4M^2} \right] (t-M^2) \left. \right\}$$

В шестом параграфе рассматривается рождение безмассовых векторных бозонов - фотонов и глюонов. Для того, чтобы получить дифференциальное сечение рождения этих частиц, в предыдущей формуле необходимо устремить $M \rightarrow 0$, взять $m_1 = m_2$, $\rho = \alpha = 1$, $\beta = 0$. В результате этой процедуры мы получим дифференциальное сечение, совпадающее с формулой, полученной Н.А. Вороновым⁽⁴⁾. Полное сечение процесса расходится. Получить конечную величину мы можем, если воспользуемся моделью Томаса-Ферми. В ней полное сечение рождения фотона гравитоном в электромагнитном поле атома имеет вид

$$\sigma = \frac{\pi k^2 Z^2 e^2}{4} \left[(1 + \Lambda^3) \ln \left(1 - \frac{2}{\Lambda} \right) - 2\Lambda^2 - 4\Lambda - \frac{8}{3} \right]$$

здесь $\Lambda = (2a^2 \omega^2)^{-1}$, $a \approx 1,4 a_0 Z^{-1/3}$, $a_0 = (me^2)^{-1}$ - боровский радиус атома водорода, Ze - заряд ядра.

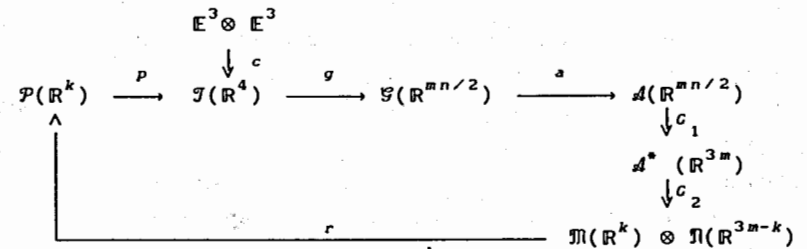
Заключительный, седьмой параграф посвящен процессу гравитонного возбуждения барионных резонансов. Используя двухуровневый лагранжиан спин-векторного поля, получим вероятность гравитонного распада барионного резонанса:

$$\Gamma = \frac{G_N}{14} m_1^3 \left\{ 1 - \frac{m_2^2}{m_1^2} \right\}^3$$

Чтобы получить сечение гравитонного рождения барионного резонанса, нужно полученное соотношение подставить в формулу Брейта-Вигнера.

Третья глава полностью посвящена нахождению алгоритмов фильтрации оптических сигналов черенковского излучения на внутримодульном и межмодульном уровнях.

В первом параграфе сформулирована проблема восстановления параметров трека заряженной частицы по ее черенковскому излучению. В самом общем виде задача восстановления параметров трека может быть изображена следующей диаграммой:



здесь $\mathcal{P}(\mathbb{R}^k)$ - параметрическое пространство модели, k - размерность пространства модели, $\mathcal{T}(\mathbb{R}^4)$ - трековое пространство, или пространство физической реализации модели, $E^3 \otimes E^3$ - 6-мерное пространство прямых в евклидовом пространстве E^3 , $\mathcal{S}(\mathbb{R}^{mn/2})$ - пространство геометрической реализации модели, m - число узлов в установке, n - число ФЭУ в одном модуле узла ($n \geq 6$), $\mathcal{A}(\mathbb{R}^{mn/2})$ - пространство амплитуд, $\mathcal{A}^*(\mathbb{R}^{3m})$ - редуцированное амплитудное пространство, $\mathcal{M}(\mathbb{R}^k)$ - k -мерное многообразие "чистого сигнала" в $\mathcal{A}^*(\mathbb{R}^{3m})$, $\mathcal{N}(\mathbb{R}^{3m-k})$ - пространство отделимого шума, p - отображение пространства параметров в пространство физической реализации, s - каноническая проекция, g - отображение из пространства физической реализации модели в пространство геометрической реализации, сводящееся к выбору геометрии установки и геометрии расположения ФЭУ в узловых модулях, a - отображение аппаратной реализации, связанное с чувствительностью ФЭУ, G_1 - первичная (внутримодульная) фильтрация сигнала, G_2 - вторичная (межмодульная) фильтрация, r - изоморфное отображение из $\mathcal{M}(\mathbb{R}^k)$ в $\mathcal{P}(\mathbb{R}^k)$. Минимальная размерность пространства параметров $\dim \mathcal{P}_{min}(\mathbb{R}^k) = 4$, т.к. это соответствует числу геометрических характеристик трека, они могут быть отождествлены с тремя углами Эйлера и одним параметром длины, соответствующей расстоянию, пройденному светом от соответствующего участка траектории частицы до начала координат, которое мы можем связать с геометрическим центром установки.

Во втором параграфе рассмотрены алгоритмы внутримодульной фильтрации оптического сигнала в случае реализации геометрии модуля ФЭУ в виде тел Платона или тел смешанной октаэдро-кубической симметрии.

⁽⁴⁾ Воронов Н.А. Гравитационный комптон-эффект и фоторождение гравитона на электроны, ЖЭТФ, т. 64, в. 6, 1973, с. 1889-1901.

В третьем параграфе изложены два алгоритма межмодульной фильтрации сигнала черенковского излучения для минимальной геометрической модели процесса $\mathcal{P}(\mathbb{R}^4)$ и модели $\mathcal{P}(\alpha, \beta, \gamma, L; \mu, Q)$

В заключении приведены численные оценки возможности регистрации крупномасштабными глубоководными установками типа DUMAND эффектов квантовой гравитации и супергравитации.

Основные результаты диссертации, выдвигаемые на защиту:

1. На основе подхода к квантованию гравитационного поля, предложенного Б.С. де Виттом, Л.Д. Фаддеевым и В.Н. Поповым⁽²⁾, в диссертации построена теория возмущений и соответствующая диаграммная техника Фейнмана, учитывающая гравитационное взаимодействие в современных моделях физики элементарных частиц.

2. Построена теория возмущений для взаимодействующих электромагнитного и гравитационного полей в однородном изотропном диэлектрике. Рассмотрен процесс двухфотонного распада гравитона.

3. Рассчитан процесс ионизации гравитоном водорода и водородоподобного иона. Так как процесс изображается одной контактной диаграммой, то в согласии с выводами, вытекающими из унитарности S-матрицы, сечение процесса убывает как γ^{-1} . В соответствии с общей теоремой о поведении сечения процесса с образованием заряженных частиц вблизи его порога⁽⁵⁾, с уменьшением энергии гравитона сечение стремится к конечному пределу.

4. Рассмотрен процесс гравитонного расщепления дейтрона. Так как в результате не образуется противоположно заряженных частиц, то при уменьшении энергии сечение стремится к нулю. Сечение имеет максимум при $\omega = 6I$, где I - энергия расщепления дейтрона.

5. Для модели Вайнберга-Салама рассмотрен процесс образования хиггсов на лептонах и кварках. При увеличении энергии сечение стремится к пределу $\sigma \rightarrow G_N G_F M_\chi^2 / 8\sqrt{2}$.

6. В рамках моделей Вайнберга-Салама и великого объединения рассмотрен процесс гравитонного рождения массивных векторных бозонов и лептокварков. Дифференциальное сечение при $M \rightarrow 0$ и $m_1 = m_2$ совпадает с дифференциальным сечением рождения фотона, полученным Н.А. Вороновым. Обращение в бесконечность полного

⁽⁵⁾ Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Квантовая механика*, М.: Наука, 1989, 767 с.

сечения процесса гравитонного рождения фотона вызвана наличием диаграммы юквасского типа, доминирующей при низкоэнергетическом рассеянии. Для получения конечного сечения рассмотрен процесс превращения гравитона в фотон в электромагнитном поле атома.

7. В двухуровневой модели рассмотрен процесс гравитонного рождения барионных резонансов.

8. Полностью решена задача внутримодульной фильтрации оптического сигнала при наличии аддитивного шума.

9. Построены два алгоритма межмодульной фильтрации и восстановления параметров трека заряженной частицы.

Результаты диссертации опубликованы в работах:

- [1] Бурундуков А.С., - *Рассеяние гравитонов высоких энергий на когерентных системах*, Сб.: "Когерентные методы в акустических и оптических измерениях", Владивосток, (1981), с. 100-102.
- [2] Бурундуков А.С., - *Гравитационные шумы в океане*, Сб.: "Динамические процессы в океане и атмосфере", Владивосток, (1981), с. 56-66.
- [3] Бурундуков А.С., Копвиллем У.Х., - *Глубоководная регистрация гравитонов: программа ДЕГРЭ*, Тезисы докладов Всесоюзной конфер. по прикладной физ., Хабаровск, ч.2, (1982), с. 78-79.
- [4] Бурундуков А.С., Копвиллем У.Х., - *Проект ДЮМАНД: перспективы регистрации высокоэнергетической гравитонной компоненты космического излучения*, Тезисы докладов II съезда океанологов, Физика и химия океана, вып. 4, ч.2, Севастополь, (1982), с. 26-27.
- [5] Бурундуков А.С., Копвиллем У.Х., - *Программа ДЕГРЭ*, Тезисы докладов Всесоюзн. конфер. ГР-5, М.: Издат. МГУ, (1981), с. 287.
- [6] Бурундуков А.С., Копвиллем У.Х., - *Проблема регистрации квантовых гравитационных эффектов*, Изв. ВУЗов, Физика, № 10, (1982), с. 79-82.
- [7] Burundukoff A.S., Kopvillem U.H., - *The Perspectives of High Energy Cosmic Gravitons Registration: the Programm DEGRE*, GR10, Italy, (1983), p. 901-903.
- [8] Бурундуков А.С. - *Электромагнитный распад гравитона в веществе*, Тезисы докл. Всесоюзн. конф. "Современные теоретические и экспериментальные проблемы теории относительности и гравитации", М.: Изд. УДН, с. 172.

- [9] Burundukoff A.S., - *Graviton Ionization of Hydrogenlike Ions*, GRG, v. 17, № 4, (1985), p. 311-318.
- [10] Бурундуков А.С., - *Гравитонное рождение хиггсов и векторных бозонов на фермионах.*, Препр. ТОИ ДВО АН СССР, Владивосток, (1986), 10 с.
- [11] Бурундуков А.С., Копвиллем У.Х., - *Перспективы регистрации эффектов гравитации и супергравитации.*, Сб.: "Перспективы осуществления проекта ДЮМАНД в тихом океане", Владивосток, (1986), с. 8-9.
- [12] Burundukoff A.S., - *Two gluon decay of graviton on nucleons*, MG5, Australia, (1988), p. 256.
- [13] Бурундуков А.С., - *Диаграммная техника для квантовой электродинамики и модели Вайнберга-Салама с учетом гравитации*, Сб.: "Теоретико-групповые методы в физике", М.: Наука, (1988), с. 210-225.
- [14] Бурундуков А.С., *Гравитонный распад баронных резонансов*, Дубна, ОИЯИ Р2-92-12, (1992), с. 166-169.

Рукопись поступила в издательский отдел
25 июня 1992 года.