

В. О. Г л а д ы ш е в, М. К. Д а ф ф и,
А. Н. М о р о з о в, П. Р о у л а н д с,
Т. М. Г л а д ы ш е в а

ПРОГРЕСС В ОБЛАСТИ РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ И ЕЕ ФИЗИЧЕСКИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЙ

(По материалам Второй международной научной конференции “Физические интерпретации теории относительности”, проходившей с 4 по 7 июля 2005 г. в МГТУ им. Н.Э. Баумана)

В МГТУ им. Н.Э. Баумана (на факультете “Фундаментальные науки”, кафедре “Физика”) состоялась Вторая международная научная конференция “Физические интерпретации теории относительности”. Программа конференции включала более 100 докладов представителей ведущих научных школ из 25 стран. Конференция проходила в 2005 г., который объявлен ЮНЕСКО годом физики, и была посвящена 175-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана и 100-летию первых основополагающих работ А.Эйнштейна. Конференция с таким названием проводится каждые два года в Лондоне (в Имperial-колледже) с 1988 г. [1]. Первая конференция в Москве была проведена в 2003 г. Информацию о ней можно найти в [2–4].

В программе конференции 2005 г. были отражены следующие основные направления:

- космология, гравитация и структура пространства-времени;
- время, системы отсчета и основания теории относительности;
- природа и модели физического вакуума;
- формальные структуры и физические интерпретации теории относительности;
- финслеровы обобщения теории относительности;
- экспериментальные аспекты теории относительности;
- исторические и философские аспекты теории относительности.

Основная часть докладов традиционно была посвящена математическим основаниям теории относительности, многомерным обобщениям теории относительности, наблюдаемым следствиям теории гравитации и космологии, их физическим интерпретациям, истории создания теории относительности.

Обзорный доклад по наблюдательной космологии “Загадки и проблемы стандартной космологической модели” был представлен В.Н. Лукашом (Астрокосмический центр ФИАН). Полученные недавно данные по анизотропии и поляризации реликтового излучения (WMAP) и крупномасштабной структуре Вселенной (каталог галактик SDSS, “лес” линий $Ly\alpha$) позволили независимо восстановить как космологические параметры современного мира, так и начальные условия для его развития — спектр возмущений плотности в постинфляционной ранней Вселенной. С одной стороны, это достижение привело к новому пониманию физики очень ранней Вселенной (например, к запрету хаотической инфляции, за исключением случая инфляции на массивном скалярном поле) и к созданию стандартной космологической

модели (уточнению состава и структуры темной материи, физики реионизации, теории образования первых звезд, массивных черных дыр, галактик, скоплений, крупномасштабной структуры и др.). С другой стороны, успех стандартной модели, являющийся, по сути, триумфом теории гравитации, заострил фундаментальные проблемы физики высоких энергий, поскольку описание таких “краеугольных камней” космологической модели, как темная материя, темная энергия, бариогенезис и инфляция, в современной физике сталкивается с определенными трудностями. На повестке дня стоит создание расширенной космологической модели и построение новой физики, основные контуры которой намечаются сегодня наблюдательной космологией.

Участниками конференции был отмечен значительный прогресс, связанный с развитием концепции мира на бране, согласно которой наш мир представляет собой выделенную четырехмерную поверхность (брану) в пространстве большего числа измерений, причем наблюдаемые физические поля должны быть сосредоточены на бране. В программе конференции данной концепции был посвящен ряд докладов. Среди них можно отметить доклад К.А. Бронникова (Российский университет дружбы народов), Б.Э. Мейеровича (Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН) “Глобальные монополи в дополнительных измерениях как возможные миры на бране”.

Миры на бране моделируются уравнениями, описывающими глобальные топологические дефекты в дополнительных измерениях, порождаемые системами скалярных полей с произвольными потенциалами V_φ в виде доменных стенок, струн и монополей.

В докладе К.А. Бронникова и Б.Э. Мейеровича показано, что модели с числом дополнительных измерений более одного свободны от проблем, связанных с удержанием материи, которые имеют место в случае пятимерных моделей типа второй модели Рэндалл и Сундрума [5]. Данные результаты впервые опубликованы в работе [6]. Для случая плоских бран в пространствах размерности $D > 5$ со сферической симметрией в дополнительных измерениях получены все возможные виды (их семь) глобально регулярных конфигураций без конкретизации потенциала V_φ . Варианты моделей зависят от максимальной величины скалярного поля φ . Если φ меньше критической величины, связанной с многомерным планковским масштабом, регулярные модели имеют деситтеровскую асимптотику или имеют плоскую асимптотику с угловым дефектом подобно глобальным монополям в четырех измерениях. В “режиме сильного поля”, когда амплитуда достигает критической величины или превосходит ее, монополь либо заканчивается цилиндром конечного радиуса, либо возникает второй регулярный центр, так что дополнительное пространство имеет топологию сферы. Удержание материи на бране установлено большинством этих моделей на примере пробных скалярных полей произвольной массы. Работа имеет важное значение для отбора жизнеспособных моделей мира на бране с целью их дальнейшего изучения и применения в космологии и физике частиц.

В докладе Д. Синглтона (Калифорнийский государственный университет, США) “Anyons and fermion generations on a co-dimension 2 brane” проведен анализ поведения фермионов в присутствии несингулярной толстой браны с размерностью 2. Показано, что решение содержит три нулевые моды, которые отличаются тем, что имеют различные значения углового момента. Эти три нулевых моды размещаются в различных точках пространства высоких порядков и интерпретируются как три генерации фундаментальных

фермионов. При размерности 2 угловой момент по отношению к сверхизмерениям не ограничен целыми или полуцелыми значениями, что создает видимость наличия у фермионов анионных свойств.

Часть докладов традиционно посвящена аксиоматике теории пространства-времени. В докладе Ю.С.Владимирова (физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова) “Бинарная геометрофизика и твисторная программа Пенроуза” были изложены основы бинарной геометрофизики, представляющей собой новый подход к построению объединенной теории пространства-времени и физических взаимодействий. В отличие от известных физических теорий, в этом подходе с самого начала не постулируется существование классического пространства-времени, а предлагается его построение исходя из понятий алгебраической теории бинарных систем комплексных отношений, вводимых между элементами двух множеств (своеобразной бинарной геометрии), трактуемых как начальные и конечные состояния микросистем [7].

Предложенная автором теория опирается на идеи квантовой теории S -матриц, многомерных геометрических моделей физических взаимодействий типа теории Калуцы–Клейна и теории прямого межчастичного взаимодействия Фоккера–Фейнмана. В этом подходе существенно используется идея о макроскопической природе пространства-времени, согласно которой классические пространственно-временные представления справедливы лишь при описании достаточно сложных макросистем и теряют силу в микромире, где им на смену приходят иные закономерности.

В докладе был представлен ряд результатов в рамках данной теории, касающихся, главным образом, способа объединения известных видов физических взаимодействий: сильных и электрослабых. В этом подходе гравитационные взаимодействия не являются первичными, а определяются другими взаимодействиями и возникают вместе с понятиями классического пространства-времени.

Здесь следует упомянуть дискуссионный доклад М.Е. Герценштейна (Институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова) “Трудности, о которых говорил Хокинг в Дублине, полностью устраняются в точном автомодельном колебательном решении уравнений ОТО”. В работе сделана попытка устранить известную трудность, возникающую в квантовой и классической электродинамике: электростатическая энергия заряженной элементарной частицы оказывается бесконечной. В работе показано, что корректный учет поляризации вакуума позволяет устранить появления бесконечных величин в электродинамике.

Задача о поляризации вакуума неоднократно рассматривалась классиками квантовой электродинамики, например в [8]. Автором доклада обсуждается модель, согласно которой на малых расстояниях меняется структура статического электрического поля. Электростатический потенциал слабее, чем это следует из закона Кулона. Пробная частица движется в слабом поле как свободная. Это относится к электрическому полю, создаваемому любой заряженной частицей. Модель приводит к асимптотической свободе на малых расстояниях. Ядерные взаимодействия происходят в области, где электрические поля подавлены поляризацией электронного вакуума. Можно сказать, что эффективный заряд уменьшается на малых расстояниях. Это качественно согласуется с тем, что учет поляризации вакуума улучшает сходимость интегралов для собственной энергии. Автором отмечается, что полевая энергия электрического поля электрона меньше энергии покоя электрона m_0c^2 ,

что, видимо, связано с тем, что существуют и другие поля, в том числе и такие, которые сегодня не известны.

Детальному описанию структуры электрического поля посвящен доклад В.Б. Розанова (Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН) и Т. Ярмана (Айзик университет, Турция) “Коррекция дефекта масс при классическом и квантово-механическом описании: изменение метрики вблизи электрического заряда и небесных тел”. В работе развивается идея, согласно которой, так же как гравитационное поле, электрическое поле замедляется внутренним механизмом часов, входящих во взаимодействие с полем [9]. Такой подход позволяет объяснить замедление распада мюонов на нуклоны.

Рассмотрению математической связи уравнений электродинамики с уравнениями общей теории относительности посвящен доклад П. де Хааса (Veluws College Walterbosch, Apeldoorn, Нидерланды) “From Laue’s stress-energy tensor to Maxwell’s Equations and the implications for Einstein’s GTR”. В работе обсуждаются пределы, при которых ограничения Эйнштейна для энергетического тензора напряжений могут выходить за рамки применимости классической электродинамики [10].

Физическое происхождение принципа общей ковариантности в теории относительности обсуждали со времени создания теории относительности (см., например, [11, 12]). В программе конференции этому вопросу были посвящены доклады А. Чаморро (University of the Basque Country, Испания) “On the physical physical content of the principle of general covariance” и А.Л. Холмецкого (Белорусский государственный университет, Белоруссия) “О «калибровочной перенормализации» в классической электродинамике” [13].

Наряду с многомерными обобщениями теории относительности, такими как многомерные теории Калуцы–Клейна, теория суперструн, концепция бран, теории суперсимметрий, продолжаются поиски новых метрических функций. В этом случае римановы представления заменяются обобщенными.

В докладе М. Пауна (University Transilvania, Румыния) “Einstein equations for a remarkable second order Lagrange space” рассмотрены уравнения Эйнштейна в обобщенном пространстве Лагранжа $GL^{2(n)}$. Как было известно, уравнения Эйнштейна и уравнения Максвелла могут быть получены в обобщенном пространстве Лагранжа первого порядка [14], в аналогичном случае были получены обобщенные уравнения Эйнштейна–Янга–Миллса [15]. В работе изучены уравнения Эйнштейна для метрической функции

$$g_{ij}(x, y^{(1)}, y^{(2)}) = e^{2\sigma(x, y^{(1)}, y^{(2)})} \gamma_{ij}(x).$$

Таким образом, пространство $GL^{2(n)}$ может оказаться весьма удобным для построения объединенной релятивистской модели.

К числу обобщенных геометрий относится также финслерова геометрия. Обсуждению философских и математических оснований финслеровых расширений теории относительности посвящен доклад Д.Г. Павлова (МГТУ им. Н.Э. Баумана) [16]. В докладе анализируется связь гиперкомплексных чисел с финслеровыми представлениями, которая позволяет изучать новые классы симметрий. Данные симметрии уже не делятся на изометрии и конформные преобразования, а составляют более разнообразное множество, что является стимулом для поиска новых свойств в законах сохранения физики, базирующейся на соответствующих финслеровых обобщениях.

В настоящее время наряду с финслеровым подходом изучаются также и другие подходы к разрешению проблемы нарушения лоренцевой симметрии.

Среди них наиболее популярным является струнно-мотивированный (SME) подход [17, 18]. Он основан на таком расширении стандартной модели сильных, слабых и электромагнитных взаимодействий, при котором фундаментальные поля рассматриваются на фоне релятивистски инвариантного (например, векторного) конденсата. Другими словами, в рамках SME-подхода нарушение лоренцевой симметрии достигается за счет нарушения релятивистской симметрии.

Доклад Г.Ю. Богословского (НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, МГУ им. М.В. Ломоносова) “Преобразования биспиноров в плоском финслеровом пространстве событий с частично нарушенной 3D-изотропией” посвящен разработке финслерова подхода к проблеме нарушения лоренцевой симметрии [19–22].

В отличие от SME, финслеров подход допускает нарушение лоренцевой симметрии без нарушения релятивистской симметрии. Причина этого явления состоит в том, что спонтанное нарушение исходной калибровочной симметрии может сопровождаться соответствующим фазовым переходом в геометрической структуре пространства-времени. Иначе говоря, спонтанное нарушение калибровочной симметрии может приводить к такой динамической перестройке вакуума, в результате которой образуется релятивистски инвариантный анизотропный фермион-антифермионный конденсат, т. е. постоянное классическое некалярное поле. Это постоянное поле физически проявляет себя как релятивистски инвариантная анизотропная среда, заполняющая пространство-время. Такая среда, оставляя пространство-время плоским, порождает его анизотропию, т. е. вместо пространства Минковского возникает релятивистски инвариантное финслерово пространство событий. Релятивистскую симметрию финслерова пространства представляет трехпараметрическая группа обобщенных лоренцевых бустов. Полученное в данной работе биспинорное представление этой группы позволяет точно учесть влияние анизотропного фермион-антифермионного конденсата на динамику фундаментальных полей после спонтанного нарушения исходной калибровочной симметрии. На уровне феноменологии это значительно уменьшает (по сравнению с SME) число свободных параметров, описывающих возможные эффекты нарушения лоренцевой симметрии.

Исследования, посвященные финслеровой геометрии, как правило, имеют академический характер. Результаты подобных исследований были представлены в докладах В. Балана (Бухарестский политехнический университет, Румыния) “CMC surfaces in Finsler framework — the DPW approach” и Р. Тавакола (Лондонский университет, Великобритания) “On Topology and Geometry of spacetime”. В докладе В. Балана сделан обзор финслеровых пространств, рассмотрены уравнения движущихся систем отсчета и соответствующих условий интегрируемости для трехмерных финслеровых пространств, показано, что в рамках финслеровой геометрии возможно получение пространств с постоянной гауссовой кривизной [23]. В докладе Р. Тавакола обсуждается нарушение лоренцевой симметрии как эффекта физики планковских масштабов. В связи с этим особый интерес представляют работы, которые открывают путь для обсуждения новых наблюдаемых следствий финслерова обобщения псевдоевклидовой геометрии теории относительности.

В докладе Р. Г. Зарипова (Институт механики и машиностроения КазНЦ РАН, Казань) “Закон сложения скоростей в анизотропном локальном финслеровом пространстве-времени” впервые изучается нестандартная синхронизация часов в инерциальной системе отсчета на основе определения фи-

зического временного интервала и физического пространственного расстояния, что приводит к анизотропии однонаправленных скоростей света. Следствием такого рассмотрения является нахождение локально анизотропной финслеровой геометрии с тремя скалярными параметрами, характеризующими степень отклонения от псевдоевклидовой геометрии. В общем случае найдены четыре принципиально различных типа двумерного финслерова пространства-времени. Исследуются новые групповые свойства композиции абсолютных значений одинаково направленных анизотропных скоростей произвольных сигналов. В докладе отмечается, что физические скорости света не являются элементами группы скоростей. В связи с этим рассматриваемая анизотропия физических скоростей света не устраняется преобразованиями координатной сетки, чем отличаются новые полученные преобразования временного интервала и пространственного расстояния от преобразований для координатного представления анизотропии [24]. Приведенное расширение псевдоевклидовой геометрии близко к известным результатам Г.Ю.Богословского [25] и Г.С.Асанова [26], однако имеет принципиальные отличия, которые позволяют использовать сигнальный метод синхронизации часов Пуанкаре в релятивистской физике при построении различных финслеровых геометрий пространства-времени.

К числу оригинальных идей, используемых в области изучения природы гравитации, следует отнести идею, предложенную Г.Гамовым и Э.Теллером в 1937 г., согласно которой силы гравитационного притяжения можно объяснить обменом между частицами макроскопических тел нейтрино-антинейтринными парами [27]. В 1981 г. данная идея получила дальнейшее развитие в работах Е.П. Башкина, в которых он описал спиновые волны в поляризованных газах [28]. Данные работы послужили основой для построения теории индуцированной гравитации с привлечением низкотемпературного нейтринного фона Вселенной [29]. В докладе В.М. Корюкина (Марийский государственный технический университет, Йошкар-Ола) “Эффект Казимира и гравитация” сделана попытка объяснить природу гравитационных явлений на основе существования нейтринного фона Вселенной. При этом эффект Казимира служит аналогом для расчета ньютоновских сил притяжения между макроскопическими телами (используются вакуумные колебания в низкотемпературных коллинеарных нейтринных потоках [30]).

Наиболее интересным следствием можно считать получение зависимости гравитационной постоянной от параметров, характеризующих электро-слабые взаимодействия ($G_N \sim \alpha G_F^2 T^2$, где G_N – гравитационная постоянная Ньютона, α – постоянная тонкой структуры, G_F – постоянная Ферми, T – температура нейтринного фона Вселенной), а также предсказываемую корреляцию гравитационных явлений с процессами, обусловленными слабыми взаимодействиями. Данная работа имеет особое значение, так как позволяет нестандартным образом взглянуть на проблему детектирования гравитационных волн.

Существующие экспериментальные результаты в области регистрации гравитационного излучения, которое было предсказано А. Эйнштейном в работе [31], пока не дают однозначного ответа на вопрос о существовании гравитационных волн. В приближении слабого поля, когда метрика $g_{\mu\nu}$ слабо отличается от метрики Минковского $\eta_{\mu\nu}$, А. Эйнштейн получил уравнение $\square h'_{\mu\nu} = 0$, содержащее решение для плоской монохроматической гравитационной волны в вакууме. Важным обстоятельством здесь является то, что это уравнение так же, как и квадрупольная формула для мощности гравита-

ционного излучения, получено в линейном приближении, тогда как мощное гравитационное излучение может возникать только в области сильной нелинейности, когда необходимо рассматривать совместно движущиеся тела и гравитационное поле.

Кроме того, альтернативные общей теории относительности теории гравитации и более общие теории, такие как теория супергравитации, теория суперструн, многомерные теории гравитации, в параметризованном пост-ньютоновском формализме дают одинаковые предсказания для результатов таких классических экспериментов, как проверка принципа эквивалентности для массивных тел, сравнение хода часов, отклонение лучей света, запаздывание сигнала, прецессия перигелия, изменение гравитационной постоянной со временем, эффект Лензе–Тирринга и др.

В связи с этим прогресс в развитии теории относительности часто связывают с экспериментами нового поколения, такими как регистрация гравитационных волн наземными или космическими гравитационными антеннами, причем, вероятнее всего, интерферометрами.

Наиболее успешными в настоящее время принято считать результаты экспериментальных исследований Дж. Х. Тейлора, Дж. М. Вейсберга и др. [32, 33]. В этих работах проводилось изучение эффекта замедления периода двойной звездной системы PSR 1913+16 вследствие потерь энергии на гравитационное излучение.

Современные методы регистрации гравитационных волн обсуждаются в докладах В.И. Пустовойта (Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, Москва) “К вопросу об обнаружении гравитационных волн” и С.В. Сипарова (Университет гражданской авиации, Санкт-Петербург) “Экспериментальные возможности наблюдения гравитационных волн на основе метода оптико-метрического параметрического резонанса”.

В докладе В.И. Пустовойта развивается идея, предложенная в работе [50], согласно которой интерферометр может быть использован для регистрации гравитационных волн. Автор предлагает использовать многослойные структуры в качестве зеркал резонатора Фабри–Перо для повышения эффективности преобразования гравитационных волн в регистрируемый сигнал. В случае, когда период многослойной структуры близок к полупериоду световой волны, полоса пропускания резонатора становится очень узкой, что позволяет на 5-6 порядков повысить эффективность усиления оптического отклика резонатора на гравитационно-волновые возмущения. Впервые данная идея была опубликована в работах [51, 52]. В докладе обсуждаются новые схемы интерферометров, аналогичных интерферометру Майкельсона, которые могут быть использованы для реализации многослойных отражающих структур.

Не вызывает сомнения тот факт, что сигнал вблизи Земли от самых мощных космических источников гравитационных волн имеет весьма малую амплитуду, и поэтому возникает вопрос поиска источника гравитационного излучения оптическими методами. В связи с этим особый интерес представляет подход, развиваемый в работах С.В. Сипарова. В представленном на конференции докладе обсуждаются экспериментальные возможности наблюдения гравитационных волн на основе эффекта оптико-метрического параметрического резонанса (ОМПР), являющегося релятивистским обобщением эффекта оптико-механического ПР [34–36].

В докладе представлены теоретические основы метода регистрации гравитационных волн (ГВ), основанного на эффекте ОМПР в применении к

космическим мазерам и периодическим источникам излучения. Получены конкретные оценки для параметров астрофизических систем, представляющих интерес с точки зрения прямого детектирования ГВ с помощью метода ОМПР. Наиболее интересным результатом является то, что класс подходящих систем оказывается весьма широким, причем регистрация гравитационных волн становится возможной на основе обычных радиотелескопов, позволяющих наблюдать сигнал космического мазера.

Часть представленных работ относится к теоретическому анализу существования или свойств гипотетической темной материи. К числу таких докладов относятся доклады Т. Сантола (Suntola Consulting Ltd., Tampere University of Technology, Финляндия) “Observations support spherically closed dynamic space without dark energy” и А.Д. Долгова (Институт теоретической и экспериментальной физики РАН, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Италия) “Вакуум и темная энергия”.

В докладе А.Д. Долгова обсуждается проблема вакуума в космологии. Поскольку астрономические данные свидетельствуют о ненулевой антигравитирующей темной энергии, автором анализируются возможные пути объяснения отличия на два порядка величин, предсказываемых теорией и наблюдаемых в действительности.

В докладе Т. Сантола приходит к заключению, что наблюдения подтверждают модель сферически закрытого динамического пространства без темной энергии. Теория динамической Вселенной описывает пространство в виде поверхности четырехмерной сферы, расширяющейся при нулевом энергетическом равновесии между энергиями движения и гравитации. Такой подход восстанавливает первоначальный вид пространства Эйнштейна как поверхность четырехмерной сферы, но преобразует пространство-время Эйнштейна к динамическому пространству в абсолютных координатах [37]. Автор исходит из того, что такой подход является оправданным для синхронизации современных атомных часов, работы спутниковых систем GPS и других наблюдений, включая наблюдения космологического расширения. При таком подходе энергия покоя вещества возникает как энергетическая масса, которая появляется благодаря движению пространства в направлении 4-радиуса структуры, и скорость света в пространстве становится фиксированной по отношению к скорости пространства в четырех измерениях. Последние наблюдения величины красного смещения от взрывов сверхновых могут служить подтверждением подобных взглядов без введения гипотетической темной материи.

Прямой проверкой гипотезы существования темной материи могла бы стать регистрация ее частиц. Доклад Г.Н. Измайлова (Московский авиационный институт) “Темная материя и возможности поиска ее частиц” относится к экспериментальному направлению поиска гипотетических частиц темной материи — WIMP. В работе впервые указано на возможность использования когерентных состояний (возмущений в бозе-конденсате рабочего тела детектора) для регистрации слабозаимодействующих частиц. Как следствие, получено увеличение в сотни раз сечения взаимодействия WIMP с рабочим телом детектора. Существующие методы регистрации используют эффекты сцинтилляции, ионизации, возбуждения фононов в твердом теле, однако эти методы, хорошо опробованные для регистрации уже известных частиц (протонов, нейтронов, нейтрино), требуют больших объемов рабочих тел [38].

В последние годы широко обсуждается вопрос о возможном космологическом ускорении расширения Вселенной. В докладе В.Я. Варгашкина (Ор-

ловский государственный технический университет, Орел) выполнена оценка параметров ускоренного расширения Вселенной с учетом влияния фактора гравитационного самолинзирования [39] на фотометрию квазаров. По отклонению экспериментального графика закона Хаббла от линейного можно оценить параметр ускорения q_0 , свидетельствующий об ускоренном расширении Вселенной. При выходе на соответствующий уровень точности по параметру q_0 могут быть оценены относительная (в долях к критической) энергия вакуума Ω_Λ , а также относительная плотность релятивистской Ω_{rel} и нерелятивистской Ω_m материи. Введение в данные фотометрии квазаров поправки, обусловленной фактором гравитационного самолинзирования, позволяет уменьшить дисперсию светимости квазаров в поле диаграммы Хаббла и, таким образом, экстраполировать эту диаграмму в область значительных красных смещений квазаров.

Предложенная методика позволила автору доклада оценить диапазон значений параметра q_0 в пределах от $-0,1$ до $+1,3$, что подтверждает вывод о современной фазе ускоренного расширения Вселенной. С учетом полученных значений параметра неравномерности минимальный возраст Вселенной оценивается приблизительно в 14 миллиардов лет.

Не вызывает сомнения, что классические работы в области астрономии и небесной механики должны рассматриваться с учетом эффектов теории относительности. В связи с этим особенно интересны работы, обнаруживающие новые практические аспекты в области использования спутниковых космических систем.

В докладе А.В.Родникова (МГТУ им. Н.Э.Баумана) “Безударное преобразование движения по леерной связи в ньютоновском силовом поле” выполнен анализ относительного движения тросовой системы, перемещающейся по геоцентрической орбите. В работе показывается, что если орбитальная система представляет собой не обычную связку двух тел, а так называемый “леер”, т.е. трос, оба конца которого закреплены на протяженном теле (орбитальной станции), то существует принципиальная возможность преобразования произвольного неограниченного относительно станции движения материальной точки в периодическое с помощью захватывающего устройства, перемещающегося по инерции вдоль леера. Такое преобразование осуществляется безударно, т.е. в течение всего времени движения не происходит скачков скорости (а также и ускорения) материальной точки. Результаты работы после соответствующей модификации приводимых алгоритмов могут иметь значение для космической практики.

Работа основывается на известных результатах В.В.Белецкого [40] и использует как классическое описание движения тросовой системы [41], так и принципы “динамического бильярда” [42]. Для анализа безударных переходов используются результаты А.П.Иванова [43].

Значение оптических методов исследований в области проверки современных представлений о свойствах пространственно-временного континуума и изучения наблюдаемой части Вселенной трудно переоценить. В связи с этим особое методическое значение имеет работа Ю.Я.Голубя (МГТУ им. Н.Э.Баумана), В.С.Горелика (Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН), посвященная расчету показателя преломления и эффективной массы фотона в глобулярном фотонном кристалле [44].

В данной работе рассмотрены условия возникновения отрицательных масс фотонов в глобулярных фотонных кристаллах, в качестве которых были выбраны искусственные опалы, представляющие собой кубическую решетку из одинаковых сферических частиц (глобул) кремнезема с размером глобул в

диапазоне 200...400 нм. Авторами показано, что рассчитанная зависимость групповой скорости от волнового вектора распадается на три ветви. Для первой и третьей ветвей групповая скорость является положительной, а для второй — отрицательной; при этом эффективная масса фотонов для первой ветви отрицательна. Для второй и третьей ветвей эффективная масса фотонов может быть как положительной, так и отрицательной и имеет разрыв при смене знака.

Влияние дисперсии на результаты фундаментальных оптических экспериментов обуждалось неоднократно, например в работах [45, 46]. В экспериментах В. Вали, Р. Шортилла и М. Берга [47] была подтверждена зависимость результатов от дисперсии в схеме интерферометра Саньяка. Однако вид дисперсионного члена в выражениях для сдвига интерференционной картины является предметом дискуссий до настоящего времени. Это связано, в основном, с тем, что зависимость показателя преломления n от длины электромагнитной волны для реальных материалов не может быть получена аналитически и подбирается по результатам экспериментов. Так, например, для оптических стекол имеем выражение

$$n^2 = A_1 + A_2\lambda^2 + A_3\lambda^{-2} + A_4\lambda^{-4} + A_5\lambda^{-6} + A_6\lambda^{-8}. \quad (1)$$

Коэффициенты A_i формулы дисперсии являются табличными и позволяют рассчитать показатель преломления с погрешностью, не превышающей $\pm 1 \cdot 10^{-5}$.

Кроме того, в настоящее время традиционные методы расчета сдвига интерференционной картины в экспериментах оптики движущихся сред не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к подобным расчетам исходя из достигнутой в экспериментах точности измерений [48].

Так, например, в работе Х.Р. Билгера и В.К. Стовелла [49] был описан эксперимент, в котором свет распространялся во вращающемся оптическом диске, находящемся в кольцевом интерферометре. Как и следовало ожидать, авторы зарегистрировали эффект Физо в материале стекла, однако, несмотря на высокую точность измерений, в теоретической модели не учитывался эффект нарушения закона Снеллиуса на границе раздела сред на торцевой поверхности вращающегося диска. Результаты эксперимента совпали с предсказаниями расчетов, что вызывает удивление, так как нарушение закона преломления на тангенциальном скачке скорости является одним из фундаментальных следствий электродинамики и должно составлять не менее 20% от основного измеряемого эффекта (эффекта Физо).

Фундаментальный аспект этой проблемы состоит в том, что уравнения электродинамики движущихся сред проверены лишь в ряде частных случаев, что приводит к необходимости их тестирования в трехмерных задачах с учетом эффектов второго порядка малости по сравнению с эффектами, возникающими при учете лишь членов первого порядка отношения v/c скорости среды к скорости света в вакууме. Изучение прикладного аспекта этой проблемы позволяет ответить на вопрос, в какой степени показания того или иного интерферометра, движущегося по земной орбите, зависят от положения и ориентации. То, что такая зависимость существует, например в интерферометре Саньяка, не вызывает сомнения.

Наиболее перспективными здесь кажутся оптические интерферометрические методы исследований, в которых должно выполняться соответствие измеряемого относительного положения интерференционной картины (ИК)

в любой инерциальной системе отсчета (ИСО), из которой она наблюдает-ся. Анализ экспериментов типа классического эксперимента Майкельсона–Морли не оставляет сомнения в том, что инвариантность результата измерений обеспечивается с очень высокой степенью точности. К такому выводу можно также прийти, проводя расчеты положения ИК в движущемся под разными углами интерферометре с учетом членов второго порядка малости β^2 , сокращения длины всего интерферометра и отдельных его элементов, изменения частоты источника излучения, а также частоты излучения при отражении от движущихся элементов, изменения углов отражения от движущихся элементов.

Тем не менее, анализ будет не полным, если не учитывать трансформацию электромагнитного излучения на движущихся прозрачных оптических элементах. Но даже если учесть эффект Физо и нарушение закона Снеллиуса, анализ будет проведен в двумерном случае, а все элементы интерферометра находятся в одной ИСО, что соответствует частному случаю. В связи с этим представляют интерес модели экспериментов (и их последующая реализация), в которых свет распространяется в трехмерном поле скоростей. Возможность осуществления подобных экспериментов обсуждается в докладе В.О. Гладышева, Т.М. Гладышевой, В.Е. Зубарева (МГТУ им. Н.Э. Баумана) “О возможности нового трехмерного экспериментального теста электродинамики движущихся сред”.

Однако трудности при точном моделировании эксперимента могут возникнуть уже в двумерных приближениях. Рассмотрим, например, классический интерферометр Физо, в котором движущаяся вода заменена на оптическое стекло с целью учета дисперсии. В подобном интерферометре не существует единой ИСО, в которой бы все элементы покоились, поэтому нельзя перейти от ИСО, в которой весь интерферометр покоится, к произвольной движущейся ИСО.

При описании интерферометра в ИСО, относительно которой интерферометр движется со скоростью v , сдвиг ИК будет рассчитываться с учетом кинематики движения, сокращения длины интерферометра, эффекта Доплера, явления дисперсии в материале согласно выражению

$$\Delta = \frac{l}{2\pi} \left(\frac{1}{1+\beta} (k_{2n,2} - k_{1n,2}) + \frac{1}{1-\beta} (k_{2n,1} - k_{1n,1}) \right). \quad (2)$$

Здесь l – оптическая длина материала, в котором распространялась электромагнитная волна, $\beta = v/c$, c – скорость света в вакууме, $k_{in,j}$ – волновые векторы преломленных лучей, $i = 1, 2$ и $j = 1, 2$ соответствуют номеру плеча интерферометра и номеру луча. В случае $i = 1, j = 1$ точное координатное решение дисперсионного уравнения имеет вид

$$k_{1n,1} = k_{01} \frac{\beta + \beta'_{2n} - n_{1,1}^2 \beta'_{2n} (1 + \beta \beta'_{2n}) + n_{1,1} (1 - \beta'^2_{2n})}{(1 + \beta) (1 - n_{1,1}^2 \beta'^2_{2n})}. \quad (3)$$

Здесь $\beta'_{2n} = u'/c$, u' – скорость среды в ИСО интерферометра, k_{01} определяется с учетом релятивистского эффекта Доплера.

Волновые векторы находятся методом последовательных приближений. Сначала в уравнение (3) подставляют показатель преломления, измеренный в ИСО, где среда покоится, при этом берут частоту падающего излучения.

Затем рассчитываются соответствующие длины волн в движущейся среде. Например, для $i = 1, j = 1$

$$\lambda_{1,1} = \frac{2\pi c}{k_{1n,1}v + \omega_1(1 - \beta)}. \quad (4)$$

Для каждой длины волны находят показатель преломления. Затем найденные показатели преломления подставляют вторично в выражение (1) и повторно рассчитывают волновые векторы. При необходимости для повышения точности расчетов процедуру можно повторить.

Численные расчеты, выполненные подобным образом, для параметров, близких к использованным в опыте Физо: $l = 1,4875$ м, $u = 7,059$ м/с, $\lambda = 0,6328$ мкм, $v = 3 \times 10^4$ м/с, $n = 1,487$ (стекло ЛК5), приводят к выводу, что при изменении ориентации интерферометра относительно вектора скорости \vec{v} максимальная величина сдвига ИК соответствует величине $\delta\Delta = 8,2 \cdot 10^{-5}$ полосы. Стоит заметить, что полученная величина $\delta\Delta$ на несколько порядков меньше того значения, которое следовало бы из классической механики. Ненулевой результат обусловлен, возможно, тем, что выражение (1) имеет ограниченную область применения. Поэтому полученный результат естественно связать с влиянием дисперсии на нелинейных членах решения (3).

С другой стороны, инвариантность уравнений электродинамики относительно группы преобразований должна иметь тесную связь с инвариантными свойствами преобразований частных дифференциалов пространства и времени. Если эта связь имеет наблюдаемые следствия, то они должны проявиться в задачах электродинамики движущихся тел, когда источник излучения, приемник, границы раздела сред и сами среды движутся с различными скоростями. В связи с этим возникает интерес к проведению экспериментальной проверки уравнений электродинамики в двух или трехмерном случае движения среды с учетом дисперсии. Безусловно, величина $\delta\Delta$ весьма мала даже для классических стационарных интерферометров, тем более, она чрезвычайно мала для нестационарных интерферометров. Поэтому в контексте возможности проведения подобных экспериментов в ближайшее время можно ожидать лишь определение нижней границы величины \vec{v} , или, что эквивалентно, величины дополнительного вклада дисперсии, который не содержится в выражении (1). Однако для проверки результатов, содержащихся в работе [49], нет необходимости использовать предельную точность измерений. Обсуждение подобных экспериментов находится в области интересов современной технической физики. Данные работы ведутся на кафедре физики МГТУ им. Н.Э. Баумана при поддержке Совета по грантам Президента РФ.

Основной целью организаторов конференции является поиск новых и обсуждение классических наблюдаемых следствий теории относительности, таких, в частности, как излучение и регистрация гравитационных волн, отклонение электромагнитного излучения вблизи массивных объектов и других, которые оказывают влияние на решение задач астронавигации, проявляются во влиянии на процессы распространения электромагнитного излучения в космологических масштабах и должны учитываться при точном пространственно-временном описании событий. В связи с этим, подводя итоги конференции, на которой участниками обсуждались предложения о проведении новых тестов теории относительности, включая космические,

результаты астрономических наблюдений последних лет, результаты их статистической обработки, их достоверность и допустимые физические интерпретации новых теоретических предсказаний, можно сделать заключение о растущей тенденции к практическому использованию результатов теории относительности и электродинамики, а также их современных обобщений.

По итогам работы конференции будут изданы избранные труды, информация о трудах будет опубликована на сайте кафедры физики МГТУ им. Н.Э.Баумана [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. http://www.cet.sunderland.ac.uk/webedit/allweb/news/Philosophy_of_Science/PIRFORM.htm.
2. http://fn.bmstu.ru/phys/nov/konf/pirt/pirt_main.html.
3. Да ф ф и М. К., Г л а д ы ш е в В. О., М о р о з о в А. Н. Первая московская конференция “Физические интерпретации теории относительности” // Наука и технология в России. – 2003. – Т. 66, № 8; – 2004. – Т. 67, № 1. – С. 31–33.
4. D u f f y M. C., G l a d y s h e v V. O., M o r o z o v A. N., R o w l a n d s P. Physical Interpretations of Relativity Theory (On the materials of International Scientific Conference in Bauman Moscow State Technical University, 30th June–3rd July, 2003) // VESTNIK. Journal of the Bauman Moscow State Technical University. Natural Sciences & Engineering. – 2004. – № 1. – P. 202–210.
5. R a n d a l l L., S u n d r u m R. An alternative to compactification // Phys. Rev. Lett. – 1999. – V. 83. – P. 3690.
6. Б р о н н и к о в К. А., М е и е р о в и ч В. Е. Gravitating global monopoles in extra dimensions and the brane world concept. – gr-qc/0507032; submitted to JETP.
7. В л а д и м и р о в Ю. С. Реляционная теория пространства-времени и взаимодействий. Ч. I. Теория отношений. – М.: Изд-во МГУ, 1996. – 262 с.
8. П а у л и В. Теория относительности. – М.: Гостехиздат, 1947. – 300 с.
9. Y a r m a n T. The General Equation of Motion Via the Special Theory of Relativity and Quantum Mechanics // AFBL. – 2004. – V. 29. – № 3.
10. D e H a a s E. P. J. A renewed theory of electrodynamics in the framework of Dirac-ether // In Proc. of International Meeting on Physical Interpretations of Relativity Theory PIRT-2004. London, 2004. Liverpool: PD Publ., 2004. – P. 95–123.
11. F o c k V. A. The Theory of Space, Time, and Gravitation. – London: Pergamon Press, 1959.
12. M o l l e r C. The Theory of Relativity. – Oxford: Oxford university Press, 1972.
13. K h o l m e t s k i i A. L. Annales de la Fondation Louis de Broglie. – 2004. – V. 29. – P. 549.
14. M i r o n R., A n a s t a s i e i M. The Geometry of Lagrange Spaces. Theory and Applications. – Amsterdam: Kluwer Acad. Publ., 1994.
15. В а л а н V. Generalized Einstein-Yang Mills equations for the space $GL^n = (M, g_{ij}(x, y) = e^{2\sigma(x, y)} \gamma_{ij}(x))$ // Tensor N.S. – 1993. – V. 52. – P. 199–203.
16. П а в л о в Д. Г. Четырехмерное время // Гиперкомплексные числа в геометрии и физике. – 2004. – № 1. – С. 33–42.
17. C o l l a d a y D., K o s t e l e c k y V. A. Lorentz-violating extension of the standard model // Phys. Rev. D. – 1998. – V. 58. – P. 116.

18. CPT and Lorentz symmetry. III / Ed. V.A. Kostelecky. – Singapore: World Scientific, 2005.
19. Bogoslovsky G. Yu. A special relativistic theory of the locally anisotropic space-time // *Nuovo Cimento B.* – 1977. – V. 40. – P. 99–134.
20. Богословский Г. Ю. Финслерова модель пространства-времени // ЭЧАЯ. – 1993. – V. 24. – P. 813–877.
21. Bogoslovsky G. Yu., Goenner H. Finslerian spaces possessing local relativistic symmetry // *Gen. Rel. Grav.* – 1999. – V. 31. – P. 1565–1603.
22. Bogoslovsky G. Yu., Goenner H. Concerning the generalized Lorentz symmetry and the generalization of the Dirac equation // *Phys. Lett. A.* – 2004. – V. 323. – P. 40–47.
23. Balan V., Dorfmeister J. *Tohoku Mathematical Journal.* – 2001. – V. 53, № 4. – P. 593–615.
24. Зарипов Р. Г. Отношение одновременности и финслерова структура плоского анизотропного пространства-времени // *Гравитация и теория относительности.* Вып. 29. – Казань: Изд-во КГУ, 1992. – С. 64–71.
25. Богословский Г. Ю. Теория локального анизотропного пространства-времени. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 271 с.
26. Асанов Г. С. Финслероидная геометрия. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 160 с.
27. Gamow G., Teller E. Some Generalizations of the β Transformation Theory // *Phys. Rev.* – 1937. – V. 51, № 4. – P. 289.
28. Башкин Е. П. Спиновые волны в поляризованных парамагнитных газах // *Письма в ЖЭТФ.* – 1981. – Т. 33, вып. 1. – С. 11–14.
29. Korukin V. Gravitation and Weak Interactions in the Gauge Fields Covariant Theory // *Proc. of III International Symposium on Weak and Electromagnetic Interactions in Nuclei (JINR, Dubna, Moscow Region, RUSSIA, June 16–22, 1992)* / Ed. Ts. D. Vyllov. – Singapore–London–Hongkong: World Scientific, 1992. – P. 456–458.
30. Корюкин В. М. Эффект Казимира, гравитация и реликтовые нейтрино // *Изв. вузов. Физика.* – 1996. – № 10. – С. 119–120.
31. Einstein A. *Naherungsweise Integration der Feldgleichungen der Gravitation.* – Berlin: Preuss. Akad. Wiss., 1916. – P. 688–696.
32. Taylor J. H., Weisberg J. M. A new test of general relativity: gravitational radiation and the binary pulsar PSR 1913+16 // *Astrophysical J.* – 1982. – V. 253, № 2. – P. 908–920.
33. Taylor J. H. Gravitational radiation and the binary pulsar // *Proc. 2th Marcel Gross Meeting on Gen. Relativity, 1979.* – Amsterdam: Elsevier Sci. Publ., 1982. – P. 15–19.
34. Siparov S. V. Low-frequency external action on a two-level atom in resonant field // *Phys. Rev. A.* – 1997. – V. 55. – P. 3704–3709.
35. Казачков А. Я., Сипаров С. В. Сила, действующая на атом при параметрическом резонансе // *Оптика и спектроскопия.* – 1997. – Т. 83, № 6. – С. 961–968.

36. S i p a r o v S. V. Resonance fluorescence in the two-level system and optico-mechanical parametric resonance // *J. Phys. B.* – 1998. – V. 31, № 3. – P. 415–425.
37. S u n t o l a T. Dynamic space converts relativity into absolute time and distance, PIRT-IX. London, 2004. – Liverpool: PD Publ., 2004. – P. 477–492.
38. S o m n e r T. J. Experimental Searches for Dark Matter <http://www.livingreviews.org/lrr-2002-4>.
39. V a r g a s h k i n V. Ya. The phenomenon of gravitational self-lensing // In Proc. of International Meeting on Physical Interpretations of Relativity Theory PIRT-2003, Moscow–Liverpool–Sunderland. – M.: BMSTU, 2003. – P. 60–68.
40. Б е л е ц к и й В. В. Очерки о движении космических тел. – М.: Наука, 1977.
41. Б е л е ц к и й В. В., Л е в и н Е. М. Динамика космических тросовых систем. – М.: Наука, 1990.
42. B e l e t s k i i V. V. Reguläre und chaotische Bewegung starrer Körper. – Stuttgart: Teubner, 1995.
43. И в а н о в А. П. Динамика систем с механическими соударениями. – М: Международная программа образования, 1997.
44. Г о р е л и к В. С., З л о б и н а Л. И., М у р з и н а Т. В., С в е р б и л ь П. П., С ы ч е в Ф. Ю. Спектры отражения трехмерных фотонных кристаллов с висмутовым покрытием // Краткие сообщения по физике ФИАН. – 2004. – № 6. – С. 3–8.
45. L e e b W. R., S c h i f f n e r G., S c h e i t e r e r E. Optical fiber gyroscopes: Sagnac or Fizeau effect? // *Appl. Opt.* – 1979. – V. 18, № 9. – P. 1293–1295.
46. L e r c h e I. The Fizeau effect: Theory, experiment, and Zeeman's measurements // *Amm. J. Phys. V.* – 1977. – V. 45, № 12. – P. 1154–1163.
47. V a l i V., S h o r t h i l l R. W., B e r g M. F. Fresnel–Fizeau effect in a rotating optical fiber ring interferometer // *Appl. Opt.* – 1977. – V. 16, № 12. – P. 2605–2607.
48. G l a d y s h e v V., G l a d y s h e v a T., Z u b a r e v V. Description of electromagnetic radiation in complex motion media with account of the relativistic effects // Proc. of International Meeting on Physical Interpretations of Relativity Theory. Moscow–Liverpool–Sunderland, 2003. – P. 112–121.
49. B i l g e r H. R., S t o w e l l W. K. Light drag in a ring laser: An improved determination of the drag coefficient // *Phys. Rev. A.* – 1977. – V. 6, № 1. – P. 313–319.
50. Г е р ц е н ш т е й н М. Е., П у с т о в о й т В. И. К вопросу об обнаружении гравитационных волн малой частоты // *ЖЭТФ.* – 1962. – Т. 43. – С. 605–627.
51. А ф а н а с ь е в А. М., П у с т о в о й т В. И. О дифракции волн на периодической структуре с произвольным пространственным изменением свойств среды // *Докл. РАН.* – 2003. – Т. 392, № 3. – С. 332–335.
52. А ф а н а с ь е в А. М., Г у л я е в Ю. В., П у с т о в о й т В. И. Деструктивная макроинтерференция как метод повышения спектрального разрешения дифракционных фильтров // *Радиотехника и электроника.* – 2004. – Т. 49, № 12. – С. 1526–1531.

Статья поступила в редакцию 01.08.2005