

**ПРОБЛЕМЫ СИЛЬНЫХ ПОЛЕЙ В КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ**

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ВЫПУСК

Под редакцией профессора **В.Г. БАГРОВА** и профессора **Д.М. ГИТМАНА**

СОДЕРЖАНИЕ

|   |     |
|---|-----|
| Предисловие.....  | 3   |
| Гитман Д.М., Гаврилов С.П. Описание процессов в сильных внешних полях в рамках КТП.....   | 5   |
| Смолянский С.А., Панферов А.Д., Блашке Д.Б., Юхновски Л., Кемпфер Б., Отто А. Рождение частиц и античастиц из вакуума в сильных полях как индуцированный полем фазовый переход..... | 11  |
| Ким С.П. In-out-формализм для однопетлевого эффективного действия в КЭД и гравитации.....   | 18  |
| Уэт И., де Траубенберг М.Р., Шуберт К. Многопетлевые лагранжианы Эйлера – Гейзенберга, швингеровское рождение пар и фотонная S-матрица.....   | 23  |
| Ахмадинназ Н., Башир А., Шуберт К. Многофотонные амплитуды и обобщенное преобразование ЛХФ в скалярной КЭД с применением формализма мировых линий.....                              | 28  |
| Карбштейн Ф. Распространение фотонов в медленно меняющихся электромагнитных полях.....  | 35  |
| Вайгель Г. Стабилизация космических струн квантовыми флуктуациями.....  | 40  |
| Адорно Т.К., Гитман Д.М., Шабад А.Е., Шишмарев А.А. Квантовая электромагнитная нелинейность, создаваемая зарядами и дипольными моментами.....                                       | 45  |
| Барвинский А.О. Расширенная голография: модели типа деформации «двойного следа» и индуцированной на бране гравитации.....   | 55  |
| Грумиллер Д., Зальцер Я., Василевич Д.В. Аспекты АДС <sub>2</sub> -голографии с непостоянным дилатоном.....   | 63  |
| Фуллинг С.А. Квантовая теория поля в искривленном пространстве: методы 1970-х в современном исследовании энергии Казимира на границе.....   | 68  |
| Палешева Е.В., Печерицын А.А. Энергия Казимира на секторах Римана.....  | 71  |
| Березин В.А., Докучаев В.И., Ерошенко Ю.Н. На пути к пониманию конформной гравитации.....   | 80  |
| Казинский П.О., Миллер В.Д. Однозначно определенное однопетлевое эффективное действие.....  | 85  |
| Зарипов Ф.Ш. Феноменологическая модель многофазного космологического сценария в теории индуцированной гравитации.....   | 92  |
| Дорохов А.Е., Раджабов А.Е., Жевлаков А.С. Адронный вклад в g-2 от процесса рассеяния света на свете в нелокальной киральной кварковой модели.....                                  | 99  |
| Бордовицын В.А., Куликова А.В., Савицкая Ю.Н. Классический аспект аномального магнитного момента электрона.....   | 103 |
| Морозуми Т., Нагао К.И., Адам А.С., Таката Х. Возникновение и эволюция асимметрии числа частиц в расширяющейся Вселенной.....   | 108 |
| Окане Х., Морозуми Т. Стабильность электрослабого вакуума и ограничение на параметры модели «качелей».....  | 112 |
| Танака (Константинова) О. Обзор исследований по физике элементарных частиц во внешних электромагнитных полях в КЕК.....   | 117 |
| Гаврилов С.П., Гитман Д.М. Радиационные процессы в графене и сходных наноструктурах в присутствии электрических полей.....  | 123 |
| Фийон-Гурдо Ф., Блейн Ф., Ганьон Д., Лефевр К., Маклин С. Численный расчет динамического швингеровского рождения пар в графене.....   | 127 |
| Дворников М.С. Релаксация кирального химического потенциала в плотном веществе нейтронной звезды.....   | 132 |
| Лобанов А.Е. Осцилляции нейтрино в плотной среде.....   | 141 |
| Багров В.Г., Логинов А.С. Угловые распределения синхротронного излучения в нерелятивистском приближении.....  | 145 |
| Авдюшев В.А., Бордовицын В.А., Гроховская А.А. Построение и идентификация профилей изгибающего излучения пульсаров.....   | 152 |
| Шарапов А.А. БРСТ-теория в формализме вариационного трикомплекса.....   | 157 |

---

|   |     |
|---|-----|
| <b>Решетняк А.А., Мошин П.Ю.</b> Конечные БРСТ-преобразования: якобианы и Стандартная модель с калибровочно-инвариантным горизонтом Грибова .....   | 165 |
| <b>Капарулин Д.С., Каратаева И.Ю., Ляхович С.Л.</b> Расширение теории Черна – Саймонса: законы сохранения, лагранжевы структуры и устойчивость .....  | 172 |
| <b>Манько В.И., Маркович Л.А.</b> Энтропийно-энергетические неравенства для кутрита на примере трехуровневого атома .....   | 178 |
| <b>Калиниченко И.С., Казинский П.О.</b> Недиагональные значения теплового ядра для скаляров в постоянном электромагнитном поле .....  | 182 |
| <b>Марков Ю.А., Маркова М.А., Бондаренко А.И.</b> Волновое уравнение высшего порядка в рамках формализма Дэффина – Кеммера – Петье .....  | 187 |
| <b>Бреев А.И., Шаповалов А.В.</b> Некоммутативная интегрируемость уравнений Клейна – Гордона и Дирака в (2+1)-мерном пространстве-времени .....   | 193 |
| <b>Гитман Д.М., Шелепин А.Л.</b> Ориентируемые объекты в релятивистской квантовой теории .....  | 197 |
| <b>Джафаров Р.Г., Агам-Алиева Л.А., Ага-Кишиева П.Э., Рагим-заде С.Г., Мамедова С.Н., Муталлимов М.М.</b> Проблема полюсов Ландау в квантовой теории поля: от Н.Н. Боголюбова до сегодняшних дней ..... | 204 |

### Предисловие

Настоящий выпуск журнала содержит статьи, написанные на основе докладов на Международном семинаре «Проблемы сильных полей в квантовой теории»\*, организованном физическим факультетом Национального исследовательского Томского государственного университета совместно с отделением теоретической физики им. И.Е. Тамма Физического института им. П.Н. Лебедева РАН.

Доминирующей тематикой семинара была выбрана проблема интенсивных полей (электромагнитных, гравитационных и др.) в квантовой теории и квантовой теории поля. Традиционно считалось, что квантовая теория призвана описывать явления микромира, а сильные макроскопические поля описываются классической теорией. Развитие квантовой теории поля (КТП) привело к пониманию того, что хотя сильные поля и описываются в первом приближении классически, однако необходимо их учитывать в основных полевых уравнениях (картина Фарри 1951 г.), так как в их присутствии возникают нетривиальные квантовые эффекты поляризации и рождения частиц из вакуума. Эти эффекты при определенных условиях изменяют классическую эволюцию сильных полей в силу обратного влияния. Уже на заре создания релятивистской квантовой механики эти же эффекты являлись причиной ряда парадоксов, например парадокса Кляйна (1929 г.), ставящих под сомнение правильность формулировки такой теории по аналогии с нерелятивистской квантовой механикой, или, точнее, возможность ее наивного применения к процессам с сильными полями. Позднее детальный анализ этих парадоксов был проведен такими выдающимися физиками-теоретиками, как Р. Фейнман и Ю. Швингер. Их пионерские работы (1949, 1951 гг.) до сих пор служат фундаментом исследований в этом направлении, которое теперь условно называется квантовой теорией интенсивных полей (КТИП). Оказалось, что КТИП имеет множество важных физических приложений в астрофизике, космологии, физике нейтрино, ядерной физике, физике конденсированного состояния, физике релятивистского излучения, а также в интенсивно развивающейся в последнее время физике наноструктур, в частности в физике графена.

Таким образом, можно с уверенностью утверждать, что сильные поля изменили статус квантовой теории как описывающей микромир и, наряду с проблемами квантового запутывания и квантовой информации, придали ей статус теории, описывающей реальную макроскопическую физику и имеющей твердую экспериментальную основу. Проблемы КТИП всегда привлекали внимание физиков-теоретиков, а в последнее время и экспериментаторов. Первый сигнал, что в этом направлении имеются нерешенные вопросы, возник в связи с парадоксом Кляйна, затем возникли вопросы со сверхсильным кулоновским полем, где оказались замешаны проблемы самосопряженного расширения и спектра дираковского гамильтониана в этом поле, которые были эвристически интерпретированы как возможность спонтанного рождения электрон-позитронных пар. Важнейшие работы здесь были сделаны российскими теоретиками Я.А. Смородинским, И.Я. Померанчуком (1945 г.), а затем С.С. Герштейном, Я.Б. Зельдовичем и В.С. Поповым в 1970–1972 гг. Недавно (2008–2012 гг.) Д.М. Гитману, И.В. Тютину и Б.Л. Воронову удалось решить проблему о самосопряженных расширениях дираковского гамильтониана в произвольном сверхсильном кулоновском поле, однако адекватная КТП с такими полями пока окончательно не сформулирована и, следовательно, вопрос о рождении пар в таких полях пока остается открытым. Огромный вклад в КТИП внесен теоретиками ФИАН В.И. Ритусом, А.И. Никишовым и их соавтором Н.Б. Нарожным. Многие точно решаемые задачи по рождению электрон-позитронных пар были решены А.И. Никишовым с соавторами в рамках одночастичной релятивистской квантовой механики с привлечением элементов КТП. Ленинградскими теоретиками группы А.А. Гриба и А.А. Старобинским в Москве решались задачи о рождении частиц во внешних гравитационных полях, которые затем нашли применения в космологии и астрофизике. Следует отметить значительный вклад в КТИП, внесенный С.А. Смолянским из Саратовского университета, впервые рассмотревшего модификацию кинетических уравнений за счет процессов рождения частиц из вакуума.

\* 6 – 11 июня 2016 г., Томск, Россия. Сайт семинара <http://www.tamm.lpi.ru/confs/sfp/>. Мероприятие организовано при финансовой поддержке Программы повышения конкурентоспособности ТГУ среди ведущих мировых научно-образовательных центров в рамках НИР 8.1.01.2015, РФФИ по проекту № 16-02-20145 и Федерального агентства научных организаций России.

Исследования в области квантовой теории интенсивных полей динамично развиваются в ряде зарубежных групп физиков-теоретиков. Значительный прогресс в этой области был определен работами С. Хоккинга (1975 г.) по рождению частиц сильным гравитационным полем черных дыр, а также работами С. Фуллингa, У.Дж. Унру и многих других. Важными явились работы теоретиков из Германии В. Грайнера, Б. Мюллера и Й. Рафельского с соавторами, в которых был предложен вариант описания рождения частиц в сверхсильных кулоновских полях и процессах столкновения сверхтяжелых атомов, и экспериментаторов, пытавшихся обнаружить этот эффект. В последнее время эти работы получили новый импульс за счет рассмотрения эффекта в дополнительном сильном лазерном поле. В настоящее время непосредственно фундаментальными вопросами неустойчивого вакуума в сильных полях и их комбинациях с лазерными полями занимаются группы в Италии, Германии, Франции, США, Швеции, Австрии, Китае.

В связи с синтезированием графена и других наноструктур, КТИП получила дополнительные приложения, доступные для экспериментальной проверки в лабораторных условиях. Дело в том, что в экспериментально реализуемой области значений физических параметров физика таких структур описывается квантово-полевой моделью с неустойчивым вакуумом, для которой почти любые электрические поля являются сверхсильными. В этом случае методы, развитые в КЭД с неустойчивым вакуумом, позволяют производить непertурбативные вычисления. Это делает КТИП уже не только академически интересной, но и реально важной и востребованной для физики конденсированного состояния.

Заметный вклад в КТИП внесли физики-теоретики Томска. Исследования в области КТИП в Томске начали развиваться в 70-е годы XX века в Томском государственном педагогическом институте (ТГПИ) на кафедре математического анализа, которую в 1975 г. возглавил Д.М. Гитман, и Томском государственном университете (ТГУ), где в 1974 г. по инициативе В.Г. Багрова на физическом факультете была создана кафедра квантовой теории поля.

Группа физиков-теоретиков ТГПИ занималась в основном исследованиями принципиальных вопросов квантовой теории поля. Заметный вклад в эти исследования внес И.В. Тюгин, работавший в ТГПИ в 1978–1985 гг. Физики-теоретики ТГУ больше уделяли внимания работе в области математической физики (в частности, разработке систематических методов поиска точных решений релятивистских волновых уравнений) и теоретическом изучении конкретных физических эффектов (например, синхротронного излучения). Научное взаимодействие этих групп оказалось весьма плодотворным и обеспечило существенный вклад томских теоретиков в КТИП. Это обстоятельство оказалось весомым аргументом при выборе места проведения Первого Международного семинара по проблеме сильных полей в квантовой теории.

Представленные в этом номере журнала статьи посвящены различным физическим задачам КТИП, они написаны ведущими физиками-теоретиками, работающими в этой области, и хорошо отражают современное состояние исследований в КТИП.

Редколлегия и редакция журнала «Известия высших учебных заведений. Физика» благодарят к.ф.-м.н., доцента И.В. Горбунова и к.ф.-м.н., ст. науч. сотр. П.Ю. Мошина за большую помощь в подготовке настоящего выпуска.

Профессор **В.Г. Багров**, профессор **Д.М. Гитман**