

ОЧЕРКИ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

Часть I. АСТРОФИЗИКА, ТЕОРИЯ ПОЛЯ, КОСМОЛОГИЯ

БОРИС ИХЛОВ

Пермь, 2024

УДК 524.1; 524.3; 524.8; 524.023; 530.12; 531; 531.5; 532.5; 523; 524.52; 551; 532.6

MSC 70F15, 70F07

Б. Л. Ихлов. Формат А4. 172 стр. Электронный адрес: boris.ikhlov@gmail.com

ISBN 978-5-905465-06-2

Ихлов Борис Лазаревич, физик-теоретик, политолог, публицист, журналист, политический активист.
Часть книги изложена по-английски после основного русского текста.

Содержание

Автобиография.....	4
Кризис в физике.....	6
Данные телескопа «Уэбб» подтверждают космологические модели	15
Проблема космологической постоянной.....	19
Астрофизика	
О составе межзвездного газа.....	21
Особенности Солнечной системы.....	26
О конвективном механизме колебаний светимости полуправильных переменных...33	
Теория поля. Гравитация	
Введение. Квантовая механика и эффект Казимира.....	37
Введение. Поляризация вакуума.....	39
Нарушение энергодоминантности в эффекте Казимира.....	50
Гравитация в терминах расслоений.....	56
Гипотеза хиггсовского гравитационного вакуума.....	58
Эффективный гравитационный лагранжиан.....	60
Хиггсовский гравитационный вакуум в уравнении Эйнштейна.....	61
Вакуум как источник вращения.....	64
Квантовый крутильный осциллятор с переменной длиной.....	68
К теории струн.....	70
Нарушение лоренц-инвариантности как симметрия.....	75
Космология	
О гипотезе вращения Вселенной.....	83
Проблема критической плотности.....	88
Термодинамический подход в космологии.....	92
Об увеличении массы Вселенной.....	99
К интерпретации закона Хаббла.....	104
Механика с антигравитацией.....	111
К гипотезе возникновения вселенной из квантовой флуктуации.....	116
О принципе эквивалентности.....	122
Квантовая модель антигравитации.....	129
Жизнь в вселенной.....	134
Список литературы.....	146
Summary.....	149
Dynamics of Solar System.....	152
Higgs gravitation vacuum.....	162
The Problem of Critical Density.....	162
Violation of Energy Domination in Quantum Field Theory.....	166

АВТОБИОГРАФИЯ

Родился в начале второй половины прошлого столетия, в Перми. Русский по матери, истинный мариец, беспартийный, принципиально холост. Характер северный, умеренный, до сильного. Выдержан – четыре звездочки. Прекрасный спортсмен – 1-й разряд по шахматам.

Основные вехи:

- 1) С 9-го класса работал штукатуром, отремонтировал цоколи свыше 100 домов в Мотовилихинском районе Перми.
- 2) В 1974 году в составе ССО «Предуралье» построил в Предуралье 8-квартирный дом из бруса и 2 коттеджа.
- 3) В 1975 году в составе ССО «Квант» построил в с. Кочево Гайнского района Коми-округа 4-этажную каменную школу, отмечен как один из лучших работников.
- 4) В 1978-м закончил физфак ПГУ, имел первый балл на факультете, отмечен как один из лучших студентов физфака.
- 5) Руководил бригадой из 5 человек, построили 3-этажный каменный гараж в Кудымкаре Коми-округа и т.д. Любой строитель за свою жизнь построил и отремонтировал гораздо больше, но. И в 1974-м, и в 1975-м и далее - мы работали по 14 часов в сутки, почти без выходных.
- 6) В 1980 году преподавал физику в пермском сельхоз. институте.
- 7) В 1983 году преподавал физику в пермском фарм. институте.
- 8) В 1986 году вместе с В. Зеркиным (Магнитогорск) независимо от материалов групп Тони Клиффа, Бордиги и др. стал основателем в СССР идейного течения, согласно которому в СССР был госкапитализм.
- 9) В 1987 году закончил аспирантуру физфака МГУ и представил диссертацию.
- 10) В 1988 году преподавал в пермском политехническом.
- 11) В 1990-м организовал успешную забастовку на пермском заводе им. Ленина, бастовали 10 тыс. рабочих, их требования повысить зарплату были удовлетворены.
- 12) В 1990-м организовал протесты, в результате было отменено строительство АЭС в Гайнском районе Коми-округа АЭС по типу Фукусимы.
- 13) В 1992 году организовал успешную забастовку на мотовозоремонтном заводе и на макаронной фабрике в Верецагино.
- 14) Когда в начале 90-х шли увольнения на заводах, фактически в одиночку остановил на несколько лет увольнение 1500 рабочих пермского АО «Велта», 1700 рабочих пермского АО «Инкар» и 3500 рабочих свердловского «Уралтрансмаша».
- 15) Фактически в одиночку организовал успешную защиту в суде двух членов двух пермских стачкомов.
- 16) Когда рабочим пермского завода «Машиностроитель» задерживали полгода зарплату, фактически в одиночку организовал рабочих на перекрытие магистралей, что заставило выплатить им долги.
- 17) Организовал протесты и на несколько лет затормозил программу утилизации ракет в черте Перми.
- 18) Опубликовал свыше 770 научных статей по социологии, литературоведению, политологии, философии, экономике.
- 19) Опубликовал свыше 100 статей на естественно-научные темы.
- 20) Опубликовал свыше 3000 журналистских статей.
- 21) Написал 35 книг, из них 4 поэтических сборника.
- 22) Написал около 50 песен на стихи русских, советских поэтов, также на собственные стихи.

Обычная жизнь

До 1962 года участвовал в движении юных коммунаров.

В школе участвовал в работе пермской телестудии, в ряде телевизионных спектаклей, в том числе двух детских спектаклях, в первом художественном фильме пермской телестудии «Три с половиной дня из жизни Ивана Семенова».

В 1973 году закончил пермскую физ. мат. школу №9, в том же году закончил школу юных физиков, юных биологов, с отличием школу юных химиков при Пермском госуниверситете, с отличием закончил музыкальную школу №2. В школе №9 возглавлял шефский сектор в комитете ВЛКСМ, участвовал в областной отчетной конференции ВЛКСМ, подверг критике деятельность областного руководства ВЛКСМ, за что был исключен из комитета комсомола.

В 1978 году окончил физфак ПГУ, отделение теоретической физики.

Участвовал в строительных отрядах, работал кузнецом, строителем деревянных зданий, сооружений, подсобником каменщика, каменщиком, маляром, штукатуром, подрабатывал рабочим сцены.

Читал лекции по линии общества «Знание» в Коми-округе и Горнозаводске.

По окончании вуза был распределен в лабораторию органических полупроводников Естественно-научного института (ЕНИ) при ПГУ.

В 1980 году не сошелся характером с начальником лаборатории и перешел в лабораторию радиоспектроскопии ЕНИ ПГУ.

В 1982 году получил звание младшего научного сотрудника и в связи с повышением оклада переведен в лабораторию радиобиологии ЕНИ ПГУ.

Занимался также разработкой мат. обеспечения управляющей ЭВМ «Электроника НЦ-03Т» советской архитектуры, квантово-химическими расчетами и внедрением методик этих расчетов, а также конформным анализом химических соединений.

В период работы в университете преподавал физику и принимал вступительные экзамены в сельхоз. институте, фарм. институте, преподавал в школе. Руководил студенческим клубом туристов-водников. Подрабатывал кровельщиком, сторожем, дворником.

В 1984 году поступил в аспирантуру физфака МГУ, на кафедру теоретической физики.

В 1987 году закончил аспирантуру с представлением диссертации «Хиггсовский вакуум в калибровочной теории гравитации», успешно прошел предзащиту и опубликовал автореферат.

В период учебы в аспирантуре преподавал теоретическую механику, принимал экзамены в школу-интернат №18 при МГУ. Работал по хозяйговому. Подрабатывал дежурным по этажу, ассенизатором.

В том же году был вызван на кафедру теоретической физики МГУ на допрос к сотруднику КГБ.

В том же году поступил на работу в пермский режимный политехнический институт на кафедру физики.

Занимался баскетболом в ДЮСШ, в ПГУ – боксом, водным туризмом, боевым самбо. Участвовал во всесоюзном шахматном турнире среди юниоров, отмечен оргкомитетом турнира. В лагере для старшеклассников в Гудаутах и в Артеке в лагере Прибрежном занял 1-е место в турнирах по шахматам, выступал за сборную ЕНИ по баскетболу и по шахматам.

Владею английским разговорным. Изучал немецкий, французский, испанский, татарский, могу объясниться на коми, знаю три слова по-японски и четыре – на санскрите.

Имею опыт руководства группой туристов, курсом студентов на полевых работах, бригадой строителей, взводом, профсоюзом, политической организацией, стачкомом, редакцией газеты, коллективом научных работников.

В настоящее время – ученый-расстрига (биофизика, космология) и независимый журналист. Специализируюсь по национальному вопросу, производству, ВПК, экономике, экологии, протестному и профсоюзному движению, правовым вопросам, международным отношениям.

Руководжу пятью научными проектами по радиобиологии.

Участвую в семинаре проф. В. Ф. Панова по релятивистской теории гравитации.

Необычная жизнь

В 1988 году уволен за политическую деятельность. Последовал запрет на профессию и запрет на устройство на заводы. Запрет действует по сей день.

Работал сторожем, репетитором по физике, в производственно-коммерческих фирмах, 3 года в коммерции.

В журналистике с 1986 года.

До 1991 года печатался в самиздате, в пермских и центральных газетах, также в международных журналах.

Издавал газету «Рабочий вестник», политико-экономический журнал «Взгляд», редактировал политико-экономический журнал «ИЗМ», политический журнал «Международный дневник».

Публикуюсь на ряде сайтов в интернете.

В 2001 году за разоблачение в печати пермской наркомафии в МВД был подвергнут обыску и изъятию компьютера с неопубликованными статьями и книгами за 7 лет работы, материалы на 9/10 утеряны.

Организовал и провел ряд российских и международных научно-практических конференций, в том числе международную конференцию на базе ПГУ «Рабочее движение: история и перспективы». Читал лекции по политологии в ПГУ.

В 1983 году создал подпольную марксистскую организацию «Группа продленного дня» - впоследствии «Союз коммунистов» (1986) (не Аганбегяна), впоследствии (1990) – российское политическое объединение «Рабочий» (ОПОРа), ныне являюсь секретарем исполкома, а также членом профкома пермского рабочего профсоюза «Защита, занятость, законность».

Организация наладила издание подпольного самиздата, инициировала создание пермского экологического комитета, пермского клуба социальных инициатив, пермского клуба избирателей, первых независимых профсоюзов, первых в стране Советов микрорайона и ряда других организаций. Провела 4 успешных забастовки на различных заводах Урала, оказала помощь ряду стачкомов, сумела остановить массовые увольнения на 4-х заводах Урала, выиграть ряд крупных судебных исков трудовых коллективов, восстановить несколько незаконно уволенных, в т.ч. членов стачкомов. Участвовала в ряде общероссийских и международных проектов. Убедила центральное правительство и ряд региональных администраций провести некоторые прогрессивные реформы. Провалила избирательные кампании ряда представителей партии власти, и т.д. Одно время имела представителей (депутатов) в органах власти в Перми, Свердловске, Магнитогорске.

В 1993-м организация насчитывала около 2500 человек, в настоящее время – порядка 70 человек по России, 20 – в Перми, где находится юридический адрес.

В 1986 году организовал первые в СССР альтернативные выборы в МГУ, удалось провалить ставленника КПСС.

В том же году издал в самиздате два сборника материалов подпольной Группы продленного дня.

В 1987 году участвовал в конференции ФСОК в Москве.

В 1988 году организовал первый в Перми неформальный митинг.

В том же году участвовал в съезде неформальных организаций в Москве.

Принимал участие в организации нескольких неформальных объединений Пермского края: 1) клуб избирателей, Общественный экологический комитет, Пермский рабочий союз, профсоюз рабочих оборонной промышленности, Клуб социальных инициатив и т.д.

В 1988-м участвовал в съезде Народных фронтов в Ленинграде.

В то же году участвовал в съезде Уральского народного фронта в Свердловске.

В 1988 году начал издавать журнал «Взгляд», в том же году начал издавать газету «Рабочий вестник».

В 1990 году был одним из организаторов первого в СССР Съезда независимых рабочих движений в Новокузнецке, в дальнейшем был участником ряда конференций созданной на Съезде Конфедерации Труда.

Был участником ряда школ, организованных шведским профсоюзом SAC.

Был участником конференции МАДО в Челябинске.

В 1992-м был избран секретарем исполкома российского политобъединения «Рабочий».

Был организатором в Тольятти и участником конференции МСТК в Москве.

В 1993-м был участником съезда международной Партии Труда в Париже.

В 1994-м был участником Глобального Форума в Манчестере.

Был организатором и участником конференции РСТК в Москве.

Был избран лидером партии «Новые левые».

В 1999-м был участником конференции рабочих и стачкомов на ВЦБК.

В 1998-м читал лекции в ряде городов Великобритании.

Был участником десятка конференций Международного Союза Трудящихся в Буэнос-Айресе.

Дополнительно сообщаю о себе сведения, почерпнутые мной в интернете: я являюсь красно-коричневым, фашистом, русским националистом, сионистом, троцкистом, анархистом, сталинистом, алкоголиком, антисемитом, сотрудником КГБ, стукачом КГБ, сотрудником ЦРУ, сотрудником ЦРУ, завербованным по еврейской линии, сумасшедшим, хамом, либералом, поклонником Путина, буржуазным агентом влияния. Да, забыл: еще я разворовал партийную кассу (которой никогда в природе не существовало), был за это неоднократно (!!!) бит своими друзьями и работаю на администрацию (правда, не пишут, на какую).

Еще есть запись «Стукач Ихлов за работой», дескать, все в Перми знают Ихлова как стукача, написанная никогда не бывавшим в Перми киевлянином Владиком Бугерой, поддерживавшим вместе с британскими троцкистами косовских албанцев, который считает, что он философ. За одну махонькую публикацию в «Лимонке» Бугера записал меня в фашисты. Эту запись вот уже два десятка лет Google заботливо перетаскивает на первую страничку. В последнее время еще расист, гомофоб и сексист. Последние два соответствуют истине.

КРИЗИС В ФИЗИКЕ

В 2007 году была опубликована книга Ли Смолина, специалиста в области петлевой квантовой гравитации и теории струн, под названием «Неприятности с физикой: взлёт теории струн, упадок науки и что за этим следует». Автор пишет о «стагнации, которая овладела теоретической физикой».

«... мы потерпели неудачу, - пишет Ли Смолин. - ... Что такого мы открыли, чем бы наше поколение могло гордиться?... ответ...таков: «Ничего!» ... мы сделали два экспериментальных открытия в последние два десятилетия: что нейтрино имеет массу и что во вселенной доминирует загадочная тёмная энергия... её открытие нельзя расценивать как успех... Имелось несколько скачков вперёд, но ни одного столь же определяющего или важного, как в предыдущие 200 лет... За последние 30 лет теоретики предложили, по меньшей мере, дюжину новых подходов. Каждый подход был мотивирован убедительными гипотезами, но ни один до сегодняшнего дня не был успешен. В области физики частиц эти подходы включали техникolor, преонные модели и суперсимметрию. В области пространства-времени эти подходы включали теорию твисторов, причинные ряды, супергравитацию, динамические триангуляции и петлевую квантовую гравитацию. Теория струн... не делает новые предсказания, которые являются проверяемыми сегодняшними - или даже мыслимыми сегодня - экспериментами. Даже если мы ограничимся теориями, которые согласуются с некоторыми базовыми наблюдаемыми фактами о нашей

вселенной, такими как её огромный размер и существование тёмной энергии, мы останемся примерно с 10 в степени 500 различными струнными теориями... С таким чудовищным числом теорий почти нет надежды, что мы сможем идентифицировать результат эксперимента, который не был бы выполнен одной из них. Т.е. что бы ни показывал эксперимент, теория струн не может быть опровергнута. Но обратное тоже имеет место: не будет сделано когда-либо никаких экспериментов, которые смогли бы проверить её правильность. Те теории струн, которые мы знаем, как изучать, известны как ошибочные. Те же, которые мы не можем изучить, мыслятся существующими в таких гигантских количествах, что ни один мыслимый эксперимент никогда не сможет их все опровергнуть...»

Ли Смолин цитирует Дэвида Гросса, нобелевский лауреат в области физики элементарных частиц: «Мы не знаем, о чём мы говорим... Состояние физики сегодня подобно тому, что было, когда мы были озадачены радиоактивностью... Они потеряли что-то абсолютно фундаментальное. Мы потеряли, возможно, что-то столь же основательное, как и они в те времена» [1].

Ученый приводит формулу полемики: «Как ты можешь не видеть красоту теории? Как теория могла бы делать всё это и не быть верной?» — говорят струнные теоретики. Это провоцирует не менее горячий ответ от скептиков: «Вы потеряли свой ум? Как вы можете верить так сильно в какую бы то ни было теорию при полном отсутствии экспериментальной проверки?.. Как вы можете быть уверены, что вы правы, когда вы даже не знаете, что из себя представляет теория?..»

И далее — уже совсем откровенно: «... в США теоретик, который занимается подходами к фундаментальной физике, иными, чем теория струн, почти не имеет карьерных возможностей... Это причиняет вред науке, поскольку заставляет отказаться от исследований альтернативных направлений, некоторые из которых очень многообещающие. Как это возможно, что теория струн, которой занимались более тысячи блестящих и хорошо образованных учёных, работая в лучших условиях, находится в опасности неудачи? Это удивляло меня долгое время, но сейчас я думаю, что я знаю ответ. Что, я уверен, потерпело неудачу, это не только отдельная теория, но и стиль ведения науки, который хорошо подходил к проблемам, стоявшим перед нами в середине двадцатого века, но перестал быть пригодным для тех видов фундаментальных проблем, которые стоят перед нами сейчас. Стандартная модель физики частиц была триумфом особого способа ведения науки, который начал доминировать в физике с 1940-х. Этот стиль прагматичен и реалистичен, он поощряет виртуозность в расчётах при обдумывании тяжёлых концептуальных проблем. Это крайне отличается от способа, которым делали науку Эйнштейн, Бор, Гейзенберг, Шрёдингер и другие революционеры начала XX в. Их работа возникала из глубокого размышления о наиболее основных вопросах окружающего пространства, времени и материи, и они видели, что они являлись частью широкой философской традиции, в которой они были дома. ... я предельно озабочен тенденцией, в которой всесторонне поддерживается только одно направление исследований, тогда как другие многообещающие подходы мрут от голода. ... Это тенденция с трагическими последствиями... истина лежит в направлении, которое требует радикального переосмысления наших базовых идей о пространстве, времени и квантовом мире».

Ли Смолин констатирует: «Моя гипотеза в том, что ошибкой с ТС является факт, что она развивалась с использованием стиля исследований физики элементарных частиц, который с трудом применим к открытию новых теоретических схем. Стиль, который привёл к успеху стандартной модели, также тяжело поддерживать, когда разрывается связь с экспериментом... Университеты прекратили рост в начале 1970-х; несмотря на это, профессора, приглашённые на работу в предыдущую эру, продолжали готовить аспирантов с неизменным темпом, что означало существенное перепроизводство новых докторов философии в физике и других науках. В результате имеется свирепая конкуренция за места в исследовательских университетах и колледжах на всех уровнях академической иерархии... Это великое сужение альтернатив для людей, которые хотели бы вести свои собственные исследовательские программы, но вместо этого следуют программам, инициированным вышестоящими учёными. Так что имеется всё меньше углов, в которых творческая личность может спрятаться, охраняемая некоторым видом академической работы, и развивать рискованные и оригинальные идеи... Темп инноваций в планировании курса обучения и методах преподавания положительно средневековый... число американских студентов, заканчивающих вузы с дипломом по физике, уменьшилось за десятилетия».

Ли Смолин цитирует физика Джо Энн Хьюитт, занимающуюся частицами в Стэнфордском Линейном Ускорительном Центре: «Я нахожу высокомерие некоторых струнных теоретиков поразительным, даже

по стандартам физиков. Некоторые искренне уверены, что все не струнные теоретики являются учёными второго сорта... молодые струнные теоретики обычно плохо образованы в физике частиц. Некоторые буквально затруднялись назвать фундаментальные частицы природы... Не один друг объявлял мне, что «сообщество приняло решение, что теория струн верна, и нет ничего, что бы вы могли с этим сделать. Вы не можете бороться с социологией»... я стал убеждаться, что мы должны говорить о социологии теоретической физики, поскольку явление, на которое мы коллективно ссылаемся как на «социологию», оказывает существенное негативное влияние на её прогресс».

Линде и многие другие физики уже давно включили в аксиоматику физики антинаучный философский антропный принцип [5]. Ли Смолин предлагает включить в систему аксиом принцип причинности. На самом деле причинность – лишь частность, Ленин указывал, что «каузальность, понимаемая нами обычно, есть лишь часть всемирной связи» [6]. Зельдович задолго до Ли Смолина предлагал ввести аксиому: выбраковывать решения уравнений Эйнштейна, не удовлетворяющие принципу причинности. Но это неверно, физически эти решения соответствуют затухающим процессам.

«... все восторжествовавшие теории, - пишет Ли Смолин, - имели следствия для эксперимента, которые было легко разработать и которые могли быть проверены в течение нескольких лет.... физическое прозрение немедленно приводит к предсказанию нового физического эффекта... теория струн, петлевая квантовая гравитация не добились обещанного на этом фронте. Стандартное извинение, что эксперименты на этих масштабах невозможно провести... имеется нечто основополагающее, что мы упускаем, некоторое ошибочное предположение, которое мы все делаем... тогда нам нужно изолировать ошибочное предположение и заменить его новой идеей. Почему, несмотря на такие большие усилия тысяч самых талантливых и хорошо подготовленных учёных, в фундаментальной физике в последние 25 лет сделан столь незначительный прогресс?... стиль сообщества ТС является продолжением культуры теории элементарных частиц. Это всегда было более дерзкой, агрессивной и состязательной атмосферой, в которой теоретики соперничают, чтобы быстро откликнуться на новые разработки (до 1980 они были обычно экспериментальными), и подозрительно относятся к философским проблемам. Этот стиль вытеснил более склонный к размышлениям, философский стиль, который характеризовал Эйнштейна и изобретателей КМ...»

Различие же между научными эпохами в том, что КМ, СТО и ОТО возникли не из внутренних неудобств теорий, но из эксперимента.

Для ТС, квантовой гравитации нет экспериментов, которые были бы парадоксальны, нарушали бы прежние представления. Во-вторых, создание ТС не вытекало из проблем развития даже теоретической части физики, которое шло параллельно формированию ТС. Есть ряд возражений теории струн [7].

Ситуация в теории струн напоминает известный анекдот: решил миллиардер разработать метод, чтобы узнать, кто победит на скачках. Позвал зоолога, математика и физика, дал задание, миллион долларов каждому и год времени. Через год приходит зоолог: «Зная точную родословную каждой лошади, успехи ее родителей, чем ее кормили, как лечили, я могу точно назвать результат». Математик: «Имея точные статистические данные предыдущих забегов этих лошадей, я могу назвать приблизительные результаты». Физик: «Мне нужно еще 10 лет, 50 млн долл., несколько помощников и лаборатория, но я уже построил модель движения абсолютно упругого сферического коня в вакууме».

ТС логична, красива, но подобна геометрическим построениям Герсонида, Аль Битруджи, Птолемея.

Так или иначе, нужно включить в основание физики два положения: 1) Наряду с понятие круговорот (цикличности процессов) и понятием необратимых качественных изменений, регресса как момента развития (минимум действия, диссипация, возрастание энтропии), сделать понятие развития как восхождения от низшего к высшему, от простого к сложному, причем не только в форме увеличения числа элементов систем, но усложнения их структуры, превращение потенциальных качеств в актуальные, главенствующим. 2) Включить в систему аксиом идеологию противоречия как источника движения и как индикатора развития науки [8].

Литература

1. New Scientist, «Nobel Laureate Admits String Theory Is in Trouble», Нобелевские лауреаты признают, что теория струн в неприятностях. Декабрь, 10, 2005.
2. https://gufo.me/dict/philosophy_encyclopedia/%D0%9B%D0%90%D0%9A%D0%90%D0%A2%D0%9E%D0%A1
3. Ихлов Б. Л. О методологии естественных наук. Неопозитивизм. В печати.
4. Financial Times, Aug. 12, 2004. Book review.
5. Ихлов Б. Л. Антропный принцип. В печати.
6. Ленин. Философские тетради. ПСС, 5 изд., Т. 29.
7. Ихлов Б. Л. К теории струн. В печати.
8. Ikhlov B. L. On the physics paradigm. The mode of production in the USSR. Scientific research of SCO countries: synergy and integration. Proceedings of international conference, June, 24, 2020, China. P. 153-160. "ON THE PHYSICS PARADIGM" DOI 10.34660/INF.2020.58.21.002

Часть II

В легенде о Курице и Черепахе Черепаха собрала всю мудрость мира в мешок и решила переместить эту мудрость повыше к небу, на самую высокую гору. Но мешок мешал ей, она никак не могла начать движение. Поблизости оказалась Курица. Она долго смотрела на усилия Черепахи, наконец, ей это надоело. И она обратилась к ней:» Что ты делаешь?! Закинь мешок за голову, легче будет!.

Тогда Черепаха поняла: если даже у Курицы есть частица мудрости, которая не попала в мешок, значит, нельзя собрать всю мудрость мира. Представление о возможности создания теории всего – порочно.

Космология

1) Утверждается, что эволюция Вселенной зависит от ее плотности. Если плотность меньше критической, Вселенная будет непрерывно расширяться, наступит тепловая смерть Вселенной. Если плотность больше критической – Вселенную ждет коллапс. Однако при расширении Вселенной ее плотность меняется, если она была больше критической, то рано или поздно станет меньше критической. Таким образом, понятие критической плотности становится бессмысленным. Темная энергия и темная материя были открыты после того, как сформировались основные положения современной космологии, но эти положения никак не изменились, хотя темная материя и темная энергия составляют 95% вещества во Вселенной, т.е. оценки плотности должны были бы измениться на 2 порядка.

Критическая плотность, которая фигурирует в уравнениях Фридмана, получена исключительно из соображений классической динамики, из равенства потенциальной энергии гравитационного притяжения и энергии отталкивания в представлении о разбегании галактик как о механическом отталкивании по закону Хаббла:

$$mv^2/2 = GM/r = H^2 r^2/2$$

далее масса делится на объем. Аналогично рассчитывается 2-я космическая. Однако для ОТО такая ситуация неприемлема.

2) Нетрудно показать, что закон Хаббла справедлив только при нулевой кривизне Вселенной. Но последние исследования реликтового излучения показали, что кривизна Вселенной отлична от нуля.

3) Утверждается, что через 4 млрд. лет Млечный путь и туманность Андромеды столкнутся друг с другом. При наличии даже исчезающе малой тангенциальной составляющей две галактики никогда не столкнутся [1]. Эта тангенциальная составляющая имеется, дело в том, что при анализе динамики галактик не учтены эффекты ОТО.

На то, что кривизна пространства приводит к возникновению момента импульса при поступательном движении, указала И. В. Сандина (ЯПИ). Именно искривление пространства и порождает вращение звездных систем и галактик, прочие объяснения явно неудовлетворительны. Однако на этот факт, указанный в [2], не принято обращать внимания.

Опубликованный в 2018 году набор данных обсерватории «Planck» показал, что Вселенная является замкнутой, а не плоской, с более чем 99% уровнем достоверности, кривизна Вселенной больше нуля на 4%. Это означает, что Вселенная замкнута. Данные обсерватории с высокой значимостью показывают

закрытую геометрию пространства с $\Omega_K = -0,04$. Если бы геометрия была плоская, то, как показывает анализ, значение этой величины, выведенное из данных «Планка», лежало бы в районе $\pm 0,02$. То есть измеряемое отклонение в $-0,04$ маловероятно [3].

Но замкнутость Вселенной, как легко показать, немедленно следует из ее однородности, изотропии и конечности ее массы. Их принципа относительности следует, что наблюдатель в любой точке Вселенной видит одно и то же расширение.

А _____ М _____ В

Наблюдатель из Млечного пути (М) на расстоянии радиуса Вселенной видит разбегающиеся от него галактики А и В. Наблюдатель из галактики В видит удаляющуюся от него галактику М, но в данном направлении, казалось бы, не может видеть галактику А. В противоположном направлении он также должен видеть однородную расширяющуюся Вселенную. Поскольку он не может видеть другое наполнение Вселенной, он должен видеть то же самое наполнение, то есть, галактику А на расстоянии радиуса Вселенной. То есть, $x_i = x_i + 6,28 \dots R$. Это означает, что луч света движется по окружности. То есть, Вселенная замкнута в виде тора, который также замкнут:

$$R^3 \rightarrow R^2 \times S^1 \rightarrow R^1 \times S^1 \times S^1 \rightarrow S^1 \times S^1 \times S^1$$

Либо ее пространственная геометрия может быть представлена как $R^3 \cdot S^1$. Т.е. кривизна Вселенной положительна, не является постоянной: $K < 2 / R \cdot 10^{-26} \text{ м}^{-1}$ и убывает обратно пропорционально радиусу Вселенной R . Положительность кривизны означает, что теория инфляции неверна.

4) Утверждается, что туманность Андромеды не отдаляется от Млечного пути по закону Хаббла потому, что находится так близко, что силы гравитационного притяжения перевешивают силы отталкивания (по Глинеру). Тем не менее, карликовая галактика в созвездии Скульптора E351-G30 находится на расстоянии почти в 4 раза меньше, чем туманность Андромеды. Однако она не приближается к Млечному Пути, а удаляется.

5) Утверждается, что в эпоху инфляции Вселенная расширялась со скоростью, многократно превышающей скорость света. Космологи объясняют это следующим образом: скорость расширения – не скорость частиц относительно друг друга, а увеличение масштаба.

Но увеличение масштаба одновременно увеличивает и масштаб измерительной линейки, таким образом, при ее использовании наблюдатель не может обнаружить расширение Вселенной. Увеличиваться должно всё: протоны, атомы, звезды.

6) Утверждается, что последние измерения показали ускоренное расширение Вселенной. Однако по закону Хаббла Вселенная ВСЕГДА расширялась ускоренно, и это ускорение равно $H^2 r$. Это означает, в частности, что измерения реликтового излучения некорректны, они не учитывают эффект Унру.

7) Утверждается, что увеличение массы при эволюции Вселенной из планковского состояния (10^{-5} г) до 10^{50} г компенсируется ростом отрицательной гравитационной энергии, так считает в том числе А. Линде. В таком случае с расширением Вселенной ее масса должна расти, должна быть непрерывная генерация частиц. Однако эта генерация не наблюдается, точнее, нет даже попыток ее наблюдать.

Теория относительности

Современная космология базируется на теории относительности Эйнштейна. Но, хотя эта теория, наряду с постньютоновским приближением и другими версиями теории относительности дает верные оценки отклонения луча света в поле Солнца, отклонения перигелия Меркурия и т.д., она тоже является крайне противоречивой.

1) Гравитационная энергия в силу связи массы и энергии должна давать вклад в инертную массу. При этом сама гравитационная энергия зависит от выбора систем отсчета. Таким образом, инертная масса становится неопределенной, что противоречит эксперименту.

2) Гравитационное поле в ОТО кардинально отличается от других физических полей. Подобия гравитационного поля электромагнетизму (гравитоэлектромагнетизм, эффект вращения масс Лензе – Тирринга и пр.) можно добиться лишь при малых массах. Хотя электростатическое поле намного мощнее гравитационного, оно не отклоняет луч света (фотон нейтрален), в электростатическом поле не замедляется время. В метрике Рейснера-Нордстрема заряд и масса входят симметрично, но заряд в электрическом поле не движется по геодезической. Дело в том, что не существует принципа эквивалентности для зарядов. Чтобы для электростатического поля выполнялся принцип эквивалентности, необходимо, чтобы существовали три дополнительных измерения.

3) М. О. Катанаев показал, что отождествление физического поля с геометрией приводит к неопределенности измерений. Метрики Фридмана, де Ситтера, анти-де Ситтера с разными топологиями и разной физикой переходят друг в друга путем алгебраических преобразований, таким образом, разные калибровки приборов должны давать разные значения физических величин.

4) Поскольку гравитационное поле в ОТО объявлено не физическим, гравитацию нельзя квантовать, в правой части уравнений Эйнштейна можно заменить импульс на квантовый оператор, в левой части остаются не квантованные переменные. Дифференциалы координат в левой части не могут быть одновременно квантовыми операторами в правой части.

5) Пуанкаре, затем в 1968 году Дезер и Лоран попытались соединить теорию Ньютона и СТО, по аналогии с релятивистской электродинамикой, однако их постигла неудача.

Попытка Фролова, Логунова (бывш. ректор МГУ), Местверишвили, Лоскутова развить релятивистскую теорию гравитации (РТГ) свелась к добавке модифицированного лямбда-члена. К 10 уравнениям Эйнштейна (минус 4 тождества Бьянки) Логунов добавил 4 уравнения для гравитационного поля.

В ОТО нет фоновой метрики, у Логунова она присутствует. Наличие пространства Минковского в РТГ позволяет рассматривать гравитационное поле как обычное физическое поле в духе Фарадея-Максвелла. «Эйнштейн в ОТО, – подчеркивает Логунов, – отождествил гравитацию с метрическим тензором риманова пространства, но этот путь и привел к утрате понятия гравитационного поля как физического поля».

В РТГ фридмановская однородная и изотропная Вселенная – бесконечная и плоская, ее трехмерная геометрия евклидова, плотность вещества Вселенной точно равна критической, суммарная плотность энергии вещества и гравитационного поля Вселенной равняется нулю

Критику геометризации гравитационного поля Логуновым следует признать справедливой, в том числе его сомнения относительно черных дыр с бесконечной плотностью.

Можно добавить, что в силу ОТО Большой взрыв невозможен, т.к. радиус планковской вселенной меньше радиуса Шварцшильда. Проблему мог бы решить эффект Казимира с нарушением энергодоминантности, но это требует построения квантовой гравитации, чего еще нет в физике.

Однако и систему уравнений Логунова невозможно проквантовать, т.к. нельзя проквантовать уравнения, фактически совпадающие с ОТО (на их совпадение указывает Л. П. Грищук (ГАИШ), т.к. он автор полевой ОТО).

Кроме того, в РТГ первична не только материя, но и фоновая метрика, т.к. не определен материальный источник фона, РТГ тоже оказывается геометризованной.

В уравнениях Эйнштейна пространственно-временная форма не исчезает с исчезновением содержания: массы и энергии в ТЭИ. В то же время в диалектической паре «форма – содержание» форма вторична, определяется содержанием, а именно: массами, зарядами, спинами и их взаимодействием. Форму задают силовые характеристики, которые в ОТО выражены в равенстве нулю дивергенции ТЭИ. Таким образом, силовые характеристики не могут формировать пространство Минковского.

Идея автора этих строк, что фоновое пространство формируется вакуумом физических полей, была успешно извращена Г. А. Сарданашвили и более не разрабатывалась.

6) Попытку проквантовать гравитацию предпринимали с помощью представления о дискретном пространстве-времени, в рамках так называемой петлевой гравитации. Идею дискретности предложили в СССР в 70-е годы, в частности, А. Н. Вяльцев (его книга «Дискретное пространство и время» была несколько раз переиздана в новом тысячелетии). Однако петлевая гравитация оказалась несостоятельной.

7) Возможность отойти от геометризации гравитационного поля открывает версия антигравитации Глинера, которая может включить в себя квантовую теорию поля, в правую часть уравнений Эйнштейна можно подставлять вакуумные средние. Однако эта версия почти не разрабатывается физиками.

Стандартная теория

Электростатическое взаимодействие обеспечивается обменом виртуальными фотонами. В принципе любые фотоны виртуальны, т.к. поглощаются. Отличие в том, что виртуальные фотоны времениподобны или продольно поляризованы.

Электромагнитное излучение не может вырваться за пределы радиуса Шварцшильда черной дыры. Т.е. не могут вырваться и виртуальные фотоны. Таким образом, заряженная черная дыра не может проявить свой заряд. Однако не только свет, но и гравитоны не могут оторваться от черной дыры. Таким образом, нужно предположить существование виртуальных гравитонов. Однако в любом случае этот момент неясен в виду убеждения. Что черные дыры могут излучать гравитационные волны.

Для того, чтобы тело не излучало свет, не нужна сингулярность. В 1783 году Джон Мичел получил выражение радиуса Шварцшильда из простых соображений: кинетическая энергия улетающей от тяготеющего тела частицы света $E = mv^2/2$ равна энергии гравитационного притяжения $U = mM/r$. Т.к. $v = c$, $r = 2M/c^2$.

Таким образом, не только черные дыры, но, вне рамок ОТО, вообще любые тела с плотностью равной или больше $c^2/8r^2$ (примерно), точнее, $c^2/4r^2$, должны быть невидимыми в электромагнитном спектре. Причем черная дыра может обладать лишь массой, зарядом и моментом импульса. Если испускание гравитонов и фотонов еще можно объяснить квантовым туннелированием или «испарением» из-за СР-симметрии, то момент импульса – явно классический и не может быть объяснен квантовой механикой и Стандартной теорией.

Теория струн

В теории струн (ТС) декларируется построение квантовой гравитации.

ТС вобрала в себя почти все области математики: теорию групп, теорию чисел, теорию графов, дифференциальную геометрию, топологию и т.д., а также аппарат ОТО, калибровочных преобразований, континуального интегрирования.

1) Таким образом, ТС ущербна уже в виду того, что построена на геометризованной теории Эйнштейна. Кроме того, ТС включает в себя суперсимметрию, но сэлэктроны, скварки, прочие парные частицы, фотино, хиггсино – не обнаружены.

2) Уравнения колебаний струны-частицы в ТС получаются из лагранжиана Гото – Намбу. Решениями являются 2 – 3 моды, однако колебания классической закрепленной струны описываются функциями Бесселя и имеют бесконечное число мод. Таким образом, в отличие от квантовой механики и ОТО, у ТС нет предельного перехода к классической механике.

3) ТС базируется на том положении, что представление о частицах не как точках, а как струнах, устраняет расходимости при разложении матрицы рассеяния по диаграммам Фейнмана. Однако расходимости имеют не геометрический, а физический смысл, бесконечно тонкая струна обладает нулевым объемом, следовательно, расходимости сохраняются.

При этом уже в физике элементарных частиц оказывается, что использование диаграммной техники Фейнмана ограничено. Как заметил специалист области физики элементарных частиц из Калифорнийского университета Флип Танедо диаграммы Фейнмана – просто неправильный инструмент.

4) Кроме того, в ТС есть явное несоответствие эксперименту. Например, если принять, что электрон – струна, и, следовательно, его размер порядка 10^{-35} м, то его «электрическая» масса будет порядка 10^{-10} кг, что на 20 порядков больше измеренной массы электрона.

5) Наконец, в 2012 году был обнаружен бозон Хиггса, что указывает на соответствие механизма Хиггса реальности. Масса частиц возникает вследствие взаимодействия с полем Хиггса. В ТС масса частиц возникает вследствие их собственных колебаний.

В целом ТС – аналог геометрических построений Птолемея и других философов, пытавшихся определить динамику планет, исходя из геоцентрической системы мира, соответственно, из антропоцентризма. В теории не ничего, кроме ее практического применения, утверждал Маркс. Актуальность построения квантовой гравитации можно понять, оценив первый гравитационный боровский радиус – он лишь на порядок меньше размера видимой Вселенной.

Квантовая механика

1) С момента возникновения ОТО широко известен парадокс лифта: заряженная частица должна падать по-иному, чем нейтральная. Заряженная частица, покоящаяся в гравитационном поле на поверхности Земли согласно принципу эквивалентности должна быть неотличима от частицы в плоском пространстве-времени, ускоряемой силой. Из уравнений Максвелла ускоренный заряд должен излучать

электромагнитные волны, но такое излучение не наблюдается для неподвижных частиц в гравитационных полях. Данный парадокс пытались решить десятилетиями, наконец, в 1960 году Фриц Рорлих объявил, что уравнения Максвелла выполняются только в инерциальных системах отсчета, поверхность земли инерциальной системой отсчета не является.

Однако можно рассмотреть ускоренные заряды и без гравитационного поля, например, в разбегающихся галактиках. Излучение ускоренного электрона максимально вдоль движения, его мощность в зависимости от заряда и ускорения приближенно

$$dE/dt = 6,7 \times 10^{-16} e^2 a^2$$

Но то же относится и к протону. Следовательно, ускоренный атом должен излучать. Излучение электрона не компенсируется излучением протона, т.к. фотоны нейтральны.

Оценим порядок числа электронов и протонов в звезде. Выберем Бетельгейзе, $1,531 \cdot 10^{31}$ кг; число молей – примерно 10^{33} . Ускорение $a = H^2 r$, $r = 10^{19}$ м, т.е. на 17 порядков меньше радиуса Вселенной. Число Авогадро 10^{23} . $N = 10^{-18}$. Масса моля гелия – $4 \text{ г} = 4 \times 10^{-3}$ кг, масса Солнца – 2×10^{30} кг. Тогда звезда, находящаяся от Земли на расстоянии Просимы Центавра, должна излучать в сторону Земли $10^{-62} \times 10^{-17} \times 10^{46} \times 10^{66} \times 10^{12} = 10^{45}$ Вт.

Светимость Солнца - $3,86 \times 10^{26}$ Вт, светимость Бетельгейзе 40 000 – 100 000, т.е. порядка 10^{31} Вт, на 15 порядков меньше. Поток энергии с единицы площади поверхности красных сверхгигантов в 2-10 раз меньше, чем у Солнца. Но на таком большом расстоянии звезды можно считать точками.

Если излучение электрона при хаббловском ускорении на много порядков меньше энергии первого квантового перехода и запрещено постулатами Бора, то на излучение протона нет ограничений.

Следовательно, не уравнения Максвелла, но квантовая механика, квантовая теория поля в данном пункте дают сбой – нет постулатов, запрещающих протону излучать.

2) Парадокс Эйнштейна – Подольского - Розена, квантовая запутанность – широкое поле для исследований, оспаривается лишь возможность передачи информации со скоростью больше скорости света. Превышение скорости света отождествляется с нарушением причинности. Однако в римановой метрике, как указывал Зельдович, частицы могут выходить за световой конус пространства Минковского. В принципе нарушение причинности не может быть каким-либо препятствием в теоретической физике, как подчеркивал Ленин в «Философских тетрадах», «каузальность, понимаемая нами обычно, есть лишь часть всемирной связи».

Вполне возможно, что прояснить ситуацию с квантовым запутыванием могло бы прояснение вопроса о редукции (коллапсе) волновой функции. Это серьезный вопрос, однако вместо того, чтобы сосредоточиться на нем, физическое сообщество сконцентрировало усилия на квантовом мистицизме, который ранее исповедовали Шредингер, Вигнер, Паули.

В среде квантовых мистиков полагают, что сознание человека влияет на физические процессы, соответственно, на результаты экспериментов. В мысленном эксперименте виртуальные наблюдатели получают разные результаты квантовых измерений, из чего делается вывод, что локальных теорий объективной реальности не существует. Соответственно, наука, как изучающая объективные, не зависящие от сознания материальные процессы в природе, объявляется несостоятельной.

То есть, в физике идет возврат к старому примитивному позитивизму, к субъективному идеализму, отвергающему реальность и объявляющему мир «комплексом ощущений».

Предположение о возможности наблюдения влияния сознания на эксперимент наталкивается на простейшее указание, что в таком случае сознание всех людей на планете влияет на эксперимент. Поэтому ни в одном опыте невозможно прогнозировать какой-либо результат. Однако квантовые мистики не желают осмысливать этот простой момент. С другой стороны, и физиков-мистиков, которые проводят мысленный эксперимент, тоже следует отнести к комплексу ощущений, который к следующему опыту может существенно измениться в зависимости от настроений того, кто ощущает физиков-мистиков. Исследования в духе квантового мистицизма считаются псевдонаукой, их относят к сфере удушения науки религией [4-6]. Здесь нет и тени аналогии с генетикой, которую считали лженаукой. В 30-е годы в СССР дворянской науке, науке буржуазной противопоставляли науку из народа в лице Лысенко. Данная кампания хорошо вписывалась в общую кампанию создания образа внутреннего врага для достижения социального партнерства между высшими классами управленцев и

классами трудящихся, между советской буржуазией и рабочими. Ничего подобного в отношении лженаук в современном мире нет. Наоборот, правящие классы предоставляют лженаукам зеленую улицу – для расширения возможностей манипулирования массовым сознанием.

Наука как общественное явление

В виду кризиса в физике такие ученые, как Ли Смолин, отмечая факт кризиса, предлагают ввести в аксиомы физики философские принципы [7]. Из всех философских концепций Ли Смолин выбирает антропоцентризм, который изжил себя после того, как устоялась система Аристарха Самосского – Коперника. Продолжением антропоцентризма стал т.н. антропный принцип, утверждающий, что из всех возможных вселенных была отобрана та, в которой мог бы существовать человек.

Политизированность данного принципа очевидна: не физическая форма движения материи порождает химическую, не органическая материя закономерно порождает человека, утверждает антропный принцип, а творец выбирает подходящую для человека физику. Причина перепутана со следствием. Подробно об антинаучности антропного принципа см. [8], критика книги Ли Смолина – в [9].

1) Очевидно, что сообщество физиков – не замкнутая система, физики, как и философы или журналисты, не могут быть изолированы от общества, которое полностью пронизано буржуазными отношениями чистогана. Соответственно, если всё общество пронизано буржуазной идеологией, сосредоточенной на вытеснении, затаптывании марксизма, тем же заняты и физики. Физики ангажированы правящими классами не в меньшей степени, чем журналисты. 2) Периоды прогресса науки определяются периодами исторического прогресса. Взлет науки в XVI-XVII вв. произошел вследствие того, что на смену феодализму шел капитализм, которому требовалась не религия, а наука, и науке пришлось выдержать длительную борьбу с церковью. Следующий взлет науки произошел в начале XX века, когда произошли революции, в которых главную роль играл рабочий класс. Взлет состоялся не только в науке, но и в искусстве, и в философии. Ныне – эпоха регресса.

Литература

1. Ихлов Б. Л. Космология без вращения. Chronos. XXX Международная научно-практическая конференция «Естественные и технические науки в современном мире». М.: 2018. С. 41-49.
2. Ikhlov B. L. Solar System Features. Process Management and Scientific Development. Int. conf. UK, Birmingham. March 5, 2020. P. 114-123. DOI 10.34660/INF.2020.6.56909 <http://www.doi.org/> URL: http://naukarus.ru/public_html/wp-content/uploads/2020/PMSD%20March%205%20-%20Part%202.pdf=114
3. Eleonora Di Valentino, Alessandro Melchiorri & Joseph Silk. Planck evidence for a closed Universe and a possible crisis for cosmology // Nature Astronomy. 2020. V 4. P. 196–203
4. Pagels, H. R. (1982). The Cosmic Code: Quantum Physics As the Language of Nature. New York, NY: Simon & Schuster.
5. Nanda, M. (2003). Prophets Facing Backward: Postmodern Critiques of Science and Hindu Nationalism in India. New Jersey: Rutgers University Press.
6. Scott, A. C. (2007). The Nonlinear Universe: Chaos, Emergence, Life (The Frontiers Collection). N.Y.: Springer.
7. Ли Смолин. Неприятности с физикой. 2007.
8. Ихлов Б. Л. Антропный принцип. Пермь, 2021 http://www.litsovet.ru/index.php/material.read?material_id=600181
9. Ихлов Б. Л. Кризис в физике. Пермь, 2021 http://www.litsovet.ru/index.php/material.read?material_id=604458

ДААННЫЕ ТЕЛЕСКОП А «УЭББ» ПОТВЕРЖДАЮТ КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Введение

Одним из самых значимых открытий, сделанных с помощью нового телескопа, стало доказательство, что разница значений постоянной Хаббла (напряжение Хаббла) не может быть обусловлена различием в методах измерения. То есть, Вселенная расширяется с разной скоростью в разных направлениях [1].

Для разрешения проблемы используют альтернативные теории гравитации, в которых напряжение Хаббла исчезает. Но у этих альтернативных теорий есть свои неразрешимые проблемы. Также было сделано наблюдение, согласно которому Земля расположена в области космоса, где материи относительно мало — что сравнимо с воздушным пузырем в торте. Плотность вещества выше вокруг пузыря. Гравитационные силы исходят из окружающей материи, которая притягивает галактики в пузыре к краям полости, поэтому они удаляются от Земли быстрее, отклонения можно объяснить малой локальной плотностью. По существующим космологическим моделям такие пузыри не должны существовать, материя должна быть равномерно распределена в пространстве. По другой версии предполагается, что наблюдаемые отклонения от изотропии можно объяснить существованием гигантских космических возмущений, длина волны которых превышает размер космологического горизонта — максимального расстояния, которое мог пройти свет с момента возникновения Вселенной. Эти возмущения называли модами супергоризонта, которые ориентированы в одном направлении и не подчиняются стандартной космологии [2].

Опроверяют ли данные «Уэбба» теорию Большого взрыва (ТБВ)? Теория Большого взрыва не отвечает на вопрос о сингулярном состоянии Вселенной, представление о сингулярном состоянии возникло из модели Фридмана расширения Вселенной. Есть ряд противоречий в представлении о сингулярном состоянии, например, проблема энтропии: не могут быть одновременно бесконечными плотность и температура, так как при бесконечной плотности мера хаоса стремится к нулю, что не может совмещаться с бесконечной температурой. Но это не теория Большого взрыва. Полагается также, что температура и плотность в «сингулярном» состоянии были планковскими.

ТБВ не отвечает также на вопрос о гигантском увеличении массы Вселенной. Ряд ученых объясняет его наличие равным увеличением отрицательной гравитационной энергии, но само расширение порождает массу [3]. Во-вторых, ТБВ не связана с классическими законами сохранения. 1) В ОТО нет закона сохранения энергии. 2) Вселенная — не является термодинамической системой, во Вселенной действует не скомпенсированное гравитационное поле, которое уже в классике нарушает 2-й закон термодинамики [4]. ТБВ не указывает на возраст Вселенной., возраст Вселенной определяется из наблюдаемой величины — красного смещения, из обратной постоянной Хаббла.

Данные телескопа «Спектр-РГ» (2019 г.) подтверждают теорию возникновения Вселенной в результате Большого взрыва. К главным доказательствам ТБВ относится наличие реликтового излучения и количество гелия во Вселенной. Все существующие и существовавшие звезды произвели лишь 10% гелия, 90% могли произойти вследствие события, соизмеримого с масштабами с Большого взрыва.

Постоянная Хаббла

Для объяснения напряжения Хаббла не требуется ни альтернативной теории гравитации, ни версии пузыря, ни модели крупномасштабных возмущений. Закон Хаббла соответствует космологическому принципу лишь для не релятивистских скоростей. Пусть v_1 и r_1 — векторы скорости удаления и расстояния от Земли некоторой произвольно выбранной галактики. Эти же величины, измеренные в системе отсчета, связанной с галактикой 2, обозначим v_1' и r_1' . Обозначим v_2 — вектор скорости галактики 2, r_2 — ее радиус-вектор относительно нашей галактики. Векторы скоростей и расстояний связаны между собой преобразованиями Галилея: $v_1 = v_1' + v_2$; $r_1 = r_1' + r_2$. Согласно закону Хаббла

$v_1 = Hr_1$; $v_2 = Hr_2$; $v_1 - v_2 = H(r_1 - r_2)$, тогда $v_1' = Hr_1'$. Отсюда следует, что при релятивистских скоростях последнее равенство не выполняется, таким образом, релятивистский закон Хаббла противоречит однородности и изотропии Вселенной. Следовательно, его классическая форма должна быть изменен таким образом, чтобы в релятивистском виде соответствовать космологическому принципу.

В модели Фридмана постоянная Хаббла $H = \dot{a} / a$ зависит от времени ($a(t)$ — масштабный фактор). Для не слишком удаленных объектов красное смещение $z = Hr$ [1], соответственно, закон Хаббла $v = Hr$. То есть, для удаленных объектов связь должна иметь иной вид.

Закон Хаббла не зависит и от размерности пространства. То же, что в одномерном случае, будет справедливо для поверхностной плотности вещества, двумерного круга и для объемной плотности. Выделим во Вселенной точку и две сферы вокруг нее, радиуса R и $2R$. Поскольку Вселенная однородна, поверхностная плотность, допустим, звезд на этих сферах одинакова: $\rho_1 = m_1 / S_1$, $\rho_2 = m_2 / S_2$ и $\rho_1 = \rho_2$.

Через время t звезды на первой сфере в виду расширения Вселенной достигнут второй сферы. Их поверхностная плотность уменьшится в 4 раза. Поскольку линейная плотность остается одинаковой, за это же время звезды второй сферы достигнут сферы радиуса $4R$. Т.е. их плотность уменьшится тоже в 4 раза. То же можно проделать с объемной плотностью, допустим, тонкого слоя на поверхности сферы, объем которого равен разности объемов двух конусов с близкими радиусами:

$$V = \frac{2}{3} \pi R_2^2 h - \frac{2}{3} \pi R_1^2 h = \frac{2}{3} \pi (1 - \cos \alpha) (R_2^3 - R_1^3) = f (R_2^3 - R_1^3) \quad (1)$$

где $f = \frac{2}{3} \pi (1 - \cos \alpha)$, h – разность между радиусом сферы и высотой конуса, α – плоский угол конуса.

Объем слоя вблизи сферы меньшего радиуса, соответственно $V_0 = f (r_2^3 - r_1^3)$. Как мы условились, $R_2 = 2r_2$, с точностью до пренебрежимо малых величин ввиду нашего приближения $R_2 - R_1 \approx R_2$, R_1 и $r_2 - r_1 \approx r_2$, r_1 можем принять $R_1 \approx 2r_1$, следовательно, $V = 8V_0$. Через время t звезды из первого объема займут второй объем, их плотность уменьшится в 8 раз, плотность звезд второго объема уменьшится тоже в 8 раз. Для более точного вычисления можно привлечь еще раз закон Хаббла и разложить экспоненту в ряд, оставив первые два члена $R \approx 1 + Ht$, но вычисления останутся теми же. То есть, закон Хаббла для объемов соответствует однородности Вселенной.

Однако т.к. в (1) фигурирует угол, который в неевклидовой геометрии меняется с радиусом, кривизна пространства должна нарушать однородность Вселенной, т.е. чтобы сохранить однородность, необходимо изменить закон Хаббла. Кроме того, в СТО для выражения радиуса существует дополнительный множитель, который будет увеличивать радиус по мере удаления от точки отсчета:

$$R' = (R - vt) / \sqrt{1 - v^2 / c^2}, \quad t' = [t - (v / c^2) R] / \sqrt{1 - v^2 / c^2}$$

Таким образом, по мере удаления наблюдаемая плотность должна уменьшаться. Поскольку этого не наблюдается, нужно принять, что в виду СТО постоянная Хаббла должна зависеть от расстояния. Следовательно, постоянная Хаббла должна быть разной в зависимости от глубины измерения скорости расширения Вселенной в том или ином направлении.

Возраст Вселенной и химические элементы

Расстояние между галактиками оценивается по красному смещению, чем выше красное смещение, тем более удалена от нас галактика. Многие из новых изображений телескопа «Уэбб» показывают более высокое красное смещение, чем когда-либо ранее, которое показывает, что некоторые из звездных скоплений образовались примерно на 250 миллионов лет раньше Большого взрыва. Однако не существует даты Большого взрыва. Возраст Вселенной, определяемый через постоянную Хаббла, весьма приближенный, т.к. постоянная Хаббла – величина переменная, в период инфляции она была на много порядков больше. Модель инфляции не связана с ТБВ.

Согласно ТБВ взрыв не мог произвести ничего, кроме H_2 , He , Li и следов Be . Чтобы более тяжелые элементы типа кислорода существовали сегодня, они должны были бы образоваться в звездах в процессе ядерного синтеза. «Уэбб» обнаружил линии O_2 в далекой галактике GHZ2/GLASS-z12, и это открытие подтверждено другими экспериментами. Но эта галактика значительно старше, чем тот период, когда образовывались водород, гелий и литий, ей 367 млн лет. Эмиссия ярких линий указывает на то, что эта галактика быстро обогатила свои запасы газа элементами тяжелее водорода и гелия. Это дает некоторые подсказки о формировании и эволюции первого поколения звезд, а также об их продолжительности жизни, но это открытие не касается ТБВ.

Скорость образования галактик

Важным открытием являются снимки ранней Вселенной, сделанные «Уэббом». Согласно одной из моделей образования галактик тепло внутри газовых облаков замедляет скорость, с которой гравитация в противном случае конденсировала бы вещество в звезды, в результате чего звездообразование занимает примерно в 100 раз больше времени, чем если бы за это отвечала только гравитация. Когда первые звезды в протогалактике начинают светить, они выделяют больше тепла в газ, тормозя дальнейшее звездообразование. Это недолговечные гиганты; когда они взрываются как сверхновые, они еще больше нагревают газовые облака или полностью выбрасывают их из формирующейся галактики.

Т.е. по существующим моделям газовые облака должны объединяться в звезды и галактики гораздо медленнее, чем предполагают богатые галактиками снимки «Уэбба» ранней Вселенной. Исследования, проведенные с помощью телескопа «Хаббл», показали, что скорость звездообразования была относительно постоянной примерно через 600 млн лет после большого взрыва. Но результаты телескопа «Уэбб» доказывают, что в более ранние времена его темп был гораздо быстрее, как если бы газовые облака коллапсировали без торможения из-за высокой температуры или вспышек сверхновых. В 2022 г. «Уэбб» обнаружил галактику, которая была яркой, когда Вселенной было всего 230 миллионов лет, что опровергает «медленную» версию. Дальнейшие исследования показали, что таких галактик в сотни и тысячи раз больше ожидаемого количества. Другая теория заключается в том, что первые звезды могли образоваться быстрее, потому что они сформировались только из первичной материи, оставшейся после Большого взрыва - водорода и гелия, без более тяжелых элементов, образовавшихся в более поздних поколениях звезд. Таким образом, указанные данные телескопа «Уэбб» отдают предпочтение быстрой модели эволюции галактик, но не опровергают ТБВ. Считается, что в отсутствие темной материи флуктуации плотности барионного вещества нарастали бы очень медленно из-за расширения Вселенной и галактики бы не успели образоваться к настоящему времени. Лямбда-CDM теория, включающая холодную темную материю, описывает, как вскоре после Большого взрыва темная материя под действием собственной гравитации собралась в «ореолы», которые втянули в себя обычную материю и создали условия для ее конденсации в галактики. Лямбда-CDM предсказывает количество и размер ореолов, которые должны были существовать в ранней Вселенной, и, следовательно, количество галактик. Возможно, удастся подстроить λ -CDM, чтобы создать что-то более близкое к тому, что видит телескоп «Уэбб», возможны коррективы в модели эволюции галактик, а также пересмотр модели инфляции – но не ТБВ. Возможно также, что при более высокой плотности в ранней Вселенной проявился релятивистский эффект замедления времени, то есть, скорость образования галактик увеличилась в сравнении с принятыми моделями. Во-вторых, тепловое давление в ранней Вселенной может играть меньшую роль, поскольку при высокой плотности мощное гравитационное поле снижает температуру [5]. Может быть, однако, что изобилие таких галактик, основанное на изображениях небольшого участка неба, может быть иллюзией. Также возможно, что астрономы ошибочно идентифицируют галактики чуть более позднего времени как очень ранние. Наконец, камера «Уэбба» в ближнем инфракрасном диапазоне фильтрует свет от галактик в нескольких диапазонах длин волн, давая приблизительное определение цвета; более красный означает большую удаленность. Но пыль, окружающая галактику, может ввести в заблуждение наблюдателей, поскольку она может поглощать звездный свет и переизлучать его на более длинных волнах, заставляя галактику выглядеть более красной.

Доказательство ТБВ данными «Уэбба»

Согласно последней классификации Хаббла 30-х годов галактики эволюционируют из неправильных в дисковые, эллиптические и далее в спиральные, поэтому далекие галактики имеют более неправильную форму, чем близлежащие, т.к. самые далекие галактики мы видим еще в стадии формирования. По данным «Уэбба» далекие галактики имеют более мощную и сформированную структуру, одно из исследований первого снимка глубокого поля «Уэбба» обнаружило неожиданно большое количество далеких галактик с формой диска и эллипса, т.е. форму – по Хабблу - уже сформированной галактики. Эволюция галактик связана с изменением структуры галактики, именно динамика подсистем галактики и определяет её форму – эллиптическую или дисковую, симметричную или неправильную. Тем не менее, в современной терминологии остаётся след старой интерпретации Хаббла: эллиптические галактики называют галактиками ранних типов, а спиральные — поздних типов. В 1970-х годах распространилась идея, что галактики не могут менять тип и формируются при разных начальных условиях. От неё в дальнейшем отказались, ибо в неправильных галактиках были обнаружены неяркие старые звезды. В 90-х стали считать, что галактики всё же последовательно эволюционируют, но в обратную сторону относительно той, что была предложена Хабблом: сначала у спиральных галактик нарастают балджи (сфероидальные уплотнения из звезд в центре галактики) и они становятся галактиками всё более ранних типов, затем они в результате слияний превращаются в эллиптические. Так или иначе, данные телескопа «Уэбб» окончательно отвергают последнюю классификацию Хаббла и основанные на ней классификации ван ден Берга, классификация Вокулера.

Существует также классификация Ходжа и ван ден Берга, но все классификации не охватывают всё многообразие галактик, среди которых можно выделить, помимо чисто дисковых, «неправильных» или трехъярусных спиральных, например, галактики Е, галактики Сейферта, дискообразные и кольцевые галактики без спиральной структуры, голубые галактики Аро и Маркаряна, компактные галактики, асимметричные галактики, галактики Nr, наконец, квазары и квазаги.

«Уэбб» открыл спиральные галактики с перемычкой на расстоянии 11 млрд. световых лет, которые по Хабблу формируются только в поздней Вселенной. Спиральные галактики, обладающие моментом импульса J – оказываются, наоборот, молодыми. Это является подтверждением ТБВ, т.к. J появляется у звездных систем и галактик в результате расширения при наличии кривизны пространства, которая была максимальной на начальных стадиях Вселенной и затем снизилась почти до нуля.

Исследование фиксации моментов импульсов, например, планет Солнечной системы изложено, в частности, в [6]. В [7] отмечается, что наиболее широко принятая модель формирования Солнечной системы, известная как гипотеза туманностей, не решает проблему углового момента, в частности, почему орбитальный импульс Юпитера больше вращательного момента Солнца. В [7] нет ответа, за счет чего возникло вращение Солнечной системы и галактик. Ссылка на асимметрию первичного газопылевого облака некорректна в виду закона сохранения момента импульса.

В [8] с помощью приближенного метода Фока показано, что релятивистская теория гравитации в сравнении с теорией Ньютона приводит к выводу, что если в системе тел не было вращения, оно возникает из их поступательного движения. К сожалению, в статье допущена неточность, утверждается, что имеет место закон сохранения полного момента – суммы орбитального и собственного моментов. Элементарный подсчет моментов импульсов для Солнечной системы показывает, что это не так. Уже то, что почти все планеты вращаются вокруг себя в ту же сторону, в какую вращаются вокруг Солнца, говорит о том, что полный момент импульса Солнечной системы не равен нулю. То есть, при формировании системы из газопылевого облака, не имевшего момента импульса, закон сохранения момента импульса был нарушен. В ОТО собственный момент импульса имеет вид:

$$L_d = \varepsilon_{abcd} (J^{ab} - Y^a p^b + Y^b p^a) p^c / m,$$

где ε_{abcd} - 4-символ Леви-Чивита, m - масса, p^a - 4-импульс, $Y^a = J^{ab} p_b / m^2$, J^{ab} - момент импульса относительно начала координат: $J^{ab} = \int (x^a T^{b0} - x^b T^{a0}) d^3x$, где интегрирование проводится по области, занятой системой. Закон изменения 4-момента импульса формулируется сложным образом, через эффективный тензор энергии-импульса, получаемый добавкой к обычному тензору псевдотензора Ландау-Лившица. 4-импульс и 4-момент импульса сохраняются лишь в линеаризованной теории и при введении калибровки. Запишем уравнение движения для частицы в постньютоновском приближении:

$$a = 3v\dot{\varphi} + 4v(v \cdot \nabla)\varphi - v^2 \nabla \varphi + v \times (\nabla \times \zeta) - \nabla(\varphi + 2\varphi^2 + \psi) - \dot{\zeta}$$

где φ, ψ, ζ - потенциалы постньютоновского разложения. Вычисление на больших r при произвольном распределении энергии–импульса показывает, что вектор углового момента $(G/r^3)(x \times J) \square \zeta \neq 0$. Т.е. вывод в [8] справедлив: в искривленном пространстве поступательное движение порождает вращение.

То есть, расширение Вселенной создало моменты импульса и галактик, и планетных систем.

Однако оказалось, что «Уэбб» ошибся, возраст ранних галактик совпал с «медленной» версией. Это означает, что в связи с искривлением пространства в ранней Вселенной должны быть открыты галактики, чей возраст от момента Большого взрыва – порядка 200 млн лет.

Заключение

Таким образом, данные телескопа «Уэбб», подтверждая факт напряжения Хаббла, согласуются со СТО, и, показывая наличие в ранней вселенной вращающихся галактик, подтверждают ТБВ, поскольку именно в ранней Вселенной с большей плотностью кривизна пространства была существенно выше.

Литература

1. Adam G. Riess, etc. JWST Observations Reject Unrecognized Crowding of Cepheid Photometry as an Explanation for the Hubble Tension at 8 sigma Confidence. arXiv:2401.04773 [astro-ph.CO]

2. Prabhakar Tiwari, Rahul Kothari, and Pankaj Jain. Superhorizon Perturbations: A Possible Explanation of the Hubble–Lemaître Tension and the Large-scale Anisotropy of the Universe. The Astrophysical Journal Letters, 924:L36 (5pp), 2022 January. DOI 10.3847/2041-8213/ac447a/
3. Ихлов Б.Л. Возможна ли термодинамика Вселенной? Материалы VI Российской конференции «Основания фундаментальной физики и математики». Москва, РУДН, 9-10 декабря 2022 г. С. 228-235.
4. Ихлов Б. Л. Об увеличении массы Вселенной. Материалы XVIII Международной конференции «Финслеровы обобщения теории относительности». РУДН. 25 – 26 ноября 2022 года. С.114-122.
5. Ихлов Б.Л. Возможна ли термодинамика Вселенной? XVIII Международной конференции «Финслеровы обобщения теории относительности». РУДН. 25 – 26 ноября 2022 года. С. 123-132.
6. Feissel M. Rotation of Solar System Bodies // Highlights of Astronomy. Published online by Cambridge University Press. 2016. V. 9. P. 507–536
7. Netchitailo V. S. Solar System. Angular Momentum. New Physics. Journal of High Energy Physics, Gravitation and Cosmology Vol.5. No.1, January 2019. P. 112-139.
8. Сандина И. В. Система вращающихся тел и законы сохранения в общей теории относительности. Ярославский пед. вестник. Сер. «Физико-математические и естественные науки. 2010. Вып. 1. С. 81-85.

ПРОБЛЕМА КОСМОЛОГИЧЕСКОЙ ПОСТОЯННОЙ

Представление катастрофе в физике основано на ошибке

Зельдович связывает критическую плотность во Вселенной с плотностью вакуума, космологическая постоянная отождествляется с энергией вакуума квантовых полей [1].

Картина эволюции Вселенной меняется в зависимости от того, является ли Вселенная трехмерной плоскостью, 3-сферой или трехмерной гиперсферой, а также от знака и величины космологической постоянной Λ . Астрономические исследования сверхновых дают положительное значение для

$\Lambda = 10^{-53} \text{ м}^{-2}$. Комплекс $\Lambda g_{\mu\nu}$ можно считать тензором энергии импульса вакуума и включить в тензор энергии-импульса в уравнениях Эйнштейна, он инвариантен по отношению к преобразованиям локальной группы Лоренца, что соответствует принципу лоренц-инвариантности вакуума в квантовой теории поля (КТП). Утверждается, что электрон-позитронное поле, согласно КТП, создаёт вакуумное среднее плотности энергии порядка $\rho \approx m_e (m_e c / \hbar)^3 c^2$, дающей значение космологической постоянной $\Lambda \approx 3 \cdot 10^{-17} \text{ м}^{-2}$, что на 36 порядков больше.

В [2] указано, что плотность космологического вакуума на 118 порядков выше наблюдаемой, и доказывается, что проблема космологической постоянной существует из-за того, как вакуум определяется в квантовой теории поля.

В [3] авторы в установлении проблемы космологической постоянной следуют Вайнбергу. Проблема космологической постоянной изложена также в [4].

Суммирование энергии нулевых колебаний всех нормальных мод некоторого поля массы m производят до волнового числа обрезания $\Lambda \approx m$, что дает плотность вакуумной энергии (при $\hbar = c = 1$)

$$\rho = \frac{1}{2} \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\Lambda \sqrt{k^2 + m^2} \approx \frac{\Lambda}{16\pi^2}$$

Поскольку $\Lambda \approx \sqrt{8\pi G}$, $\rho \approx 10^{18}$, что на 47 порядков выше плотности космологического вакуума [5, 6].

То же самое, если верхний предел интегрирования подставить массу протона:

$$E/V = \frac{\hbar c}{(2\pi)^3} \int_0^{k_{\max}} 4\pi k^3 dk = \frac{\hbar c k_{\max}^4}{8\pi^2}, \quad k_{\max} = mc / \hbar; \rho_{\text{vac}} = E/Vc^2 \approx 10^{18} \text{ кг} / \text{м}^3.$$

Однако в данных оценках в правой и левой части приближенного равенства при переводе в систему СИ не совпадают размерности, космологическую постоянную определяют через плотность вакуума иным способом: $\Lambda = 8\pi G \rho_{\text{vac}} / c^2$. С другой стороны, приведенная оценка плотности вакуума некорректна.

Энергия Казимира получается путем регуляризации, ее смысл – в вычитании из среднего по вакууму вклада бесконечной струны, во взаимном уничтожении двух бесконечностей, возникающих при

суммировании по модам в бесконечном пространстве и в бесконечном пространстве за вычетом фиксированного объема. Т.е. она не может быть получена путем обрезания по модам и должна зависеть от характерных размеров объема. В приведенных оценках нет зависимости от характерных размеров.

Выражение для безмассового спинорного поля на многообразии $R \times SO(3)$ для левоинвариантной метрики получено в [7].

Для спинорного поля между бесконечными параллельными пластинами $E = -7\pi^2 / 2880a^3$ [8].

В данном случае из граничных условий получается соотношение: $ma \sin ka + ka \cos ka = 0$, где a – расстояние между пластинами, k – волновой вектор.

В [8] рассмотрен случай $m = 0$. Для ненулевой массы соотношение имеет вид:

$$m \tan ka + k = 0; \tilde{k} + \tan(ma\tilde{k}) = 0; \tilde{k} = k / m$$

Графически решения уравнения – пересечения функций $y = \tilde{k}$; $y = \tan(ma\tilde{k})$, соответственно

$$k_n = (\pi / am)(n + 1/4)$$

Таким образом, плотность энергии вакуума для массивного спинорного поля равна плотности вакуума безмассового нейтринного поля с точностью до коэффициента.

Для различных полей плотность энергии Казимира $\varepsilon \propto k / r$ (k – коэффициент пропорциональности) [8], для скалярных полей возникают расходимости, которые не снимаются выбором способа регуляризации.

В эпоху Λ -доминирования плотность энергии Казимира известных полей на 17-18 порядков меньше плотности космологического вакуума и не может играть роль источника антигравитации.

В [9] утверждается, что подстановка просуммированной по всем полям плотности энергии Казимира $\varepsilon = -Aa^{-4}$ ($A > 0$) в правую часть уравнений Эйнштейна позволяет получить не сингулярную космологическую модель инфляционного типа.

В планковскую эпоху в начале инфляции порядок постоянной Хаббла – 10^{42} , $G = 6.674 \times 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1} \text{ с}^{-2}$, учитывая, что $\rho_V / \rho_c = 0,7 \pm 0,1$, т.е. плотность вакуума того же порядка, что и критическая плотность, если это соотношение сохранялось, получаем, что в планковскую эпоху в системе СИ плотность космологического вакуума – порядка 10^{97} . Следовательно, поскольку такой порядок явно нарушает инфляционный сценарий, соотношение плотностей менялось со временем.

Плотность вакуума Казимира электромагнитного или безмассового скалярного поля $\rho_{VS} \propto -10^{95}$,

плотность вакуума Казимира электромагнитного поля $\rho_{VEM} \propto 10^{96}$, что близко к планковской плотности $\rho_{pl} = 5,1 \cdot 10^{96}$. Таким образом, в планковскую эпоху эффект Казимира, если он имел место при специфичных граничных условиях, мог существенно повлиять на инфляционный сценарий.

Но если бы Вселенная имела бы конфигурацию тора, плотность энергии Казимира для электромагнитного поля превосходила бы планковскую плотность на порядок.

Поскольку вакуум – квантово-полевая система, если принять гипотезу антигравитации вакуума, ничем иным, кроме силы типа силы Казимира, антигравитация быть не может.

Отрицательная плотность космологического вакуума, таким образом, является нарушением условия энергодоминантности $\varepsilon \geq 0; |p| \leq \varepsilon; \varepsilon + 3p \geq 0$ в рамках квантовой теории поля.

Плотность энергии Казимира зависит от размерности пространства и геометрии, кроме того, возникают расходимости, которые не снимаются выбором способа регуляризации или температурными поправками [10]. Например, для безмассового скалярного поля внутри куба: $\varepsilon = -0,015/a$, где a – ребро куба. Для энергии вакуума электромагнитного поля внутри сферы $\varepsilon = 0,0916 / 2r$. При приближении к поверхности сферы $r = R$ плотность энергии Казимира неограниченно возрастает $\varepsilon \approx \text{const} / R\rho^3$, $\rho \equiv R - r \propto R$. Вакуумная энергия в параллелепипеде со сторонами a, b, c положительная при $a = b = c$, но при вытягивании резонатора меняет знак. Для квадратного сечения $b = c$ энергия положительная в интервале $0,408 < c/a < 3,48$, проходит через ноль на концах интервала и отрицательна вне интервала. Для безмассового скалярного поля в конфигурации 3-тора $K = -0,8375$, для двухкомпонентного нейтринного поля (скрученная конфигурация спинорного поля) $K = -0,3914$ [8].

Эффект Казимира проявляется в ограниченном пространстве, внутри сферы, в кристалле, во Вселенной в целом, но не между двумя галактиками. Даже в модели одномерного случая галактики не могут служить стенками. Поэтому расчет вакуумного эффекта не может включать регуляризацию. Эффект отталкивания имеет квантовое основание, но классическую форму: в виду отрицательной плотности вакуума и нарушения энергодоминантности возникает эффективная отрицательная масса и гравитация с обратным знаком.

В эпоху Λ -доминирования для полей, плотность энергии Казимира которых уменьшается обратно пропорционально радиусу, эта плотность на 17-18 порядков меньше плотности космологического вакуума. Следовательно, для того, чтобы решить проблему космологической постоянной, не нужно привлекать гипотезу квинтэссенции с убыванием энергии квантового вакуума с увеличением радиуса Вселенной, моделирование плотности энергии квантового вакуума как флуктуирующего квантового поля или унимодулярную гравитацию.

Литература

1. Зельдович Я.Б. Теория вакуума, быть может, решает загадку космологии // УФН. 1981. Т. 133. С. 479-503.
2. G. E. Marsh. The Vacuum and the Cosmological Constant Problem. General Relativity and Quantum Cosmology. V. 2. 2008. P. 15-42.
3. Wang, Qingdi; Zhu, Zhen; Unruh, William G. (2017). "How the huge energy of quantum vacuum gravitates to drive the slow accelerating expansion of the Universe". Physical Review D. **95** (10): 103504. 2017 <https://journals.aps.org/prd/abstract/10.1103/PhysRevD.95.103504>
4. Бурдюжа В. В. Темная энергия, темная материя и светлое будущее космологии. Препринт ФИАН 27. 2005.
5. С. Вайнберг. Проблема космологической постоянной // УФН. 1989. Т. 158, вып. 8. С. 639-678. [doi:10.3367/UFNr.0158.198908d.0639](https://doi.org/10.3367/UFNr.0158.198908d.0639)
6. Зельдович Я. Б. Письма ЖЭТФ 1967. 6. С. 883
7. Бреев А. И., Широков И. В. Поляризация вакуума спинорного поля на многообразиях групп Ли. Изв. вузов. Физика. 2008. №1. С. 1-7.
8. Мостепаненко В. М., Трунов Н. Я. Эффект Казимира и его приложения // УФН. 1988. Т. 156. Вып. 3. С. 385-426.
9. Starobinsky A. A. Phys. Lett. **A New Type of Isotropic Cosmological Models Without Singularity**. 1980. V. 91. №1, P. 99.
10. Ихлов Б. Л. Хиггсовский вакуум в теории гравитации. Автореф. канд. дисс. физ-мат. наук. М.: МГУ, 1987 <http://search.rsl.ru/ru/catalog/record/134189>

АСТРОФИЗИКА

О СОСТАВЕ МЕЖЗВЕЗДНОГО ГАЗА

Введение

Часть Вселенной – обычное вещество, 5%, из которого масса нейтрино – 0,1-3%, часть – темная энергия, 70-75%, часть – темная материя, 25-20%. Масса межзвездного газа, включая излучение, составляет 99% всего обычного вещества во Вселенной (по другим данным – всего несколько процентов), 60% барионной материи – в межгалактическом пространстве. Пыль – 1% от массы газа/ Межзвездный газ состоит из протонов, электронов, водорода, гелия, из их ионов, из излучения звезд. По количеству частиц с ненулевой массой покоя космические лучи на 92% состоят из протонов, на 6% - из ядер гелия, около 0,1% - 1% числа атомов составляют O, C, N, Ne, S, Ar, Fe, и около 1% приходится на электроны. Кроме того, микрометеориты от 1 до 180 мкм (космическая пыль) – 1% массы межзвездного газа, плюс нейтрино от сверхновых и *реликтовое излучение*, плотность которого составляет порядка 10^{-34} г/см³ ($0,25$ эВ/см³ или $4 \cdot 10^{-14}$ Дж/м³ или $400-500$ фотонов/см³), что на 4 порядка меньше оценок плотности вещества во Вселенной, *электромагнитный диффузный фон, фотоны видимого спектра, рентгеновские лучи и гамма-кванты*. Космические лучи на 43% состоят из протонов, на 23% - из альфа-частиц и 34% из других частиц.

Длина свободного пробега и гравитация

Для Вселенной невозможно ввести понятие равновесия в целом, нет термостата, следовательно, нельзя ввести температуру. Можно говорить лишь о спектре энергий электронов, описываемом распределением Максвелла, о термодинамике реликтового излучения (уравнение Стефана-Больцмана), о распределении по скоростям Больцмана, о термодинамике облаков газа, для которых можно записать 1-е начало термодинамики.

Внутри себя Галактики почти бесстолкновительны, отсутствует усреднение квадратов скоростей компонент. Если исходить из частоты соударений молекул в газе, частота соударений самих галактик порядка 10^{-14} в год, реально – на два порядка меньше. Кроме того, столкновения галактик не носят характер соударений между молекулами, в случае их слияния (мерджинга) в них активизируется процесс звездообразования. Следовательно, стандартная термодинамика к системам галактик неприменима.

В межпланетном пространстве содержится около 10 молекул водорода и гелия на 1 см^3 ; в межгалактическом пространстве содержится 10^{-6} молекул в 1 см^3 . По другим данным средняя плотность межзвездной среды – менее 1 атома вещества на 1 см^3 [1].

Таким образом, длина свободного пробега $l = 1 / n\sigma$, где n – концентрация частиц, а σ – эффективное сечение, крайне велика, порядка 10^{12} м, а вероятность рассеяния $P = r / l$, где r – среднее расстояние между частицами, исчезающе мала. Соответственно, для сферических частиц диаметра d , в частности, для водорода или гелия, на 4 порядка не выполняется вытекающее из закона Клапейрона-Менделеева $pV = nRT$ соотношение $kT = \sqrt{2}\pi n d^2 p l$, где давление p – порядка 10^{-14} Па (газокинетическое сечение упругого рассеяния атомов или молекул на большой угол при тепловых энергиях имеет величину порядка $10^{-19} / \text{м}^2$).

Соотношение выполняется, если брать другие данные [2, 3], согласно которым концентрации частиц межзвездного газа – $10^3 / \text{см}^3$. Однако в таком случае масса межзвездной среды на 1-2 порядка превосходит оценку массы Вселенной 10^{52} кг, если ее радиус – порядка 10^{26} м. Поэтому для межзвездного газа необходимо использовать иные модели, например, более адекватную для малых давлений модель Дитеричи: $pV = RT \exp(-a / RTV)$.

Температура межзвездного молекулярного газа - в диапазоне от -269 до -167°C , в межзвездных ударных волнах температура может превышать 1 млрд. К, в скоплениях галактик типичные температуры составляют млн. К, в коронах галактик различного возраста за 10 млрд. лет температура выросла с 200 000 К до 2 млн К. В то же время температура туманности Бумеранг в созвездии Центавра, находящегося в 5000 световых лет от Земли за счет быстрого расширения составляет лишь 1 К, ниже температуры реликтового излучения. Недавно обнаружены нити плотного газа из высоко ионизированных атомов кислорода при температуре 60 млн К, которые составляют 30% всей барионной материи [4].

Во Вселенной роль сил Ван-дер-Ваальса играют силы гравитации. Введение только классического гравитационного поля нарушает 2-й закон термодинамики (в известной задаче о нагреве двух шаров, на подставке и на нити. Закон можно сохранить, как это и предлагается в [5], путем введения энергии шаров в гравитационном поле Земли во внутреннюю энергию. Можно записать и 1-й закон термодинамики [6, 7]. Однако параметр объема подчиняется не термодинамическим законам, а задается извне законом Хаббла.

Реликтовое излучение

Реликтовое излучение отделяется от вещества эпоху рекомбинации. По первым оценкам температура космического излучения - примерно 3-7 К. В 1955 году Т. Шмаонов обнаружил шумовое СВЧ-излучение с температурой около 3 К. В 1964 г. А. Пензиас и Р. Вилсон нашли, что его температура 3 К. Смещение $z = (\lambda - \lambda_0) / \lambda_0$, из закона Вина $\lambda_{\text{max}} = 0,29 / T$ получим $T = T_0(1 + z)$. Для удаленных галактик температура фонового излучения выше, с помощью телескопа Кека получены спектры двух квазаров с красными смещениями $z = 1.776$ и $z = 1.973$, т.е. они облучаются тепловым излучением с температурой $7.4 \pm 0,8$ К и $7,9 \pm 1,1$ К, что соответствует расчетным данным $T(1,776) = 7,58$ К и $T(1,973) = 8,11$ К.

Но температура реликтового излучения – 2,7 К., в то время как средняя температура межзвездного газа 4 К, т.е. равновесие так и не установилось. Температуры реликтового излучения и остального межзвездного газа должны были выровняться.

В числе причин отсутствия локального термодинамического равновесия указывают, что электронная и ионная температуры межзвездного газа могут сильно отличаться друг от друга, т.к. обмен энергией при соударении происходит крайне редко. Кроме того, в межзвездной среде прямые и обратные процессы ионизации и рекомбинации имеют разную природу, и поэтому детальный баланс установиться не может. Малая оптическая толщина для жёсткого излучения и быстрых заряженных частиц приводит к тому, что энергия, выделяющаяся в какой-либо области пространства, уносится на большие расстояния, и охлаждение идёт по всему объёму сразу, а не в локальном пространстве, расширяющемся со скоростью звука в среде. Аналогично происходит и нагрев, причем механизм теплопроводности не способен передать тепло от удалённого источника.

Однако если температура реликтового излучения оказалась ниже, за счет обратного эффекта Комптона энергия реликтовых фотонов должна увеличиваться, и за 13 млрд. лет его температура должна была сравняться с температурой межзвездного вещества.

С другой стороны, внутренняя энергия фотонного газа прямо пропорциональна объёму, в то время как энергия обычного газа пропорциональна объёму в степени $(1 - \gamma)$, где $\gamma = C_p / C_v$. По-разному меняется также и плотность разных компонент среды. Поскольку $S = const$, из уравнений $dE = pdV$ и $\rho = E / V$ получаем зависимость плотности от радиуса Вселенной (или масштабного фактора) $d\rho + 3(p + \rho)dr / r = 0$; для плотности излучения $\rho \propto r^{-4}$, поскольку энергия обратно пропорциональна длине волны $E \propto 1/\lambda \propto 1/r$, для остального газа $\rho \propto r^{-3}$. Следовательно, при расширении Вселенной у фотонного газа и остального межзвездного газа должны установиться различные температуры.

Эффект Фуллингга – Девиса - Унру

В силу принципа эквивалентности при равноускоренном движении позади ускоряющегося тела возникает, как у черной дыры, горизонт событий, при этом атмосфера ускоренного наблюдателя состоит из пар виртуальных частиц и античастиц, которые извлекает из вакуума «поле» ускорения. Если частицы поглощаются ускоренным наблюдателем, то античастицы становятся реальными и доступны для детектирования внешним инерциальным наблюдателем. В этом случае ускоренный наблюдатель теряет часть своей энергии.

Эффект Унру должен менять время распада ускоренных частиц по отношению к частицам, движущимся по инерции. Некоторые исследователи считают, что эффект не наблюдаем в принципе [8]. Если эффект существует, что фотонный газ Унру возникает каждый момент времени и не может приходить в равновесие с окружающей средой. Можно было бы предположить, что измеряемое реликтовое излучение на самом деле и есть излучение Унру.

В силу принципа относительности Млечный Путь - такая же галактика, как и остальные – она тоже отдаляется с ускорением от других галактик. В таком случае позади Млечного Пути должен быть шлейф излучения. В силу принципа относительности в любой точке Вселенной температура излучения Унру одинакова. Температура наблюдаемого излучения Унру выражается той же формулой, что и температура излучения Хокинга, но зависит не от поверхностной гравитации, а от ускорения системы отсчета a :

$$T = \frac{\hbar a}{2\pi k c} \approx 4 \cdot 10^{-21} \cdot a$$

Энергия фотонного газа - $E = \frac{8\pi^5 k^4}{15c^3 h^3} VT^4$, число фотонов - $N = \frac{2k^3 \zeta(3)}{c^3 h^3 \pi^2} VT^3$. Используем закон Хаббла

$v = Hr, a = H^2 r$, где r - радиус Вселенной. Оценим энергию современного фотона Унру на Земле, принимая постоянную Хаббла равной 10^{-18} :

$$E_{\text{Унру}} = \frac{E}{N} \approx 4,2kT \approx \frac{2\hbar H^2 r}{\pi c} \approx 10^{-52} \text{ Дж} \quad (1)$$

Угловое ускорение вращения диска Млечного пути дает энергию фотона Унру порядка 10^{-34} Дж, ускорение вращения Местной группы – на несколько порядков меньше. Эпоха инфляции продолжалась от 10^{-42} до 10^{-36} сек. В это время $10^{42} \text{ сек}^{-1} > H > 10^{36} \text{ сек}^{-1}$, радиус – порядка 10^{-2} . Возьмем меньшее

значение, тогда по окончании эпохи инфляции энергия фотона Унру – порядка 10^{30} Дж. Оценим энергию реликтового излучения:

$$E_{\text{реликт}} = \hbar \omega \approx 10^{-22} \text{ Дж}$$

Если выбрать период 380 000 лет, когда излучение отделилось от вещества, и даже момент после Темных веков 550 млн лет от Большого взрыва, то, проинтегрировав закон Хаббла, нетрудно видеть, что энергия фотонов Унру мало чем отличается от современной, поскольку экспонента с малым значением постоянной Хаббла близка к единице.

Можно найти такую временную точку, когда плотность межзвездного газа скачком становится настолько низкой, что столкновения с фотонами становятся критически редки. Это время образования звезд через 550 – 800 тыс. лет, но и через этот период времени, если считать размер Вселенной в соответствии с законом Хаббла, энергия фотонов Унру почти не изменилась. Однако механизм Унру генерировал частицы весь период расширения Вселенной. То есть, должны быть промежуточные по величине параметры H и r , при которых энергия фотона Унру равна энергии реликтового фотона.

Очевидно, что фотоны Унру высоких энергий должны были исчезнуть за счет образования множественных пар частиц, но возникает вопрос об исчезновении спектра низкоэнергетических фотонов, который должен быть сплошным. Они снимаются, если величина постоянной Хаббла уменьшилась за крайне короткий промежуток времени.

Через 380 000 лет после Большого взрыва красное смещение - $z \approx 1000$, температура реликтового газа равновесна с остальной средой - $T \approx 3000 \text{ К}$, плотность реликтового газа - около $4 \cdot 10^{11} / \text{см}^3$. Поскольку в момент отделения излучения от барионной материи температура излучения - 3000 К, а размеры Вселенной были примерно в 1000 раз меньше современных, из предположения близости температуры газа Унру по порядку к температуре реликтового газа, можно сделать оценку промежуточного значения коэффициента Хаббла в момент времени 380 000 лет от Большого взрыва:

$$H_{\text{recombination}} \approx 4 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$$

Таким образом, фотоны Унру могут играть роль фонового излучения с температурой 2,7 К.

Эволюцию Вселенной представляют следующим образом: белые карлики остынут до 1 К через 10^{17} лет. Через 10^{19} лет нейтронные звезды остынут до 30 К. Через 10^{32} лет вещество распадется на фотоны и нейтрино. Самые массивные черные дыры в центрах галактик испарятся в течение 10^{96} лет. Но это неполная картина.

Согласно закону Хаббла галактики разбегаются с ускорением. Оно снизилось на десятки порядков за эпоху инфляции, однако с эпохи 5-6 млрд. лет величина ускорения медленно увеличивается. При ускорении возникает эффект Фуллингa – Унру, рождение пар частиц из вакуума. Млечный Путь - точно такая же, как и остальные, галактика – она тоже отдаляется с ускорением от других галактик. В таком случае, когда ускорение Млечного Пути достигнет определенной величины, галактика будет пронизана излучением. Исходя из закона Хаббла ускорение $a = H^2 r$, $r = r_0 \exp(Ht)$, учитывая, что современный радиус Вселенной $r \approx 10^{27}$, и принимая для оценки, что постоянная Хаббла равномерно увеличивалась за 7 млрд. лет до современной величины 10^{-18} , можно посчитать, когда ускорение достигнет обозначенного уровня: $t^2 \exp(10^{-36} t) \approx 10^{64} \text{ с}^2$, откуда $t \approx 3 \cdot 10^{24}$ лет. Т.е. после остывания белых карликов и нейтронных звезд, но задолго до распада вещества галактики начнут постепенно нагреваться.

Темная материя

Тёмная материя, составляющая примерно 25% массы-энергии Вселенной, не участвует в электромагнитном взаимодействии, соответственно, недоступна прямому наблюдению, проявляется только в гравитационном взаимодействии и влияет на скорость расширения Вселенной. Понятие тёмной материи введено для объяснения проблемы скрытой массы в эффектах аномально высокой скорости вращения внешних областей галактик и гравитационного линзирования; в них задействовано вещество, масса которого намного превышает массу обычной видимой материи. Кроме того, выявлено множество скоплений галактик, анализ их снимков в разных диапазонах дает распределение такое распределение массы, которое указывает на скрытую массу [9]. В зависимости от температуры тёмную материю классифицируют как «горячую», «холодную» и «тёплую» [10].

Предполагается, что темная материя состоит из вимпов (WIMP, Weakly Interacting Massive Particle), гипотетических слабовзаимодействующих массивных частиц. Масса вимпов должна быть минимум в

несколько десятков раз больше массы протона $M_p = 10^{-27}$ кг. В то же время вимпы не входят в Стандартную модель. В суперсимметричных теориях рассматриваются также стабильные нейтрино. В различных не подтвержденных экспериментах наблюдался возможный сигнал от вимпов с массой порядка $4-19 M_p$.

Возможно, что темную материю – помимо темных туманностей - может образовывать космическая пыль особого рода. Размер ее - от нескольких молекул до 0,2 мкм. Околосвездная пыль состоит из молекул СО, карбида кремния, силикатов, полициклических ароматических углеводородов, льда и полиформальдегида, а также графита, оксида алюминия, шпинели и др., которые конденсируются при высокой температуре из охлажденного газа, возникающего при звездных ветрах или при декомпрессии внутренней части сверхновой. Отраженное от пыли электромагнитное излучение зависит от их поперечного сечения, показателя преломления, длина волны излучения и т. д. В уравнении Шредингера фигурирует энергия электрона в электрическом поле ядра. Если ее заменить на гравитационную, то гравитационный боровский радиус –

$$r_{grav}(n) = \left(\frac{n\hbar}{\pi}\right)^2 (GMm^2)^{-1}$$

Для протона и электрона первый боровский радиус больше радиуса Вселенной, 10^{28} м. Если принять, что квантовые свойства проявляются на расстояниях порядка 1-го боровского радиуса $10^{-10} - 10^{-11}$ м, то $2a + b = - (43-44)$,

где a и b – показатели степени, например: $m \propto 10^a$. Слагаемые могут принимать значения: - 15 и - 13, - 16 и - 11, или - 16 и -12, - 15 и -14 и т.д., которые входят в диапазон масс космической пыли - от 10^{-16} кг до 10^{-4} кг. Т.е. в космической пыли должны возникать связанные состояния, которые не отражают, а поглощают излучение, переходя в возбужденное состояние с дальнейшим рассеянием. Возможно, что подобные темной материи области космической пыли возникают вследствие сепарирования по массам центробежной силой, возникающей при вращении галактик.

Заключение

Учет фотонов Унру дает возможность расширить рамки термодинамического подхода к Вселенной. Если предположение о фотонах Унру как об излучении верно, то наблюдаемый фон не может быть одним из подтверждений теории горячей Вселенной. Если предположение о связанных состояниях в космической пыли соответствует реальности, оно может быть шагом к построению квантовой гравитации.

Литература

1. Бочкарев Н. Г. Основы физики межзвездной среды. М.: URSS, 2020. 352 с.
2. Засов А. В., Постнов К. А. Общая астрофизика. М.: МГУ, 2006. 576 с.
3. Ferriere K. The Interstellar Environment of our Galaxy. Reviews of Modern Physics. 2001. vol. 73(4). P. 1031–1066.
4. Nicastro F, Kaastra J., Krongold Y. et al. Observations of the missing baryons in the warm–hot intergalactic medium. Nature. 2018. vol. 558. P. 406–409. DOI <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0204-1>
5. Palma G., Normale S., Sormani M. C., Peierls R. Counterintuitive effect of gravity on the heat capacity of a metal sphere: re-examination of a well-known problem. American Journal of Physics. 2015. vol. 83. Iss. 8. P. 723-728. <https://doi.org/10.1119/1.4922257>
6. Ихлов Б. Л. Термодинамический подход в космологии // Евразийский научный журнал. 2019. №1. http://journalpro.ru/articles/termodynamicheskiy-podkhod-v-kosmologii/?sphrase_id=14205
7. Ихлов Б.Л. Возможна ли термодинамика Вселенной? // Материалы VI Российской конференции «Основания фундаментальной физики и математики. М.: РУДН, 9-10 декабря 2022 г. С. 228-235.
8. Peña I., Sudarsky D. On the Possibility of Measuring the Unruh Effect. Foundations of Physics. 2014. vol. 44. P. 689-708.
9. Jee M. J. et al. A Study of the Dark Core in A520 with the Hubble Space Telescope: The Mystery Deepens. The Astrophysical Journal. 2012. vol. 747. P. 96. doi:10.1088/0004-637X/747/2/96
10. Рубаков В. А. Актуальные вопросы космологии: курс лекций. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. Вып. 6. 272 с.

ОСОБЕННОСТИ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Введение

Движение планет Солнечной системы достаточно изучено. Ее формирование – сложный стохастический процесс, включающий образование протопланетных дисков, планетезималей, миграцию планет внутри системы и обратно, причем при движении к Солнцу Юпитер запусти цепочку столкновений между планетезималами.

В этом процессе действуют эффект Пойнтинга-Робертсона и световое давление, реализуются сценарии аккреции (слипания мелких частиц) и гравитационного коллапса.

Являются ли другие планетные системы аналогом Солнечной или в них реализованы другие типы движений?

Структура планетных систем диктуется параметрами звезды (системы звезд).

Количество планет-гигантов зависит от металличности звезды, т.е. содержания в ней элементов тяжелее водорода и гелия. Чем больше в составе звезды тяжелых элементов, тем вероятнее обнаружить рядом с ней планету-гигант. Во-вторых, это количество зависит от массы родительской звезды. Чем массивней звезда, тем больше вероятность обнаружить рядом с ней гигантскую планету, подобную Юпитеру. У звезд красных карликов, которые легче и гораздо тусклее Солнца, планеты-гиганты почти не встречаются, хотя есть исключения. Среди солнцеподобных звезд примерно 8.5% имеют планеты-гиганты тяжелее Юпитера на орбитах ближе 2.5 а.е. (Солнце в эти 8.5%, Юпитер расположен на расстоянии 5.2 а.е.) Среди более массивных звезд (массой 1.5-2.5 масс Солнца) доля имеющих планеты-гиганты ближе 2.5 а.е. достигает 20%.

17.1.1996 были открыты планеты, обращающиеся вокруг звезд 70 Девы (70Vir) и 47 Большой Медведицы (47UMa). Планета около 70Vir обращается вокруг звезды по эллиптической вытянутой орбите за 116 дней и имеет массу приблизительно в 9 раз превосходящую массу Юпитера. Планета около 47UMa имеет период немного меньше, чем 3 земных года, масса в 3 раза больше, чем у Юпитера, орбитальное расстояние в 2 раза превосходит расстояние от Земли до Солнца.

У пульсара PSR 1257+12 были обнаружены три планеты с массами 0,015; 3,4 и 2,8 массы Земли, обращающиеся по почти круговым орбитам с радиусом 0,19; 0,36 и 0,47 а.е. и периодом 25,3; 66,5 и 98,2 дней.

Еще один пульсар PSR 1828-11, расположенный на расстоянии около 12 тыс. световых лет от Солнца, имеет три планеты с массами 3; 12 и 8 масс Земли, обращающиеся на расстоянии 0,93; 1,32 и 2,1 а.е. с периодами 0,68; 1,35 и 2,79 лет. Как и у пульсара PSR 1257+12, у него расстояния планет от звезды (и периоды обращения) пропорциональны расстояниям от Солнца (и периодам обращения) Меркурия, Венеры и Земли.

Измерены радиусы и массы семи землеподобных планет системы TRAPPIST-1, известен состав их атмосферы. Все планеты состоят, в основном, из скалистых пород, их массу до 5% составляет вода в состоянии льда (Земля - лишь 0,02%).

Ипсилон Андромеды - солнцеподобная звезда в созвездии Андромеды. Это первая нормальная звезда (звезда главной последовательности), у которой была обнаружена многопланетная система. На текущий момент известны 4 планеты. Планета b - типичный горячий юпитер, период обращения 4,617 суток, большая полуось орбиты 0,059 а. е., орбита круговая (эксцентриситет 0,012). Минимальная масса 0,69 M_J . Планета c - период обращения 241,5 суток, большая полуось орбиты 0,829 а. е., орбита вытянута (эксцентриситет 0,28). Минимальная масса 1,19 Юпитера.

Планета d - газовый гигант класса II, содержащий водные облака. Период обращения 1284 суток (3,5 года), большая полуось орбиты 2,53 а. е., орбита вытянута (эксцентриситет 0,27). Минимальная масса 3,75 Юпитера. Астрометрические наблюдения дают верхний предел в 10 масс Юпитера и максимальный угол наклона орбиты к лучу зрения $155,5^\circ$.

Планета e, орбита пролегает намного дальше от звезды, чем у остальных.

Орбиты c и d отклонены относительно друг друга на 30 градусов.

Подобная Солнцу звезда - в созвездии Рака, в ее системе известно 5 планет. Это двойная звездная система. Планета e - горячая суперземля, масса которой превышает массу нашей Земли и имеет в

составе большую долю углерода, период обращения 17 ч 41 мин. Пятая планета f в 45 раз массивней Земли, температура поверхности немного теплее Земной, потому что ее звезда тусклее и холоднее Солнца. Предполагается наличие воды в большом количестве на поверхности f. По состоянию на конец 2011 года открыто 584 кратных планетных системы (с двумя и более планетами).

Планеты Солнечной системы движутся по орбитам в одну сторону, совпадающую с направлением вращения Солнца вокруг своей оси, против часовой стрелки, если смотреть на Солнечную систему со стороны Северного полюса Земли. Данное направление называется прямым, противоположное - обратным. Вокруг своей оси большинство планет тоже вращается в прямом направлении (с запада на восток). Уран вращается, лежа на боку, его вращение тоже обратное. Между плоскостью орбиты Урана и осью его осевого вращения – малый угол. Ось вращения Венеры почти перпендикулярна плоскости орбиты, вращение тоже обратное. У всех остальных планет угол между осью вращения и плоскостью орбиты отличен от прямого не больше, чем на 30°.

Эксцентриситет планет солнечной системы близок к нулю, орбиты почти круговые. Считается, что данный факт есть следствие того, что орбитальное движение планет вокруг звезды сформировалось в процессе формирования самих звезды и планет, и масса звезды значительно больше массы планет. Однако это не совсем верное объяснение. В общей теории относительности эллиптические орбиты периодически эволюционируют к круговым орбитам, в том числе из-за гравитационного излучения, мощность которого у планетных систем ничтожно мала, например, для Солнечной системы - 5 кВт, из которых около 90% приходится на систему Солнце-Юпитер.

Для орбит искусственных спутников эксцентриситет медленно убывает по закону $(1 - t)^{1/2}$, где t – безразмерное время. В ближайшие 50 тыс. лет эксцентриситеты Марса и Меркурия почти не изменятся, эксцентриситет Венеры уменьшится вдвое, эксцентриситет Земли уменьшится в 8 раз, затем начнет возрастать.

Отметим некоторые особенности Солнечной системы.

- 1) Планеты Солнечной системы вращаются в одной плоскости, близкой к плоскости экватора Солнца. Ссылка на гравитационное сжатие газопылевого облака, из которого возникло Солнце, в диск, несостоятельна, поскольку в других системах планеты не вращаются в одной плоскости.
 - 2) Гравитационное сжатие Солнца и увеличение скорости его вращения, которое передалось всем планетам, произошло уже после формирования планет, эффект центрифуги оттолкнул планеты-гиганты с большой массой на периферию системы. В противном случае легкие элементы, из которых состоят планеты-гиганты, оказались бы ближе к Солнцу.
 - 3) Все планеты системы вращаются в ту же сторону, что и Солнце.
- В то же время некоторые транзитные экзопланеты (например, горячие гиганты HAT-P-7b и WASP-17b) демонстрируют аномальный эффект Росситера-МакЛафлина, планета вращается вокруг звезды в сторону, противоположную направлению вращения звезды вокруг своей оси (находится на ретроградной орбите).

Таким образом, Солнечная система – достаточно типична, поэтому изучение ее особенностей позволит понять поведение многих планетных систем.

Две группы планет

Сконструируем комплекс z_i из энергетических характеристик планеты под номером i , из функций ее потенциальной и кинетической энергий, кинетическую энергию – пропорциональную корню из ее энергии вращательного движения, соответственно, через угловую скорость:

$$z_i = U_i \omega_i$$

Используя второй закон Кеплера в приближении круговой орбиты

$$T^2 / a^3 = 4\pi^2 / [\gamma M(1 + m / M)] \approx 4\pi^2 / \gamma M \approx T^2 / r^3$$

получим:

$$z_i = m_i \sqrt{\gamma M} r^{2/3} / 2\pi$$

Выписывая выражения для потенциальной энергии, выделяя множители $m_i r_i$, где m – масса планеты, r – расстояние до Солнца, и суммируя по i , получаем аналог центра тяжести относительно Солнца с весовыми коэффициентами.

Таблица 1

	$m, 10^{24}$ кг	$R_{cp}, 10^6$ м	$\omega, 10^{-6}$ сек ⁻¹	$W, 10^{-7}$ сек ⁻¹	$r, 10^6$ м	$M, 10^{24}$	$L, 10^{33}$	$z/z_{\text{Земли}}$
Меркурий	0,33	58	1,22	8,3	2,4	0,93	0,9	0,559
Венера	4,86	108	0,3	3,2	6,1	21,7	3,7	1,844
Земля	6	150	72,7	2,0	6,4	7146,7	27,0	1
Марс	0,64	228	71,5	1,1	3,4	211,6	3,7	0,038
Юпитер	1907	778	176,2	0,017	70	$6,6 \times 10^8$	19×10^9	5,152
Сатурн	571	1427	165,6	0,068	58	$1,3 \times 10^8$	$7,8 \times 10^9$	0,339
Уран	87	2869	101,0	0,024	25	$0,02 \times 10^8$	$1,7 \times 10^9$	0,009
Нептун	103	4498	109,3	0,012	24	$0,03 \times 10^8$	$2,6 \times 10^9$	0,003
Солнце	$2,2 \times 10^7$	0				$0,6 \times 10^{18}$	0	

Параметры планет Солнечной системы

M – момент импульса планеты относительно оси собственного вращения, L – относительно Солнца.

Момент количества движения планеты - $m[\vec{v}, \vec{r}] = mr^2 W$. Моменты инерции планет посчитаны

огрублено, по формуле $J = \frac{2}{5} mr^2$

Выделим планеты по естественным группам – планеты земной группы и планеты-гиганты. Оказывается, что аналоги их центров тяжести пропорциональны друг другу

$$\sum_i U_i^C \omega_i^C \propto \sum_j U_j^r \omega_j^r \propto \sum_k U_k^3 \omega_k^3 \quad (1)$$

Коэффициенты пропорциональности – Φ и Φ^2 соответственно. То есть, суммы комплексов z_i являются аналогами отрезков прямой a и b , удовлетворяющих соотношению

$$a/b = (a+b)/a = \Phi = 1,618$$

Разумеется, все расчеты носят приближенный характер, поскольку планеты обладают спутниками и кольцами, в Солнечной присутствуют планетоиды, главный пояс астероидов, пояс Койпера, другие группы астероидов, кометы, космическая пыль. Однако, помимо прочего, число Φ указывает на то, что в системе сформировалось однородное пространство.

Предположим, неким аналогом системы двух групп планет является простая колебательная система, где участвует число Φ .

Рассмотрим два одинаковых грузика, висающие на пружинах, одна из которых прикреплена к потолку.

Получить выражение для собственной частоты их колебаний можно из уравнений Лагранжа [1]:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i} = 0, i = 1, 2, \dots, n,$$

где L – функция Лагранжа системы с n степенями свободы, определяемая через кинетическую энергию T и потенциальную энергию U следующим образом:

$$L(q, \dot{q}) = T(q, \dot{q}) - U(q).$$

Здесь $q, \dot{q}$ – векторы обобщенных координат и обобщенных скоростей соответственно.

$$L = \frac{m\dot{x}_1^2}{2} + \frac{m\dot{x}_2^2}{2} - \frac{k \cdot (x_2 - x_1)^2}{2} - mg(x_{01} - x_1) - m(x_{02} - x_2)$$

где x_{0i} – положения равновесия грузиков.

$$m\ddot{x}_1 = mg - kx_1 - k(x_1 - x_2)$$

$$m\ddot{x}_2 = mg - k(x_2 - x_1)$$

Введем собственную частоту отдельных грузиков:

$$\omega_0^2 = k/m$$

Поскольку сила тяжести постоянна, она лишь определяет положения равновесия, потому ее можно исключить переопределением координат. Ищем решение в виде

$$x_j = A_j \cdot e^{i\omega t}, j = 1, 2$$

Подстановка приводит к однородной системе алгебраических уравнений для определения коэффициентов A_j :

$$A_1(2\omega_0^2 - \omega^2) - A_2\omega_0^2 = 0$$

$$-A_1\omega_0^2 + A_2(\omega_0^2 - \omega^2) = 0$$

Система имеет решения только при определенных значениях частоты ω . Последняя должна определяться из условия равенства нулю ее детерминанта. Получаем:

$$\omega^4 - 3\omega_0^2\omega^2 + \omega_0^4 = 0$$

Откуда

$$\omega_1^2 = \omega_0^2(1 + \Phi); \omega_2^2 = \omega_0^2(2 - \Phi)$$

$$\omega_1 = \pm\omega_0\sqrt{1 + \Phi}; \omega_2 = \pm\omega_0\sqrt{2 - \Phi}$$

Таким образом, собственных частот синхронных колебаний системы двух грузиков не одна, а четыре, и все пропорциональны «парциальной» собственной частоте отдельных грузиков, одна ниже ее, другая выше. Коэффициент пропорциональности выражается через число Фидия.

Частное решение задачи с тремя грузиками разной массы приведено в [2], общее решение со многими одинаковыми грузиками – в [3].

Частное решение синхронного колебания многих массами олигосом с разными массами в ДНК имеет вид: $w = (G/NM)^{1/2}$, где G – жесткость, N – среднее гармоническое: $N = (1/N_1 + 1/N_2 + 1/N_3 \dots)^{-1}$. Масса олигосом $m_i = N_iM$, M – масса мономера в олигосоме, N_i – число мономеров [4]. То есть, роль массы в формуле для пружинного маятника в виде спирали ДНК играет среднее гармоническое масс всех олигосом [4].

Движение в поле центральных сил и кеплерова задача подробно рассмотрены в [2]. Усложним систему, но упростим подход. Покажем, что колебательный режим возможен и в поле центральных сил.

Рассмотрим систему двух взаимодействующих грузиков (двух групп планет), где роль стягивающей пружины выполняет сила гравитации, противодействующей ускорению вращательного движения вокруг неподвижного центра (Солнца). Поскольку центробежное ускорение $a = v^2/r$ и $v = \omega r$, система уравнений движения запишется следующим образом:

$$m_1\ddot{r}_1 = \gamma Mm_1 / r_1^2 - m_1\omega_1^2 r_1 - \gamma m_1m_2 / (r_2 - r_1)^2$$

$$m_2\ddot{r}_2 = \gamma Mm_2 / r_2^2 - m_2\omega_2^2 r_2 + \gamma m_1m_2 / (r_2 - r_1)^2$$

где M – масса солнца, m_1 и m_2 – массы планет, вторая – более удаленная. Данная система – задача трех тел в коллинеарном представлении Эйлера, при одном неподвижном теле (Солнце) и при $M \gg m_2 > m_1$. Покажем, что стационарные орбиты планет – кеплеровские. Приравняем производные к нулю и сложим оба уравнения:

$$\gamma M[1/r_1^2 + 1/r_2^2] = \omega_1^2 r_1 + \omega_2^2 r_2$$

Если подставить в левую часть выражение для огрубленного (вместе эллипса – круг) 2-го закона Кеплера, получим тождество.

Если в виду сравнимости разницы радиусов со вторым радиусом малости масс планет в сравнении с массой Солнца и пренебречь взаимодействием планет, система распадается на два одинаковых несвязных уравнения:

$$\ddot{r}_i = \gamma M / r_i^2 - \omega_i^2 r_i$$

Сделаем уравнения безразмерными, введем $t = \omega\tau$, $\omega^2 / \gamma M = k^2$ и $r = k^{-1}y$. Тогда уравнения запишется в виде:

$$\ddot{y} + y - k / y^2 = 0$$

Подстановкой $\frac{dy}{dy} \frac{dy}{d\tau}$ можно получить $\dot{y} = (C_1 - 2k / y + y^2)^{1/2}$,

$$\tau = \int \frac{dy}{\sqrt{y^2 - 2k / y + C_1}}$$

что соответствует формуле 14.6 в [2]. Окончательное решение не выражается в аналитических функциях. Компьютерное моделирование показывает, что множество решений представляет собой биения, колебательные движения, затухающие вблизи некоторого стационарного радиуса.

График 1.

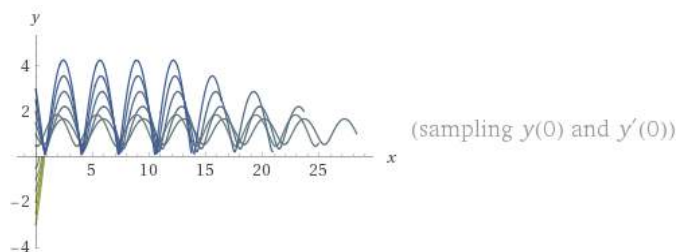


График изменения радиуса планеты в поле Солнца

Из *Графика 1* видно, что выражения для частот биений никак не могут быть связаны с числом Фидия. Аналогичный вид будет иметь решение для второй планеты. Таково решение задачи трех тел, сведенной к задаче двух тел при пренебрежении их взаимодействием. Отсюда следует, что параметры планет, удовлетворяющие соотношению (1), установились именно благодаря взаимодействию между планетами.

Как видим из уравнений, в данном приближении величина стационарного радиуса не зависит от массы планеты. Однако взаимодействие между планетами приводят к тому, что планеты примерно одинаковой массы распределяются в планетной системе следующим образом: чем больше радиус планеты, тем она дальше от звезды (коэффициент корреляции $r = 0,65$, $p < 10^{-5}$). Во-вторых, если периоды обращения n -й и $(n+1)$ -й планет относятся как $2 : 1$, то периоды $(n+1)$ -й и $(n+2)$ -й тоже относятся как $2 : 1$ ($r = 0,46$, $p < 10^{-5}$) [5].

Решение Лагранжа задачи трех тел дает равносторонний треугольник и не описывает структуру Солнечной системы.

Таким образом, можно считать, что в Солнечной системе реализовано еще одно решение задачи трех тел, где одно тело – Солнце, другое – земная группа, третье – группа планет-гигантов, причем структура двух групп планет такова, что выполняется соотношение (1).

То есть, совершенно необязательно, что данное решение будет справедливо для всех планетных систем, в которых могут реализовываться совершенно иные решения задачи трех и более тел.

Приведенные выкладки косвенно подтверждает ошибочность открытия 9-й планеты.

20.1.2016 астрономы из Калифорнийского технологического института в Пасадене, Майк Браун и Константин Батыгин выдвинули гипотезу о существовании 9-й планеты Солнечной системы, за пределами орбиты Плутона - для объяснения движения транснептуновых объектов. С помощью компьютерного моделирования были вычислены параметры новой планеты - размером с Нептун, примерно в 10 раз тяжелее Земли, диаметр – в 2-4 раза больше земного, полный оборот вокруг Солнца - за 15 тыс. лет. 9-я планета нарушила бы соотношение (1).

Однако Антраник Сефилян из Кембриджского университета и Джихад Тоума из Американского университета в Бейруте рассчитали, что необычные орбиты некоторых транснептуновых объектов объясняются влиянием гравитации не девятой планеты, а небольших объектов, составляющих диск за пределами орбиты Нептуна. Канадские учёные из Университета Виктории показали, что предположение о существовании гигантской планеты на окраинах Солнечной системы было преждевременным. Факты, доказывавшие её существование, были основаны исключительно на статистических перекосах в астрономической базе данных [6, см. также 7].

Вращение

За счет чего возникло вращение Солнечной системы, Солнца, планет вокруг Солнца и планет и Солнца вокруг собственных осей? Ссылка на асимметрию первичного газопылевого облака несостоятельна, если изначально у газопылевого облака нет момента импульса, он будет равен нулю и в дальнейшем. Очевидно, что дело в отсутствии закона сохранения классического момента импульса в ОТО.

В [8] использован приближенный метод Фока, показано, что релятивистская теория гравитации в сравнении с теорией Ньютона приводит к выводу, что если в системе тел не было вращения, оно возникает из их поступательного движения.

К сожалению, в статье допущена неточность, утверждается, что имеет место закон сохранения полного момента – суммы орбитального и собственного моментов.

Элементарный подсчет для Солнечной системы показывает, что это не так, что и видно из *Табл. 1*. Уже то, что почти все планеты вращаются вокруг себя в ту же сторону, в какую вращаются вокруг Солнца, говорит о том, что полный момент импульса Солнечной системы не равен нулю. То есть, при формировании системы из газопылевого облака, не имевшего момента импульса, закон сохранения момента импульса был нарушен.

В ОТО собственный момент импульса имеет вид:

$$L_d = \varepsilon_{abcd} (J^{ab} - Y^a p^b + Y^b p^a) p^c / m,$$

где ε_{abcd} - 4-символ Леви-Чивита, m - масса, p^a - 4-импульс, $Y^a = J^{ab} p_b / m^2$, J^{ab} - момент импульса относительно начала координат:

$$J^{ab} = \int (x^a T^{b0} - x^b T^{a0}) d^3x,$$

где интегрирование проводится по области, занятой системой. Закон изменения 4-момента импульса формулируется сложным образом, через эффективный тензор энергии-импульса, получаемый добавкой к обычному тензору псевдотензора Ландау-Лившица. 4-импульс и 4-момент импульса сохраняются лишь в линеаризованной теории и при введении калибровки [9].

Запишем уравнение движения для частицы в постньютоновском приближении:

$$a = 3v \frac{\partial \varphi}{\partial t} + 4v(v \cdot \nabla)\varphi - v^2 \nabla \varphi + v \times (\nabla \times \zeta) - \nabla(\varphi + 2\varphi^2 + \psi) - \frac{\partial \zeta}{\partial t}$$

где φ, ψ, ζ - потенциалы постньютоновского разложения.

Вычисление гравитационного поля на больших расстояниях от произвольного конечного распределения энергии – импульса показывает, что вектор углового момента не равен нулю:

$$\frac{2G}{r^3} (x \times J) \square \zeta$$

Таким образом, вывод в [8] о порождении вращения поступательным движением остается и почти тривиален: в сильных гравитационных полях, в искривленном пространстве поступательное движение должно порождать вращение. Таким образом, расширение Вселенной создало моменты импульса Солнечной и других планетных систем, а также галактик. В силу изотропии пространства их совокупный момент импульса был равен нулю.

Это означает, что формирование Солнечной системы началось не 4,6 млрд. лет назад, а гораздо раньше, когда кривизна пространства была существенной. Либо нужно предположить, что кривизна падала со временем не так быстро, как ныне принято считать.

Заключение

Из этого можно предположить, что формирование Солнечной системы происходило следующим образом.

1) Из газопылевого облака с плотностью $(10^{-18} - 10^{-19})$ г/см³ и температурой порядка 10^0 за время порядка 10^5 лет [10] сформировались Солнце, возможно, благодаря возникновению гравитационной неустойчивости вследствие внешнего воздействия [там же].

- 2) Роль внешнего воздействия мог сыграть эффект Казимира – при ограничении пространства рамками газопылевого облака (см., напр., [11], где рассмотрен эффект Казимира скалярного поля).
- 3) Силы гравитации Солнца, поскольку они пропорциональны массам, отделили тяжелые элементы Fe, Ni, Si, Al, Mg, O от легких, H, He.
- 4) Поскольку легких элементов – значительно больше, они образовали сгусток, из которого возникли планеты-гиганты, сгусток был вытеснен на большое расстояние благодаря эффекту центрифуги. Таким образом, образование Солнечной системы происходило не по модели Канта-Лапласа, а раздельно: Солнца и протопланет.
- 5) Из тяжелых элементов образовался второй сгусток газа, из которого сформировались планеты земной группы.
- 6) Релятивистские эффекты придали планетам, Солнцу и всей системе в целом вращательное движение вокруг центра масс.
- 7) Формирование групп планет из двух сгустков, гравитационное взаимодействие между ними предопределило дальнейшее вращение почти всех планет в одной плоскости.
- 8) Окончательный вид система приобрела после начала термоядерного синтеза внутри Солнца, ветер Тельца в течение 10^6 лет удалил сгустки газопылевого облака на большие расстояния друг от друга, разница температур (от нескольких тысяч градусов во внутренней части Солнечной системы до 100 К во внешней) определила снеговую линию (линию льда), по температуре затвердевания воды, углекислого газа и метана, расположенную примерно на расстоянии 3 а.е. от Солнца, посередине между Марсом и Юпитером. При этом Сатурн и Юпитер удержали газовую компоненту, Нептун и Уран большую ее часть утеряли.

Литература

1. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1977.
<http://www.detalmach.ru/lectdinamika2.htm> (<http://elibrary.bsu.az/kitablar/1039.pdf>)
2. Ландау Л. Д., Лившиц Е. М. Краткий курс теоретической физики. Т. I, «Механика», М.: «Наука», 1988, С. 101.
3. Крауфорд Ф. Волны. М.: «Наука», 1974, С. 90.
4. Ихлов Б. Л. Спектры ДНК. Вестник новых медицинских технологий. – 2018 – Т. 25, №2 – С. 121–134.
5. Lauren M. Wriess etc. Peas in a Pod: Planets in a Kepler Multi-planet Size and Similar in Size and Regularly Spaced. The Astronomical Journal. 2018. 155, 48
https://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=ru&prev=search&rurl=translate.google.com&sl=en&sp=nmt4&u=https://arxiv.org/abs/1706.06204v3&usg=ALkJrhj23jbOaICgN_YMw_XLZ0acQkv7QDOI%2F10.3847%2F1538-3881%2Faa9ff6
6. Shepherding in a Self-Gravitating Disk of Trans-Neptunian Objects; Cory Shankman, JJ Kavelaars, Michele Bannister, Brett Gladman, Samantha Lawler, Ying-Tung Chen, Marian Jakubik, Nathan Kaib, Mike Alexandersen, Stephen Gwyn, Jean-Marc Petit, Kathryn Volk.
7. OSSOS VI. Striking Biases in the detection of large semimajor axis Trans-Neptunian Objects // Submitted on 16 Jun 2017 (v1), last revised 19 Jun 2017 (this version, v. 2).
8. Сандина И. В. Система вращающихся тел и законы сохранения в общей теории относительности. Ярославский педагогический вестник. Серия «Физико-математические и естественные науки. 2010. Вып. 1. С. 81-85.
<https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-vraschayuschih-sya-tel-i-zakony-sohraneniya-v-obschey-teorii-otnositelnosti/viewer>
9. Ихлов Б. Л. Космология без вращения. Chronos. XXX Международная научно-практическая конференция «Естественные и технические науки в современном мире». М.: 2018. С. 41-49
10. Легкоступов М. С. К вопросу о модели образования планетных систем. Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. 2018. №229. 31 с. doi:10.20948/prepr-2018-229 , URL:
<http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2018-229>
11. Ихлов Б. Л. Хиггсовский вакуум в теории гравитации. Автореф. дисс. канд. физ-мат. наук. М.: МГУ, 1988. <http://search.rsl.ru/ru/catalog/record/134189>

О КОНВЕКТИВНОМ МЕХАНИЗМЕ КОЛЕБАНИЙ СВЕТИМОСТИ ПОЛУПРАВИЛЬНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

Введение

В отсутствие гравитации в статическом случае температура в шарообразной системе с источником тепла в центре, как следует из закона Фурье, изменяется по гиперболе. Утверждается, что в пульсирующих переменных звездах изменение объема может возникнуть из-за неустойчивости между давлением и силой гравитации. Что сомнительно, т.к. давление при сжатии увеличивается, например, по адиабатическому закону $pV^k = \text{const}$, где $k = C_p/C_v$. То есть, обратно пропорционально r^{3k} , тогда как сила гравитации спадает обратно пропорционально r^2 , возникает равновесный радиус, и равновесие между давлением и гравитацией – устойчиво. Для переменных типа RR Лиры и цефеид каппа-механизм изменения светимости, связанный с ионизацией He, дополняется гамма-механизмом, связанным с более низкой температурой ионизированного гелия, и радиус-механизмом, связанным с уменьшением площади поверхности звезды при сжатии и ростом ее плотности.

Для полуправильных переменных изменение светимости связано с конвекцией во внешних слоях, однако не исследовано, каким образом возникает периодичность светимости.

Конвекцию в звездах обычно рассматривают в рамках классической термодинамики. Считается, что в состоянии равновесия перенос тепла происходит только через излучение, фотоны поглощаются атомами и переизлучаются, или происходит рассеяние излучения свободными электронами.

Конвективное же перемешивание определяется только градиентами температуры. Такой подход приводит к противоречию. Вблизи поверхности Солнца толщина конвективного слоя может достигать порядка 10^4 км, у звезд класса K заметно больше, у M-звезд может доходить почти до центра, у звезд горячее F0 конвективный слой практически отсутствует. Т.е. чем горячее звезда, тем меньше конвекция.

Чтобы изучать конвекцию в звездах, не затрагивая ядерную конвективную зону, необходимо рассмотреть полную систему уравнений конвекции, например, в приближении Буссинеска-Обербека. уравнения термогравитационной конвекции, уравнения магнитной гидродинамики, уравнения плазмы [1, 2], поэтому теоретическое исследование этого является достаточно сложной задачей.

Симметрия бесконечного горизонтального слоя и однородные условия подогрева делают возможными периодические структуры - валы, прямоугольные и гексагональные ячейки, которые неустойчивы относительно трехмерных, двумерных длинноволновых продольных возмущений и др. В случае ограниченного горизонтального слоя возможны профили типа солитонов. В надкритической области линейная теория позволяет выбрать возмущение, скорость роста которого максимальна, найдены стационарные решения нелинейной задачи в широкой области изменения числа Рэлея, позволяющие определить интенсивность движения, тепловой поток и др. Выяснено, что добавочный тепловой поток в горизонтальном слое вблизи порога растет линейно с увеличением надкритичности.

Турбулентная конвекция рассмотрена в [3]. В [4] отмечается, что желтые пульсирующие сверхгиганты, которые эволюционировали после фазы красного сверхгиганта, пульсируют с периодом менее суток, однако механизм пульсаций неизвестен. Наименее изученными являются механизмы пульсаций полуправильных переменных [5], период которых относительно стабилен. В [6] получила дальнейшее развитие теория Стотерса–Люнга, согласно которой пульсации их светимости связаны с последовательно синхронной инверсией гигантских конвективных ячеек в оболочках массивных красных сверхгигантов. Данные [6] согласуются с данными длительных вторичных периодах колебаний светимости Бетельгейзе и Антареса. В данной статье изучается конвективный механизм колебаний пульсаций светимости полуправильных переменных, моменты работы этого механизма можно показать в модельной задаче.

Модельная задача

Рассмотрим трехмерную конвекцию в горизонтальном слое с теплоизолирующими окружающими массивами при небольших превышениях критического числа Рэлея в приближении Буссинеска. Для простоты и краткости исследуем линеаризованную систему, в которой скорости невелики. В уравнении теплопроводности учтем нелинейный градиентный член. Тогда система уравнений конвекции примет вид

$$\begin{cases} \nabla p - \vec{U} + R_p T \vec{g} = 0 \\ -\frac{\partial T}{\partial t} + \Delta T + \vec{U} \vec{g} - \vec{U} \nabla T = 0 \\ \operatorname{div} \vec{U} = 0 \end{cases}$$

где $R_p = \frac{g \beta L^2 \delta T}{\nu \chi}$, T – отклонение температуры от равновесного распределения, δT – разность температур на границах слоя, χ – температуропроводность, ν – кинематическая вязкость; единица длины L – ширина слоя, скорость измеряется в χ/L , давление – в $\rho_0 \nu \chi$.

Выберем подходящую систему координат, тогда для теплоизолированного слоя граничные условия запишутся в виде $z = 0, z = 1; U_z = 0$. Исключив скорость, получим систему:

$$\begin{cases} -\frac{\partial T}{\partial t} + \Delta T + \nabla p \nabla T - RT \frac{\partial T}{\partial z} + \frac{\partial P}{\partial z} + RT = 0 \\ -\Delta p + R \frac{\partial T}{\partial z} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Поскольку мы решаем модельную задачу, выберем следующие граничные условия:

$$z = 0; z = 1; \frac{\partial T}{\partial z} = 0; \nabla P = RT \vec{g} \text{ или } \frac{\partial P}{\partial z} = -RT.$$

Для данной системы условие разрешимости неоднородной системы дифференциальных уравнений получается, если проинтегрировать выражение для $\partial_z^2 T_k$, получающееся в k -том порядке, по толщине слоя. Для рассмотрения процессов, имеющих различный временной и пространственный масштаб, используется метод многих масштабов. Функции давления и температуры можно представить зависящими от набора переменных $t_n = a_m^n t$, где t_1, t_2 и т.д. – медленные времена; тогда производная по времени имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial t} = \sum_{n=0}^{\infty} a_m^n t_n$$

В дальнейшем считаем, что все быстрые процессы уже прошли и функции T, P не зависят, по крайней мере, от t_0 . Для пространственных переменных (горизонтальных) ограничимся 1-м порядком в ряде, считая, что в нулевом порядке у функций T, P от x_0, y_0 нет зависимости:

$$\xi = a_m x, \quad \eta = a_m y$$

Тогда производные по этим координатам имеют вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} = a_m \frac{\partial}{\partial \xi}; \quad \frac{\partial}{\partial y} = a_m \frac{\partial}{\partial \eta}$$

Используем метод малого параметра; при небольших надкритичностях $R - R_0$ волновое число, функции температуры, давления, а также критическое число Рэлея разлагаются в ряд по степеням волнового числа:

$$R_p = \sum_{n=0}^{\infty} a_m^{2n} R_{2n}; \quad T = \sum_{n=0}^{\infty} a_m^4 T_n; \quad P = \sum_{n=0}^{\infty} a_m^4 P_n \quad (2)$$

Подставим эти производные и разложение (2) в систему уравнений и в систему уравнений (1). Используя граничные условия, в нулевом порядке получим, что

$$P_0 = R_0 T_0 \cdot z - \frac{R_0 T_0}{2}; \quad \frac{\partial T_0}{\partial z} = 0$$

В первом порядке получаем, что функции T, P не зависят от t_1 ;

$$P_1 = R_0 T_1 \cdot z - \frac{R_0 T_1}{2}; \quad \frac{\partial T_1}{\partial z} = 0$$

Во 2-м порядке, используя условие разрешимости, имеем: $R_0 = 12$; функции не зависят от t_2 ;

$$P_2 = \frac{R_0}{2} \Delta_2 T_0 \left(\frac{z^2}{2} - \frac{2}{3} z^3 + \frac{z^4}{2} - \frac{z^5}{5} \right) + \frac{R_0}{2} [\nabla_2 T_0]^2 (2z^3 - z^4) + R_2 T_0 z + C_2$$

где Δ_2, ∇_2 - двумерные лапласиан и градиент, C_2 - постоянная интегрирования, не зависящая от z ,

$$T_2 = \Delta_2 T_0 \left(-\frac{z^2}{2} + z^3 - \frac{z^4}{2} \right) + (\nabla_2 T_0)^2 (3z^2 - 2z^3)$$

В третьем порядке вычисления совпадают с вычислениями во втором порядке. Получаем:

$$P_3 = \frac{R_0}{2} \Delta_2 T_1 \left(\frac{z^2}{2} - \frac{2}{3} z^3 + \frac{z^4}{2} - \frac{z^5}{5} \right) + \frac{R_0}{2} [\nabla_2 T_1]^2 (2z^3 - z^4) + R_2 T_1 z + C_3$$

$$T_3 = \Delta_2 T_1 \left(-\frac{z^2}{2} + z^3 - \frac{z^4}{2} \right) + [\nabla_2 T_1]^2 (3z^2 - 2z^3)$$

функции T, P не зависят от t_3 . В 4-м порядке получаем замкнутое уравнение для T_0 :

$$\frac{\partial T_0}{\partial t} + \frac{2}{21} \Delta_2^2 T_0 + \frac{R^2}{12} \Delta_2 T_0 - \frac{6}{5} (\nabla_2 T_0 \nabla_2) [\nabla_2 T_0]^2 - \frac{6}{5} \Delta_2 T_0 [\nabla_2 T]^2 = 0 \quad (3)$$

Так как решение линейной задачи должно иметь вид

$$T_0 = \exp(i\xi) \exp(i\eta)$$

то отсюда получаем значение $R_2 = \frac{8}{7}$.

Чтобы избавиться от коэффициентов в уравнении (3), введем переменные

$$\tau = \frac{2}{\sqrt{35}} t, \quad \bar{T} = \sqrt{\frac{63}{5}} \cdot T_0$$

тогда уравнение (3) запишется в виде:

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial \tau} + \Delta_2^2 \bar{T} + \Delta_2 \bar{T} - (\nabla_2 \bar{T} \nabla_2) [\nabla_2 \bar{T}]^2 - \Delta_2 \bar{T} [\nabla_2 \bar{T}]^2 = 0$$

В плоской задаче с одной горизонтальной координатой уравнение переходит в следующее:

$$\dot{\mathcal{G}} + \partial_{\xi}^4 \mathcal{G} + \partial_{\xi}^2 \mathcal{G} - \partial_{\xi}^2 (\mathcal{G}^3) = 0 \quad (4)$$

Где $\mathcal{G} = \partial_{\xi} \bar{T}$. Для больших скоростей выкладки значительно более громоздкие, но уравнение получается точно таким же. В стационарном случае уравнение (4) имеет решение

$$\mathcal{G} = \sqrt{\frac{2k^2}{1+k^2}} \operatorname{sn} \frac{\xi - \xi_0}{\sqrt{1+k^2}}$$

где k – модуль эллиптической функции Якоби, связанный с волновым числом $\bar{a} = a / a_m$ соотношением

$$\bar{a} = \frac{\pi}{2K(k)\sqrt{1+k^2}}, \text{ где } K(k) - \text{полный эллиптический интеграл первого рода, } \xi_0 - \text{константа}$$

интегрирования. Численный анализ (4) показывает, что температура растет со временем к верхней границе слоя. То есть: само уравнение (4) не содержит колебательных мод, однако оно показывает периодическое прекращение конвекции.

Аналитическое решение задачи Рэлея-Бенара для однородной однокомпонентной жидкости исследовано в [7], получены распределения полей температуры и скорости для большой надкритичности до $R = 3 \cdot 10^6$. Для полуправильных сверхгигантов ускорение свободного падения, которое входит в число Рэлея, превышает земное на несколько порядков, поэтому для них справедлив данный расчет с малыми превышениями надкритичности.

Зависимость периода колебаний от числа Рэлея

Экспериментально наблюдались колебательные режимы при концентрационной конвекции Марангони [8]. Вынужденные колебания исследовались в системе с магнитной конвекцией [9]. Исследован колебательный режим конвекции Рэлея – Бенара, в линейной системе неавтономных уравнений типа

Лоренца получено критическое значение числа Рэлея. Колебательные режимы в нелинейных системах рассмотрены также в [10].

В [11] рассмотрены асимметричные колебания в конвективной системе, в модели Лоренца для $Pr = 10$ получена зависимость собственной частоты системы от нормированного числа Рэлея

$\omega \approx 0,22 + 2,11\sqrt{r-1,4}; 1,5 < r < 20$. Без ограничений общности можно положить

$\omega = c_1 + c_4\sqrt{Ra - c_5}$, где c_i – характерные параметры. Оценка частоты изменений светимости

$$\omega = 2\pi\sqrt{G\rho}$$

см. [12, стр. 403]. Критические числа Рэлея зависят от волновых чисел и от безразмерных параметров среды: магнитного числа Прандтля, числа Гартмана, числа Тейлора, числа Россби. В массивных телах возникает релятивистский эффект.

Число Рэлея $Ra \propto g$, то есть, зависит от радиуса звезды - вследствие зависимости силы тяжести от расстояния до центра, которая усиливается вследствие ее неклассичности. Например, уравнения движения материальной точки в гравитационном поле имеют вид

$$\frac{d^2 x^i}{ds^2} + \Gamma_{jk}^i \frac{dx^j}{ds} \frac{dx^k}{ds} = 0, \quad \Gamma_{jk}^i = \frac{g^{il}}{2} \left(\frac{\partial g_{kj}}{\partial x^l} + \frac{\partial g_{kl}}{\partial x^j} + \frac{\partial g_{jl}}{\partial x^k} \right).$$

В случае скоростей, малых по сравнению со скоростью света, и слабых постоянных гравитационных полей потенциал и уравнения движения принимают вид

$$\varphi = -c^2(1 + g_{44})/2, \quad \varphi(r) = -\frac{Gm}{r} + C$$

$$\Delta\varphi = \frac{2}{r} \frac{\partial\varphi}{\partial r} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial^2 r} = 4\pi Gm; a \propto -\nabla\varphi.$$

В постньютоновском приближении

$a = -\nabla\varphi + q(\nabla\varphi)^2$, $(\nabla\varphi)^2 = \frac{1}{2}\Delta\varphi^2 - \varphi\Delta\varphi$, $a = -\nabla\varphi + 4\pi qm\varphi = g = Gm/r^2 + 4\pi qGm/r$. Откуда. Тогда

$g = \frac{4}{3}\pi G\rho r(q+r)$, число Рэлея $Ra = \frac{4\pi r(1+r)\beta L^3}{\nu\chi} G\rho$, и собственная частота запишется в виде:

$$\omega = c_1 + c_2\sqrt{G\rho - c_3}$$

Таким образом, собственная частота асимметричных колебаний в уравнениях конвекции соответствует оценке периода изменений светимости звезд.

Заключение

Обычно считается, что в звездах температура непосредственно под фотосферой крайне быстро растёт вглубь и лучеиспускание не может обеспечить выхода излучения из более глубоких горячих слоёв, что и является причиной конвекции, которая обеспечивает стабильность звезды. Однако при возникновении конвекции происходит перемешивание, что приводит к выравниванию температур. Механизм, порождающий колебательный режим, схематично представляли следующим образом: 1) сначала вследствие истечения энергии в виде излучения и звездного ветра в поверхностном слое звезды перепад температур порождает интенсивное конвективное перемешивание, которое приводит к усреднению температуры по слою, градиент температуры понижается; 2) то же происходит со следующим, ниже лежащим слоем; 3) остывание верхних слоев продолжается до уровня, где происходит термоядерный синтез, энергия которого с помощью конвекции разогревает верхние слои до прежней температуры, градиент температуры снова понижается. 4) Начинается остывание верхних слоев и т.д. Однако расчет показывает, что периодичность светимости полуправильных звезд может быть связана с неустойчивостью конвекции в верхних слоях звезд. При этом необходимо учитывать, что число Рэлея существенно зависит от расстояния слоя до центра звезды. Таким образом, существует по меньшей мере два механизма периодических пульсаций светимости полуправильных переменных: 1) выравнивание температуры по верхнему слою, снижение числа Рэлея меньше критического и прекращение конвекции, затем возникновение конвекции вследствие подогрева из звездного ядра и остывания верхней границы слоя; 2) возникновение асимметричных колебаний в конвективном слое.

В последнем случае, учитывая зависимость числа критического числа Рэлея от гравитационного поля, можно скорректировать формулу для частоты пульсаций полуправильных переменных.

Литература

1. Pegoraro F., Califano F., Manfredi G., Morrison P. J. Theory and applications of the Vlasov equation. Eur. Phys. J. D., 2015. vol. 69. P. 68 doi:10.1140/epjd/e2015-60082-y
2. Kopp, M. I. On the theory of stability of a rotating plasma with a constant temperature gradient. M. Young Scientist. 2015. vol. 23. no. 103. P. 34-40.
3. Xiong. Da-run. Convection Theory and Related Problems in Stellar Structure, Evolution, and Pulsational Stability II. Turbulent Convection and Pulsational Stability of Stars. Front. Astron. Space Sci., Sec. Stellar and Solar Physics. 2021. doi: 10.3389/fspas.2020.438870
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fspas.2020.438870/full>
4. Dorn-Wallenstein, Trevor Z.; Levesque, Emily M.; Neugent, Kathryn F.; Davenport, James R. A.; Morris, Brett M.; Gootkin, Keyan. Short Term Variability of Evolved Massive Stars with TESS II: A New Class of Cool, Pulsating Supergiants. The Astrophysical Journal. 2020. vol. 902. no. 1. P. 24-46. DOI: 10.3847/1538-4357/abb318
5. Karttunen H., Kroger P., Oja H., Poutanen M., Donner K. J. Fundamental Astronomy. 6th Edition. Berlin; Heidelberg; N. Y.: Springer. 2016.
6. Stothers, Richard B. Giant Convection Cell Turnover as an Explanation of the Long Secondary Periods in Semiregular Red Variable Stars. The Astrophysical Journal. 2010. vol. 725. no. 1. P. 170-1174. DOI: **10.1088/0004-637X/725/1/1170**
7. Габитова А. Б. Численное исследование конвективных течений в упруговязких жидкостях: дисс. ... канд. физ. мат. наук. Казань: КГУ, 1983. 139 с.
8. Бирих Р. В. Колебательные режимы концентрационной конвекции и особенности постановки граничных условий на межфазных границах Вестник нижегородского ун-та 2011. №4(3). С. 647-649.
9. Копп М. И., Тур А. В., Яновский В. В. Магнитная конвекция в неоднородно вращающейся электропроводной среде под действием модуляции внешнего магнитного поля // ЖЭТФ. 2020. Т. 157. вып. 5. С. 901-927. DOI 10.31857/S0044451020050132
10. Картавых Н. Н. Параметрические электроконвективные колебания в плоском слое слабопроводящей жидкости: дисс. ... канд. физ.мат. наук. Пермь, ПГУ, 2015. 137 с.
11. Мелентьев А. Б. , Тарунин Е. Л. Эффекты асимметричных колебаний в конвекции // Вычислительная механика сплошных сред. 2012. №5(3). С. 284-291.
DOI: <https://doi.org/10.7242/1999-6691/2012.5.3.33>
12. Кононович Э. В., Мороз И. В., Общий курс астрономии. М.: Эдиториал УРСС, 2004. 544 с.

ТЕОРИЯ ПОЛЯ. ГРАВИТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА И ЭФФЕКТ КАЗИМИРА

Эйнштейн в 1905 году (объяснение фотоэлектрического эффекта) и Дебай в 1910 году (удельная теплоемкость твердых тел), показали, что поперечное электромагнитное поле (ЭМП) есть квантовая система, причём ЭМП квантуется безотносительно к тому, есть рядом заряженная частица или нет. В 1911 году Бором была предложена модель атома, в 1925-м Гейзенбергом и Иорданом на основе волнового подхода де Бройля была создана современная квантовая механика, описавшая атом Бора, далее была создана матричная механика, написано уравнение для квантового осциллятора. Уравнение Шредингера – «сделано руками», сам Шредингер подчеркивал, что его уравнение феноменологическое. Кроме того, само создание квантовой механики породило множество понятийных и логических проблем, Шредингер даже писал: «Я сожалею, что имел отношение к квантовой механике». В 1950 году Гупта и Блейлер в рамках формализма вторичного квантования, с введением пространства Фока и операторов рождения-уничтожения частиц, проквантовали ЭМП. Несмотря на то, что квантовая механика успешно работала в приборах, фон Нейман решил, что она не доказана точно и написал книгу с ее математическим обоснованием. После чего Боголюбов и Ширков объявили о программе «аксиоматического построения квантовой теории поля (КТП)».

Наконец, Фейнман высказал общее выражение: «Могу с определённой уверенностью утверждать, что никто не знает квантовую механику».

Например, уравнение Дирака для электрона, дающее плотность заряда и тока заряженной частицы, может содержать внешнее электромагнитное поле. Но теория Дирака не описывает взаимодействие квантованного электронного поля с квантованным электромагнитным полем, в том числе рождение и уничтожение частиц

Можно с определённой уверенностью утверждать, что в квантовой механике сложилась «революционная ситуация», требующая разрешения. И в первую очередь требует разъяснения проблема вакуума, вакуума поля и вакуума частиц, что даже в рамках формализма волновых функций, т.е. в рамках представлений корпускулярно-волнового дуализма - не одно и то же.

Вакуумом в квантовой электродинамике называется состояние поля, в котором поле, представленное бесконечной системой осцилляторов, у всех осцилляторов $n = 0$ и энергия каждого осциллятора равна $\hbar\omega/2$, где ω — собственная частота осциллятора. Сумма всех мод осцилляторов с частотами от нуля до бесконечности равна бесконечности. При расчетах эта бесконечность вычитается.

Для расчётов в КТП вводят пространство Фока, вводят операторы рождения-уничтожения, решают гармоническую задачу. Точное решение уравнения для реальной задачи найти затруднительно, решают методом Гринберга, т.е. разлагая искомое решение по собственным функциям невозмущённой задачи, решение которой известно. В результате получаются члены бесконечного ряда, которые интерпретируют диаграммами Фейнмана, рождением виртуальных частиц.

Нулевые вакуумные моды в ограниченном объеме воздействуют на этот объем. Для вычисления этого взаимодействия (для вычета бесконечной струны) используются различные методы регуляризации: размерная регуляризация, метод дзета-функции, регуляризация Паули-Вилларса, n -волновая регуляризация, адиабатическая регуляризация, метод раздвижения точек.

В качестве альтернативного объяснения эффекта Казимира Швингер, Де-Радд и Милтон в 1978 году предложил версию релятивистских сил ван-дер-Ваальса, согласно которой сила Казимира - это релятивистская запаздывающая сила ван-дер-Ваальса между металлическими пластинами.

В 2016-м и 2017 году Николич привел доказательства на основе первых принципов КЭД, что сила Казимира возникает не из энергии вакуума электромагнитного поля, а как сила Ван-дер-Ваальса [1, 2]. Однако сведение силы Казимира к силе Ван-дер-Ваальса не является корректным.

Однако, во-первых, при построении двумерных моделей типа графита или нитрида бора расчеты с привлечением сил ван-дер-Ваальса оказываются противоречащими эксперименту, т.к. в данном случае действуют силы Казимира и Казимира-Лифшица.

Во-вторых. Ван-дер-ваальсово взаимодействие состоит из трёх типов взаимодействий: 1) дисперсионное притяжение (лондоновские силы, дисперсионные силы). Обусловлены взаимодействием между мгновенным и наведённым диполем. Энергия обратно пропорциональна шестой степени расстояния между диполями.

2) Индукционное притяжение (поляризационное притяжение). Взаимодействие между постоянным диполем и наведённым (индуцированным). Энергия обратно пропорциональна шестой степени расстояния.

Таким образом, более менее подходящей являются 3) ориентационные силы, диполь-дипольное притяжение, осуществляется между молекулами, являющимися постоянными диполями. Энергия обратно пропорциональна кубу расстояния между диполями.

Однако силы ван-дер-Ваальса — это силы притяжения. В то время как силы Казимира бывают отталкивающими, и этот эффект измерен подтвержден экспериментально [3]

Зафиксирована «левитация» золотого шарика над кремниевой плоскостью (тот же шарик прилипает к плоскости из золота).

В эффекте Казимира для разных полей теоретически посчитана плотность энергии вакуума. Измерен эффект Казимира для электромагнитного вакуума. Измерение эффекта для других полей, спинорного, скалярного и др., требуют других граничных условий.

Об обобщении сил Казимира и ван-дер-Ваальса см. [4, 5]

Рассчитана также экзотическая сила Казимира, не зависящая от расстояния [6-8].

Литература

1. Nikolic, Hrvoje (2016). "Доказательство того, что сила Казимира не возникает из энергии вакуума". Письма по физике В. **761**: 197-202. [arXiv:1605.04143](#). [Bibcode:2016PhLB..761..197N](#). [doi:10.1016/j.physletb.2016.08.036](#). [S2CID 119265677](#).
2. Nikolic, Hrvoje (2017). "Энергия нулевой точки физическая? Игрушечная модель эффекта Казимира". Анналы физики. **383**: 181-195. [arXiv:1702.03291](#). [Bibcode:2017AnPhy.383..181N](#). [doi:10.1016/j.aop.2017.05.013](#). [S2CID 118883930](#).
3. N. Munday, Federico Capasso, V. Adrian Parsegian. Measured long-range repulsive Casimir-Lifshitz forces. Nature **457**, 170-173 (2009)
4. Дзялошинский, Т.Е.; Лифшиц, Е. М.; Питаевский, Лев П. (1961). "Общая теория сил ван-дер-Ваальса". Успехи советской физики. **4** (2): 153. [Bibcode:1961SvPhU...4..153D](#). [doi:10.1070/PU1961v004n02ABEH003330](#).
5. Интравайя, Франческо; Бегунин, Райан (28 декабря 2012 г.). "Эффект Казимира как сумма по модам в диссипативных системах". Физический обзор А. **86** (6): 062517. [arXiv:1209.6072](#). [Bibcode:2012PhRvA..86f2517I](#). [doi:10.1103/PhysRevA.86.062517](#). [ISSN 1050-2947](#). [S2CID 119211980](#)
6. Лу, Т.; Ван, Минганг; Нг, К. Ю.; Николич, М.; Чан, К. Т.; Родригес, Алехандро; Чан, Х. Б.; и др. (9 января 2017 г.). "Измерение немонотонных сил Казимира между кремниевыми наноструктурами". Фотоника природы. **11** (2): 97-101. [arXiv:1701.02351](#). [Bibcode:2017NaPho..11...97T](#). [doi:10.1038/nphoton.2016.254](#). [S2CID 119327017](#).
7. Ван, Минганг; Тан Л.; Нг, К.Ю.; Мессина, Риккардо; Гизал, Брахим; Кросс, Дж. А.; Антецца, Мауро; Чан, К. Т.; Чан, Х. Б.; и др. (26 января 2021 г.). "Сильная геометрическая зависимость силы Казимира между взаимопроникающими прямоугольными решетками". Nature Communications. **12** (1): 600. [arXiv:2009.02187](#). [Bibcode:2021NatCo..12..600W](#). [doi: 10.1038 / s41467-021-20891-4](#). [PMC 7838308](#). [PMID 33500401](#).
8. Кеннет, О.; Клих, И.; Манн, А.; Ревзен, М. (2002). "Отталкивающие силы Казимира". Письма о физическом обзоре. **89** (3): 033001. [arXiv:quant-ph/0202114](#). [Bibcode:2002PhRvL..89c3001K](#). [doi:10.1103/PhysRevLett.89.033001](#). [PMID 12144387](#). [S2CID 20903628](#).

ВВЕДЕНИЕ. ПОЛЯРИЗАЦИЯ ВАКУУМА

Вакуум в квантовой теории поля определяется как состояние с наименьшей энергией, состояние без частиц, в котором, однако, присутствуют нулевые моды поля. Этому состоянию ставится в соответствии циклический вектор в гильбертовом пространстве, уничтожаемый оператором числа частиц.

На языке теории меры поля в функциональных пространствах вакуума определяется как класс эквивалентности единиц по данной мере. При этом возможно существование различных вакуумов, которым ставятся в соответствие различные измеримые функции, являющиеся классами эквивалентности единицы по неэквивалентным мерам.

Для локального поля не существует вектора состояния, подействовав на который каким-либо полевым оператором, можно было бы получить нуль. Обязательное присутствие нулевых мод дает бесконечные значения физических величин, характеризующих вакуумное состояние, например, плотность энергии, и приводит к различным эффектам при взаимодействии с внешними полями. Если при включении внешнего поля возникают величины, зависящие от этого поля и характеризующие вакуум, причем не исчезающие при выключении поля, то явление трактуется как рождение частиц из вакуума. Если данные величины при выключении поля обращаются в нуль, явление называется поляризацией вакуума, аналогично ситуации для твердого тела. Например, при поляризации электромагнитного вакуума электрическим полем виртуальные электро-позитивные пары разделяются, образуя диполь; если источником электрического поля является заряженная частица, она одевается виртуальной позитронной шубой, при этом возникает меньший эффективный заряд.

Поляризация вакуума может быть вызвана введением граничных условий – так называемый эффект Казимира, [1], выражающийся в появлении ненулевого тензора энергии импульса поля. Задача квантовой теории поля с граничными условиями во многих случаях решаются проще, чем соответствующие задачи с электромагнитным или гравитационным внешними полями. Поскольку граничные условия моделируют

внешние поля, задачи для ограниченных пространств позволяют решать некоторые принципиальные проблемы. Подобные задачи решаются в теории элементарных частиц, привлекаются для построения так называемой модели «мешка МТИ», [2], где адрон рассматривается как область с кварк-глюонным полем, причем удержание кварков обеспечивается нулевыми граничными условиями для тока. Кроме того, задачи о вакууме в ограниченном пространстве имеют самостоятельное значение.

Между двумя незаряженными проводящими пластинами в вакууме действует сила притяжения /сила Казимира/:

$$F = -S\pi^2/240a^4 \quad (1)$$

где S - площадь пластин, a - расстояние между ними.

Эффект объясняется поляризацией вакуума электромагнитного поля вследствие наличия граничных условий, действием нулевых колебаний электромагнитного поля.

Для систем с конечным числом степеней свободы нулевые колебания ответственны, например, за незатвердевание He^4 при температуре, стремящийся к нулю, для систем с бесконечным числом степеней свободы нулевые колебания, как это уже отмечалось, дают бесконечный вклад в значения физических величин. Обычно этот вклад отбрасывается, поскольку энергия определена с точностью до адаптивной постоянной. Но при переходе к внешнему гравитационному полю, в частности, необходимо знать абсолютные значения тензора энергии-импульса. В пространстве Минковского вакуум – это состояние, инвариантное относительно группы преобразований Пуанкаре, что дает конечный тензор энергии-импульса вакуума, равный нулю, но граничные условия нарушают симметрию, поэтому пренебрегать вакуумным вкладом нельзя. В этом плане эффект Казимира является следствием изменения спектра нулевых колебаний под воздействием граничных условий в сравнении с неограниченным пространством.

Задачи типа эффекта Казимира приобретают особую важность в моделях эволюции Вселенной без сингулярного состояния, а также в вопросах о квантовании гравитационного поля.

1.

Эффекты, связанные с поляризацией вакуума, подробно изложены в книге А.А. Гриба, С.Г. Мамаева, В.М. Мостапаненко, [3], в ней рассматриваются, в частности, способы получения ненулевых вакуумных средних (регуляризации) тензора энергии-импульса различных полей, анализируется зависимость казимировской энергии от геометрических и топологических характеристик областей пространства.

Плотность энергии вакуума электромагнитного поля между двумя незаряженными проводящими пластинами отрицательна, то есть система стремится сжаться, см. формулу (1). В связи с этим было высказано предположение, что элементарные частицы с зарядом можно рассматривать в виде сфер, где кулоновское отталкивание компенсируется силой Казимира. Но для сферы, как уже отмечалось, численный анализ дает значение энергии больше нуля:

$$\varepsilon_c = +0,09235/2r \quad (2)$$

Здесь r - радиус сферы. Анализ показал, что различие в знаке плотности энергии для разных областей пространства не является чисто топологическим эффектом. Например, для прямоугольного резонатора $a \times b \times c$ область положительных значений энергии определяется неравенствами

$$0,408 < c/a < 3,48 \quad (3)$$

Для этого, чтобы энергия стала отрицательной, можно лишь деформировать резонатор, не меняя топологии.

Разберем некоторые примеры регуляризации вакуумных средних для различных областей.

Обозначим вектор вакуумного состояния для неограниченного пространства $|\tilde{0}\rangle$:

$$\langle \tilde{0} | a_{\alpha}^{-} | \tilde{0} \rangle = 0, \quad \forall \alpha \quad (4)$$

где a_{α}^{-} - оператор уничтожения квантованного поля ϕ , индекс α может быть дискретным и непрерывным.

Квантованное поле запишем в виде

$$\phi(x) = \sum_{\alpha} (\varphi_{\alpha}^{-} a_{\alpha}^{-} + \varphi_{\alpha}^{+} a_{\alpha}^{+}) \quad (5)$$

Операторы рождения-уничтожения $a_{\alpha}^{\pm}$ удовлетворяют обычным коммутационным или антикоммутационным соотношениям соответственно:

$$\left[a_{\alpha}^{\pm}, a_{\beta}^{\pm} \right]_{\mp} = 0; \left[a_{\alpha}^{-}, a_{\beta}^{+} \right] = \delta_{\alpha\beta} \quad (6)$$

Изменения вакуумных средних тензора энергии-импульса, вызванные наличием границ, вычисляются следующим образом:

$$\langle T_{ik} \rangle_c = \langle \tilde{0} | T_{ik} | \tilde{0} \rangle - \langle 0 | T_{ik} | 0 \rangle \quad (7)$$

Здесь $|0\rangle$ - вектор вакуумного состояния в ограниченной области, индекс α в этом случае дискретный.

Часть I

Рассмотрим пример вещественного безмассового скалярного поля в одномерном пространстве $[0, a]$ с граничными условиями

$$\varphi(t, 0) = \varphi(t, a) = 0 \quad (8)$$

Из лагранжиана поля

$$L = \frac{1}{2} \partial_{\mu} \varphi \cdot \partial^{\mu} \varphi \quad (9)$$

Стандартным способом находится T ; его диагональные компоненты имеют вид

$$T_{00} = T_{11} = \frac{1}{2} \left[(\partial_t \varphi)^2 + (\partial_x \varphi)^2 \right] \quad (10)$$

Уравнение Клейна-Гордона-Фока

$$\partial_t^2 \varphi - \partial_x^2 \varphi = 0 \quad (11)$$

имеет набор решений

$$\varphi_n^{\pm} = \frac{1}{\sqrt{a\omega_n}} e^{\pm i\omega_n t} \cdot \sin k_n x, \quad (12)$$

$$\omega_n = k_n = \pi \cdot n/a, n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Подставляя эти решения в (10) и усредняя вакуум $|0\rangle$, получим выражение:

$$\langle 0 | T_{00} | 0 \rangle = \langle 0 | T_{11} | 0 \rangle = \frac{1}{2a} \sum_{n=1}^{\infty} \omega_n \quad (13)$$

Для безграничной струны набор решений уравнения (11)

$$\varphi_{\omega}^{\pm} = \frac{1}{\sqrt{4\pi\omega}} \cdot e^{\pm i\omega(t-x)} \quad (14)$$

где ω – непрерывна, и вакуумное среднее

$$\langle \tilde{0} | T_{00} | \tilde{0} \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} \omega d\omega \quad (15)$$

Для регуляризации вакуумных средних вводят обрезавшую функцию $f_{\varepsilon}(\omega)$; при $\omega \rightarrow \infty$ $f_{\varepsilon} \rightarrow 0$ достаточно быстро, чтобы интеграл (15) и сумма (13) сходились, причем для всех ω $\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} f_{\varepsilon} = 1$. Для суммирования ряда используется формула Абеля-Плана, [4,5]:

$$\sum_{n=0}^{\infty} F(n) = \int_0^{\infty} F(x) dx + \frac{1}{2} F(0) + i \int_0^{\infty} \frac{F(it) - F^*(it)}{e^{2\pi t} - 1} dt \quad (16)$$

которая справедлива для аналитических в правой полуплоскости функций $F(z)$, возрастающих на бесконечности медленнее, чем $\exp(2\pi|z|)$; $F(z)$ может иметь простые полюсы или точки ветвления на мнимой оси, которые нужно обходить справа.

Положив $F(n) = \omega_n \cdot f_{\varepsilon}$, получим, что первый интеграл в (16) при $\varepsilon \rightarrow 0$ совпадает с (15) и поэтому при регуляризации исчезает. Второй интеграл сходится и без обрезавшей функции. Итак,

$$\text{reg} \sum_{n=0}^{\infty} F(n) = \frac{1}{2} F(0) + i \int_0^{\infty} \frac{F(it) - F^*(it)}{e^{2\pi t} - 1} dt \quad (17)$$

и регуляризованные компоненты тензора энергии-импульса:

$$\langle T_{00} \rangle_c = \langle T_{11} \rangle_c = \text{reg} \frac{1}{2a} \sum_{n=1}^{\infty} \omega_n = -\frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\omega d\omega}{e^{2a\omega} - 1} = -\frac{\pi}{24a^2} \quad (18)$$

Плотность энергии и полная энергия отрицательны:

$$\varepsilon_c = a \langle T_{00} \rangle_c = -\pi/24a \quad (19)$$

В трехмерной области тензор энергии-импульса после усреднения и регуляризации имеет вид $\chi^3 \in (0, a); \chi_\chi - \infty < \chi_1, \chi_2 < \infty /:$

$$\langle T_{ik} \rangle_c = \frac{\pi^2}{1440a^4} \begin{pmatrix} -1 & & & \\ & 1 & & \\ & & 1 & \\ & & & -3 \end{pmatrix} \quad (20)$$

Для спинорного поля формула (15) должна быть модифицирована:

$$\text{reg} \sum_{n=0}^{\infty} F(n + \frac{1}{2}) = -i \int_0^{\infty} \frac{F(it) - F^*(it)}{e^{2\pi t} - 1} dt \quad (21)$$

Для определения компонент тензора энергии-импульса ищутся решения уравнения Дирака спинорного поля ψ :

$$(i\gamma^n \partial_n - m)\Psi(\chi) = 0 \quad (22)$$

где γ^n - матрица Дирака, [6]; условия невытекания тока J^k через границу S

$$n_k J^k|_s = n_k \bar{\Psi} \gamma^k \Psi|_s = 0$$

$$(23)$$

(n_k - вектор внутренней нормали к границе) обеспечиваются уравнением

$$i\gamma^k n_k \Psi|_s = \Psi|_s$$

$$(24)$$

Безмассовое спинорное поле, ограниченное бесконечными плоскостями $\chi^3 = 0, \chi^3 = a$ имеет вакуумное среднее

$$\langle T_{ik} \rangle_c = \frac{7\pi^2}{2880a^4} \begin{pmatrix} -1 & & & \\ & 1 & & \\ & & 1 & \\ & & & -3 \end{pmatrix} \quad (25)$$

Для электромагнитного поля (при обращении в нуль на границе тангенциальных компонент электрического поля) будет другой коэффициент:

$$\frac{\pi^2}{720a^4} \quad (26)$$

В цилиндрической области объема $V = Sa$ вакуумная энергия электромагнитного поля (после регуляризации) имеет значение

$$\varepsilon_c = Sa \langle T_{00} \rangle_c = -\pi^2 S/720a^3 \quad (27)$$

Приведенному методу регуляризации эквивалентен метод обобщенной дзета-функции. Криве И.В., [7], использовал метод для вычисления температурных поправок к казимировской энергии различных полей, запертых в конечных областях пространства.

Конечность температур T означает в математическом формализме задание периодических (антипериодических для фермионов) с периодом $\beta = T^{-1}$ граничных условий по мнимому времени; условия запертости тока обеспечиваются нулевыми граничными условиями для тока типа (23).

Плотность энергии вакуума представляется в виде эффективного потенциала

$$V_{\text{eff}} = V^{-1}(\zeta'(0) + \zeta(0) \ln \mu^2) \quad (28)$$

Здесь $V = \beta L$, L - объем пространства, одномерного в данном примере, величина μ определяется из условия нормировки, ζ - обобщенная дзета-функция

$$\zeta(S) = \sum_{\{N\}} \lambda_{\{N\}}^{-S} \quad (29)$$

выраженная через собственные значения $\lambda_{\{N\}}$ оператора

$$\hat{K} = -(\partial_\tau^2 - \partial_\chi^2 + M^2)I \quad (30)$$

(M – масса фермиона, I – единичная матрица 2×2). При нулевых граничных условиях

$$\lambda_{mn} = \left[\frac{\pi}{\beta} (2n+1) \right]^2 + \left[\frac{\pi}{\beta_k} (2m+1) \right]^2 + M^2 \quad (31)$$

($\beta_k = 2L$; $m = 0, 1, 2, \dots$; n - целое). В случае безмассового фермионного поля нужно доопределить $\zeta(S)$ при $\text{Re } S \leq 1/2$. Используется преобразование Меллина:

$$\zeta(S) = \frac{1}{\Gamma(S)} \left(\frac{2\pi}{\beta} \right)^{-2S} \int_0^\infty dt \cdot t^{S-1} \sum_{n=-\infty}^\infty e^{-(n+1/2)^2 t} \cdot \sum_{m=0}^\infty e^{-2^2(m+1/2)^2 t} \quad (32)$$

Здесь $\alpha \equiv \beta/\beta_k$, $\Gamma(S)$ - гамма-функция. Первая сумма в (32) представляет из себя тэта-функцию Якоби

$$\theta_2(0 | i\pi^{-1}t) = \sqrt{\pi/t} \cdot \theta_4(0 | i\pi A) \quad (33)$$

С учетом этого после интегрирования для $\zeta(S)$ получается выражение

$$\begin{aligned} \zeta(S) = & \frac{\sqrt{\pi}}{\Gamma(S)} \left(\frac{2\pi}{\beta} \right)^{-2S} \left\{ \Gamma(S - \frac{1}{2}) \zeta_R(2S-1) \left[(\alpha/2)^{1-2S} - \alpha^{1-2S} \right] + \right. \\ & \left. + 4 \left(\frac{\pi}{\alpha} \right)^{S-\frac{1}{2}} \sum (-1)^n \left(\frac{n}{m} \right)^{S-\frac{1}{2}} \cdot \left[2^{\frac{S-1}{2}} \frac{1}{2} K_{S-\frac{1}{2}}(\pi \alpha mn) - K_{S-\frac{1}{2}}(2\pi \alpha mn) \right] \right\} \end{aligned} \quad (34)$$

где $\zeta_k(S)$ - дзета-функция Римана, $K_\nu(n)$ - функция Макдональда. Для полуцелого индекса функции Макдональда выражаются через экспоненты и находятся значения $\zeta(s)$:

$$\begin{aligned} \zeta(0) &= 0 \\ \zeta'(0) &= -\frac{\pi\alpha}{12} - 2 \sum_{m=1}^\infty \ln \frac{1+e^{-\pi\alpha m}}{1+e^{-2\pi\alpha m}} \end{aligned} \quad (35)$$

Тогда эффективный потенциал

$$V_{eff} = -\frac{1}{L} \text{reg} \sum_{m=0}^\infty \omega_m - \frac{2}{\beta L} \cdot \sum_{m=0}^\infty \ln(1 + e^{-\beta\omega_m}) \quad (36)$$

При низких температурах $TL \ll 1$

$$V_{eff} \approx -\frac{\pi}{24L^2} \left\{ 1 + \frac{48}{\pi} TL \cdot e^{-\pi/2TL} \right\} \quad (37)$$

Введение массы поля сильно усложняет расчеты; потенциал массивного поля получен в пределе $T = 0$:

$$V_{eff} = -\frac{2}{\pi\beta_k} \int_0^\infty dk \ln \left\{ 1 + e^{-\beta_k \sqrt{k^2 + M^2}} \right\} \quad (38)$$

Аналогичное выражение для скалярного поля имеет вид [8]:

$$V_{eff}^{(s)} = -\frac{M}{4L} + \frac{1}{\pi\beta_k} \int_0^\infty dk \ln \left\{ 1 - e^{-\beta_k \sqrt{k^2 + M^2}} \right\} \quad (39)$$

Видно, что в приближении $ML \ll 1$ масса фермионов вносит экспоненциальный вклад по малости

$$V_{eff} = -\sqrt{\frac{M}{4\pi L^3}} \cdot e^{-2ML}$$

в отличие от скалярного поля.

В [3] приводятся расчеты регуляризованных вакуумных средних для топологически различных областей, в частности, на примере безмассового скалярного поля.

В двумерной области (прямоугольной) $\{0 \leq \chi \leq a; 0 \leq y \leq b\}$ с нулевыми граничными условиями усредненный тензор энергии-импульса также зависит от дзета-функции Макдональда; в частности, при $a = b$ тензор выглядит следующим образом:

$$\langle T_i^k \rangle_c = \frac{0,0411}{a^3} \begin{pmatrix} 1 & & \\ & -1/2 & \\ & & -1/2 \end{pmatrix} \quad (40)$$

При изменении соотношения сторон b/a , то есть при непрерывной деформации области, не меняющей топологию, ε_c меняет знак; ε_c положительна в интервале

$$0,274 \lesssim b/a \lesssim 0,365 \quad (41)$$

и отрицательна вне его, при вытягивании прямоугольника в бесконечную полосу $0 < \chi < a$ средняя плотность энергии стремится к величине

$$\bar{\varepsilon} \rightarrow -\zeta(3)/16\pi a^3 \quad (42)$$

При изменении топологии, например, при задании периодических граничных условий по χ и y , что топологически эквивалентно поверхности тора, энергия становится отрицательной при всех значениях отношения b/a , например, при $a = b$

$$\varepsilon_c = -0,719/a \quad (43)$$

Значения регуляризованного тензора энергии-импульса непрерывным образом зависят от характерных размеров области. Из анализа свойства оператора Лапласа следует, что приведенные результаты качественно применимы к областям любой формы: при компактной форме области энергии имеет положительный знак и при достаточно большом отношении куба диаметра к объему области отрицательна.

В [3] также предложены пути устранения различного рода расходимостей, возникающих до регуляризации вследствие топологических причин; например, расходимости, пропорциональные площади поверхности границы и устраняющиеся добавкой в лагранжиан соответствующих контрчленов, что адекватно перенормировке поверхностного натяжения; расходимости, возникающие в трехмерных прямоугольных областях, пропорциональные длине ребер параллелепипеда и устраняющиеся сглаживанием ребер и т.д.

Нестационарные граничные условия в подобных задачах рассматривались в [3, 9]. В работе [9] показано, что для скалярного безмассового поля в пространстве Минковского $F_{каз.}$ может быть представлена разложением в ряд по степеням скорости движения границы v :

$$F_{каз.} = -\frac{\pi^2}{480a^4} \left(1 + \frac{8}{3} \cdot \frac{v^2}{c^2} + \dots\right) \quad (44)$$

В работе с помощью принципа зеркального отражения построена функция Грина для скалярного поля.

Часть II

Одной из наиболее интересных и важных с точки зрения проблемы эволюции Вселенной, а также квантовой теории гравитации является задача поляризации вакуума в гравитационном поле.

В общей теории относительности наиболее важной величиной, характеризующей материю, является тензор энергии-импульса, играющий роль источника гравитационного поля в уравнения Эйнштейна

$$G_{ik} = R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R = -8\pi G T_{ik} \quad (45)$$

Для учета обратного влияния квантового поля на метрику (в пренебрежении квантовыми эффектами самой гравитации) в правую часть (45) можно подставить среднее от тензора энергии-импульса данного поля по соответствующему квантовому состоянию:

$$G_{ik} = -8\pi G \langle \psi | T_{ik} | \psi \rangle \quad (46)$$

В настоящее время делаются попытки создания космологических моделей, свободных от начального сингулярного состояния Вселенной, в котором значения физических величин бесконечны. Такие модели оправданы, если нарушается принцип энергодоминантности.

Тензор энергии-импульса удовлетворяет условию энергодоминантности, если выполняются неравенства

$$T_{ik} U^i U^k \geq 0 \quad (47)$$

$$S_i S^i \geq 0 \quad (48)$$

где $S_i = T_{ik} U^k$. Если U^i - 4-скорость наблюдателя, то условие (47) называется слабым энергетическим условием и означает неотрицательность в системе отсчета наблюдателя плотности энергии T_{00} , а неравенство (48) – непространственноподобность локального потока энергии. Эти условия эквивалентны неравенству

$$T_{00} \geq |T_{ik}| \quad (49)$$

для любого локального ортонормированного базиса.

Для тензоров вида

$$T_{ik} = \begin{pmatrix} \varepsilon & & & \\ & p_1 & & \\ & & p_2 & \\ & & & p_3 \end{pmatrix} \quad (50)$$

условие (49) выполняется при

$$\varepsilon \geq 0; |p_\alpha| \leq \varepsilon \quad (51)$$

Для классического вещества, как правило, выполняется так называемое сильное энергетическое условие:

$$T_{ik} U^i U^k \geq \frac{1}{2} T^i_i \quad (52)$$

Или

$$\varepsilon + \sum_{\alpha=1}^3 P_\alpha \geq 0; \varepsilon + P_\alpha \geq 0 \quad (53)$$

В квантовой теории поля поляризация вакуума часть приводит к нарушению условия энергодоминантности, это означает, что $\langle T_{ik} \rangle_c$ нельзя рассматривать с классической точки зрения. Условие энергодоминантности выполняется лишь для обычных состояний материи. Предполагается, что, например, в начальном состоянии Вселенной это условие может быть нарушено. Учет вакуумных эффектов при экстремальных, порядка 10^{94} г/см^3 , плотностях позволяет плавный переход от сжатия к расширению. Когда выполняется $p + \varepsilon = 0$, происходит переход на деситтеровскую стадию эволюции, скорость сжатия становится равной нулю, затем снова начинается расширение. Предполагается, что это служит дополнительным аргументом в пользу модели осциллирующей Вселенной, которая, в свою очередь, может объяснять наблюдаемую изотропность мира.

Для Вселенной, заполненной обычным веществом, не может быть вечных осцилляций, поскольку в этом случае непременно возрастают энтропия и масса, что говорит о выделенном начальном состоянии с минимальными массой и энтропией. Но если на определённой стадии сжатие становится деситтеровским, то, как показано Марковым, [10], при наличии верхней границы для плотности 10^{94} г/см^3 (например, для одного планкеона), существует возможность бесконечных осцилляций, при этом на деситтеровской фазе

характеристики Вселенной оказываются либо одними и теми же, либо меняются за счёт случайных квантовых флуктуаций.

Существуют попытки предотвратить коллапс в сжимающейся фридмановской модели за счёт рождения частиц, когда нарушается условие энергодоминантности.

В подобном плане выполнена и работа [11], в которой была найдена однородная анизотропная несингулярная метрика пространства-времени, которая может быть создана поляризацией вакуума квантовых полей материи самосогласованным гравитационным полем. Было проведено исследование свойств вакуума массивного скалярного поля для случая найденной метрики. Чтобы учесть вклад квантовых эффектов рождения частиц и поляризации вакуума гравитационным полем, в тензор энергии-импульса материи в однопетлевом приближении достаточно добавить в правую часть уравнений Эйнштейна $\langle 0|T_i^k|0\rangle_c \equiv \langle T_{ik}^k \rangle$ всех квантовых полей. Если число элементарных полей $N \gg 1$, то в главном приближении по $1/N$ можно не учитывать гравитационный вклад.

Соответствующая система уравнений Эйнштейна имеет вид

$$R_i^k - \frac{1}{2}\delta_i^k R = 8\pi G(T_{i(0)}^k + \langle T_i^k \rangle) \quad (54)$$

Где $T_{i(0)}^k$ – тензор энергии-импульса классической материи.

При $T_{i(0)}^k = 0$ существенным становится член $\langle T_i^k \rangle$, то есть вклад поляризации вакуума или рождения частиц. В метрике

$$dS^2 = a^2(dt^2 - ch^2td\chi^2 - d\theta^2 - \sin^2\theta d\varphi^2) \quad (55)$$

выражение для следа T_i^k

$$\langle T \rangle = -\frac{1}{2880\pi^2} \left[k_1 C_{ik\ell m} \cdot C^{ik\ell m} + k_2 (R_{ik} R^{ik} - \frac{1}{3} R^2) + k_3 R_{ji}^{ji} \right] \quad (56)$$

было исследовано в случае массивного скалярного поля. (Здесь k_1, k_2, k_3 – величины, зависящие от вида квантового поля, $C_{ik\ell m}$ – вектор Вейля).

Скалярное поле описывается уравнением

$$(\bar{V}_i \bar{V}^i + m^2 - R/6)\Phi = 0 \quad (57)$$

Через функции Грина

$$G(\chi_1^i, \chi_2^i) = \sum_{\lambda} \lambda^{-1} \Phi_{\lambda}(\chi_1^i) \Phi_{\lambda}^*(\chi_2^i) \quad (58)$$

выражается среднее по вакууму $\langle \Phi^2 \rangle$, регуляризованное общеквариантным методом:

$$\langle \Phi^2 \rangle_{reg} = \lim_{\chi_1^i \rightarrow \chi_2^i} \left\{ G(\chi_1^i, \chi_2^i) - \frac{1}{8\pi} \left[\frac{1}{\sigma} - \frac{R_{ik}}{6} \cdot \frac{\sigma_{,i} \sigma_{,k}}{\sigma_{,\ell} \cdot \sigma^{,\ell}} + m^2 \left(\frac{1}{2} \ln \left| \frac{m^2 \sigma}{2} \right| + \gamma - \frac{1}{2} \right) \right] \right\} \quad (59)$$

здесь Φ_{λ} – регулярные решения уравнения

$$(\bar{V}^i \bar{V}_i + m^2 - R/6)\Phi_{\lambda} = \lambda \Phi_{\lambda} \quad (60)$$

при нормировке

$$\int d^4 \chi \sqrt{g} \Phi_{\lambda} \Phi_{\lambda'}^* = \delta_{\lambda\lambda'} \quad (61)$$

γ – постоянная Эйлера, $\sigma(\chi_1^i, \chi_2^i) = \frac{1}{2} dS^2(\chi_1^i, \chi_2^i)$.

В конечном итоге след выражается через $\langle \Phi^2 \rangle_{reg}$:

$$\langle T \rangle = m^2 \langle \Phi^2 \rangle_{reg} - \frac{1}{720\pi^2 a^4} \quad (62)$$

При $ma \approx 0,6$ след меняет знак, становясь положительным, поэтому массивное скалярное поле поддерживает устойчивость метрики, при $ma > 0,6$ метрика оказывается неустойчивой.

В более поздней работе [12] с аналогичной постановкой задачи показано, что модель де Ситтера устойчива относительно возмущений, вносимых вакуумными поправками, для всех остальных изотропных моделей учёт поляризации вакуума приближает наступление сингулярности.

В книге К.П.Станюковича, В.Н.Мельникова [13] указывается на некоторые явления, возможные в несингулярной модели Вселенной, когда (например, при начале эволюции из одного планкеона) материя рождается из гравитационного вакуума – совокупности планкеонов, возбуждаемых внешних метagalактическим фоном. Нарушение энергодоминантности в этом случае может привести к тому, что скорость звука в вакууме будет значительно больше скорости света. При несжимаемом гравитационном поле скорость звука была бы бесконечна; вследствие того, что планкеоны взаимодействуют с внешним полем Метагалактики, планкеонную среду можно считать очень слабо сжимаемой, и для настоящего времени скорость будет порядка 10^{55} см/с, и звук будет проходить всю Метагалактику за 10^{-27} с. Это должно, по мнению авторов, объяснять раннюю полную изотропизацию и однородность Вселенной.

Друммонд и Хаммер, [14], также обнаружили, что квантовые поправки в однопетлевой вакуумной поляризации на искривлённом основном многообразии вызывают приливные гравитационные силы, которые изменяют характеристики распространения фотона. В некоторых случаях фотон движется со скоростью, большей единицы.

При поляризации вакуума фотон часть времени существует, как виртуальная электрон-позитронная пара. Это превращение определяет размер фотона порядка комптоновской длины волны электрона. В этом плане кривизна гравитационного поля может повлиять на движение фотона.

Рассматривается эффективное действие в виде

$$W = W_0 + W_1 \quad (63)$$

где

$$W_0 = -\frac{1}{4} \int d^4 \chi \sqrt{-9} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} \quad (64)$$

$$W_1 = \sum \frac{1}{n!} \int \prod_{i=1}^n d^4 \chi_i A_{\mu_j}(\chi_i) G^{\mu_1 \dots \mu_n}(\chi_1 \dots \chi_n) \quad (65)$$

где $G^{\mu_1 \dots \mu_n}$ – сумма по несократимым фейнмановским диаграммам. Рассматривается только квадратичный вклад по $A_\mu(\chi)$, поскольку не учитывалось фотон-фотонное взаимодействие, то есть изучалось распространение индивидуальных фотонов.

В W_1 оставлялся только наинизший по энергии член при разложении спектра $\lambda_e^2 = m^{-2}$, W_1 выбиралось в виде

$$W_1 = \frac{1}{m^2} \int d^4 \chi \sqrt{-g} \left(a R F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + b R_{\mu\nu} \cdot F^{\mu\sigma} F_\sigma^\nu + c R_{\mu\nu\sigma\tau} F^{\mu\nu} F^{\sigma\tau} + d D_\mu F^{\mu\nu} \cdot D_\sigma F_\nu^\sigma \right) \quad (66)$$

Здесь принята сигнатура $/+ - - -/$; a, b, c, d – величины порядка $O(e^2)$.

Первые три члена связаны с кривизной, четвёртый остаётся и в плоском пространстве и ответственен за эффекты, связанные с выходом из массовой оболочки при поляризации вакуума.

Уравнение электромагнитного поля с учётом гравитации получается из вариационного принципа:

$$\frac{\partial W}{\partial A_\mu(\chi)} = 0 \quad (67)$$

или

$$D_\mu F^{\mu\nu} + \frac{\delta W_1}{\delta A_j(\chi)} = 0 \quad (68)$$

откуда получается уравнение

$$D_\mu F^{\mu\nu} + \frac{1}{m_e^2} D_\mu \left[4a R F^{\mu\nu} + 2b \left(R_\sigma^\mu F^{\sigma\nu} - R_\sigma^0 F^{\sigma\mu} \right) - 4c R_{\sigma\tau}^{\mu\nu} F^{\sigma\tau} \right] = 0 \quad (69)$$

Величины a, b, c имеют значения

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = -\frac{a}{720\pi} \begin{bmatrix} 5 \\ -26 \\ 2 \end{bmatrix} \quad (70)$$

Если выполняется эйнштейновское уравнение вакуума

$$R_{\mu\nu} = 0 \quad (71)$$

то

$$D_\mu F^{\mu\nu} + \xi^2 R_{\sigma\tau}^{\mu\nu} D_\mu F^{\sigma\tau} = 0 \quad (72)$$

где $\xi^2 = \alpha/90\pi m_c^2$.

Уравнение распространения фотона выводится в приближении плоских волн геометрической оптики. Предполагается, что это приближение точно описывает основные характеристики распространения и, следовательно, причинную структуру решения.

$F_{\mu\nu}$ записывается в виде

$$F_{\mu\nu} = f_{\mu\nu} \cdot \ell^{i\theta} \quad (73)$$

Здесь $f_{\mu\nu}$ – медленно меняющаяся функция по сравнению с θ .

Далее игнорируются все производные, кроме

$$R_\mu = D_\mu \theta \quad (74)$$

Из уравнения Максвелла

$$D_\rho F_{\mu\nu} + D_\mu F_{\nu\rho} + D_\nu F_{\rho\mu} = 0 \quad (75)$$

получается выражение

$$R_\rho f_{\mu\nu} + R_\mu f_{\nu\rho} + R_\nu f_{\rho\mu} = 0 \quad (76)$$

Записывается метрический тензор

$$g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu} \quad (77)$$

где $h_{\mu\nu}$ – бесследовая симметричная матрица, например,

$$h_{11} = -h_{22} = b = W \cos w(\chi^0 - \chi^3), h_{12} = h_{21} = 0.$$

Компоненты тензора кривизны нулевые, кроме

$$R_{aibj} = -\frac{1}{2} \partial_a \partial_b h_{ij} = (-1)^{a+b} \frac{1}{2} w^2 h_{ij} \quad (78)$$

где $a, b = 0, 3$ и $i, j = 1, 2$

Из анализа уравнений (74) и (76) вытекает, что существует фотон, бегущий против гравитационной волны со скоростью

$$\frac{R_0}{R_3} = 1 + 2\xi^2 w^2 b \quad (79)$$

Скорость волны больше единицы при $b > 0$ и меньше при $b < 0$ в каждой точке пространства.

Аналогичный результат получается для шварцшильдовского основного состояния, в этом случае фотоны с радикальной поляризацией двигаются со скоростью, большей единицы. Для робертсон-уолкерского основного состояния

$$\frac{R_0}{|R|} = 1 + 22\xi^2 \pi G(\rho + p) \quad (80)$$

где ρ – плотность энергии, p – импульс. Скорость фотонов получается больше единицы при всех физически приемлемых давлениях.

В работе [15] исследовался регуляризованный тензор энергии-импульса массивного скалярного поля в замкнутых космологических моделях. В статическом мире Фридмана, в частности, исследована область значений ta (a – радиус мира Фридмана), где $p_{vac} > \rho_{vac}$ и нарушается теорема о сингулярности.

Записывается лагранжиан нейтрального массивного скалярного поля во внешнем гравитационном с конформной связью:

$$L_m = \frac{1}{2} \left[g^{\alpha\beta} \varphi_{,\alpha} \varphi_{1\beta} - \left(\mu^2 + \frac{R}{6} \right) \varphi^2 \right] \quad (81)$$

Для статической замкнутой модели Фридмана:

$$dS^2 = a^2 d\eta^2 - a^2 d\chi^2 - a^2 \sin^2 \chi (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2) \quad (82)$$

где $a = \text{const}$, $\frac{R}{6} = -\frac{1}{a^2}$, $\sqrt{-^3g} = a^3 \sin^2 \chi \sin \theta$

Соответствующее уравнение движения скалярного поля:

$$\left(\square + \mu^2 - \frac{R}{6} \right) \varphi(\chi^\alpha) = 0 \quad (83)$$

Переход к квантовому полю осуществляется наложением соотношений коммутации, затем из лагранжиана (81) находится выражение для тензора энергии-импульса поля:

$$T_{\mu\nu} = \partial_\mu \varphi \cdot \partial_\nu \varphi - \frac{1}{2} \left[g_{\mu\nu} g^{\lambda\sigma} \cdot \partial_\chi \varphi \cdot \partial_\sigma \varphi - \mu^2 g_{\mu\nu} \varphi^2 + \frac{1}{3} (\bar{V}_\mu \partial_\nu - g_{\mu\nu} \cdot g^{\lambda\sigma} \bar{V}_\lambda \partial_\sigma - G_{\mu\nu}) \varphi^2 \right] \quad (84)$$

Через компоненты $T_{\mu\nu}$ определяется плотность энергии и давление вакуума

$$\begin{aligned} \rho_{vac} &= V^{-1}(t) \left\langle 0 \left| \int \sqrt{-^3g} d^3\chi \cdot T_0^0(\chi) \right| 0 \right\rangle \\ p_{vac} &= -V^{-1} \left\langle 0 \left| \int \sqrt{-^3g} d^3\chi \cdot \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 T_i^i(\chi) \right| 0 \right\rangle \end{aligned} \quad (85)$$

После перенормировки этих величин вычитанием вклада бесконечного пространства, с использованием формул (16), (17), получаются выражения

$$\begin{aligned} \bar{\rho}_{vac}(V) &= \frac{1}{2\pi^2 a^4} \int_r^\infty \frac{\chi^2 (\chi^2 - r^2)^{1/2} d\chi}{\ell^{2\pi\chi} - 1} \\ \bar{p}_{vac}(V) &= \frac{1}{6\pi^2 a^4} \int_r^\infty \frac{\chi^4 (\chi^2 - r^2)^{-1/2} d\chi}{\ell^{2\pi\chi} - 1} \end{aligned} \quad (86)$$

где $r = a\mu$.

После подстановки $Z^2 = \chi^2 - r^2$ оценивается выражение

$$3\bar{p}_{vac} - \bar{\rho}_{vac} = \frac{\mu^4}{2\pi} \frac{1}{r^2} \int_r^\infty \frac{\sqrt{z^2 + r^2} \cdot dz}{\ell^{2\pi\sqrt{z^2 + r^2}} - 1} \quad (87)$$

Численный анализ показывает, что при $r > 0,1$ давление превосходит энергию, далее, начиная с некоторых r давление снова меньше энергии и перестаёт нарушаться принцип энергодоминантности.

Скорость распространения возмущения в вакууме как сплошной среде (звук) определяется выражением

$$v_3^2 = \frac{dp}{d\rho} \quad (88)$$

При фиксированном r_0 в некотором интервале значений r скорость звука может быть больше единицы.

Как подчёркивается Зельдовичем, [16], для вакуума гравитационного поля плотность энергии не обязана быть больше давления. В [17] высказано предположение, поддерживаемое в настоящее время Адлером (см., например, обзор [18]), что плотность пространства, возможно, целиком описывается эффектами поляризации вакуума, подобна эффекту Казимира, и гравитация может рассматриваться как эффект спонтанного нарушения симметрии в квантовой теории поля.

В [15] указывается, что в деформированном вакууме изменяется скорость света. В космологической модели скорость света изменяется под действием гравитационного поля, поэтому возникает необходимость разделить эффекты, связанные с деформацией вакуума и гравитацией, то есть необходимость формулировки проблемы в духе эффекта Казимира, [19].

Вместо массы скалярного поля, фигурирующей в данной работе, можно взять член взаимодействия с другим константным скалярным полем.

Расчеты – аналогичны для массивного скалярного поля.

Литература

1. Cazimir H.B.Y., - Proc. Kon. Noderl. Akad. Wet., 1948, 51, 793.
2. Hazenfratz P., Kubi J. – Phys. Rep. C., 1978, 40, 75.
3. Гриб А.А., Мамаев С.Г., Мостепаненко В.М. Квантовые эффекты в интенсивных внешних полях. – М., «Атомиздат», 1980,
4. Евграфов М.А. Аналитические функции. – М., «Наука», 1968.
5. Мамаев С.Г., Мостепаненко В.М., Старобинский А.А., - ЖЭТФ, 1976, 14, 1577.
6. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Теоретическая физика. – М., «Наука», 1968, т. 4, ч. 1,
7. Криве И.В., - ТМФ, 1983, 54, 230.
8. Hays P., - Ann. Phys., N.Y., 1979, 121, 32.
9. Бордаг П., Петров Г., Робашик Д., - ЯФ, 1984, 39, 1315.
10. Марков М.А., - Письма в ЖЭТФ, 1982, 36, 214.
11. Кофман А.А., Сахин В., Старобинский А.А., - ЖЭТФ, 1983, 85, 1876.
12. Мамаев С.Г., Мостепаненко В.М., - Изв. Вузов, физ., 1983, вып. 8, 34.
13. Станюкович К.П., Мельников В.М. Гидродинамика, поля, константы в теории гравитации. – М., «Энергоиздат», 1983.
14. Drummond I.T., Hathrell S.J., - Phys. Rev. D., 1980, 22, 343.
15. Кречет В.Г., Лапчинский В.Г., Некрасов В.И., Шикин Г.Н., в сб. «Проблемы теории гравитации и элементарных частиц», М., «Энергоиздат», 1981, с.48.
16. Зельдович Я.Б., - УФН, 1981, 133, 479.
17. Сахаров А.Д., - ДАН СССР, 1967, 117, 70.
18. S.L. Adler, - Rev. Mod. Phys., 1982, 54, 729.
19. Ихлов Б.Л., Деп. ВИНТИ, 1984.
20. Deutseh D., Candelas P., Phys. Rev. D., 1979, 20, 3063.
21. Линтон Э. Сверхпроводимость.-М., «Мир», 1971.
22. Прудников А.П., Брычков Ю.А., Маричев С.И. Интегралы и ряды. Элементарные функции.-М., «Наука», 1981.
23. Янке Е., Эмде Ф., Леш Ф. Специальные функции.-М., «Наука», 1977.

НАРУШЕНИЕ ЭНЕРГОДОМИНАНТНОСТИ В ЭФФЕКТЕ КАЗИМИРА

Введение

Вакуум в квантовой теории поля определяется как основное состояние $|\tilde{0}\rangle$ с минимальной энергией, удовлетворяющее соотношению $\langle \tilde{0} | a_{\alpha}^{-} | \tilde{0} \rangle = 0$ для γ_{α} , где a_{α}^{-} - оператор уничтожения квантового поля φ ; индекс α может быть дискретным или непрерывным. Эффекты, связанные с поляризацией вакуума в ограниченном пространстве, подробно изложены в (1). В (2,3) впервые получены самосогласованные космологические решения уравнение Эйнштейна, обусловленные поляризацией вакуума безмассовых полей в изотропном пространстве-времени. В работах (4-7) был предложен механизм индуцирования гравитации квантовыми процессами материальных полей, а в (8) рассмотрено индуцирование «сильной» гравитации.

Задача о поляризации вакуума с учетом температурных флуктуаций решена (12), но там не определены пространственные компоненты ТЭИ.

В данной работе рассчитываются вакуумные средние компонент ТЭИ массивного скалярного поля без учета гравитации для ограниченного одномерного пространства и оценивается скорость распространения возмущения в вакууме, как в сплошной среде. (Предполагается $\hbar = c = 1$).

Массивное скалярное поле

Рассмотрим одномерную задачу. Лагранжиан поля φ запишем в следующем виде

$$L = \frac{1}{2}(\partial_{\mu}\varphi^{*}\partial^{\mu}\varphi - m^2\varphi^{*}\varphi). \quad (89)$$

Из (89) стандартной процедурой найдем ТЭИ:

$$T_{\mu\nu} = \frac{1}{2}[\partial_\mu \varphi^* \partial_\nu \varphi + \partial_\nu \varphi^* \partial_\mu \varphi] - L g_{\mu\nu} \quad (90)$$

и выпишем уравнение Клейна-Гордона-Фока:

$$(-\partial_t^2 + \partial_x^2 - m^2)\varphi = 0. \quad (91)$$

Проквантуем поле:

$$\varphi = \sum_\alpha (\varphi_\alpha^+ a_\alpha^+ + \varphi_\alpha^- a_\alpha^-), \quad (92)$$

Где $\varphi_\alpha^\pm(x, t)$ – полная ортонормированная система положительно и отрицательночастотных решений.

Вакуумное состояние в пространстве с границами обозначим $|0\rangle$, индекс α будет в этом случае дискретным. Вычислим среднее по вакууму от нулевой компоненты ТЭИ:

$$T_{00} = \frac{1}{2}[\partial_t \varphi^* \partial_t \varphi + \partial_x \varphi^* \partial_x \varphi + m^2 \varphi^* \varphi] \quad (93)$$

для одномерного отрезка $0 \leq x \leq a$.

Среднее по вакууму имеет вид:

$$\langle 0 | T_{00} | 0 \rangle = \frac{1}{2} \sum_{n=0}^{\infty} (\partial_t \varphi_n^- \partial_t \varphi_n^+ + \partial_x \varphi_n^- \partial_x \varphi_n^+ + m^2 \varphi_n^- \varphi_n^+). \quad (94)$$

Решим уравнение (91) для струны, закрепленной на концах, с граничными условиями

$$\varphi(t, 0) = \varphi(t, a) = 0. \quad (95)$$

Этим условиям удовлетворяет решение

$$\varphi_n^\pm = \frac{1}{\sqrt{a\omega_n}} \exp(\pm i\omega_n t) \sin(\kappa_n x), \quad (96)$$

где $\omega_n^2 = \kappa_n^2 + m^2$, $\kappa_n = \frac{\pi n}{a}$, $n=0,1,2,\dots$, а коэффициент $1/\sqrt{a\omega_n}$ определен из условия нормировки $\int_0^a T_{00}^{(n)} dx = 1$.

$d\chi = \omega_n$ или $i \int_0^a (\varphi_n^* \partial_t^{\leftrightarrow} \varphi_n) dx = 1$.

Подставляя (96) и (94) получим

$$\langle 0 | T_{00} | 0 \rangle = \frac{1}{2a} \sum_{n=0}^{\infty} \left[\sqrt{\kappa_n^2 + m^2} - \frac{m^2}{\sqrt{\kappa_n^2 + m^2}} \cos(2\kappa_n x) \right]. \quad (97)$$

Разобьем сумму на две части: $\langle 0 | T_{00} | 0 \rangle = S_1 + S_2$,

$$S_1 = \frac{1}{2a} \sum_{n=0}^{\infty} \sqrt{\kappa_n^2 + m^2}, \quad S_2 = -\frac{1}{2a} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{m^2}{\sqrt{\kappa_n^2 + m^2}} \cos(2\kappa_n x). \quad (98)$$

Сумма S_2 сходится везде, кроме $\chi=0$ и $\chi=a$. Используя формулу Абеля-Плана [1,9]:

$$\sum_{n=0}^{\infty} F(n) = \int_0^{\infty} F(x) dx + \frac{1}{2} F(0) + i \int_0^{\infty} \frac{F(it) - F^*(it)}{\exp(2\pi t) - 1} dt, \quad (99)$$

$$\text{Для } S_1 \text{ получим: } S_1 = \frac{1}{2a} \int_0^{\infty} \sqrt{\kappa^2 + m^2} \alpha n + \frac{m}{4a} - \frac{1}{a} \int_{\frac{am}{\pi}}^{\infty} \frac{\sqrt{\kappa^2 - m^2}}{\exp(2\pi n) - 1} \alpha n, \quad (100)$$

где $\kappa = \frac{\pi n}{a}$, здесь κ, n – непрерывные переменные.

Для неограниченной струны решения уравнения (91) имеют вид

$$\varphi_\kappa^\pm = \frac{1}{\sqrt{4\pi\omega}} e^{\pm i(\omega t - \kappa x)} \quad (101)$$

и среднее по вакууму неограниченного пространства:

$$\langle \tilde{0} | T_{00} | \tilde{0} \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty \sqrt{\kappa^2 + m^2} \alpha \kappa, \quad \omega^2 = \kappa^2 + m^2. \quad (102)$$

Регуляризуем (97), вычитая вклад бесконечной струны:

$$\text{reg} \langle 0 | T_{00} | 0 \rangle = \langle T_{00} \rangle_c = \frac{m}{4a} - \frac{1}{\pi a^2} \int_r^\infty \frac{\sqrt{z^2 - r^2} dz}{\exp(2z) - 1} + S_2. \quad (103)$$

здесь $r = am, z = \pi n$. При $r \rightarrow 0$:

$$-\frac{1}{\pi a^2} \int_r^\infty \frac{\sqrt{z^2 - r^2} dz}{\exp(2z) - 1} \rightarrow -\frac{1}{\pi a^2} \int_0^\infty \frac{z dz}{\exp(2z) - 1} = -\frac{\pi}{24a^2}, \quad (104)$$

что соответствует результату [I], стр. 56. Вторая сумма при $r \rightarrow 0$:

$$S_2 \rightarrow -\frac{m^2}{2a} \sum_{n=0}^\infty \frac{\cos(2\kappa_n \chi)}{\sqrt{\kappa_n^2 + m^2}} \rightarrow -\frac{m}{2a} - \frac{m^2}{2a} \sum_{n=1}^\infty \frac{\cos(2K_n \chi)}{K_n} = \frac{m^2}{2\pi} \ln \left[2 \sin\left(\frac{\pi \chi}{a}\right) \right] - \frac{m}{2a}. \quad (105)$$

Окончательно имеем для плотности энергии при $r \rightarrow 0$:

$$\langle T_{00} \rangle_c = -\frac{\pi}{24a^2} - \frac{m}{4a} + \frac{m^2}{2\pi} \ln \left[2 \sin\left(\frac{\pi \chi}{a}\right) \right] \quad (106)$$

Вблизи границ плотность энергии расходятся по логарифмическому закону, оставаясь конечной везде, кроме $\chi = 0$ и $\chi = \alpha$. В [I] отмечается, что расходимость вблизи границ должна устраняться введением конечной проницаемости стенок. Покажем, что введение ненулевых граничных условий не снимает расходимость.

Введем для поля $\varphi = X(\chi)T(t)$ следующие граничные условия:

$$X(0) = X(\alpha) = f(\omega). \quad (107)$$

Поле на границе зависит от времени. Решениями уравнения (91) в этом случае являются функции:

$$\varphi_n^\pm = A_n \exp(\pm i \omega_n t) \sin(\kappa_n \chi) + f_n \exp[\pm i(\omega_n t - \kappa_n \chi)], \quad (108)$$

где $K_n = \frac{2\pi n}{a}$, $\omega_n^2 = \kappa_n^2 + m^2$.

Нормировка дает $A_n = \left[\frac{(1 - 2af_n^2 \omega_n)}{a\omega_n} \right]^{1/2}$. (109). Усредним ТЭИ:

$$\begin{aligned} \langle 0 | T_{00} | 0 \rangle &= \frac{1}{2} \sum_{n=0}^\infty \left\{ \frac{\omega_n}{a} - \frac{m^2}{a\omega_n} \cos(2\kappa_n \chi) + 2f_n^2 + m^2 \cos(2\kappa_n \chi) + \right. \\ &\quad \left. + \left[\frac{2}{\sqrt{a\omega_n}} - 2\sqrt{a\omega_n} f_n^2 \right] f_n \omega_n^2 \cdot \sin(2\kappa_n \chi) \right\} \end{aligned} \quad (110)$$

Можно потребовать, чтобы на больших частотах величина f_n уменьшалась достаточно быстро, тогда при больших K

$$\langle 0 | T_{00} | 0 \rangle \sim \frac{1}{2a} \sum_{n=k}^\infty \left\{ \omega_n - \frac{m^2 \cos(2\kappa_n \chi)}{\omega_n} + 2f_n \omega_n^{3/2} \alpha^{1/2} \sin(2\kappa_n \chi) \right\}. \quad (111)$$

Очевидно, что после регуляризации плотность энергии будет расходиться, как и раньше, так как на границах член, содержащий f_n исчезает, а сумма

$$\frac{1}{2a} \sum_{n=0}^\infty \frac{m^2 \cos(2\kappa_n \chi)}{\omega_n}$$

При $ma \ll 1$ снова расходится по логарифмическому закону.

Очевидно, что в трехмерном случае будет аналогичный результат.

Скорость звука в вакууме как в сплошной среде

Найдем вакуумное среднее для пространственной компоненты ТЭИ:

$$T_{11} = \frac{1}{2} (\partial_t \varphi^* \partial_t \varphi + \partial_x \varphi^* \partial_x \varphi - m^2 \varphi^* \varphi). \quad (112)$$

Проделав аналогичные предыдущие вкладки, регуляризуем вакуумное среднее:

$$reg \langle 0 | T_{11} | 0 \rangle = \langle T_{11} \rangle_c = -\frac{1}{\pi \alpha^2} \int_r^\infty \frac{z^2 dz}{\sqrt{z^2 - r^2} (\exp(2z) - 1)}. \quad (113)$$

или после замены переменного $t^2 = z^2 - r^2$

$$\langle T_{11} \rangle_c = -\frac{1}{\pi \alpha^2} \int_0^\infty \frac{\sqrt{t^2 + r^2} dt}{\exp(2\sqrt{t^2 + r^2}) - 1}. \quad (114)$$

При $r \rightarrow 0$ (114) равно $-\frac{\pi}{24\alpha^2}$, что совпадает с результатом [1]. Из выражений (106) и (114) видно,

что ρ всегда больше p при $ma \rightarrow 0$. Оценим для середины отрезка $\chi = \frac{\alpha}{2}$ величину $\rho - p$ в общем виде:

$$\rho - p = \frac{r^2}{\pi \alpha^2} \int_0^\infty \frac{dz}{\left[\exp(2\sqrt{z^2 + r^2}) - 1 \right] \sqrt{z^2 + r^2}} + \frac{r}{4\alpha^2} - \frac{r^2}{2\alpha^2} \sum_{n=0}^\infty \frac{(-1)^{n+1}}{\sqrt{\pi^2 n^2 + r^2}}. \quad (115)$$

Численный анализ показывает, что давление становится больше плотности энергии при $r=0,2$, что нарушает энергодоминантность.

Скорость распространения возмущения в вакууме как сплошной среде (звук) определяется выражением

$$v_3^2 = \frac{dp}{d\rho}$$

т.е. при $r > 0,2$ скорость звука может быть больше 1.

Электрическое поле, искривление пространства

В [1] рассматривалось спонтанное нарушение симметрии в однородном периодическом электрическом поле вакуума массивного скалярного поля с самодействием. Неравенство нулю вакуумного среднего при инвариантном лагранжиане

$$L^{(0)} = D_n^* \varphi^* \cdot D^n \varphi - m^2 \varphi^* \varphi - \frac{\lambda}{6} (\varphi^* \varphi)^2, \quad D_n = \partial_n + ieA_n \quad (116)$$

означает спонтанное нарушение калибровочной симметрии:

$$\langle 0 | \varphi(\vec{\chi}, t) | \tilde{0} \rangle = \langle \tilde{0} | \varphi^*(\vec{\chi}, t) | \tilde{0} \rangle = f(t) \neq 0. \quad (117)$$

Рассмотрим скорость звука в таком вакууме с нарушенной симметрией.

Лагранжиану (116) соответствует ТЭИ

$$T_{\mu\nu} = \partial_\mu \varphi^* \cdot \partial_\nu \varphi + \partial_\nu \varphi^* \cdot \partial_\mu \varphi + \partial_\mu \varphi^* \cdot ieA_\nu \cdot \varphi + (\partial_\mu \varphi^* \cdot ieA_\nu \varphi)^* - L^{(0)} g_{\mu\nu}. \quad (118)$$

Учитывая, что векторное поле A_n в случае [1] описывается $A_3(t) = \alpha_0 \sin K_0 t$, вычислив T_{00} и T_{33} ,

$$\begin{aligned} T_{00} &= |\partial_0 \varphi|^2 + |\bar{V} \varphi|^2 + ie A_3 \partial_3 \varphi^k \cdot \varphi - ie A_3 \varphi^k \partial_3 \varphi + (m^2 + e^2 A_3^2) |\varphi|^2 + \frac{\lambda}{6} |\varphi|^4 \\ T_{11} &= |\partial_0 \varphi|^2 + |\partial_1 \varphi|^2 - |\partial_2 \varphi|^2 - |\partial_3 \varphi|^2 - ie A_3 \varphi \cdot \partial_3 \varphi^k + ie A_3 \varphi^k \partial_3 \varphi - (m^2 + e^2 A_3^2) |\varphi|^2 - \frac{\lambda}{6} |\varphi|^4 \\ T_{22} &= |\partial_0 \varphi|^2 + |\partial_2 \varphi|^2 - |\partial_1 \varphi|^2 - |\partial_3 \varphi|^2 - ie A_3 \varphi^k \partial_3 \varphi^k + ie A_3 \varphi^k \partial_3 \varphi - (m^2 + e^2 A_3^2) |\varphi|^2 - \frac{\lambda}{6} |\varphi|^4 \\ T_{33} &= |\partial_0 \varphi|^2 + |\partial_3 \varphi|^2 - |\partial_1 \varphi|^2 - |\partial_2 \varphi|^2 - 2ie A_3 \varphi \cdot \partial_3 \varphi^k + 2ie A_3 \varphi^k \partial_3 \varphi - (m^2 + e^2 A_3^2) |\varphi|^2 - \frac{\lambda}{6} |\varphi|^4 \end{aligned} \quad (119)$$

и усреднив по вакуумному состоянию, получим, соответственно давление по оси 3 и плотность энергии:

$$\begin{aligned} P &= P_3 = \langle T_{33} \rangle = (\partial_0 t)^2 - (m^2 + e^2 A_3^2) f^2 - \frac{\lambda}{6} f^4, \\ \rho &= \langle T_{00} \rangle = (\partial_0 f)^2 + (m^2 + e^2 A_3^2) f^2 + \frac{\lambda}{6} f^4. \end{aligned} \quad (120)$$

Отсюда видно, что ρ всегда больше p и выполняется $V_s^2 < 1$.

Таким образом, в данном случае при наличии самодействия $\lambda\phi^4$ скорость звука в вакууме (со спонтанно нарушенной симметрией) меньше 1.

Это связано с тем, что поле A_0 пространственно однородно и при усреднении исчезают пространственные производные поля.

В работе (9) вычислены компоненты тензора энергии-импульса (ТЭИ) вакуума массивного скалярного поля в изотропном пространстве-времени и оценена скорость распространения возмущений в вакууме массивного скалярного поля в статической модели Фридмана, подобная скорости звука в сплошной среде. Найдено, что при $ma > 0,1$, $p > \rho$ и $V_s > 1$ (где m – масса поля, a – радиус Вселенной, ρ – плотность энергии, p – давление). Авторы (10) вычислили вклад поляризации вакуума в однопетлевом приближении в эффективное действие для фотона на искривленном основном многообразии. Было обнаружено, что приливные гравитационные силы, вызванные квантовыми поправками, изменяют характер распространения фотона; в некоторых случаях скорость движения фотона превышает «С».

В работе [15] исследовался регуляризованный тензор энергии-импульса массивного скалярного поля в замкнутых космологических моделях. В статическом мире Фридмана, в частности, исследована область значений ma (a – радиус мира Фридмана), где $p_{vac} > \rho_{vac}$ и нарушается теорема о сингулярности.

Записывается лагранжиан нейтрального массивного скалярного поля во внешнем гравитационном с конформной связью:

$$L_m = \frac{1}{2} \left[g^{\alpha\beta} \phi_{,\alpha} \phi_{,\beta} - \left(\mu^2 + \frac{R}{6} \right) \phi^2 \right] \quad (121)$$

Для статической замкнутой модели Фридмана:

$$dS^2 = a^2 d\eta^2 - a^2 d\chi^2 - a^2 \sin^2 \chi (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2) \quad (122)$$

где $a = \text{const}$, $\frac{R}{6} = -\frac{1}{a^2}$, $\sqrt{^3g} = a^3 \sin^2 \chi \sin \theta$

Соответствующее уравнение движения скалярного поля:

$$\left(\square + \mu^2 - \frac{R}{6} \right) \phi(\chi^\alpha) = 0$$

выражение

$$3\bar{p}_{vac} - \bar{\rho}_{vac} = \frac{\mu^4}{2\pi} \frac{1}{r^2} \int_r^\infty \frac{\sqrt{z^2 + r^2} \cdot dz}{\ell^{2\pi\sqrt{z^2 + r^2}} - 1} \quad (123)$$

Численный анализ (87) показывает, что при $r > 0,1$ давление превосходит энергию, далее, начиная с некоторых r давление снова меньше энергии и перестаёт нарушаться принцип энергодоминантности. То есть, нарушение энергодоминантности в искривленном пространстве возникает при меньших радиусах, нежели в евклидовом пространстве, и исчезает при расширении Вселенной.

Заключение

Разумеется, определять скорость распространения возмущений в вакууме как в сплошной среде явно неправомерно, к тому же для линейного поля нельзя говорить о распространении звука, для которого необходимо самодействующее поле.

С другой стороны, скорость распространения возмущений в среде меньше скорости света лишь в пространстве Минковского, для искривленного пространства возможно и превышение скорости света. Нарушение энергодоминантности означает невыполнение 2-го начала термодинамики, следовательно, искривление пространства в космологических моделях ведет к нарушению 2-го начала термодинамики. Во-вторых, тот факт, что нарушение энергодоминантности для скалярных полей возникает в евклидовом пространстве, может означать, что границы играют роль своего рода искривления пространства.

Литература

1. А.А. Гриб, С.Г. Мамаев, В.М. Мостепаненко. Квантовые эффекты в интересных внешних полях. М., Атомиздат, 1980.
2. А.А. Starobinsky. Phys. Lett., 91B, №1, 99, 1980.
3. С.Г. Мамаев, В.М. Мостепаненко. ЖЭТФ, 78, 20, 1980.

4. P. Minkowski. Phys. Lett., 71B, 419, 1977.
5. A. Zee. Phys. Rev.Lett., 42, 417, 1979.
6. L. Smolin. Nucl. Phys., 160B, 253, 1979.
7. S. L. Adler. Rev. Mod. Phys., 54, 729, 1982.
8. В.Ф. Панов. Изв. вузов СССР, Физика, №9, 27, 1983.
9. В.Г. Кречет, В.Г. Лапчинский, В.И. Некрасов, Г.Н. Шишкин. Сб. «Проблемы теории гравитации и элементарных частиц». М., Энергоиздат, вып. 12, 48, 1981.
10. J.T. Drummond, S.Y. Hathrell. Phys. Rev. D., 22, № 2, 343, 1980.
11. К.П. Станюкович, В.Н. Мельников. Гидродинамика, поля и константы в теории гравитации. М., Энергоиздат, с.245, 1983.
12. И.В. Криве. ТМФ, 54, №2, 230, 1983.
13. А.П. Прудников, Ю.А. Брычков, С.И. Маричев. Интегралы и ряды. Элементарных функции. М., Наука, 1981.

См. также:

Vladimir Lasukov. Violation of the Dominant Energy Condition in Geometrodynamics. Reprint.

Department of Mathematical, Tomsk Polytechnic University, Lenin str., 30, Tomsk 634050, 4 March 2020.

G. L. Klimchitskaya, V. M. Mostepanenko, V. M. Petrov, T. Tschudi. Optical Chopper Driven by the Casimir Force (неопр.) // Phys. Rev. Applied. — 2018. — Т. 10, № 1. — С. 014010. —

doi:10.1103/PhysRevApplied.10.014010

David A. T. Somers, Joseph L. Garrett, Kevin J. Palm & Jeremy N. Munday 19 Dec. 2018 **Measurement of the Casimir torque** // *Nature*, volume 564, pages 386—389 (2018)

Du, Z. Z.; Liu, H. M.; Xie, Y. L.; Wang, Q. H.; Liu, J.-M. (7 December 2015). "Spin Casimir effect in noncollinear quantum antiferromagnets: Torque equilibrium spin wave approach". *Physical Review B*. **92** (21): 214409.

Zao, J.; Marcet, Z.; Rodriguez, A. W.; Reid, M. T. H.; McCauley, A. P.; Kravchenko, I. I.; Lu, T.; Bao, Y.; Johnson, S. G.; Chan, H. B.; et al. (14 May 2013). "Casimir forces on a silicon micromechanical chip". *Nature Communications*. **4**: 1845. [arXiv:1207.6163](https://arxiv.org/abs/1207.6163). [Bibcode:2013NatCo...4.1845Z](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23673630/). [doi:10.1038/ncomms2842](https://doi.org/10.1038/ncomms2842). [PMID 23673630](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23673630/). [S2CID 46359798](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23673630/).

Lu, T.; Wang, Mingkan; Ng, C. Y.; Nikolic, M.; Chan, C. T.; Rodriguez, Alejandro; Chan, H. B.; et al. (9 January 2017). "Measurement of non-monotonic Casimir forces between silicon nanostructures". *Nature Photonics*. **11** (2): 97–101. [arXiv:1701.02351](https://arxiv.org/abs/1701.02351). [Bibcode:2017NaPho..11...97T](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27119327017/). [doi:10.1038/nphoton.2016.254](https://doi.org/10.1038/nphoton.2016.254). [S2CID 119327017](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27119327017/).

Wang, Mingkan; Tang, L.; Ng, C. Y.; Messina, Riccardo; Guizal, Brahim; Crosse, J. A.; Antezza, Mauro; Chan, C. T.; Chan, H. B.; et al. (26 January 2021). "[Strong geometry dependence of the Casimir force between interpenetrated rectangular gratings](https://arxiv.org/abs/2101.02351)". *Nature Communications*. **12** (1): 600.

Jiang, Qing-Dong; Wilczek, Frank (4 March 2019). "Chiral Casimir forces: Repulsive, enhanced, tunable". *Physical Review B*. **99** (12): 125403. [arXiv:1805.07994](https://arxiv.org/abs/1805.07994). [Bibcode:2019PhRvB..99l5403J](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/315403/). [doi:10.1103/PhysRevB.99.125403](https://doi.org/10.1103/PhysRevB.99.125403). [S2CID 67802144](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/315403/).

Boyer, Timothy H. (25 October 1968). "[Quantum Electromagnetic Zero-Point Energy of a Conducting Spherical Shell and the Casimir Model for a Charged Particle](https://arxiv.org/abs/1805.07994)". *Physical Review*. **174** (5): 1764–1776.

Nikolic, Hrvoje (2016). "Proof that Casimir force does not originate from vacuum energy". *Physics Letters B*. **761**: 197–202.

ГРАВИТАЦИЯ В ТЕРМИНАХ РАССЛОЕНИЙ

Калибровочная теория гравитации была предложена Гейзенбергом, советским ученым Е. Гапоном, в 1956-м Р. Утиямой, развита в работах А. Аптекаа(1986) и др., а также А. Аптекара (1986), Т.W.B Kibble, D.W. Sciama, F.W. Hehl, J. Nester, M. Blagojević [1], К. Hayashi, Т. Shirafuji, Б.Н. Фролова [2] и др. Построение калибровочной теории гравитации по аналогии с калибровочной теорией Янга-Миллса внутренних симметрий поставило проблему описания общих ковариантных преобразований и псевдоримановой метрики (тетрадного поля) в рамках такой калибровочной модели. Было предложено представить тетрадное поле как калибровочное поле группы трансляций. При этом генераторы общих ковариантных преобразований рассматривались как генераторы калибровочной группы трансляций и

тетрадное поле (поле кореперов) отождествлялось с трансляционной частью аффинной связности на пространственно-временном многообразии.

Однако общеквариантные преобразования в ОТО хотя и являются калибровочными, но принципиально отличаются от калибровочных преобразований в теории Янга–Миллса, они принадлежат разным классам. Гравитационное поле в ОТО описывается псевдоримановой метрикой, не сходной с электромагнитным полем и другими калибровочными потенциалами. То есть, гравитация не является калибровочным полем.

Попытки реализовать гравитационные поля как калибровочные потенциалы, например, группы трансляций потерпели неудачу. Но при этом не рассматривались хиггс-голдстоуновские поля (ХГП), появляющиеся в калибровочных моделях при спонтанном нарушении симметрии.

При построении индуцированных представлений общей линейной группы по подгруппе Лоренца псевдориманову метрику можно интерпретировать как своего рода хиггсовское поле.

Спонтанное нарушение симметрий происходит тогда, когда вакуум не инвариантен относительно некоторой группы преобразований. В классической калибровочной теории структурная группа главного расслоения редуцируется к своей замкнутой подгруппе, т.е. существует главное подрасслоение расслоения со структурной группой [3]. При этом имеет место взаимно однозначное соответствие между редуцированными подрасслоениями со структурной группой и глобальными сечениями фактор-расслоения. Эти сечения описывают классическое хиггсовское поле.

Можно представить, что спонтанное нарушение пространственно-временных симметрий до группы Лоренца обусловлено принципом эквивалентности, который редуцирует структурную группу главного реперного расслоения к группе Лоренца. Ответственным за это нарушение симметрий аналогом хиггсовского поля является псевдориманова метрическое гравитационное поле, т.е. псевдориманову метрику на многообразии как глобального сечения фактор-расслоения можно интерпретировать как иное хиггсовское поле. В такой модели калибровочными симметриями являются общеквариантные преобразования, а независимыми динамическими переменными выступают как общие линейные связности — калибровочные потенциалы, так и псевдориманова метрика — хиггсовское поле.

Таким образом, коэффициенты преобразования Лоренца, символы Кристоффеля, коэффициенты Риччи представляются как потенциалы компенсирующего поля, аналогичные потенциалам электромагнитного поля в ковариантной производной.

Идея интерпретировать псевдориманову метрику как хиггсовское поле возникла при построении индуцированных представлений общей линейной группы $GL(4, R)$ по подгруппе Лоренца [4-6]. Принцип эквивалентности предполагает редукцию структурной группы главного реперного расслоения к группе Лоренца. Тогда определение псевдоримановой метрики на многообразии $\{$ как глобального сечения фактор-расслоения $\}$ ведет к её интерпретации как хиггсовского поля.

Если представить гравитационное поле как хиггс-голдстоуновское, где метрика Минковского — подобие поля Хиггса, а ее искривление — голдстоуновская добавка, то можно в духе Э. Шмутацера поставить вопрос о материальном источнике пустой пространственно-временной формы и представить ее как вакуум хиггсовского гравитационного поля.

В картине расслоений калибровочной теории ХГП реализуются как глобальные сечения σ расслоения V в пространствах Σ , обладающих H -стабильными, но V -нестабильными точками, составляющими подпространство Σ_H , где G - группа спонтанно нарушенных симметрий, H — ее подгруппа точной симметрии. Такие сечения существуют только в том случае, если структурная группа G расслоения V редуцирована к H . Это означает, что существует атлас Ψ_σ расслоения V такой, что σ принимает значения в Σ_H относительно Ψ_σ .

Имеет место известное разбиение $\sigma = \sigma_0 + \sigma_H + \tau$ вблизи σ_0 , где значения σ_0, σ_H лежат в Σ_H относительно Ψ_σ и $\sigma_0 + \tau$ принадлежит орбите $G(x)\sigma_0$. H -инвариантная компонента $\sigma_0 + \sigma_H$ в σ называется полем Хиггса, а τ называется голдстоуновским полем.

В калибровочных моделях внутренней симметрии только хиггсовские возмущения σ_H являются динамическими. Хиггсовский вакуум должен удовлетворять условию обобщенной трансляционной

инвариантности $(d - A)\sigma_0 = 0$ и, следовательно, $\sigma'_0 = const$ в калибровке Ψ_σ . Голдстоуновские же поля τ могут быть убраны (включены в потенциал A некоторой калибровкой).

Рассмотрение ХГП как коллективных полей приводит к рассмотрению неинвариантного вакуума в калибровочных моделях как своего рода конденсата. Г. А. Сарданашвили полагал, что, в отличие от сверхпроводящего, хиггсовский конденсат ненаблюдаем вследствие его нединамического характера. Это неверно, наблюдаемы как отрицательная плотность космологического вакуума, так и вакуум электромагнитного поля в эффекте Казимира, хотя и тот, и другой – не динамические системы.

В дальнейшем Сарданашвили пришел к противоположному мнению, что хиггсовский гравитационный вакуум является не просто наблюдаемым, но даже динамической системой, что тоже неверно.

Гравитационная калибровочная теория может быть построена прямо из принципов относительности и эквивалентности, переформулированных в терминах калибровочной теории и формализма расслоений. В этом формализме гравитационное поле на пространственно-временном многообразии X^4 определяется как глобальное сечение расслоения псевдоевклидовых метрик в касательных к X пространствах. Это расслоение ассоциировано с касательным расслоением $T(X)$, обладающим структурной группой $GL^+(4, R)$ и является изоморфным расслоению B в фактор-пространстве $\Sigma = GL^+(4, R) / SO(3,1)$. Глобальное сечение h в B описывает гравитационное поле в тетрадной форме.

В ОТО принцип эквивалентности сформулирован как ковариантность действия S материального поля относительно изменений систем отсчета. В терминах расслоений система отсчета в гравитационной теории определяется как выбор некоторого атласа в касательном расслоении, и группа всех преобразований систем отсчета есть калибровочная группа $GL^+(4, R)(X)$. Таким образом, принцип относительности идентичен калибровочному принципу, и гравитационная теория может быть прямо построена из этого принципа как калибровочная теория пространственно-временной группы.

Спецификой калибровочных преобразований внешней симметрии является то, что, помимо материальных полей, расслоение λ действует также на касательный слой, чьи векторы являются операторами в частных производных. Их атласы эквивалентны, но не всегда одинаковы. Следовательно, их калибровочные преобразования перестают в целом коррелировать и приводят к различным условиям ковариантности.

Ковариантность S относительно калибровочных преобразований $T(X)$ обеспечивается подстановкой метрического поля в S .

Однако $GL^+(4, R)$ -калибровочная теория не фиксирует сигнатуру этой метрики. Тем самым принцип эквивалентности должен быть включен в схему калибровочной гравитационной теории.

В ОТО принцип эквивалентности обеспечивает лоренцевский переход между картами в некоторой системе отсчета. Это означает, что связность на $T(X)$ и λ должна быть сведена к лоренцевскому калибровочному полю, и поэтому структурная группа в $T(X)$ и λ редуцирована к группе Лоренца. Эта редукция необходима и достаточна для существования глобального сечения расслоения B , то есть, чтобы гравитационное поле g действительно существовало в X .

Существует атлас Ψ_g в $T(X)$, где g сводится к полю постоянной метрики Минковского и, подставленное в S , обеспечивает инвариантность S относительно лоренцевых калибровочных переходов между атласами Ψ_g . Таким образом, в калибровочных терминах принцип относительности приводит к калибровочной теории спонтанно нарушенных $GL^+(4, R)$ симметрий, принцип эквивалентности сводит эту теорию к лоренцевой калибровочной гравитационной теории, обладающей подгруппой Лоренца точных симметрий, и где псевдориманова метрика представляется как ХГП. Так как B является фактор-слоем, хиггсовская компонента такого возмущения такого ХГП отсутствует, и любая метрика g может играть роль неинвариантного вакуума.

Литература

1. M. Blagojević, Gravitation and Gauge Symmetries, IOP Publishing, Bristol, 2002.
2. Frolov B.N., On foundations of Poncaré-gauged theory of gravity, 10, 116-120 (2004)
3. L. Nikolova, V. Rizov Geometrical approach to the reduction of gauge theories with spontaneous broken symmetries, — Reports on Mathematical Physics **20** (1984) 287.
4. Ivanenko D. D., Ikhlov B. L. Higgs gravitation vacuum. Abstracts of Contr. Papers to 11-th Int. Conf. on General Relativity and Gravitation. Stockholm, Sweden, 1986.

5. Sardanashvily G. A., Ikhlov B. L. Higgs gravitation vacuum in the gauge gravitation theory. Acta Phys. Hungarica. 1988. Vol. 64. Part IV.

6. Сарданашвили Г. А., Ихлов Б. Л. Хиггсовский вакуум в теории гравитации. Вест. МГУ, сер. Физика, 1986. №2. С. 17-19.

ГИПОТЕЗА ХИГГСОВСКОГО ГРАВИТАЦИОННОГО ВАКУУМА

В теории поля введение внешнего хиггс-голдстоуновского поля σ моделирует нарушение симметрии вакуума. Это выражается в неинвариантности полных связанных функций Грина с производящим функционалом

$$Z = N \int [d\varphi] \exp i S(\varphi, \sigma)$$

относительно группы G преобразований материальных полей φ . Эта неинвариантность обусловлена G - неинвариантностью действия $S(\varphi, \sigma)$ по полям φ за счет члена типа $\bar{\varphi}\sigma\varphi$, которое, однако, G - инвариантно по φ и σ , то есть, G - ковариантно по φ (для определенности будем считать поле φ скалярным).

Итак. ХГП-поле представляет собой сумму $\sigma = \sigma_0 + \tau$ двух компонент: H -инвариантного хиггсовского поля σ_0 , где H – подгруппа точных симметрий группы G , и голдстоуновского поля τ , принимающего значения в фактор-пространстве G/H . Поле τ всегда можно убрать калибровкой, а σ_0 находят методом построения эффективного действия [4, 5]. Для этого функционал Z интегрируют по полям φ , что эквивалентно учету поляризации вакуума полей φ полем σ . В результате Z принимает вид $Z = \exp i S_{eff}(\sigma)$, где

$$S_{eff} = S_0(\sigma) - \frac{i}{2} \text{tr} \ln G_\sigma,$$

а $S_\sigma = -k^2 \sigma^2 / 2$ - затравочное действие поля σ , и G_σ - фейнмановский пропагатор поля φ во внешнем поле σ . Поле σ_0 определяется как решение уравнения $\delta S_{eff} / \delta \sigma = 0$, на котором достигается минимум функционала действия (в евклидовом пространстве). Таковыми являются постоянные решения σ_0 , отвечающие минимуму потенциала $V(\sigma)$. Для них уравнение имеет вид (в размерной регуляризации)

$$\frac{\partial V}{\partial \sigma} = k^2 \sigma + \frac{1}{2(2\pi)^4} \int \frac{d^4 p}{p^2 - \sigma} = k^2 \sigma^2 - (4\pi)^{-2} \sigma \left(\frac{1}{4-n} + \frac{1}{2} \ln \frac{\mu^2}{\sigma^2} + \gamma \right) = 0 \quad (1)$$

Оно имеет ненулевое решение $\sigma = \sigma_0 = \text{const}$, минимизирующее и интерпретируемое как хиггсовский вакуум. В отличие от хиггс-голдстоуновских полей внутренних симметрий, которые снижают G -инвариантность функционала действия до G -ковариантности, псевдориманова метрика поднимает инвариантность действия относительно группы Лоренца до ковариантности относительно группы $GL(4, R)$. Это ведет к неинвариантности функций Грина относительно $GL(4, R)$ -преобразований, и переход от одного вакуума к другому посредством этих преобразований приводит к рождению частиц [4].

Псевдориманову метрику тоже можно представить локально в виде суммы $g = \eta + h$ лоренц-инвариантной хиггсовской компоненты – метрики Минковского η и голдстоуновской – гравитационного поля, описываемого отклонениями g от η . Однако, в отличие от голдстоуновских полей внутренних симметрий, гравитационное поле не может быть устранено калибровкой [3]. Причина в том, что внешние калибровочные преобразования действуют также на операторы в частных производных, и в неголономных системах отсчета, где g сводится к метрике Минковского, в выражениях для частных производных появляются тетрадные гравитационные поля. Поэтому хиггсовский гравитационный вакуум не сводится к метрике Минковского. Чтобы его найти, можно тоже использовать метод построения эффективного действия [4,5]. Как и для поля σ , получаем

$$S_{eff} = S_0(g) - \frac{i}{2} \text{tr} \ln(Gg) \quad (125)$$

где $S_0(g)$ – затравочное действие гравитационного поля, а G_g – фейнмановский пропагатор поля φ во внешнем гравитационном поле.

В поляризационном члене в эффективном действии (125) выделяют две части. Первая, расходящаяся при снятии регуляризации, содержит локальные зависящие от точки поляризационные члены, выражаемые только через тензор кривизны гравитационного поля и не зависящие от квантового состояния материи. Поэтому ее добавляют к затравочному действию S_0 и рассматривают их сумму как эффективное гравитационное действие S_g с перенормированными константами. Оставшиеся конечные поляризационные члены зависят от конкретного вида вакуумного состояния материи, по которому берется среднее, и в уравнении гравитационного поля

$$2(-g)^{-\frac{1}{2}} \frac{\delta S_g}{\delta g^{\mu\nu}} = \langle T_{\mu\nu} \rangle_{рен} \quad (126)$$

им соответствует ренормированное вакуумное среднее тензора энергии импульса материи – источник гравитационного поля, описываемого действием S_g .

Следуя аналогии с хиггсовским вакуумом внутренних симметрий, решение уравнения (126) можно было бы рассматривать как хиггсовский вакуум гравитационного поля. Однако, если в качестве источника поляризационных членов в S_g брать поляризацию вакуума обычной квантовой материи, то ренормированные константы, в том числе ньютоновская гравитационная постоянная G , в реалистических моделях будут существенно зависеть от спектра, температуры и других характеристик в материи в данной точке, то есть, не будут постоянными, что, например, для G с точностью до 10^{-11} не наблюдается.

Это приводит к мысли, что гравитационные константы, как и хиггсовский гравитационный вакуум, должны индуцироваться некой фоновой материей. Ее роль может играть хиггсовский вакуум внутренних симметрий, например, тот, что фигурирует в моделях «инфляционной» вселенной (с плотностью $10^{15} - 10^{19}$ Гэв). В частности, если в качестве такого вакуума взять рассмотренный выше вакуум σ скалярных полей φ , то, используя адиабатическое разложение в представлении «собственного времени» де Витта-Швингера для функции Грина G_g [4], с учетом уравнения (1) получим для ренормировочных членов в S_g выражение

$$\frac{k^2 \sigma^2}{2} a_0 - k^2 \sigma_0 a_1 + k^2 a_2$$

где $a_0 \ll 1, a_1 \ll R$, а a_2 представляет собой квадратичные комбинации тензора кривизны.

Если предположить, что затравочное гравитационное действие S_g не содержит неквадратичных по кривизне членов, чтобы не нарушать (не спонтанным образом) конформную симметрию поля φ [5], то космологический член $\Lambda/8\pi G = k^2 \sigma_0^2/2$ и гравитационная постоянная $(16\pi G)^{-1} \ll k^2 \sigma_0$ окажутся выраженными через плотность хиггсовского вакуума σ_0 . Поскольку коэффициент перед квадратичными по кривизне членами a_2 не зависит от σ_0 , их можно рассматривать как описывающие квантовые гравитационные поля и не включать в лагранжиан для хиггсовского вакуумного гравитационного поля. Кроме того, космологический член в S_g сокращается с членом $(-k^2 \sigma^2/2)$ в затравочном действии для поля σ , и, окончательно, эффективный лагранжиан для вакуумного гравитационного поля имеет вид

$$L = -k^2 \sigma_0 R + L_\sigma$$

где L_σ – лагранжиан поля σ , обусловленный только поляризационными членами.

То есть, в рамках калибровочной гравитации как хигг-голдстоуновского поля источником гравитационного вакуума, который отождествляется с пространством Минковского, может быть хиггсовский вакуум.

Данный расчет показывает, что материальным источником пустого пространства как формы материи может быть вакуум всех материальных полей, в первую очередь, космологический вакуум.

Литература

1. Sardanashvily G. Gravity as a Goldstone field in the Lorentz gauge theory. Phys. Lett. A. 1980, v. 75, p. 257-256.
2. Ivanenko D., Sardanashvily G. Lett. Nuovo Cim. 1981, v. 30, p. 220-223; Dokl. Bulg. Akad. Nauk, 1981, v. 34, p. 1237-1239.
3. Иваненко Д. Д., Пронин П. И., Сарданашили Г. А. Калибровочная теория гравитации. М.: изд. Моск. Ун-та, 1985.
4. Adler S. Rev. Mod. Phys., 1982, v. 54, №3, p. 729.
5. Биррел Н., Девис П. Квантованные поля в искривленном пространстве-времени. М.: Мир, 1984.

ЭФФЕКТИВНЫЙ ГРАВИТАЦИОННЫЙ ЛАГРАНЖИАН

Голдстоуновская трактовка гравитации приводит к модели гравитационного вакуума Хиггса. Для описания такого вакуума можно применить метод эффективного действия /2/. С помощью этого метода гравитационный лагранжиан включает члены, индуцированные поляризацией вакуума

$$L_g = L_g^0 + (f_0 a_0 + f_1 a_1 + f_2 a_2),$$

where $a_0 = 1$, $a_1 \propto R$, a_2 обозначает члены квадратичной кривизны, коэффициенты f зависят от вида вещества. Эти коэффициенты дают перенормировку космологических, гравитационных и других констант в гравитационном лагранжиане. Мы рассматриваем вакуум Хиггса с внутренней симметрией как источник гравитационного вакуума Хиггса /3/.

Пусть φ - скалярное поле, ответственное за формирование хиггсовского вакуума σ , т.е..

σ подчиняется уравнению

$$\text{Tr}(\sigma G(\sigma)) = ig\sigma \quad (127)$$

где $G(\sigma)$ - функция Грина поля φ в присутствии σ , и $L^0 = g\sigma^2/2$ - начальный лагранжиан хиггсовского поля σ . Возьмем постоянное решение σ_0 уравнения (1). Тогда коэффициент f будет выглядеть следующим образом:

$$f_0 = i \int \text{Tr} G(\sigma) d\sigma/2, \quad f_1 = -i \text{Tr} G(\sigma)/2, \quad f_2 = i \frac{\partial}{\partial \sigma^2} G(\sigma)/2 \quad (128)$$

Подставляя постоянное решение σ_0 в (1) и (2), получим эффективный гравитационный лагранжиан

$$L_g = L_g^0 \frac{1}{2} g\sigma_0^2 + ga_1 \quad (129)$$

Подчеркнем, что космологический член

$$\frac{1}{2} g\sigma_0^2$$

компенсируется начальным лагранжианом поля Хиггса L_σ^0 поэтому полный лагранжиан выглядит как $L = L_g^0 + ga_1/2 + L_\sigma$ где лагранжиан поля Хиггса L_σ включает только поляризационные члены. Ренормированная гравитационная константа зависит от значения поля Хиггса σ_0 , and и квадратичные члены кривизны в (3) отсутствуют, т.е., хиггсовский источник генерирует Гильберт-Эйнштейновское гравитационное действие.

2. N. Birrel, P. Davies, Quantum fields in curved space, Cambridge Univ.Press, 1982.

3. Сарданашили Г. А. Ихлов Б. Л. Вестник МГУ, 1986. №2. С. 18.

ХИГГСОВСКИЙ ГРАВИТАЦИОННЫЙ ВАКУУМ В УРАВНЕНИИ ЭЙНШТЕЙНА

Инволютивные алгебры, описывающие полевые системы, в общем случае не нормированы и их представления реализуются неограниченными операторами. Однако используя формализм Op^* -алгебр

конструкция Гельфанда-Наймарка-Сигала (ГНС) может быть распространена и на инволютивные ненормированные алгебры.

Применение конструкции ГНС привлекательно по следующим двум причинам: во-первых, необязательно знать алгебру квантовых полей полностью. Если интересоваться только функциями Грина, то алгебра Акв. квантовых полей может быть заменена алгеброй Акл. коммутирующих или не коммутирующих, подобно классическим полям, величин. Во-вторых, конструкция ГНС приводит к методу квантованных полей, которая сейчас доминирует в калибровочных и объединенных моделях и состоит в том, что сразу задается вид производящего функционала для связных функций Грина через функциональный интеграл по пространству классических полей.

Производящий функционал и связные функции Грина задаются в виде:

$$Z[\eta] = N^{-1} \int [d\varphi] \exp(iS(\varphi) + i\eta^j(\varphi_j))$$

$$\Delta(\varphi_{i_1} \dots \varphi_{i_n}) = \frac{\partial}{\partial \eta_{i_1} \dots \partial \eta_{i_n}} Z(\eta)$$

где φ_i - выбор полевых переменных, S - функционал действия. Нарушение симметрии осуществляется добавлением к G -инвариантному функционалу действия G -инвариантного хиггсовского члена

$$\langle \varphi | I \varphi \rangle$$

где I – положительный обратный ограниченный оператор векторного пространства, коммутирующий с обратной матрицей ковариации, но не с G . Это приводит к нарушению G -инвариантности функций Грина, которую можно интерпретировать как неинвариантность вакуума данной полевой модели.

Во второй главе исследуется проблема моделирования неинвариантности вакуума введением хиггсовского поля.

Рассматривается лагранжиан, включающий нелинейный член Иваненко-Гейзенберга

$$L = \bar{\psi}(i\gamma\partial)\psi - \frac{k}{2}(\bar{\psi}_a^a \psi_b^a)(\bar{\psi}_b^b \psi_a^b)$$

где $\{\psi^a\}$ - дираковские фермионные поля с индексом, в пространстве представления некоторой группы внутренних симметрий G . Этот лагранжиан может быть линеаризован введением в производящий функционал скалярного поля σ :

$$Z = i \ln[d\bar{\varphi}][d\psi][d\sigma] \exp i \int L d^4x$$

$$L' = \bar{\psi}(i\gamma\nu + \hat{\sigma})\psi + \bar{\eta}\psi + \bar{\psi}\eta - \frac{1}{2k} Sp \hat{\sigma}^2$$

где σ - компоненты некоторой $2 \cdot 2$ матрицы, действующей на внутренние индексы полей ψ .

Лагранжиан L' из-за поля σ лишь σ -ковариантен, как функционал полей φ . Поэтому, если поле σ содержит ненулевую классическую компоненту σ_0 , производящий функционал, фермионные функции Грина, а, следовательно, и вакуум будут G -неинвариантны. Таким образом, поле σ в лагранжиане L' играет роль хиггс-голдстоуновского поля.

Интегрирование по фермионным полям приводит к эффективному функционалу действия поля σ

$$S_{eff} = -i Sp \ln(i\gamma\partial + \hat{\sigma}) - \frac{1}{2k} \int Sp(\hat{\sigma}) d^4x$$

и классическая хиггсовская компонента σ_0 поля σ определяется как устойчивое решение уравнения движения, получаемого варьированием эффективного действия по полю σ .

Прибегая к размерной регуляризации $n = 4 - 2\varepsilon$, получаем:

$$\sigma_b^b [-k^{-1} + 4\pi^2 \det \hat{\sigma}(-\gamma) + \frac{2}{4-n} - \ln(-\det(\hat{\sigma} / \mu^2))] = 0$$

Это уравнение имеет ненулевое решение, которое и может быть выбрано в качестве хиггсовского поля, ответственного за спонтанное нарушение симметрии.

Моделирование инвариантности вакуума квантовых систем введением взаимодействия с классическим хиггс-голдстоуновским полем σ оставляет, тем не менее, открытым вопрос об истинной физической природе как самого такого вакуума, так и поля σ .

Наиболее перспективными в том плане представляются здесь попытки описать хиггс-голдстоуновское поле как коллективное поле связанных пар материальных полей (типа куперовских пар в сверхпроводимости), а неинвариантность вакуума объяснить образованием конденсата таких пар. Основанием для этого служит сходство лагранжианов, а также тот факт, что при расчетах в рамках температурной техники хиггсовское поле, как и куперовский конденсат, возникает и исчезает при определенной температуре. В третьей главе исследуются физические следствия существования хиггсовского вакуума. Рассматривается взаимодействие хиггсовского вакуума со скалярным полем в ограниченном пространстве. Лагранжиан поля записывается в виде

$$L = \frac{1}{2} (g_{\alpha\beta} \varphi_{,\alpha} \varphi_{,\beta}^* + \sigma_0^2 \varphi^* \varphi)$$

Из полученных решений уравнения движения для полевых переменных конструируются вакуумные средние тензора энергии-импульса

$$\langle 0 | T_{00} | 0 \rangle = \frac{1}{2a} \sum_{n=0}^{\infty} \{ \sqrt{k_n^2 + \sigma^2} - \sigma^2 \sqrt{k_n^2 + \sigma^2} \cos(2knx) \}$$

Где a – размер области.

(Для $\langle 0 | T_{11} | 0 \rangle$ выражение имеет аналогичный вид.) После регуляризации, используя формулу Абеля-Плана и вычитая вклад бесконечной струны, получаем выражение

$$\langle T_{00} \rangle = -\frac{\pi}{22a^2} - \frac{\sigma}{4a} + \frac{\sigma^2}{\pi} \ln[2 \sin \frac{\pi x}{a}]$$

расходящееся на границах.

Показано, что введение граничных условий не снимает расходимости.

Переходя к малым σa , можно показать, что конечная часть плотности энергии всегда больше давления, но при $\sigma a \geq 0,05$ энергодоминантность нарушается.

Анализ вакуумных средних в случае взаимодействия с электромагнитным полем приводит к выражениям

$$p_i = \langle 0 | T_{ii} | 0 \rangle = (\partial_0 f)^2 - (\sigma^2 + e^2 A_3^2) f^2$$

$$\rho = \langle 0 | T_{00} | 0 \rangle = (\partial_0 f)^2 + (\hat{\sigma} + e^2 A_3^2) f^2$$

где $f(t) = \langle 0 | \varphi(x, t) | 0 \rangle = a(t) \cos(k_0 t + \theta(t))$, $A_3 = a_0 \sin k_0 t$.

Очевидно, что при любом внешнем поле A_3 плотность энергии больше давления и энергодоминантность нигде не нарушается. В данном случае это связано с тем, что поле A пространственно однородное и при усреднении исчезают пространственные производные поля.

Нарушение энергодоминантности может вызываться температурными эффектами. Рассмотрим действие для скалярного поля, взаимодействующего с хиггсовским вакуумом:

$$S = -\frac{1}{2} \int \sqrt{-g} (\partial_\mu \varphi^- \partial^\mu \varphi + \xi R \varphi^2 - \sigma_0 \varphi) d^4 x$$

Используя выражения для температурной функции Грина в температурной технике с реальным временем

$$\hat{G}_g = \frac{1}{k^2 - \sigma_0^2 - i\varepsilon} + \frac{2\pi i \delta(k^2 - \sigma_0^2)}{e^{\beta k} - 1}$$

строятся вакуумные средние для тензора энергии-импульса.

В нормальных координатах

$$G(x', y) = \sum_{l=0}^{\infty} \Delta^{1/2}(y, x') f_l(y, x') \left(-\frac{\partial}{\partial \sigma_0^2} \right) \int \frac{d^4 k}{(2\pi)^4} e^{iky} \hat{G}_g$$

Где β – обратная температура, Δ – определитель ван Флека, f_l – коэффициенты, возникающие в разложении Де Витта-Швингера функции Грина.

Конечная часть тензора энергии-импульса, зависящая от температуры, в высокотемпературном приближении имеет вид

$$\langle T^{\mu\nu}(\beta) \rangle = (\rho + p) U^\nu U^\mu + p g^{\mu\nu} + \frac{1}{2\pi^2} T^2 \zeta(2) \left(\xi - \frac{1}{6} \right) R^{\mu\nu}$$

$$\rho = \frac{T^4}{2\pi} \Gamma(4)\zeta(4) + \frac{T^2}{2\pi^2} [\zeta(2)\sigma^2 + (\xi - \frac{1}{6})R]$$

$$p = \frac{T^4}{6\pi^2} \Gamma(4)\zeta(4) - \frac{T^2}{2\pi^2} \zeta(2)[\sigma^2 + (\xi - 1)R] + \dots$$

При исследовании энергодоминантности расходящиеся величины, появляющиеся вследствие наличия гравитационного поля, не играют роли, поскольку от следа тензора энергии импульса остаются только температурные добавки и конформная аномалия. С ее учетом след имеет вид

$$T_{\mu}^{\mu}(\beta) = \frac{\sigma^4}{2\pi^2} [-(\sigma\beta)^2 \Gamma(2)\zeta(2) - \frac{1}{2}(\beta\sigma)^{-1} \Gamma(\frac{1}{2})^2 - \frac{1}{4}[\ln(\sigma\beta) + \gamma - \frac{1}{2} - \ln 4\pi] - \frac{1}{4\pi^2} \cdot \frac{1}{180} [(\sigma\beta)^{-1} \Gamma(\frac{1}{2})^2 - 1](R_{\mu}^{\mu} - R_{\mu\nu}R^{\mu\nu} + R_{\mu\nu\rho\sigma}R^{\mu\nu\rho\sigma})]$$

Равенство нулю следа тензора энергии-импульса приводит к выражению

$$(\sigma\beta)^2 = \frac{\ln 4 + 1/2 - \gamma}{4\zeta(2)\Gamma(2)}$$

что дает интервал, в котором имеет место нарушение энергодоминантности. Наличие конформной аномалии смещает этот интервал.

В случае взаимодействия со спинорным полем получается следующий результат:

$$(\sigma\beta)^2 = \frac{\Gamma(3)}{\gamma} [\zeta(3, \frac{1}{2}) - \zeta(3, 1)]$$

Нарушение энергодоминантности означает, что вклад давления – отрицательный, вследствие этого гравитация становится отталкивательной, следовательно, появляется возможность использовать нарушение симметрии вакуума в инфляционной модели именно в данном контексте.

В четвертой главе исследуется хиггс-голдстоуновское поле и предлагается модель хиггсовского гравитационного вакуума.

В отличие от голдстоуновских полей внутренних симметрий гравитационное поле не может быть убрано калибровкой вследствие того, что калибровочные преобразования действуют также на неполевые объекты – операторы частных производных ∂_{μ} как на векторы касательных пространств.

Однако эти векторы имеют смысл частных производных только в голономном атласе. В неголономной системе отсчета, когда метрика g становится метрикой Минковского η векторы $\tau_a^{\mu} h_a^{\mu} \partial_{\mu}$ содержат тетрадные функции h_a^{μ} ,

описывающие гравитационное поле в тетрадной форме, т.е. гравитационное поле в такой калибровке не исчезает, а переходит из метрической в тетрадную форму.

Это означает, что метрическое поле g в общем случае не сводится к хиггсовской компоненте η ни в какой системе отсчета, и хиггсовским вакуумом в теории гравитации может быть в действительности минковская метрика, т.е. некоторое хиггсовское гравитационное поле.

Хиггс-голдстоуновский характер классического гравитационного поля ставит вопрос о хиггсовском гравитационном вакууме в квантовой теории.

Псевдориманова метрика g делает функционал действия $S(g, \varphi)$ материальных полей φ в гравитационном поле g ковариантным относительно группы $GL(4, R)$, а, следовательно, неинвариантным относительно пространственно-временных преобразований как функционал поля φ . Эта неинвариантность распространяется и на функции Грина.

Как и в случае внутренних симметрий, для описания гравитационного поля может быть применен метод построения эффективного действия, разработанный в теории гравитации.

Рассмотрим фермионные поля ψ^a в вакуумном хиггсовском поле σ_0 в гравитационном поле g . Лагранжиан имеет вид:

$$L = \bar{\psi}(i \gamma D + \delta_0)\psi - \frac{M^2}{2K}$$

Следуя стандартной процедуре, получим эффективный гравитационный лагранжиан, который после использования уравнения движения, откуда получено выражения для σ_0 , приобретает вид

$$L_g = \frac{(4\pi)^{1/2} M^2}{2\pi^2 n(n-2)K} - \frac{M^2}{2K} + \frac{(4\pi)^{1/2} R}{48\pi^2 (n-2)K} + \frac{(4\pi)^{1/2} a_2}{4\pi^2 K M^2}$$

При снятии регуляризации эффективный лагранжиан примет гильберт-эйнштейновский вид

$$L_g = \frac{1}{6K} R$$

Отметим, что полученный таким образом лагранжиан не содержит космологического члена и гравитационная постоянная в лагранжиане конечна. Как следствие этого полуклассическое уравнение для хиггсовского гравитационного поля имеет обычный вид уравнения Эйнштейна

$$R_{ij} - \frac{1}{2} R g_{ij} = 6K \langle T_{ij} \rangle$$

где T_{ij} – тензор энергии импульса обычной, не хиггсовской материи.

ВАКУУМ КАК ИСТОЧНИК ВРАЩЕНИЯ

Введение

Идея вращения Вселенной как целого предложена в [1-3], была экспериментально исследована в [4-7], получила развитие в [8] и др.

Вращение означает, что существуют такие системы, где присутствует нарушение симметрии, в замкнутой системе какие-либо взаимодействия нарушают изотропию пространства. Нарушение изотропии порождает неоднородность. Это означает, что, согласно теореме Нётер, классические законы сохранения энергии-импульса перестают выполняться.

Если Вселенная неоднородна в масштабах галактик, состоит из ячеек неоднородности, то эта неоднородность, в свою очередь, порождает вращение.

Однако если вращение Вселенной существует, возникает множество трудностей и противоречий. Например, во вращающейся системе вдоль вектора момента импульса (оси вращения) происходит сжатие, должна возникнуть и азимутальная зависимость постоянной Хаббла, что не наблюдается. Кроме того, если бы ранняя Вселенная вращалась с такой высокой скоростью, то есть, с таким ускорением, что было бы эквивалентно гравитации черной дыры, имел бы место эффект Унру. Температура наблюдаемого излучения Унру выражается той же формулой, что и температура излучения Хокинга, но зависит не от поверхностной гравитации, а от ускорения системы отсчета a :

$$T = \frac{\hbar a}{2\pi k c} \approx 4 \cdot 10^{-21} \cdot a$$

с соответствующими размерностями. Поскольку $a = \omega^2 r$, то

$$T = \frac{\hbar \omega^2 r}{2\pi k c}$$

Если подставить планковский радиус $r_{\text{планк}} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = 1,6 \cdot 10^{-35} \text{ м}$, то температура, вызываемая эффектом

Унру $T \approx 10^{30} \text{ К}$.

Однако эпоха инфляции начинается в момент времени 10^{-42} сек. В «предшествующий» момент времени Большого взрыва 10^{-43} сек температура была близка к планковской. Подставляя размер Вселенной в момент Большого взрыва $r = 10^{-5} \text{ м}$ и планковскую частоту $\omega = 10^{43} \text{ с}^{-1}$, получим $T \approx 10^{60} \text{ К}$, что явно не соответствует температуре планковской эпохи 10^{32} К . В любом случае эффект Унру при такой гигантской угловой скорости вызовет множественное рождение частиц, что до неузнаваемости изменило бы историю Вселенной.

В [9, с. 88] указывается, что в ранней Вселенной пары частиц должны были рождаться на комптоновской длине в эру, определяемую комптоновским временем $t_c = \hbar / mc^2$. При $t \approx t_c$ массивные частицы рождаться не могут, при $t \ll t_c$ тоже, т.к. гравитационное поле слишком слабое. Однако, во-первых, при данных оценках рассматривается исключительно статическая метрика Фридмана. Во-

вторых, не слишком логично рассматривать времена много большие комптоновского времени, критическое ослабление гравитационного поля может быть связано и с другими характерными временами. Не слишком логично и первое неравенство. Неясно, настолько порядков «много меньше». Уж если речь идет о комптоновской эпохе, более адекватны символы «приблизленно» или «порядка», иначе говорить о комптоновской эре не имеет смысла. Наконец, комптоновское время вовсе не обязано быть временем рождения частиц. В противном случае в истории Вселенной отсутствовал бы бариогенез в период от 10^{-35} с до 10^{-31} с, поскольку комптоновское время, например, протона – 10^{-24} с, и (10^{-35} - 10^{-31}) $\square 10^{-24}$.

То есть: вращение Вселенной не может выражаться через угловую скорость как вращение некой сплошной или связной дискретной среды. Либо оценка планковской частоты вращения завышена на 14 порядков, соответствующая частота должна быть такова $\omega \square 10^{28} \text{ с}^{-1}$

Нетрудно также показать, что если использовать классический закон сохранения момента импульса и приемлемый (с учетом актуальности) порядок постоянной Хаббла, планковская частота к настоящему моменту времени могла бы уменьшиться только на порядок. Но если учесть эффект Унру, то «трение вакуума» [10] может объяснить ее резкое уменьшение.

В [11] вместо плотности материи подставлена плотность вакуума. Что ошибочно, т.к. плотность вакуума не меняется.

В [11] утверждается, что присутствие в космическом вакууме барионной (пылевидной) составляющей порождает два пространственных потока, текущих в противоположных направлениях с разными скоростями и ускорениями. Что тоже ошибочно.

Если проводить аналогию вращения Вселенной с ее расширением, отмечая, что, поскольку расширяться ей некуда, кроме нее ничего не существует, соответственно, она может вращаться в ничём. Ибо вращательная степень свободы ничем не «хуже» поступательной. Однако аналогом вращения вселенной является не ее расширение, а ее поступательное (в т.ч. ускоренное) движение как целого. Что не имеет смысла, хотя могло бы стать источником тех же самых феноменов анизотропии.

Следовательно, не может быть и оси вращения. В силу симметрии через каждую точку во Вселенной можно провести множество осей, равное по мощности континууму.

Следовательно, если вращение существует, то это должны быть не два, а множество встречных потоков материи.

В [11] утверждается, что источником вращения во Вселенной является вакуум как антигравитационный потенциал. То тоже неверно, поскольку антигравитация вакуума симметрична в угловых направлениях, ее суммарное воздействие на материю равно нулю.

Ось вращения, в силу относительности проходящая через каждую точку Вселенной, разумеется, не может быть одна, их может быть лишь бесконечно много, множество мощности континуума, что следует из симметрии. Таким образом, в отличие от [11], нужно представить себе, что, начиная с планковской эпохи, существуют не два встречных потока материи, а множество встречных потоков, включающих реликтовое излучение, что тоже обеспечивает его изотропию.

Таким образом, вращение Вселенной как целого не может быть зафиксировано экспериментально. Но могут быть обнаружены аномально высокие азимутальные скорости сталкивающихся галактик. Эффект также должен проявляется аналогично явлению красного смещения, например, в размытости или в отклонениях луча счета.

Орбитальный момент электрона

В эпоху рекомбинации возникают атомы, в том числе те, электроны которых имеют механический орбитальный момент.

Возникают вопросы: может ли анизотропия пространства обусловить возникновение совокупного момента импульса электронов и протонов, или это чисто квантово-механическое явление, возникающее при редукции их волновых функций? Может ли макроскопическая анизотропия пространства, обусловленная глобальным вращением (если оно есть или было), генерировать локальную или микроскопическую анизотропию? И правильна ли постановка задачи? Существует ли «внутренний» аналог вращения, как некий интенсивный параметр? Каким образом возникают механические моменты импульса электронных облаков?

В процессе рекомбинации электрон должен опуститься с высших сплошных уровней на низший дискретный возможный. Это спонтанный переход, который объясним лишь взаимодействием электрона с вакуумом.

Энергия совокупности квантовых гармонических осцилляторов $E = \sum_k (n_k + \frac{1}{2})\omega_k$, где n_k – номер возбужденного состояния осциллятора с волновым вектором k , энергия нулевых колебаний

$E_{vac} = \frac{1}{2} \sum_k \omega_k$. Возбуждённые состояния атомов описываются точными стационарными решениями

уравнения Шредингера, следовательно, должны неограниченно долго пребывать в возбужденном состоянии. Благодаря взаимодействию атома с нулевыми колебаниями электромагнитного поля в вакууме состояния атома перестают быть стационарными - в результате воздействия составляющей нулевых колебаний с частотой, равной частоте испускаемого кванта [12]. Таким образом, вакуум является причиной изменения орбитального момента электрона.

Состояние электрона на определенной орбите характеризуется энергией. Выразим ее через энергию вращения. Вместо импульса $\vec{p}$ в операторе энергии частицы, взаимодействующей с электромагнитным полем [там же, С. 49] нужно подставить инвариантный орбитальный момент $\vec{L} = \vec{r} \times (\vec{p} - \frac{e\vec{A}}{c})$ и,

соответственно, полная энергия $E = \frac{\vec{\omega}}{2} \vec{r} \times (\vec{p} - \frac{e\vec{A}}{c}) + \frac{e^2}{r}$. Орбитальный момент возникает как решение

стационарного уравнения Шредингера для электрона в центральном поле ядра. Однако неизвестно, как именно осуществляется переход от непрерывного спектра к дискретному.

В нерелятивистской квантовой механике имеются решения задач о рассеянии частиц при больших скоростях и найдены энергетические спектры для частицы в кулоновском поле [13, 14]. Но не решена задача сжатия волновой функции электрона в состояние вращения вокруг ядра. Хотя используют коэффициент сжатия волновой функции, оператор сжатия и т.д.

Понятно, что сжатие волновой функции – это тот момент, когда электрон начинает вращаться вокруг ядра, т.е. приобретает орбитальный момент. Необходимо понять, как совершается переход от состояния с непрерывным спектром с потенциальной энергией в кулоновском поле e^2 / r к полной дискретной энергии с вращением:

$$E_{nj} = \frac{E_0}{n^2} (1 + \frac{\alpha^2}{n^2} (\frac{n}{j+1/2} - \frac{3}{4}))$$

где α - постоянная тонкой структуры, j - собственное значение оператора полного момента импульса,

$E_0 = -\frac{m_e e^4}{8\hbar^2 \epsilon_0^2}$, ϵ_0 - диэлектрическая постоянная.

Гипотеза, что локализация волновой функции возникает из-за взаимодействия с нулевыми колебаниями вакуума, высказана в [15], где образование атома водорода связывается с эффектом Казимира. Поле нулевых колебаний определяет силы Ван-дер-Ваальса при взаимодействии двух молекул в s-состояниях и т.д.

Покажем, что орбитальный момент возникает за счет взаимодействия спина электрона с нулевыми колебаниями вакуума, которые дают электрону своего рода тангенциальный «первотолчок». Движение двух разноименно заряженных частиц в классике сводится к задаче двух тел. Траектории определены: гипербола, парабола и эллипс. При одномерном движении при сверхнизких энергиях переход в стационарное состояние с квантованным моментом импульса осуществляется, как видится, за счет лэмбовского дрожания электрона. Очевидно, что «тангенциальный сдвиг» можно вычислять точно так же, как обычный лэмбовский сдвиг, в полуклассическом приближении, только нижний предел

интегрирования не связан с главным квантовым числом: $\omega_{\min} = \frac{E_i}{\hbar}$, где E_i – энергия ионизации атома

водорода. Тогда дрожание электрона определится средним квадратом отклонения $\overline{\delta r^2} = \frac{2\alpha}{\pi} \left(\frac{\hbar}{mc}\right)^2 \int \frac{d\omega}{\omega}$,

$$\int \frac{d\omega}{\omega} = \ln \frac{mc^2}{\hbar} - \ln \frac{E_i}{\hbar} = \ln \frac{mc^2}{E_i} \text{ и окончательно}$$

$$\overline{\delta r^2} = \frac{2\alpha}{\pi} \left(\frac{\hbar}{mc}\right)^2 \ln \frac{mc^2}{E_i}$$

Температура эпохи рекомбинации – 4500-3000 K, что на два порядка ниже, чем температура, соответствующая энергии ионизации атома водорода, $1,6 \cdot 10^5 K$, она могла опуститься еще ниже. Возможно, что именно вакуумный вклад сыграл роль при образовании атомов в эпоху рекомбинации.

Выводы и предположения

Понятно, что ввести динамическую величину, аналогичную давлению вакуума при расширении в ранней Вселенной, невозможно, вакуум не может быть системой отсчета и не может вращаться. Тем не менее, всё же можно предположить, что вращательные степени свободы заложены в хиггсовском вакууме. Аналогично приобретению массы частицей взаимодействие частиц с вакуумом скалярного поля после выполнения стандартной процедуры теории возмущений может дать и величину наподобие эффективного момента инерции, что можно будет интерпретировать как спин. Это может быть представлено в построениях типа многодублетных моделей Хиггса или в модели приватного Хиггса. Если же принцип неопределенности записать в четырехмерном виде следующим образом:

$|\Delta s||\Delta p| \geq \hbar / 2$, где s – интервал, p – 4-импульс, и представить рождение Вселенной в духе Ли Смолина и Эдварда Трайона как квантовую флуктуацию в виде пары частиц «максимон-антимаксимон», каждая из которых порождает метрику и распадается подобно резонансам за 10^{-43} с, то величина, обратная планковскому времени, утрачивает смысл угловой частоты. При распаде спин, связанный с механическим моментом планковской Вселенной, переходит в спины образованных частиц. Вследствие СР-симметрии частицы и античастицы имеют противоположно направленные импульсы, аннигиляция не происходит, возникают две Вселенные, с материей и антиматерией, решается проблема отсутствия антиматерии.

Возможно, что максимон не обладал таким огромным спином, а спины частиц возникли не только путем передачи момента импульса от максимона, а были в огромном большинстве приобретены вместе с массой при взаимодействии с полем Хиггса.

По аналогии можно рассмотреть парадокс «исчезновения волос», вопрос, куда девается, например, угловой момент падающей на не вращающуюся черную дыру массы, которая до этого вращалась вокруг черной дыры. Хокинг в связи с данным парадоксом высказал мысль, что реальных черных дыр с сингулярностью не существует.

Однако можно предположить другое: угловой момент черная дыра получает вследствие взаимодействия с вакуумом, типа эффекта Казимира. За счет этого черная дыра приобретает «волосы», в том числе заряд поглощаемой массы.

Предложенные модели могут разрешить трудности и противоречия в теме вращения Вселенной. Вращательная степень свободы может быть скрыта в вакууме, либо перераспределена между спинами элементарных частиц вне модели спинирующей жидкости.

Литература

1. Gamov G. Rotating Universe? *Nature*. 1946; 4016: S. 549.
2. Godel, K. An example of a new type of cosmological solutions of Einstein's field equations of gravitation. *Rev. Mod. Phys.* 1949; 21: S. 447–45.
3. Whittaker, E.T. Spin in the Universe. *Yearbook of Roy.Soc.-Edinburg*. 1945; S. 5–13.
4. Birch P. Is the universe rotating. *Nature*. 1982; 298(5873): S. 451-454.
5. Land K., Magueijo J. Examination of Evidence for a Preferred Axis in the Cosmic Radiation Anisotropy. *Physical Review Letters*. 2005; 95: S. 071301-071304. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.95.071301>.
6. Liddle A. R., Cortes M. Cosmic Microwave Background Anomalies in an Open Universe. *Physical Review Letters*. 2013; 111: S. 111302. DOI: 10.1103/PhysRevLett.111.111302.

7. Longo M. J. Detection of a dipole in the handedness of spiral galaxies with redshifts $z \leq 0.04$. *Phys. Lett. B.* 2011; 699(Is. 4): S. 224-229. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physlet.2011.04.008>.
8. Космология с вращением / В. Ф. Панов [и др.]. Пермь, ПГНИУ, 2016. 224 с.
9. Гриб А. А. Основные представления современной космологии / М. : Физматлит, 2008. 108 с.
10. Ahn J., Xu Z., Bang J. et. al. Optically Levitated Nanodumbbell Torsion Balance and GHz Nanomechanical Rotor. *Phys. Rev. Lett.* 2018; 121. S. 033603. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.121.033603>
11. Чечин Л. М. Космический вакуум и вращение Вселенной. // Астрофизические исследования космических объектов. Алматы, ТОО «А-ТРИ ПРИНТ». 2013. Т. 10. С. 112-136.
- 12. Мигдал А. Б., Крайнов В. П.. Приближенные методы квантовой механики / М. : Наука, 1966. С. 47-50.
- 13. Ахиезер А. И., Берестецкий Б. Б. Квантовая электродинамика. / М. : Наука, 1969. С. 136.
- 14. Берестецкий Б. Б., Лившиц Е. М., Питаевский. Квантовая электродинамика. / М. : Наука, 1989. С. 160.
- 15. Тимашев С. Ф. Фликкер-шумовая спектроскопия: информация о хаотических сигналах. / М. : Физматлит., 2007. С. 218.

КВАНТОВЫЙ КРУТИЛЬНЫЙ ОСЦИЛЛЯТОР С ПЕРЕМЕННОЙ ДЛИНОЙ

При удвоении ДНК возникают репликативные вилки, которые увеличивают момент инерции спирали ДНК, тем самым снижая собственную частоту крутильных колебаний спирали ДНК. Упрощенно представим $J = J_n + ct$

Если пренебречь диссипацией, уравнение крутильных колебаний спирали сведется к следующему:

$$(1 + k\tau)\ddot{\varphi} + k\dot{\varphi} + \varphi = 0. \quad 1)$$

(Введены безразмерное время $\tau = \omega_0 t$, где $\omega_0^2 = 2G/J_n$, и безразмерный коэффициент k : $c/J_n = k\omega_0$.)

Второй член квазидиссипативный, роль диссипации выполняет увеличение момента инерции (снижение амплитуды колебаний). При $k \ll 1$ частота снижается линейно.

При наличии диссипации квадратичный член по скорости приводит к уравнению Риккати:

$$\ddot{u} = (ax - b)u. \quad 2)$$

где x, u – переопределенные время и угол. Отсюда уже можно видеть, что репликация уменьшает собственную частоту. Появляется второй резонанс, что и было получено в экспериментах с молекулой ДНК *E. coli* ATCC 25 992: кроме частоты 9,6 ГГц наблюдался резонанс на частоте 9,2 ГГц.

Раскручивание азотистых оснований вокруг оси спирали ДНК описывается уравнением, которое сводится к уравнению син-Гордона:

$$\varphi_{tt} - \varphi_{xx} + \sin \varphi = 0$$

имеющему односолитонные решения; здесь $\varphi \in (-2\pi, 2\pi)$, $x \in (-\infty, \infty)$, $t \in (-\infty, \infty)$ — безразмерные величины (В. С. Новоселов. Кинк-антикинк взаимодействие в репликации ДНК. Вестник СПбГУ. Сер. 10. 2015. Вып. 4. С. 27-35).

Уменьшение частоты, как показывает уравнения 1), 2), происходит непрерывно, тогда как в эксперименте – две дискретные частоты.

Для квантового осциллятора уравнение волновой функции записывается в виде:

$$\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{m\omega^2}{2} x^2 \psi = E\psi$$

Уравнение имеет решение, выражаемое через полиномы Эрмита, при этом выражение для энергии должно выглядеть следующим образом:

$$E_n = \hbar\omega\left(n + \frac{1}{2}\right)$$

В случае крутильных колебаний уравнение приобретает вид

$$\frac{2\hbar^2}{md^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \varphi^2} + \frac{Gd^2\varphi^2}{8} \psi = E\psi$$

Где G – жесткость осциллятора, d – его длина. Тогда

$$E_n = \frac{2\hbar}{m} \sqrt{\frac{G}{J}} \left(n + \frac{1}{2}\right)$$

Где J – момент инерции элементарного осциллятора на спирали, $J = md^2 / 4$. Теперь пусть момент инерции увеличивается вследствие увеличения длины. Тогда уравнение запишется так:

$$\frac{\hbar}{2m} \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \right) \psi + \frac{Gr^2 \varphi^2}{8} \psi = E \psi$$

Какое условие налагается в данном случае на энергию – пока непонятно.

Здесь радиус осциллятора – координата, которая изначально не дискретна. Но каждому уровню энергии электрона в атоме в полуклассическом приближении можно поставить в соответствие радиус

$$r_n = an^2$$

где $a = \hbar^2 / kme^2$ - боровский радиус ($k = 1 / 4\pi\epsilon_0$, ϵ_0 - электрическая постоянная, m – масса, e – заряд электрона).

В случае атома Бора изменение орбиты происходит за счет поглощения кванта электромагнитного поля, в случае дипольного осциллятора, как фрагмента спирали ДНК – за счет подкачки энергии ферментами.

В классическом случае при колебаниях с собственной частотой $E = G$, поскольку $E = J\omega^2 / 2$, а

собственная частота $\omega = \sqrt{\frac{2G}{J}}$, и увеличение радиуса не ведет к изменению энергии, а только к

снижению частоты в соответствии с законом сохранения момента импульса. Классический крутильный маятник не имеет спектра колебательных мод, в спектре частот – лишь единственная собственная частота.

Если же уровни энергии дискретны, очевидно, что увеличение диаметра осциллятора и, соответственно, снижение частоты тоже должно носить дискретный характер.

Например, если упрощенно представить энергию как возрастающую $E_{n+1} = aE_n$, и по аналогии с атомом

Бора представить возрастание радиуса $r_{n+1} = br_n$, где a и b – возрастающие целочисленные функции от натурального ряда n и больше единицы, то

$$\omega_{n+1} = \sqrt{\frac{a}{b}} \omega_n$$

Соответственно, спектр частот не эквидистантен, частоты могут отличаться друг от друга незначительно.

Поскольку в спирали ДНК при репликации есть два типа осцилляторов: те фрагменты, что находятся на спирали, и репликационные вилки, поскольку в гамильтониан входит также силы со стороны раскручивающих спираль ферментов, само раскручивание воздействует и подвергается воздействию окружения, кроме того, фрагменты Оказаки образуются скачкообразно, то величина скачков частоты является сложной функцией.

К ТЕОРИИ СТРУН

Введение

Теория струн – попытка объединения гравитации, квантовой теории поля и Стандартной модели, она объединяет аппараты алгебр Каца – Муди и Грассмана, топологии, теории графов, теории групп (в частности, используется калибровочная группа $E_8 \otimes E_8$), дифференциальной геометрии (римановы поверхности, пространства Тейхмюллера и Калаби – Яу с кэлеровой метрикой, на которой тензор Риччи обращается в ноль), континуального интегрирования, теории Янга – Миллса.

Теория возникла из наблюдения за рассеянием пионов, которые вели себя как релятивистские струны (реджеоны), из обнаруженной связи между спином и массой адрона. Впоследствии теория отошла от данной экспериментальной привязки.

Вместо частиц как объектов с нулевой размерностью теория струн оперирует с одномерными объектами. В теории струн всего две фундаментальные константы: натяжение струны (плотность энергии) и струнная константа связи - вероятность распада струны на две.

Из условия нормировки вытекает, что концы струны вращаются со скоростью света.

Из условия принадлежности физическому гильбертову пространству шпурионного состояния, ортогонального всем физическим состояниям, построенного с помощью генераторов Вирасоро, и из требования, чтобы физическое гильбертово пространство не содержало духов (с отрицательной нормой), получается размерность физического пространства-времени $D = 26$ [1].

Низшие гармоники соответствуют безмассовым частицам. В теории бозонных струн самая низкочастотная гармоника соответствует тахиону, что означает нестабильность струны: тахионы немедленно забирают из системы всю энергию и покидают систему. Система распадается на состояния, лишенные тахионов. В теории суперструн, включающей суперсимметрию, нет тахионов, поскольку для них отсутствуют суперпартнеры.

В суперструнной модели $D = 10$. Шесть измерений компактифицируются $x \rightarrow x + 2\pi R$, их характерный размер устремляют в малой величине, не обнаруживаемой в эксперименте, но каждой точке 4-пространства соответствует 6-мерное пространство Калаби–Яу.

Важнейшая симметрия в теории струн – группа диффеоморфизмов, репараметризационная инвариантность (R-инвариантность): независимость геометрических свойств поверхности от градуировки линейки, независимость структуры мирового листа от масштаба линейки. На квантовом уровне R-инвариантность может быть сохранена лишь в 10-мерном пространстве.

Однако дело в том, что, как показал М. О. Катанаев, путем алгебраических преобразований можно перейти из пространства, например, де Ситтера в пространство Фридмана, из пространства Фридмана в пространство анти-де Ситтера, которые обладают разными топологиями. Таким образом, использование R-инвариантности представляется искусственным.

Пять различных 10-мерных теорий струн, типа I, IIA и IIB и две гетеротические, связанных преобразованиями дуальности, и 11-мерная M-теория являются различными пределами объединенной теории струн.

Один из недостатков теории струн – проблема ландшафта. В виду свободы выбора пространств Калаби – Яу, отвечающих за компактификацию дополнительных измерений, способов компактификации оказывается порядка 10^{500} , что означает существование в теории струн экспоненциально большого числа неэквивалентных ложных вакуумов, и не исключено, что данных способов бесконечное число.

Заряды частиц соответствуют числу обертываний струны вокруг скрытого измерения, тип и знак заряда определяются номером обертывания и его направлением. Если струна расплетается, возникают частицы с дробными зарядами: $1/5$, $1/11$, $1/13$ или $1/53$, теория струн не может предсказать их массы.

Существует также проблема масштаба зернистости пространства. Кроме того, нет полной непертурбативной формулировки теории. Помимо струн в теории присутствуют браны, между которыми натянуты струны, браны также не обнаружены в эксперименте.

Одним из основных мотивов теории струн является наличие в Стандартной модели 20 параметров, которые не выводятся из самой Стандартной модели. Этот мотив порочен, ни одна теория не может описать мир окончательно, в ней обязательно должны присутствовать экспериментальные данные, не выводимые из данной теории.

Теория максимально оторвана от эксперимента, так, И. Арефьева объясняет темную материю при помощи теории струн, тогда как еще неизвестно, что это такое.

Масса электрона

Характеристики электрона: $m = 10^{-30}$ кг, $e = -1,6 \times 10^{-19}$ Кл, измеренный радиус $r = 10^{-22}$ м

$\lambda_{\text{Compt}} = 2\pi\hbar / mc \approx 2,4 \cdot 10^{-12}$ м, $r_{\text{Классич}} = e^2 / mc^2 \approx 2,8 \cdot 10^{-15}$ м, $r_{\text{грав}} = 2Gm / c^2 \approx 1,35 \cdot 10^{-57}$ м.

Классический радиус электрона почти равен радиусу действия ядерных сил. Он вычислен из приравнивания электрической энергии к mc^2 .

Энергия заряженного шара

$$U = \frac{ke^2}{r} \left(\frac{1}{10\varepsilon_{in}} + \frac{1}{2\varepsilon_{ex}} \right)$$

В общем случае

$$U = a \frac{ke^2}{r}$$

где a – коэффициент порядка единицы, характеризующий геометрию тела, r – характерный размер тела, $k = 1/4\pi\epsilon_0$, $k = 10^{10}$ Н х м²/Кл², $m_{total} = m_1 + m_2 = U/c^2 + m_1$;

$$m_2 = U/c^2$$

То есть, если принять, что электрон – струна, и, следовательно, его размер порядка 10^{-35} м, то его «электрическая» масса будет порядка 10^{-10} кг, что на 20 порядков больше измеренной массы электрона. Но меньше планковской (критическая масса мини-черной дыры порядка 10^{-8} кг).

Частота

1) Колебания классической струны описывается функциями Бесселя. Частоты идеальной струны определяются по формуле

$$\omega_n = \pi n \sqrt{f/lm}$$

где f – сила натяжения, l – длина, m – масса.

Размеры струны – порядка 10^{-35} м, масса электрона – порядка 10^{-30} , чтобы частота была хотя бы порядка 10^0 , сила натяжения должна быть 10^{-66} Н.

Поскольку концы струн движутся со скоростью света, частота ее вращения –

$v = c/\pi l \approx 10^{43}$. Однако частота колебаний n -ной моды для классической вращающейся струны пропорциональна частоте вращения

$$\omega_n = [(2n-1)n]^{1/2} \omega$$

Тогда сила натяжения $f \approx 10^{87}$ Н. Что ответственно за такие огромные силы в природе?

2) Если фотон – струна, его частота и размеры на много порядков больше, чем следует из идеологии теории струн.

3) Если частицы – струны, масса которых определяется их колебаниями, то у каждой струны должны быть массивные гармоники, обертоны, т.е. должны существовать частицы с кратно большими массами, наконец, с очень большими и крайне большими массами.

Черные дыры

Совпадение значения энтропии черной дыры, вычисленной по теории струн (бран) со значением, полученным Бекенштейном и Хокингом, вызывает сомнение, потому что они использовали классическую, не объединенную с ОТО термодинамику.

Гиббонс и Хокинг для описания черной дыры включают в действие

$$S_g = k \int R \sqrt{-g} d^4x$$

свободную энергию $F = E - TS$, но выбирают классическое выражение для свободной энергии.

Можно включить в действие свободную энергию $F = E - TS$ в релятивистском варианте, но такого варианта пока нет. Кроме того, Гиббонс и Хокинг использовали классический канонический ансамбль Гиббса, где вероятность реализации данного конкретного состояния с энергией E_τ : $\omega_\tau = e^{E_\tau/kT} / Z$ где

нормирующая статистическая сумма $Z = \sum_\tau e^{-E_\tau/kT}$. Энтропия системы по Гиббсу: $S = -k \int \rho \ln \rho d\tau$

где ρ – плотность вероятности (из дискретного уравнения Шеннона).

Т.е. S – положительная величина, при равной нулю температуре обращаясь в нуль. Сама вероятность описывается распределением Пуассона, Гаусса, биномиальным распределением и т.д.; через распределение Гаусса можно вычислять энтропию. То есть, у Гиббонса и Хокинга фактически тепловая энергия просто добавляется к механической энергии системы. Однако теплота и механическая энергия в СТО преобразуются по-разному, $Q = \gamma^4 Q'$ [2].

Но дело еще и в том, что второй закон термодинамики, закон возрастания энтропии, не меняется в классическом гравитационном поле, например, на Земле, потому, что в его основе лежит симметрия евклидова пространства. Законы физики эквивалентны относительно преобразований группы Галилея в евклидовом пространстве, в пространстве Минковского – относительно группы Лоренца. Но сильно искривленные пространства описываются иными группами симметрии, группой Бонди-Метцнера-Сакса

и др. То есть, теория вероятности в ОТО – другая, в ней распределения Гаусса (нормальное распределение Пирсона типа IX), Коши, Фишера, логнормального, Пуассона – не симметричны. В [3, с. 112] распределения Бозе и Ферми получают, исходя из классической функции распределения с релятивистским аргументом. Однако очевидно, что при преобразованиях Лоренца при распределении случайной величины вдоль вектора скорости системы отсчета смещается математическое ожидание $M = (M' + ut) / \gamma$ и в формуле для плотности вероятности $f(x) = (\sigma\sqrt{2\pi})^{-1} \exp[-(x - M)^2 / 2\sigma^2]$ сокращается дисперсия σ :

$$f(x) = (\gamma\sigma'\sqrt{2\pi})^{-1} \exp[-(x' - M')^2 / 2\gamma^2\sigma'^2]$$

Следовательно, сама плотность вероятности при переходе в движущуюся систему координат преобразуется сложным образом.

С другой стороны, гравитационное поле нарушает 2-й закон термодинамики [4].

Механизм Хиггса

В теории струн масса каждой частицы возникает вследствие ее колебаний. Однако масса частиц возникает вследствие механизма Хиггса, который был доказан после обнаружения бозона Хиггса, этот механизм не требует колебаний струны.

Тахионы и духи (hosts)

В начальных версиях теории струн возникали тахионы, квадрат массы частицы (наинизшая энергия колебания струны между бранами)

$$m^2 = -\frac{1}{\alpha'} + \left(\frac{d}{2\pi\alpha'}\right)^2$$

(α' - параметр теории, d - расстояние), если браны достаточно близки, может быть меньше нуля. При использовании суперсимметрии от тахионов удастся избавиться. Возникает вопрос – зачем. При решении уравнений геодезических положим $y = z = const$. При решении уравнение для x в метрике Фридмана-Робертсона-Уокера $\Gamma_{01}^1 = \dot{a} / a$, положив функцию Хаббла постоянной, получим: $x = x_0 - A \ln t$, где $A = const > 0$. То есть, в метрике Фридмана содержится такое решение уравнений геодезических, которое в каждый момент времени возвращает точку в начало координат. Но это еще не петля времени. Без ограничения общности представим замкнутую времениподобную геодезическую в виде эллипса: $t^2 + a^2 x^2 = b^2$. Уравнение для эллипса могло бы играть роль уравнения для интервала, если бы не одинаковый знак у t^2 и x^2 . Причем

$$dt = \frac{a}{b} \frac{xdx}{\sqrt{1 - x^2 / b^2}}$$

Отметим, что в метрике Фридмана для световой волны

$$dt = \pm a(t) \frac{dr}{\sqrt{1 - kr^2}}$$

Т.е. $dt_{\text{эллипса}} = ax dt_{\text{света}}$, где a – новая константа. Выпишем выражение для метрики Гёделя:

$$ds^2 = \frac{1}{2\omega^2} [-(dt + e^x dz)^2 + dx^2 + dy^2 + \frac{1}{2} e^{2x} dz^2]$$

Переопределим координаты, чтобы избавиться от коэффициента, и положив $x = y = 0$:

$$ds^2 = -dt^2 - \frac{1}{2} dz^2 - 2dtdz$$

Таким образом, появление замкнутых времениподобных в метрике Гёделя – тривиально, поскольку у dt^2 и dz^2 одинаковые знаки. Замкнутые времениподобные возникают потому, что в уравнении для интервала фигурирует мнимое время. В частности, для световой волны это означает затухание.

Таким образом, временные петли в решениях уравнений ОТО не являются нарушением причинности, а соответствуют затухающим процессам – как и рождение антиматерии и тахионы.

Рассмотрим также выражение для частоты в формуле для релятивистского эффекта Доплера:

$$\omega = \omega_0 \sqrt{\frac{1 - v/c}{1 + v/c}}$$

При превышении скорости света электромагнитное возмущение перестает иметь форму распространяющихся в бесконечность колебаний. При $v > c$ частота становится мнимой, следовательно, амплитуды электромагнитных возмущений будут затухать без осцилляций по экспоненте: $A \propto e^{-\beta t}$, где $\beta = \omega_0 \sqrt{v/c - 1} / \sqrt{v/c + 1}$.

То есть, существование тахионов – не ошибка теории и не скачок за предел скорости, физически оно означает затухающие решения, таким образом, тахионы не могут уносить энергии из системы.

Следовательно, если теория струн избавилась от тахионов, это не плюс теории, а минус.

Аналогично: духи «вручную» исключаются из спектра струн, хотя играют роль в динамике струн.

Положительная вероятность события означает, что при проведении эксперимента в будущем величина f примет значение f_p с вероятностью p . Отрицательная вероятность ($-p$), которую отметили Вигнер, Дирак, Фейнман, означает, что f могла принять значение f_p с вероятностью p в прошлом, что не означает нарушения причинности.

Вероятность связана с симметрией пространства, соответственно, отрицательная вероятность соотносится с инверсией времени. Инверсия времени физически отражает симметрию законов физики (через коэффициенты Онсагера), а также связана с затухающими процессами. Отрицательная вероятность [5] физически означает ограниченность классического детерминизма, в квантовой механике она возникает естественно из-за принципиальной ненаблюдаемости, например, спина при возможности наблюдения его проекций, что может иллюстрировать известный парадокс треугольной комнаты. Вероятность принимает отрицательные значения в некогерентных фоковских и в запутанных состояниях. Таким образом, принудительное устранение отрицательной вероятности означает устранение квантовости. Отрицательная вероятность не менее физична, чем отрицательная энергия. Духи Фаддеева – Попова – фиктивные поля и соответствующие им частицы в теории калибровочных полей для сокращения вкладов нефизических времениподобных и продольных состояний калибровочных бозонов. Без духов Фаддеева- Попова нельзя корректно записать континуальный интеграл в Стандартной модели.

Таким образом, размерность пространства не может быть вычислена из условия отсутствия духов.

Теория относительности

В ОТО что геометрия пространства не фиксирована, является динамической и эволюционирует во времени. В теории струн этого нет, то есть, квантовая гравитация в аппарате теории струн не является фоново независимой.

Расходимости

Поскольку толщина струны нулевая, объем струны – нулевой, следовательно, ультрафиолетовые расходимости должны сохраниться:

$$m_{em} c^2 = \frac{\epsilon_0}{2} \int E^2 dV = \left(\frac{4\pi}{3}\right)^{1/3} \frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{V^{1/3}}$$

Сама по себе перенормировка в виде включения в лагранжиан отрицательной голой массы в качестве контрчлена имеет нетривиальный физический смысл.

В электродинамике использование метода возмущений, реализуемого с помощью диаграмм Фейнмана, успешно, т.к. S-матрица рассеяния зависит от безразмерного малого параметра, постоянной тонкой структуры $\alpha \approx 7,3 \cdot 10^{-3}$. В гравитации данный метод не применим, поскольку константа не является малой и имеет размерность. Это говорит только о том, что метод возмущений не является подходящим, он имеет ограниченные рамки. Если теория струн позволяет использовать данный метод в квантовой гравитации, это минус для теории, он указывает на ее неадекватность.

Актуальность

1) Энергии, необходимые для подтверждения теории струн – на 15 порядков больше достигнутых.

2) Теория суперструн требует суперсимметрии, то есть, наличия за пределами энергетического лимита тяжелых супер-частиц, фотино, гравитино, скварков, хигсино и пр. Эти частицы, как и лептокварки, не

обнаружены, эксперименты на Большом адронном коллайдере не подтверждают версию суперсимметрии. Не найдены варианты экспериментального подтверждения теории струн [6]. Струн нет и на карте реликтового излучения.

Еще одна теория, оценивающая наблюдаемый эффект таким малым, что он недостижим современными приборами – теория вращения Вселенной, ему посвящены сотни статей и монографий.

3) Кроме объединения Стандартной модели, квантовой механики и гравитации, которое остается под вопросом, теория струн ничего не дает.

Философия

1) Частота колебаний струны определяется длиной, натяжением и массой, т.е. нельзя определить массу через энергию колебаний, если этой массы не было изначально. Т.о., идеология «нот» теряет смысл.

2) Струна, как и брана – геометрически образ, она не имеет толщины, следовательно, не имеет структуры, следовательно, не имеет качеств. С тем же успехом можно вернуться к Пифагору и утверждать, что частицы суть числа.

3) Утверждается, что какова бы ни была Вселенная, всегда найдется такой способ компактификации, чтобы свести ее к Вселенной, которая была бы согласована с ТС, следовательно, ТС не противоречит современным экспериментам и не будет противоречить никакому опыту в обозримом будущем. Это означает, что теорию струн нельзя опровергнуть.

По мнению Ли Смолина проблема ландшафта выводит теорию струн из рамок научности. Кроме того, она считает, что ««струнный» взгляд на вещи основан на существующих издавна предположениях, в которых имеется широкая уверенность у струнных теоретиков, но которые никогда не были доказаны» [7] (см. также [8]).

Это неверно. ТС, безусловно, фальсифицируема, однако принцип фальсификации не является научным. Научность теории доказывается ее соответствием эксперименту, которого у теории струн нет, поскольку энергии, при которых проявляется теория, недостижимы, и ее применимостью на практике, которая тоже отсутствует.

ТС не делает новые предсказания, проверяемые современными или мыслимыми сегодня экспериментами. То, что струнных теорий 10^{500} или даже бесконечно много, не означает, что найдется хотя бы одна из них правильная. Следовательно, тезис о невозможности опровергнуть ТС, ложный.

4) КМ, СТО и ОТО возникли не из внутренних неудобств теорий, но из эксперимента.

Для ТС, квантовой гравитации нет экспериментов, которые были бы парадоксальны, нарушали бы прежние представления.

Во-вторых, создание ТС не вытекало из проблем развития даже теоретической части физики, которое шло параллельно формированию ТС.

5) Теория струн предсказывает постоянный процесс коллапса и нового рождения Вселенной, даже с поправкой Толмена о росте энтропии это круговорот, что противоречит законам диалектики.

Теория струн обнаруживает время до возникновения Вселенной, таким образом, форма появляется до содержания, что не может быть верным.

6) Философия теории струн следует порочной философии «первокирпичика».

7) Утверждается, что теория суперструн есть теория всего, «окончательная теория», что противоречит понятию теории. Любая теория всегда ограничена.

Само появление теории струн симптоматично и отражает структурный кризис в физике.

Заключение

Теория струн и суперструн – стройная, логичная математическая теория, подобно построениям Герсонаида, Аль Битруджи или Птолемея, которая либо не имеет отношения к эксперименту, либо им опровергается. Тем не менее, возможно ее использование в идеологии метода малого параметра, исчезающего в конечном расчете, если роль малого параметра после устранения расхождений играют характерные размеры струн. Вероятно, таким способом может быть устранена проблема ландшафта – путем устранения самого ландшафта.

Литература

1. Каку М. Введение в теорию суперструн. М.: Мир, 1999. С. 80-86.

2. Ихлов Б. Л. Термодинамический подход в космологии. Евразийский научный журнал. 2019. №1.

3. Горбунов Д. С., Рубаков В. А. Введение в теорию ранней Вселенной. Теория горячего Большого взрыва. М.: ЛКИ, 2008. 552 с.
4. Palma G., Normale S., Sormani M. C., Peierls R. Counterintuitive effect of gravity on the heat capacity of a metal sphere: re-examination of a well-known problem. <https://arxiv.org/pdf/1502.01337.pdf>
5. Feynman, R. Negative probability. In Hiley, B. and Peat, F. editors, Quantum implications^ essays in honour of David Bohm, P. 235-248. Routledge, London and New York.
6. Гросс, Дэвид. Грядущие революции в фундаментальной физике. Проект «Элементы», вторые публичные лекции по физике (25.04.2006).
7. Ли Смолин. Неприятности с физикой: взлёт теории струн, упадок науки и что за этим следует. 2007.
8. Сасскинд Л. Космический ландшафт: теория струн и иллюзия разумного замысла Вселенной. — СПб. : Питер, 2015.

НАРУШЕНИЕ ЛОРЕНЦ-ИНВАРИАНТНОСТИ КАК СИММЕТРИЯ

Введение

Характеристикой состояния физической системы является вектор состояний в гильбертовом пространстве. Этот вектор представлен волновой функцией, симметричной относительно некоторых групп преобразований.

1) Перечислим группы СРТ-симметрии. Зарядовая чётность – мультипликативное квантовое число истинно нейтральной частицы, определяющее поведение её вектора состояний при зарядовом сопряжении. При операции зарядового сопряжения волновая функция частицы умножается на значение C -чётности, то есть, меняет знак (зарядово нечетная частица), либо остаётся прежней (зарядово чётная). Закон сохранения C -чётности выполняется при сильных, электромагнитных, и гравитационных взаимодействиях, в случае слабых взаимодействий – нарушается. Зарядовая чётность фотона $C = -1$ (при зарядовом сопряжении электрические заряды меняют знак, поэтому и электромагнитные поля, квантами которых являются фотоны, тоже должны изменить знак, чтобы эволюция системы не изменилась). Вследствие сохранения C -четности при любых электромагнитных процессах невозможно превращение нечётного числа фотонов в чётное и наоборот (теорема Фарри). Псион за счёт ЭМ распадается $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$, $C(\pi^0) = C(2\gamma)$, $C(\pi^0) = C(\gamma)C(\gamma) = (-1)(-1) = +1$.

Комбинированная чётность, CP -симметрия — произведение C -зарядового сопряжения, переводящего частицу в её античастицу, и P -чётности, зеркального отображения физической системы. Сильное и электромагнитное взаимодействие являются инвариантными по отношению к CP -преобразованию, эта симметрия нарушается в процессе некоторых типов слабого распада, в Стандартной модели – в кварковом секторе. CP -нарушение теоретически может наблюдаться и в сильных взаимодействиях, но CP -нарушающий член здесь сильно ограничен ненаблюдением в эксперименте электрического дипольного момента нейтрона.

Обращение времени, T -четность - симметрия уравнений по отношению к замене времени t на $-t$, записывается как равенство нулю коммутатора оператора гамильтониана и антиунитарного оператора обращения времени.

Следствием из CPT -теоремы является то, что у частицы и античастицы точно равны масса и магнитный момент, их электрические заряды равны по модулю и противоположны по знаку, спины равны по модулю и противоположны по направлению. На диаграммах Фейнмана античастица эквивалентна частице, идущей назад во времени, поэтому, напр., эффекта Комптона и аннигиляции электрон-позитронной пары эквивалентны и дают одни и те же значения амплитуд.

Утверждается, что законы классической механики, классической электродинамики, квантовой механики, теории относительности не меняются при инверсии времени.

Физические величины, меняющие знак при обращении времени - T -нечётные, не меняющие знак - T -чётны. Произведение любого числа T -чётных величин и чётного числа T -нечётных величин, T -чётно, и т.д. T -чётными являются координата, ускорение, угловое ускорение, энергия, плотность энергии, сила, электрический потенциал, напряженность электрического поля, тензор напряжений ЭМП, плотность электрического заряда. T -нечётные: скорость, угловая скорость, линейный импульс, угловой момент

(орбитальный и спиновый), мощность, электромагнитный векторный потенциал, магнитная индукция, напряженность магнитного поля, плотность электрического тока. Массы, заряды и константы, не связанные со слабым взаимодействием – T -чётны. Напр., второй закон Ньютона $ma = \sum_i F_i$, при

добавлении вращательного движения в силу соотношения $r\omega' = a_r$ теряет T -симметрию.

Для электромагнитного и сильного взаимодействий P , C и T являются преобразованиями симметрии, для слабого взаимодействия P и C не являются преобразованиями симметрии, но T и PC – являются. Модели, объединяющие сильное взаимодействие с электрослабым – теории великого объединения (GUT).

Из того, что CP -симметрия нарушена при сохранении CPT -симметрии, следует неинвариантность относительно T -симметрии. CPT -теорема утверждает, что любая лоренц-инвариантная локальная квантовая теория поля с эрмитовым гамильтонианом должна иметь CPT -симметрию.

По теореме Людерса-Паули любая адекватная теория поля должна быть CPT -инвариантна.

2) Группа Лоренца содержит обычные пространственные вращения и отражения, а также бусты – преобразования перехода от одной системы отсчета к другой.

Рассмотрим преобразования Лоренца, выделим направление z . Если усложнить группу Лоренца, мнимый буст с параметром буста $i\pi$ устремит $t \rightarrow -t; z \rightarrow -z$. Выполним дополнительное вращение π в плоскости xu , получим комбинацию P и CT . Комбинация CT появляется вместо T , потому что данное преобразование унитарно, а не антиунитарно. Предположив, что операция комплексного роста корректна как симметрия, получим состояние, которое описывается теми же законами, что и даёт CPT -теорему.

$O(1,3)$ – ортогональная группа преобразований пространства Минковского, сохраняющих начало координат, то есть, являющихся линейными операторами, состоит из однородных линейных преобразований координат четырёхмерного пространства-времени $x'_\nu = \sum_\mu L_{\nu\mu} x^\mu$, $x_0 = ct$, $x_1 = x$, $x_2 = y$, $x_3 = z$, оставляющих инвариантной форму $s^2 = (ct)^2 - x^2 - y^2 - z^2$ и не меняют направления времени. Группа включает пространственные повороты в трёх плоскостях, лоренцевы преобразования, отражения пространственных осей: и все их произведения. Специальная группа Лоренца $SO(1,3)$ – группа истинных вращений, подгруппа преобразований, определитель матрицы которых равен 1 (в общем случае ± 1). Ортохронная группа Лоренца $O_\uparrow(1,3)$, специальная ортохронная группа Лоренца

$SO_\uparrow(1,3)$ — аналогично, единственная из четырёх является связной и изоморфна группе Мёбиуса, $SO_\uparrow(3,1) \subset SO(3,1) \subset O(3,1)$. Все неприводимые представления специальной ортохронной группы Лоренца можно построить при помощи спиноров. Абелева группа сдвигов по времени

$Rt \rightarrow t + const \in R$ реализуется как группа вращений $SO(2)$ временной плоскости с координатами Y_1, Y_2 (гомоморфизм на группу вращений $R \rightarrow SO(2)$). Ортохронная группа Лоренца $SO_\uparrow(3,1)$ не меняет направление времени, что выражается условием $A^0_0 \geq 1$. Операция обращения времени для элементарных частиц без спина заключается в изменении знака t и одновременной замене волновой функции на комплексно сопряжённую в уравнении Шрёдингера: $\Psi(t, r) \rightarrow \Psi^*(-t, r)$. Для элементарных частиц со спином операция обращения времени заключается в замене: $\Psi_{s\sigma} \rightarrow \Psi_{s,-\sigma}(-1)^{s-\sigma} [1]$.

Инвариантность при обращении времени в представлении Шрёдингера означает, что из отображения $\Psi_i \rightarrow \Psi_f$ следует $\Psi_f^R \rightarrow \Psi_i^R$. Преобразование обращения времени задаётся следующими постулатами: $\Psi^R = U^T \Psi^*$, где Ψ – вектор состояния системы, индекс T означает операцию транспонирования, знак $*$ – операцию комплексного сопряжения.

3) Космологическая инфляция вызвана переходом из ложного вакуума в истинный при спонтанном нарушении симметрии GUT . Постулируется, что известные симметрии элементарных частиц происходят из некой группы симметрии G . При каждом фазовом переходе часть этой симметрии теряется, меняется группа симметрии: $G \rightarrow SU(3) \otimes SU(2) \otimes U(1)$. Группа $U(1)$ связана описывает электромагнетизм, $SU(2)$ – слабое взаимодействие, в рамках модели Вайнберга – Салама объединенные в электрослабое взаимодействие, описываемое группой $SU(2) \times U(1)$. Сильное взаимодействие

описывается группой $SU(3)$. Группа $U(1)$ – абелева непрерывная группа поворотов, локальных калибровочных преобразований, для волновой функции электрона

$$\Psi'(x) = e^{i\varphi(x)}\Psi(x),$$

которая оставляет лагранжиан инвариантным при введении компенсирующего векторного поля, отождествляемого с электромагнитным. Элементы группы – вращения на произвольные углы $\varphi(x)$ вокруг оси. Фермионный дублет в изопространстве преобразуется с помощью 2-мерных эрмитовых матриц Паули σ , действующих на спинор:

$$\Psi'(x) = e^{i\vec{a}(x)\vec{\sigma}}\Psi(x) = SU(2)\Psi(x)$$

$\vec{a}$ – произвольные вещественные фазы. Калибровочные поля – безмассовые векторные W и Y -бозоны. Соответственно, для барионного октета – группа $SU(3)$ (не в пространстве ароматов, но в пространстве цветов), компенсирующими полями являются цветные безмассовые векторные бозоны – глюоны. Калибровочное преобразование задается 3×3 унитарными матрицами Гелл-Манна.

Группы симметрии Лоренца и других групп в ОТО не являются калибровочными.

Идею калибровочной гравитации выдвинули В. Гейзенберг и Е. Гапон. Для гравитационного поля существуют две калибровочные симметрии. Первая задаётся общими ковариантными преобразованиями тензорных величин. Поле калибровочной обще-ковариантной симметрии можно легко отождествить со связностью гравитационного поля (символами Кристоффеля). Действительно, выражения для ковариантной производной и калибровочных преобразований связности напоминают аналогичные выражения для поля Янга – Миллса. Однако очевидно, что отклонения от метрики Минковского не могут быть отождествлены с голдстоуновскими составляющими, бесконечное непрерывное многообразие не может быть изоморфным конечному дискретному. Кроме того, нет и аналогичного выражения для метрического тензора. Попытка описать произвольную метрику в рамках схемы Хиггса приводит лишь к переходу в тетрадный формализм.

В то же время принцип эквивалентности является следствием требования лоренц-инвариантности для теории взаимодействия безмассовых частиц со спином 2, т.к. оно приводит к калибровочной инвариантности теории, а принцип общей ковариантности, являющийся обобщением принципа калибровочной инвариантности, есть математическое выражение принципа эквивалентности¹

Из вида волновой функции $\psi = \psi_0 \exp[i / \hbar (px - Et)]$ понятно, что античастицы можно представить как движущимися в обратном направлении по времени, таким образом, преобразование C уже включает в себя инверсию времени.

Группы C , P и T симметрии элементарных частиц, являются дискретными, группы калибровочных преобразований и группы в ОТО – непрерывны. Однако эти симметрии связаны между собой. Алгебра Ли полупростой группой Ли полупроста, в таких алгебрах возникают системы корней, отражения, им соответствующие, порождают группу Вейля данной группы Ли – это некоторая группа отражений, одна из групп Коксетера.

Отрицательная масса

Космологический вакуум обладает отрицательной плотностью, следовательно, отрицательной массой. Отрицательная плотность энергии, возникающая в некоторых эффектах Казимира, связана с вакуумными состояниями полей, но не с отрицательной массой частиц.

Могут ли обычные элементарные частицы обладать отрицательной массой?

Одним из следствий аксиом Вайтмана является CPT -теорема: существует общая симметрия при изменении четности, обращении частицы-античастицы и обращении времени, как выясняется, ни одна из этих симметрий сама по себе не существует. То есть, координатно-временное пространство оказывается связано с зарядовым пространством, хотя корни групп C и P , T – различны, имеют разную размерность. В данной схеме нет симметрии в отношении смены знака массы.

Существуют версии инертной массы, активной гравитационной массы (источника гравитационного поля) и пассивной гравитационной масса. Принцип эквивалентности Эйнштейна требует, чтобы инертная масса равнялась пассивной гравитационной массе, из закона сохранения импульса вытекает, что активная и пассивная гравитационная масса равны, то есть, все три массы равны между собой.

Уравнения Хиггса допускают существование инертных масс с отрицательным знаком. Отрицательная плотность энергии, то есть, отрицательная масса появляется в эффекте Казимира.

Возможность существования отрицательной массы предположил Г. Бонди в 1957 году [2]. Он построил модели с разными отрицательными массами: инертной, активной и пассивной гравитационными массами. Бонди и Форвард проделали анализ таких экзотических частиц [3]. Речь идет об отрицательной гравитационной массе, поэтому противоречий с моделями Хиггса не возникнет. Моррис с соавторами показал [4], что для получения локальной области пространства-времени с отрицательной массой можно использовать эффект Казимира. Форвард также предложил конструкцию двигателя космических кораблей с использованием отрицательной массы, который не требует притока энергии и рабочего тела, чтобы получить сколь угодно большое возможное ускорение [5,6]. В настоящее время получены частицы с отрицательной эффективной инертной массой в конденсате Бозе-Эйнштейна [7]. В [8] высказано предположение, что если принять гипотезу существования отрицательной гравитационной массы, гипотезы темной материи не требуется. В [9] показано, что обычная и темная материя должна непрерывно генерироваться во Вселенной. Те же предположения независимо высказаны в [10]. В данной работе объединена идея отрицательной массы с идеей о непрерывном и однородном производстве массы в объеме Вселенной (которую впервые предложили в 40-х годах). Уравнения Фридмана решены с соответствующими добавками, но без учета темной энергии и темной материи, найден закон расширения Вселенной. Оказалось, что известные законы воспроизводятся, если отрицательная масса будет производиться с постоянной скоростью $\Gamma = -3H$, где H - постоянная Хаббла. В этом случае плотность отрицательной массы будет оставаться постоянной во время расширения, и она будет эффективно моделировать космологическую постоянную. При этом скорость расширения и время жизни Вселенной получается такими же, как в модели Λ CDM. Также смоделирована эволюция плотной группы частиц с положительной массой, погруженных в «море» из частиц отрицательной массы, что должно качественно описывать эволюцию галактик на поздних стадиях расширения Вселенной. Выбрано $N_+ = 5000$, $N_- = 45000$. В результате получено распределение плотности, которое хорошо совпадает с данными наблюдений - плотность частиц медленно растет при приближении к центру галактики и совпадает с профилем Буркерта. Это решает проблему «острого гало», которая возникает в модели Λ CDM. Есть утверждение, что единственным критерием подтверждения наличия отрицательных масс могут быть только астрономические наблюдения. И. Баник обнаружил гигантское кольцо галактик, которые разбегаются, как в момент Большого взрыва, их расположение похоже на капли от вращающегося зонтика, при этом вращения кольца не наблюдается [11]. Хотя в идеале при отрицательных массах должно быть не кольцо, а шар. Однако данные галактики летят от Млечного пути с гораздо большей скоростью, чем та, которая определяется стандартной космологической моделью. Спиральная галактика M81 в созвездии Большая Медведица, обнаруженная Артом Хоагом в 1950 г. в созвездии Змеи – тоже кольцо. Во внешней части находится кольцо, в котором преобладают яркие голубые звезды, а в центре находится шар из более красных звезд, которые, вероятно, значительно старше. Между ними - пробел, который выглядит почти полностью темным. В промежутке между ядром и кольцом видна еще одна кольцеобразная галактика, которая находится гораздо дальше. Если будет обнаружено, что скорости центра колец и самих колец относительно Млечного Пути существенно разные, это будет свидетельствовать в пользу наличия отрицательных масс.

Массовая асимметрия

Однако существование отрицательных масс не обязано подтверждаться наличием масштабных фрагментов материи в космосе, точно так же, как существование античастиц не обязано подтверждаться астрономическими наблюдениями – в виду барионной асимметрии.

Отрицательные массы возникают и при процедуре регуляризации. Масса заряженной частицы должна включать энергию, содержащуюся в электростатическом поле частицы. Для точечного заряда она бесконечна: $mc^2 \propto q^2 / r$, т.е. обладает бесконечной инерцией, следовательно, заряд не может двигаться ускоренно. Но полная масса заряда включает сумму электрической энергии и «голой» массы. Если принять «голую» массу отрицательной, можно перенормировать полную массу и получить согласующуюся с экспериментом массу электрона в том числе с нулевым радиусом.

Логично в соответствии с принципом эквивалентности предположить и существование отрицательной гравитационной массы. Аннигиляция вещества с отрицательной гравитационной массой и обычного вещества затруднена, поскольку веществ с отрицательной массой будет не притягиваться, а отталкиваться от обычного вещества. В то же время в обычных фермионах эта отрицательная масса

компенсирована положительной электростатической массой. Аннигиляция гравитационных масс должна происходить в реакциях типа $e^- + e^+ \rightarrow 2\gamma$, поскольку электростатическое взаимодействие намного порядков превышает гравитационное, а в параметрах реакции фигурирует компенсированная масса. Однако возможен и иной вариант.

Гравитация в 10^{36} раз слабее электрического взаимодействия, в 10^{38} раз – сильного, в 10^{25} раз - слабого взаимодействия. Допустим, что распад частиц, составленных из пар частиц и античастиц аналогичен аннигиляции. Допустим, что время жизни частицы соответствует константе связи.

Пи-мезоны состоят из кварков и антикварков 1-го поколения, время жизни которых 10^{-6} сек, возможно, что время аннигиляции гравитационных массы и антимассы – $10^{-6} \times 10^{38} = 10^{32}$, что соответствует оценке времени жизни протона.

Уравнение Дирака

Уравнение Дирака без зарядового члена имеет вид:

$$(i\hbar c \gamma^\mu \partial_\mu - mc^2)\psi = 0$$

Распишем уравнение по компонентам, заменив производные ($\hbar = c = 1$):

$$(E - m)\psi_1 - (p_x - ip_y)\psi_4 - p_z\psi_3 = 0$$

$$(E - m)\psi_2 - (p_x + ip_y)\psi_3 + p_z\psi_4 = 0$$

$$(E + m)\psi_3 - (p_x - ip_y)\psi_2 - p_z\psi_1 = 0$$

$$(E + m)\psi_4 - (p_x + ip_y)\psi_1 + p_z\psi_2 = 0$$

Преобразование волновой функции в состояние с отрицательной энергией при сохранении поляризации и знака импульса осуществляется с помощью комплексного сопряжения и матричного умножения $C\gamma^0$.

То есть, перевод частицы в античастицу – это не одна, а две операции, одна из которых меняет знак заряда, другая – знак энергии.

Замена частиц на античастицы эквивалентна замене массы на отрицательную массу при перестановке компонент волновой функции

$$\psi_1 \rightarrow -\psi_4; \psi_2 \rightarrow -\psi_3; 1234 \rightarrow 4321$$

Таким образом, перевод античастицы в частицу с отрицательной массой можно записать как действие матрицы

$$\psi_j^{-m} = A_{ij}^i \psi_i^{-q}$$

Для дублета матрица A_{ij} – одна из матриц Паули

$$A_{ij} = \sigma^1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Для двумерного вектора с координатами (x, y) матрица A_{ij} может быть представлена поворотами вектора в декартовых координатах на угол

$$\alpha = \arctg \frac{y}{x}$$

Для спинора это матрица Дирака

$$A_{ij} = \gamma^1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Гамма-функция, которая бы преобразовывала волновую функцию в состояние с мнимой массой, преобразует также и энергию в мнимую энергию, что логично. Введение только мнимой энергии делает уравнение Дирака не ковариантным. Уравнение Дирака с мнимой массой:

$$(\hbar c \gamma^\mu \partial_\mu - mc^2)\psi = 0$$

Преобразование волновой функции частицы в волновую функцию для частицы с мнимой массой осуществляется с помощью второй матрицы Дирака:

$$A_{ij} = \gamma^2 = \begin{pmatrix} 000-i \\ 0\ 0\ i\ 0 \\ 0\ i\ 0\ 0 \\ -i\ 0\ 00 \end{pmatrix}$$

То есть, волновые функции состояний с отрицательными и мнимыми массами являются решениями уравнения Дирака.

Для экзотических частиц, которым соответствует преобразование волновой функции с помощью матрицы $A_{ij} = \gamma^3$, $\psi_1 \rightarrow \psi_3; \psi_2 \rightarrow -\psi_4; \psi_3 \rightarrow -\psi_1; \psi_4 \rightarrow \psi_2$, выполняется нетривиальный закон сохранения импульса, с нарушением коллинеарности векторов.

Тахионное поле вследствие нестабильности не нарушает причинности. Несмотря на нестабильность, возле максимума потенциала поле приобретает неотрицательную массу и становится стабильным возле минимума потенциала. Таким образом, конденсат (вакуум) скалярного поля чисто мнимой массы – стабилен. Конденсация тахионов приводит физическую систему в стабильное состояние, где не присутствуют физические тахионы. Спонтанное нарушение симметрии $SU(2) \times U(1)$ с помощью механизма Хиггса может быть представлено как тахионная конденсация. Таким образом, удаление в теории суперсимметрии тахионных состояний представляется некорректным.

Уравнение движения для классического осциллятора с отрицательной массой имеет вид

$$x = x_0 \exp(\pm \omega t)$$

Для физически осмысленных физических решений движение частицы под действием возвращающей силы затухает. Запишем уравнение для волновой функции квантового осциллятора с отрицательной массой:

$$\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} - \frac{m\omega^2 x^2 \psi}{2} = E\psi$$

Уравнение отличается от уравнения для частиц с положительной массой заменой $E \rightarrow -E$, то есть, его решения для частиц с отрицательной массой соответствуют решениям для античастиц.

Группы симметрии

Законы физики эквивалентны относительно преобразований группы Галилея в евклидовом пространстве, в пространстве Минковского – относительно группы Лоренца. Но сильно искривленные пространства описываются иными группами симметрии, группой Бонди-Метцнера-Сакса и др. Таким образом, в искривленном пространстве CPT -симметрия должна нарушаться.

В искривленном пространстве энергия E и импульс P^i

$$E = \int_{V_3} T^{00} \sqrt{-g} d^3x; P^i = \frac{1}{c} \int_{V_3} T^{i0} \sqrt{-g} d^3x$$

не сохраняются. То есть, отсутствует T и P симметрия. Можно ввести псевдотензор гравитационного поля $\partial_k [(T_k^i + t_k^i)(-g)^n] = 0$, n – целое или полуцелое число. Тогда

$$\tilde{E} = \int_{V_3} (T_0^0 + t_0^0)(-g)^n d^3x; \tilde{P}^i = \frac{1}{c} \int_{V_3} (T_0^i + t_0^i)(-g)^n d^3x,$$

Однако новые энергия и импульс не являются полными аналогами энергии и импульса в евклидовом пространстве, например, в силу того, что t^{ik} не является тензором, переопределенный импульс не является вектором. Кроме того, новые энергия и импульс не определены однозначно, зависят от того, каким образом построен псевдотензор гравитационного поля.

Уравнения Эйнштейна в решении Шварцшильда, например, $-e^{-\lambda}(\frac{\nu'}{r} + \frac{1}{r^2}) + \frac{1}{r^2} = \frac{8\pi G}{c^4} T_1^1$, несимметричны

относительно отражения $r \rightarrow -r$. Поэтому в сильных гравитационных полях массы частиц и античастиц и их заряды должны быть не одинаковы.

Нарушение CPT -симметрии автоматически ведёт к нарушению Лоренц-инвариантности.

Операции C , P и T вместе с единицей образуют группу 4-го порядка, $CPT = 1$, т.е. $CP = T$ и т.д.

Таблица умножения

	1	C	P	T
1	1	C	P	T
C	C	1	T	P
P	P	T	1	C
T	T	P	C	1

Введем оператор M , который переводит гравитационную массу в антигравитационную:

$$M\Psi(m_g) = \Psi(-m_g)$$

Наличие отрицательных масс связано с наличием тахионов, которые возможны в СТО.

Рассмотрим выражение для частоты в формуле для релятивистского эффекта Доплера:

$$\omega = \omega_0 \sqrt{\frac{1-v/c}{1+v/c}}$$

При превышении скорости света электромагнитное возмущение перестанет иметь форму распространяющихся в бесконечность колебаний. При $V > C$ частота становится мнимой, следовательно, амплитуды электромагнитных возмущений будут затухать без осцилляций по экспоненте: $A \propto e^{-\beta t}$, где $\beta = \omega_0 \sqrt{v/c - 1} / \sqrt{v/c + 1}$.

То есть, существование тахионов – не ошибка теории и не скачок за предел скорости, тахионы – это затухающие моды. Экспоненциально растущие решения не отбрасываются как нефизические, они указывают на неустойчивость системы.

Поэтому логично предположить, что

$$M\Psi(m_g) = \Psi(im_g); M^2\Psi(-m_g) \quad (1)$$

Соответственно, M – точечная циклическая группа, изоморфная C_4 , можно ее представить как сочетание поворотов в изопространстве группы C_2 с группой зеркальных отражений в двух плоскостях симметрии, возникает четверная группа Клейна C_{2v} , которая имеет 4 класса, соответственно, 4 неприводимых представления, которые одномерны, потому не совпадают с характерами, а энергетические состояния не могут быть вырожденными. Характеры группы приведены в таблице:

C_{2v}	E	C_2	v_1	v_2
a_1	1	1	1	1
a_2	1	-1	-1	1
a_3	1	1	-1	-1
a_4	1	-1	1	-1

Группы отражений являются группами Коксетера [15]. В одномерном случае произведение отражений на евклидовой плоскости t и x , зеркала которых пересекаются в начале координат, образуя угол π / m , тождественно повороту вокруг начала координат на угол $2\pi / m$, т.е. на 180° . В группе $PT = (t, x)$ выполняются соотношения $t^2 = x^2 = 1$.

Корни групп P и T – векторы, P, T – группы над полем векторов в пространстве Минковского, C – группа над дискретным полем вещественных чисел, где задана операция сложения.

PT и C в координатно-зарядовом пространстве образуют группу C_{2v} , то есть, характеры группы CPT и M совпадают. Соответственно, преобразование $CPTM$, как и два последовательных преобразования CPT , сохраняет знак бозонов и меняет знак фермионов на противоположный.

Если унитарный оператор зарядового сопряжения определен равенством $C^2 = 1$ и переводом частицы в античастицу $Ca^+ = b^+$, то оператор массового сопряжения определяется через равенства $M^4 = 1$ и (1).

Полная симметрия: $CPT \rightarrow CPTM$, таким образом, все фермионы имеют положительную гравитационную массу, их античастицы – отрицательную, и CPT -симметрия нарушается.

Нарушение CPT -симметрии означает нарушение четности массы и неравенство масс и зарядов частиц и античастиц. Нарушение CPT -симметрии, эквивалентное нарушению Лоренц-инвариантности, которое происходит, как предполагают, при высоких энергиях, например, в ультра-высокоэнергетических космических лучах.

В силу теоремы Нётер группам C, P, CP и T соответствуют законы сохранения четности (время изотропно), следовательно, должна существовать и M -четность. Соответственно, должна существовать и MT -симметрия.

Непрерывная группа сдвигов по массе реализуется аналогично стандартной группе Ли сдвигов по времени, $m_s = m + s$, $s \in \mathbb{R}$. Масса перестает быть параметром и становится аргументом функции. Таким образом, нарушение Лоренц-инвариантности предстает как симметрия.

Заключение

Вопрос, можно ли сконструировать группу G как включающую в себя M -симметрию, остается открытым, т.к. группа M не является калибровочной.

В некоторых версиях ОТО Лоренц-инвариантность нарушена, отношение $E = p^2 + m^2$ заменяется на соотношение $E = p^2 + m^2 + p^4 / z$; $z \approx m_{\text{plank}} \approx 10^{19} \text{ GeV}$ [12]. Соответствующий гамильтониан свободной

частицы - $H = \sqrt{p^2 + m^2 + p^4 / z^2}$, отсюда лагранжиан $L = -m\sqrt{1 - v^2 / c^2} - \frac{p^4}{2z^2 m} (1 - v^2 / c^2)^{-3/2}$.

Рассматриваются иные формы гамильтониана, а также модель с дополнительным измерением, в которой спонтанное нарушение Лоренц-инвариантности происходит за счет конденсата векторных полей [13]. В модели Гросса-Невё (с лагранжианом расширенной Стандартной модели, SME) в действие вводится дополнительный вектор b , нарушающий Лоренц-инвариантность [14]:

$S(\bar{\Psi}, \Psi) = \int d^3x [\bar{\Psi} \gamma_j (\partial_j - ib_j) \Psi + \bar{\Psi} m \Psi - \frac{G}{2N} (\bar{\Psi} \Psi)^2]$. В теории Хоржавы в модификации ОТО в

действие включается дополнительное скалярное поле, поле хронона, с превышением скорости света. Данные построения представляются искусственными, поскольку в римановой метрике частицы движутся вне светового конуса пространства Минковского без наличия дополнительных членов в лагранжиане. $CPTM$ -симметрия в указанных моделях тоже не сохраняется. Можно предположить, что асимметрия между частицами и античастицами имеет ту же природу, что асимметрия и массы и антимассы, и эти асимметрии вместе с направленностью времени и отсутствием монополя Дирака обуславливают друг друга. Из чего следует, что изложенная гипотеза о существовании отрицательных масс не связана с моделью Хойла, Бонди и Голда о непрерывной генерации вещества во Вселенной. Данный момент отличает изложенную гипотезу и от версии Терлецкого [16] с рождением квадрик частиц из вакуума (позитонов и негатов). Терлецкий не использует аппарат теории групп, его обоснование невозможности детектирования негатов сомнительно, кроме того, в данной статье речь идет – по аналогии с электрическим зарядом - об отрицательной гравитационной массе, но не инертной.

Литература

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Квантовая механика. - М., Наука, 1963. - с. 249
2. 12. Bondi H. «Negative Mass in General Relativity», Rev. Mod. Phys. 29 No. 3 July 1957, pp. 423ff
3. 17. Landis G. Comments on Negative Mass Propulsion. J. Propulsion and Power, Vol. 7 No. 2, 304 (1991).
4. Morris M., Thorne K., and Yurtsever U. Wormholes, Time Machines, and the Weak Energy Condition. Physical Review, 61, 13, September 1988, pp. 1446—1449
5. Marc G. Millis, "The Challenge To Create The Space Drive", 1997, Journal of Propulsion and Power.
6. Marc G. Millis & Eric W. Davis (editors): Frontiers of Propulsion Science. American Inst. of Aeronautics and Astronautics, Reston VA, 2009, ISBN 978-1-56347-956-4 (739 pages), Summary https://en.wikipedia.org/wiki/Breakthrough_Propulsion_Physics_Program#Diametric_drive
7. Khamehchi M. A., Hossain K., Mossman M. E. Zhang Y., Busch Th., Forbes M. M, Engels P. Negative mass hydrodynamics in a Spin-Orbit--Coupled Bose-Einstein Condensate. Phys. Rev. Lett. 118, 155301 (2017)
8. Ikhlov B. L. Life in the Universe. Scientific Research of the SCO Countries. Part 1. China, 2018. December, 12. P. 236-245.
9. Ихлов Б. Л. Термодинамический подход в космологии. Евразийский научный журнал. 2019. №1. http://journalpro.ru/articles/termodinamicheskij-podkhod-v-kosmologii/?sphrase_id=14205
10. Farnes J. S. A unifying theory of dark energy and dark matter: Negative masses and matter creation within a modified Λ CDM framework. Astronomy & Astrophysics. 2018. V. 620. №A92. DOI <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201832898>

11. Баник И., Чжао Х. Плоскость галактик высокой скорости во всей Локальной группе. 21.1.2017. Астрофизика галактик. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. Cornell University Library. [arXiv.org > astro-ph](https://arxiv.org/astro-ph) > arXiv: https://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=ru&prev=search&rurl=translate.google.ru&sl=en&sp=nmt4&u=https://arxiv.org/abs/1701.06559v4&usg=ALkJrhhe68QEjZNHf1y8aVTxKB3BL-fwAA
12. Rubtsov G., Satunin P., Sibiryakov S. On calculation of cross sections in Lorentz violating theories. arXiv:1204.5782. См. также Плотникова Д. В. Нарушение Лоренц-инвариантности и связанные состояния. МГУ, 2015.
13. Либанов М. В. Физика частиц и космология в моделях с дополнительными пространственными измерениями и с нарушением Лоренц-инвариантности. Автореф. дисс. канд. физмат. наук. М., РАН ИЯИ, 2009.
14. Губина Н. В., Жуковский В. Ч., Курбанов С. Г., Размерная редукция фермионов в модели Гросса–Невё в условиях нарушенной лоренц-инвариантности. Вестник Московского Университета. Серия 3. Физика. Астрономия. 2012. № 2.
15. Hamphreys J. E. Reflection groups and Coxeter groups. Cambridge University Press, 1990.
16. Терлецкий Я. П. Космологические следствия гипотезы рождения из вакуума комплексов частиц положительной и отрицательной массы. В сб. «Современные теоретические и экспериментальные проблемы теории относительности и гравитации», материалы VII Всесоюзной конференции. Ереван, 1988. См. также Терлецкий Я. П. Парадоксы теории относительности. М., Наука, 1966.

КОСМОЛОГИЯ

О ГИПОТЕЗЕ ВРАЩЕНИЯ ВСЕЛЕННОЙ

Введение

Идея о вращении Вселенной высказана Гамовым, Витакером и Гёделем. Обнаружение Бёрчем анизотропии поляризации радиоизлучения внегалактических источников дало повод объяснить крупномасштабную анизотропию Вселенной ее вращением. Соответствующие возможные наблюдаемые феномены описаны, например, в [1, 2]. Космологические модели с вращением разработаны в том числе в [3,4]. На основании данных спутников «РЕЛИКТ-1» и COBE было заявлено о неоднородности реликтового излучения. Слабая анизотропия реликтового излучения 10^{-5} служит для обоснования космологического принципа – однородности Вселенной, но она же может служить для обоснования вращения Вселенной.

В 2005 г обнаружена т.н. ось зла - протяжённая область, вокруг которой происходит ориентация всей структуры Вселенной. Данные о такой анизотропии получены при наблюдениях реликтового излучения зондом WMAP. М. Тегмарк, А. де Оливейра-Коста, Э. Гамильтон обнаружили аномальное мультипольное выравнивание в данных. Ж. Магейжу, наблюдая за «тёплыми» и «холодными» областями флуктуаций излучения, выявил, что флуктуации на самых больших масштабах расположены не случайным образом, а упорядоченно, в частности, оси квадрупольной и октупольной компонент разложения карты температур реликтового излучения практически совпадают [5].

Данные обсерватории «Планк» об анизотропии излучения сравнили с моделями закручивающейся или вытягивающейся Вселенной - модели Бианки типа VII_b. Шанс того, что Вселенная вращается и одновременно растягивается в разных направлениях - $1/121000$.

Группа Майкла Лонго в рамках проекта Sloan Digital Sky Survey изучила более 15000 спиральных галактик со стороны северного полюса Млечного Пути. Оказалось, что левых - тех, что вращаются против часовой стрелки, - заметно больше. На глубине порядка 1,2 млрд. световых лет асимметрия сохранялась. Последователи Лонго из Lawrence Technological University исследовали 250 тыс. спиральных галактик, на глубине 3,4 млрд. световых лет и также обнаружили больше левых галактик, чем правых. Нарушение симметрии - около 7%, но вероятность того, что это случайность – 10^{-6} [6]. Высказаны также предположения, что нарушение изотропии на крупных масштабах можно обнаружить по следу космических струн, «синякам» на теле Вселенной и по «Тёмному потоку».

Наконец, изучение вращения нитей галактик, цилиндрических усиков материи диаметром в сотни миллионов световых лет, показывает, как считают авторы [7], что суммарный угловой момент может генерироваться в масштабах Вселенной.

Идея вращения Вселенной как целого наталкивается на очевидные трудности. Если в силу принципа относительности наблюдатель в каждой точке является центром вращения, то число осей вращения, проходящих через этот центр – множество мощности континуума. Если бы ранняя Вселенная вращалась со скоростью 10^{43} рад/с [8, с. 205], постоянная Хаббла имела бы разные значения в разных направлениях, обнаруживалась бы релятивистская кориолисова сила, выраженная формулой Тирринга. Во вращающейся системе происходит сжатие вдоль вектора момента импульса (оси вращения), должны образовываться свехгигантские дискообразные системы. Такое сжатие не наблюдается.

В моделях с кручением псевдослед кручения может быть причиной космологического вращения [8, с. 23]. Однако кручение существует лишь в теории. Реликтовое холодное пятно в созвездии Эридана могло бы свидетельствовать об анизотропии Вселенной - пятно приблизительно на 70 мК холоднее, чем средняя температура реликтового излучения, в то время как средние колебания температуры в последнем - всего 18 мК. Если так – должно быть по крайней мере еще одно холодное пятно, однако оно не обнаружено.

Момент импульса

Представления о действии закона сохранения момента импульса исходят из предположения, что при увеличении радиуса Вселенной уменьшается частота ее вращения.

Используем классический закон сохранения момента импульса $J\omega = \text{const}$, который должен показывать, что с расширением Вселенной угловая частота снижается. Поскольку $J \propto r^2$, а по закону Слайфера-Хаббла $r \propto \exp(Ht)$ (в модели де Ситтера), то угловая частота уменьшается по закону

$\omega = \omega_{\text{планк}} e^{-2Ht}$, (см. также [8, с. 109-110]). Отсюда видно, что, с учетом того, что планковская угловая частота имеет 43-й порядок, современное значение $H \approx 2,2 \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1}$, а время жизни Вселенной – примерно $4,354 \cdot 10^{17} \text{ с}$, современная угловая скорость вращения Вселенной должна быть невероятно большой, она уменьшается в сравнении с планковской всего лишь примерно в 7 раз. Переход к псевдовектору момента импульса в СТО $L = m\vec{r} \times \vec{v}(1 - v^2/c^2)^{-1/2}$ ничего не меняет, т.к. $V = \omega r$. В не твердотельных моделях увеличение J еще медленнее уменьшает угловую скорость.

В инфляционной модели масштабный фактор увеличивается по экспоненциальному закону, но постоянная Хаббла много больше. Эпоха инфляции продолжалась от 10^{-42} до 10^{-36} сек. В это время $10^{42} \text{ сек}^{-1} > H > 10^{36} \text{ сек}^{-1}$. В таком случае за время инфляции угловая скорость уменьшилась либо опять же в 7 раз, либо, на другом пределе, практически до нуля. В последнем случае проблема вращения Вселенной как целого теряет физический смысл, тем более – актуальность. Например, оценка современного периода вращения Вселенной $T = 10^{124}$ лет тоже лишает проблему вращения Вселенной актуальности и физического смысла. Следовательно, выбор для наивысшего порядка H явно небольшой, не более 10^{37} , т.к. 10^{38} уже снижает угловую скорость почти до нуля. При $H = 10^{37}$ угловая скорость будет снижена в 10^9 раз до огромного значения 10^{34} сек^{-1} . Других вариантов нет. Если даже равномерно снижать значение H от этой величины до современных значений, всё равно получим огромную современную скорость вращения Вселенной как целого. Отметим, что вращение в эпоху инфляции привело бы к гигантским неоднородностям в современной Вселенной.

Для модели Гёделя с времениподобными временными линиями и с вращением 4-скорости делаются оценки трехмерной угловой скорости вращения 10^{-20} рад/сек, близкой к оценке Берча [8, с. 13]. Но дело в том, что если Гедель изначально закладывал в метрику трехмерную скорость вращения, то в моделях вращения эту трехмерную скорость просто приравнивают к угловой скорости вращения 4-вектора скорости. Причем если у Гёделя вращаются частицы пыли (галактики), то модель идеальной жидкости без давления [8, там же] не имеет физического смысла.

Дифференциальное вращение

В [9] обоснован дифференциальный характер вращения Вселенной. На основании спиновой части уравнений Папаетру показано, что возможное вращение Вселенной должно существенно зависеть от физических свойств конкретной космологической эпохи. Классическое макроскопическое вращение связывается со спином. Но спин - квантовая величина, не связанная с вращением частицы как целого.

Что касается применения модели спинирующей жидкости ко Вселенной. Во-первых, наличие точного решения уравнений Эйнштейна еще не означает, что оно соответствует реальности. Во-вторых, рассмотрим, каким способом рассуждают, строя физические модели в рамках ОТО и аналогичных теорий. Скажем, задается сферическая симметрия, после чего анализ метрики показывает, что она генерируется сферической массой. В решении Керра анализ метрики показывает, что она генерируется массой, причем масса и момент «возникают» как постоянные интегрирования. В моделях, связанный с вращением, поступают точно так же (см., напр., [10], где используется метрика Эйнштейна-Картана). Сначала задается метрика какого-либо типа и примеряется к имеющимся космологическим параметрам – постоянной Хаббла, плотности материи, параметру замедления $(-0,8 - 0,01)$, оценке угловой скорости вращения Вселенной. Затем в метрику «помещается» спинирующая жидкость, скалярное, электромагнитное поле и т.д. Неясно, как, например, спинирующая жидкость в [10] может генерировать вращение Вселенной, если эффект кручения настолько мал, что не проявляется даже в нейтронных звездах. В результате через несколько лет обнаруживается, что замедления нет, а скорость изменения темпа расширения $q_t > 0$.

Если в решении Керра постановка обратной задачи оправдана, то в моделях с вращением необходимо сначала вводить в ТЭИ некую вращающуюся материю, которая должна была бы генерировать соответствующую метрику. Метрики с вращением должны быть обусловлены исключительно особенностями материальных источников. Соответственно, рассмотрим, что вращается во Вселенной.

а) Спиральные галактики, пульсары, медленно вращающиеся звезды, планеты. Главный вклад во вращение планет, очевидно, за исключением темной материи, возникает из вращения газопылевых облаков, из которых они возникают – помимо столкновения с другими планетами, приливного взаимодействия со звездой или влияния других планет. Но вращение галактик не обязательно порождается вследствие начального вращения Вселенной. Оно, как и вращение звездных систем, порождается искривлением пространства, которое порождается массами.

б) Электроны вращаются вокруг ядер атомов. Классический момент импульса $L = [r, p]$

Величина механического орбитального момента импульса электрона L выражается формулой

$L^2 = \hbar^2 l(l+1)$, где l – орбитальное квантовое число (на s -уровне $l = 0$; на p : $l = 1$; на d : $l = 2$ и т.д.). $\frac{3}{4}$ атомов во Вселенной – это водород. Электрон в водороде имеет нулевой момент импульса, т.к. есть только один s -уровень. Соответственно, $l = 0$ и $L = 0$.

Общий механический момент всех атомов во Вселенной лежит в пределах $(6 \cdot 10^{45} \div 1,6 \cdot 10^{48}) \text{ Дж} \cdot \text{с}$. Добавление механического момента спина не сильно увеличит момент, т.к. он того же порядка, что и орбитальный момент, порядка постоянной Планка, не изменит ситуации и добавление механического момента ядер атомов. Полученная оценка значительно меньше оценочного момента импульса Вселенной. Если принять радиус Вселенной $r = 45,7$ млрд. световых лет $= 4,3 \cdot 10^{26} \text{ м}$ (наблюдаемая область, c/H), угловую скорость $\omega = 4,2 \cdot 10^{-13} \text{ рад/с}$, а массу $m = 6 \cdot 10^{52} \text{ кг}$, то момент импульса в шаровой модели

$$L = \frac{2}{5} m r^2 \omega = 1,8 \cdot 10^{93} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

В других источниках указываются не радианы в секунду, а радианы в год, как у Берча, но это мало что меняет. Добавление скрытой массы только усиливает расхождение. Расчеты различных авторов варьируются, давая значения то на 6, то на 35 порядков ниже. Из огромной разницы порядков понятно, что, например, спинирующая жидкость Вейсенхоффа-Раабе, моделирующая нейтрон-протонный бульон в ранней Вселенной, любое спинорное поле не могут индуцировать вращение Вселенной.

Эффект Фуллинга-Унру

Если бы ранняя Вселенная вращалась с такой высокой скоростью, то есть, с таким огромным ускорением, что было бы эквивалентно гравитации черной дыры, имел бы место эффект Унру, т.е. множественное рождение частиц. В таком случае вся история Вселенной была бы иной. (Избыток и дефицит мюонов на небесной сфере вряд ли может быть объяснен эффектом Унру, т.к. при угловой частоте $10^{-11} - 10^{-13}$ ускорение слишком мало.) Температура наблюдаемого излучения Унру выражается той же формулой, что и температура излучения Хокинга, но зависит не от поверхностной гравитации, а от ускорения системы отсчета a :

$$T = \frac{\hbar a}{2\pi k c} \approx 4 \cdot 10^{-21} \cdot a$$

с соответствующими размерностями. Поскольку $a = \omega^2 r$, то

$$T = \frac{\hbar \omega^2 r}{2\pi k c}$$

Если подставить планковский радиус $r_{\text{планк}} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = 1,6 \cdot 10^{-35} \text{ м}$, то температура, вызываемая эффектом

Унру $T \approx 10^{30} \text{ К}$. Однако эпоха инфляции начинается в момент времени 10^{-42} сек. В «предшествующий» момент времени Большого взрыва 10^{-43} сек температура была близка к планковской. Подставляя размер Вселенной в момент Большого взрыва $r = 10^{-5} \text{ м}$ и планковскую $\omega = 10^{43} \text{ с}^{-1}$, получим $T \approx 10^{60} \text{ К}$, что явно не соответствует температуре планковской эпохи 10^{32} К . Если даже учесть «трение вакуума» [11], чтобы объяснить резкое уменьшение угловой скорости Вселенной после инфляции, это не избавит от того, что в любом случае эффект Унру при такой гигантской угловой скорости вызовет множественное рождение частиц, что изменило бы историю Вселенной.

В [12, с. 88] указывается, что в ранней Вселенной пары частиц должны были рождаться на комптоновской длине в эру, определяемую комптоновским временем $t_c = \hbar / mc^2$. При $t \ll t_c$ массивные частицы рождаться не могут, при $t \gg t_c$ тоже, т.к. гравитационное поле слишком слабое. Однако, во-первых, при данных оценках рассматривается исключительно статическая метрика Фридмана. Во-вторых, не слишком логично рассматривать времена много большие комптоновского времени, критическое ослабление гравитационного поля может быть связано и с другими характерными временами. Не слишком логично и первое неравенство. Неясно, настолько порядков «много меньше». Уж если речь идет о комптоновской эпохе, более адекватны символы «приблизленно» или «порядка», иначе говорить о комптоновской эре не имеет смысла. Наконец, комптоновское время вовсе не обязано быть временем рождения частиц. В противном случае в истории Вселенной отсутствовал бы бариогенез в период от 10^{-35} с до 10^{-31} с, поскольку комптоновское время, например, протона – 10^{-24} с, и $(10^{-35} - 10^{-31}) \gg 10^{-24}$.

То есть: вращение Вселенной не может выражаться через угловую скорость как вращение некой сплошной или связной дискретной среды. Либо оценка планковской частоты вращения завышена на 14 порядков, соответствующая частота должна быть такова $\omega \approx 10^{28} \text{ с}^{-1}$

Связь вращения с расширением

Чтобы говорить о вращении Вселенной, необходимо ввести аналог постоянной Хаббла. Бёрч отмечает, что расширение Вселенной и ее вращение должно иметь один и тот же источник, например, вакуум, который не вращается, но может вращать – как и расширять.

Не выбирая и не строя заранее какие-либо модели, твердотельной или модели Вселенной с жидкостью, поищем формы для аналога закона Хаббла. Естественной величиной для характеристики расширения является расстояние, для вращения – угол, но угол изменяется периодически. Поэтому нужно, чтобы каждый поворот на 2π не был тождественен предыдущему. Сконструируем размерную величину, аналогичную постоянной Хаббла: $\Omega = f(H)$, причем угол уже изменяется в пределах $(0, \infty)$, тогда замедление вращения $\dot{\varphi} = \Omega \varphi^{-1} = f(H) \varphi^{-1}$. Откуда $\varphi = 2\sqrt{\Omega t + c_1}$ и окончательно

$$\omega = \frac{2\Omega}{(\Omega t + c_1)^{1/2}}$$

Примем c_1 пренебрежимо малым. Если $\Omega \approx 1 \text{ с}^{-1}$, то за время жизни Вселенной 10^{17} с частота не могла бы уменьшиться до оценок современной угловой скорости $10^{-11} - 10^{-13} \text{ с}^{-1}$, а до 10^{-8} с^{-1} . Но если Ω порядка 10^{-3} , то можно говорить о каком-то соответствии нашей конструкции существующим оценкам современной угловой скорости. Чтобы частота соответствовала планковской, коэффициент должен быть $\Omega \approx 10^{51}$, то есть, он меняется аналогично постоянной Хаббла. Рассмотрим планковскую частоту

$$\omega_{\text{планк}} = \frac{1}{t_{\text{планк}}} = \sqrt{\frac{c^5}{\hbar G}} \approx 1,855 \cdot 10^{43}$$

В теории колебаний в подкоренном выражении в числителе обычно стоит жесткость материала, в знаменателе – момент инерции. При равномерном вращении частота обратно пропорциональна моменту инерции. Постоянные в подкоренном выражении мало напоминают жесткость и момент инерции. Неясно, почему величина, обратная планковскому времени, обязательно должна быть частотой вращения. Ведь не являются же величины, обратные среднему времени между столкновениями атомов газа (характерному времени установления равновесия в жидкогазовой системе), продолжительности ядерной реакции (периоду полураспада радиоактивного элемента), характерному времени развития стохастической неустойчивости и т.д. скоростью вращения чего-либо. Следовательно, то, что планковская Вселенная вращалась с означенной скоростью – лишь гипотеза. Потому нет никаких препятствий для предположения, что в данной формуле чего-то не хватает. Подставим в формулу оценки Ω и постоянную Хаббла H , получим:

$$\omega_{\text{планк}} = \frac{H}{\Omega} \sqrt{\frac{c^5}{\hbar G}} \approx 10^{29}$$

Такая частота частично снижает эффект Унру. Дальнейшая подгонка Ω и c_1 , как видно из формулы для угловой частоты, может привести результат к желаемым переоценкам как планковской угловой скорости, так и температуры Унру. Но даже если температурный эффект Унру сделать пренебрежимо малым, остается феномен рождения частиц при гигантской угловой скорости. Если же конструкция имеет право на существование, как и не классическое вращение, эффект должен проявляться аналогично явлению красного смещения, например, в криволинейности луча света.

Соответствующая метрика в сферических координатах имеет вид:

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dr^2 - r^2 d\vartheta^2 - f^2 r^2 \sin^2 \vartheta d\varphi^2$$

Фактор f^2 подобен множителю при $d\varphi^2$ в метрике Керра.

Поскольку физический угол $\tilde{\varphi} = f\varphi$, где f – масштабный фактор, то, по аналогии с законом Хаббла $d\omega = d\tilde{\varphi}/dt = \dot{\tilde{\varphi}}/dt = f\dot{\varphi}/dt = f\Omega d\varphi/dt = f\Omega d\varphi/f$. Интегрируя по геодезической, мы должны получить (1), следовательно, $f \propto \varphi^2$. Здесь полагается, что $d\varphi$ не меняется, соответственно, интегрирование – фактически суммирование одинаковых $d\varphi$, и пространственная часть метрического тензора имеет вид:

$$g_{ab} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -r^2 & 0 \\ 0 & 0 & -\varphi^4 r^2 \sin^2 \vartheta \end{pmatrix}$$

Данный метрический тензор нереалистичен, при гигантском множестве оборотов ранней Вселенной он включал бы в себя гигантскую компоненту. Следовательно, аналогия между поступательным и вращательным движением в модели вращающейся Вселенной не корректна.

Рассмотренные доводы указывают, что гипотеза вращающейся Вселенной не реалистична.

Литература

1. Land K., Magueijo J. Examination of Evidence for a Preferred Axis in the Cosmic Radiation Anisotropy // Physical Review Letters. 2005. V. 95. P. 071301-071304. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.95.071301>.
2. Liddle A. R., Cortes M. Cosmic Microwave Background Anomalies in an Open Universe // Physical Review Letters. 2013. V. 111. P. 111302. DOI: [10.1103/PhysRevLett.111.111302](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.111.111302).
3. Кречет В. Г. Современные космологические данные и вращение Вселенной // Известия вузов. Физика. 2005. Т. 48, No 3. С. 3–6.
4. Панов В. Ф. Кувшинова Е. В. Космологическая модель типа II по Бьянки с темной энергией // Известия вузов. Физика. 2014. Т. 57. №3. С. 122.124.
5. Верходанов О. В. Космологические результаты космической миссии «Планк», Сравнение с результатами WMAP и BICER2 // УФН. 2016. Т. 186. №1. С. 3-46.
6. Longo M. J. Detection of a dipole in the handedness of spiral galaxies with redshifts $z \leq 0.04$ // Phys. Lett. B. 2011. V. 699. Is. 4. P. 224-229. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physlet.2011.04.008>.
7. Wang P., Libeskind N. I., Tempel E., Kang X., Guo Q. Possible observational evidence for cosmic filament spin // Nature Astronomy. 2021. V. 5. P. 839–845. DOI <https://doi.org/10.1038/s41550-021-01380-6>

8. Панов В. Ф., Павелкин В. Н., Кувшинова Е. В., Сандакова О. В. Космология с вращением. Пермь. 2016. 224 с.
9. Чечин Л. И. Вращение Вселенной в различные космологические эпохи //Астрономический журнал. 2016. Т. 93. №6. С. 515.
10. Короткий В. А. Первоначальный нуклеосинтез в теории «горячей вселенной» с вращением // Ярославский педагогический вестник. 2011. Т. III. №4. С. 81-84.
11. Ahn J., Xu Z., Bang J. et. al. Optically Levitated Nanodumbbell Torsion Balance and GHz Nanomechanical Rotor // Phys. Rev. Lett. 2018. №121. P. 033603. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.121.033603>
12. Grib A. A. Osnovnie predstavleniya sovremennoy cosmologii [Basic representations of modern cosmology]. Moscow, Fizmatlit. Publ., 2008, 108 p. (in Russ.)

ПРОБЛЕМА КРИТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ

Эволюцию вселенной связывают с критической плотностью: если плотность Вселенной выше критической, то это закрытая модель, ее будущее – коллапс. Если плотность ниже критической – о это открытая модель, ее будущее – тепловая смерть.

Плотность Вселенной складывается из плотности вакуума, плотности обычного вещества и плотности излучения. По одной из версий плотность темной энергии и есть плотность вакуума. Она определяется через космологическую постоянную:

$$\rho_V = \Lambda / (8\pi G); c = 1, \rho_V \approx \rho_c \approx 0,6 \cdot 10^{-29} \text{ г/см}^3, \text{ через планковскую массу } \rho_V \approx 2 \cdot 10^{-123} M_{Pl}.$$

Согласно фридмановской теории, тяготение создается не только плотностью среды, но и ее давлением в комбинации $3p + \rho$. Вакуум вызывает анти-гравитацию потому, что его эффективная гравитирующая энергия, $\rho_G = \rho_V + 3p_V = -2\rho_V$, отрицательна при положительной плотности.

Соответственно, гравитирующая плотность равна сумме плотностей вакуума, скрытой массы, барионного вещества и излучения:

$$\rho_G = -2\rho_V + \rho_D + \rho_B + \rho_R = C_V + C_D / r^3 + C_B / r^3 + C_R / r^4$$

Волновое сопротивление в газах равно скорости звука на плотность газа:

$$R_{gas} = v_{gas} \rho_{gas}$$

Волновое сопротивление физического вакуума, в котором распространяется электромагнитная волна, определяется через магнитную и диэлектрическую проницаемости вакуума:

$$R_{vac} = \sqrt{\mu_0 / \epsilon_0} = 376,73 \text{ Ом}$$

Скорость звука в вакууме равна нулю, хотя во многих задачах, посвященных эффекту Казимира, находят скорость звука, которая порой превышает скорость света.

Звуковая волна в вакууме заменяется электромагнитной волной, соответственно,

$$R_{vac} = \rho_{vac} c$$

Отсюда плотность физического вакуума равна $1,257 \times 10^{-9} \text{ г/см}^3$, что на 20 порядков превышает критическую плотность. Таким образом, параметр, называемый «критическая плотность», не может иметь отношения к эволюции Вселенной.

Термодинамика

Обычно то, что космологический вакуум имеет отрицательную плотность, равную его давлению, объясняют из термодинамики. Количество энергии, заключённое объеме V с вакуумом - ρV , где ρ — плотность. Увеличение объёма dV приводит к возрастанию его внутренней энергии, а это означает выполнение отрицательной работы. Так как работа, выполняемая изменением объёма dV , равняется $p dV$, где p — давление, то p отрицательно и $p = -\rho$.

Однако такое вольное обращение с термодинамикой недопустимо. Дело в том, что при расширении газа в пустоту газ работы не совершает, его температура не меняется.

Работа совершается при адиабатическом расширении, можно считать, что, поскольку Вселенная не получает тепло извне и никуда его не отдает, процесс ее расширения адиабатический. Роль внутренней энергии выполняет энергия гравитации. Однако рассматривать Вселенную как термодинамическую

систему нельзя, кроме того, наличие гравитации нарушает 2-й закон термодинамики. Это доказано как на классическом, так и на квантовом уровне.

При наличии гравитации в термодинамических системах классическая термодинамика не работает. Однако Хокинг смело ее применяет к черным дырам.

На простом примере газа (в твердом теле или в фотонном газе сложнее, но суть та же) можно увидеть следующее: чтобы работала модель термодинамики, нужны многочисленные упругие столкновения между атомами, то есть, нужно усреднение. Это усреднение и дает возможность введения такого интенсивного параметра (в точке), как температура. Во Вселенной число столкновений между галактиками на много порядков меньше, чем в обычном газе, звезды сталкиваются чаще, но все равно редко, причем все соударения явно неупругие. Для Вселенной нельзя ввести статистический ансамбль. С другой стороны, во Вселенной нет термостата, соответственно, нет понятия равновесия. Поэтому температура в точке для Вселенной – бессмыслица.

В вакууме во многих случаях нарушена энергодоминантность (напр., в эффекте Казимира для некоторых объемов). В рамках расширенной неравновесной термодинамики показано, что в таких системах (если они термодинамические) тоже нарушается 2-й закон термодинамики.

Таким образом, модель термодинамики для Вселенной не работает.

Казалось бы, газ составляет основную массу вещества во Вселенной. Можно ли газ и излучение рассматривать как термодинамическую систему? Нет, оказывается, что температура газа и температура реликтового излучения – разные. За миллиарды лет не установилось равновесие. И потому не установилось, что столкновения между атомами газа во Вселенной крайне редки, средняя плотность Вселенной ничтожно мала, нет статистического ансамбля.

Но Горбунов с академиком Рубаковым, тем не менее, рисуют выделенную во Вселенной площадку, которую бомбардируют электроны и позитроны. В [1] авторы ошибочно применяют ко Вселенной термодинамический подход. То же делает и Чернин ([2]): «При адиабатическом сжатии или расширении однородного шара связь между изменением плотности и давлением описывается уравнением

$$d\rho = -3(\rho + p)d\ln a$$

для любой компоненты среды, если между компонентами нет обмена энергией. Как легко проверить, это соотношение вытекает из термодинамического тождества $dE = TdS - pdV$ (E – полная внутренняя энергия с энергией покоя), если $dS = 0$.

Из этого уравнения, пишет Чернин, легко найти, как плотности вещества и излучения изменяются со временем при изменении его радиуса в ходе расширения или сжатия шара.

Вероятно, a – это радиус шара, Чернин не указывает. Он также не указывает, из чего состоит шар – то ли это идеальный газ, для которого выполняется уравнение Клапейрона-Менделеева (даже не Ван-дер-Ваальса), то ли это твердое тело с совершенно другим уравнением состояния, соотношение $pdV = -dE$ при учете внутреннего теплового движения частиц кристалла НЕ выполняется.

Вообще для твердого тела зависимость тензора давления и внутренней энергии от объема – знакопеременная функция, см., напр., [3].

Горбунов с Рубаковым выписывают то же самое, что и Чернин, уравнение, причем указывают, что a – это масштабный фактор (формулы 3.11 и 3.13, стр. 63, 64). Авторы пишут, что эти формулы получены из равенства нулю дивергенции тензора энергии-импульса, т.е. без всякого термодинамического уравнения состояния – следовательно, заведомо неверно.

Уравнение Чернина получено из известного соотношения для идеального газа:

$$dS = d(C_V \ln T + R \ln V); V = (4/3)\pi a^3$$

с учетом сомножителя, в который входит масса газового шара.

И вот этот термодинамический подход, к тому же классический, они применяют к анализу уравнений Фридмана, откуда получают зависимость постоянной Хаббла H и плотности от времени для разных эпох с разными уравнениями состояния.

Горбунов и Рубаков рассматривают равновесие во Вселенной, пользуются функцией распределения Больцмана, хуже, рассматривают химический потенциал, и то, и другое, и третье – некорректно.

Следовательно, некорректно рассматривать и плотность Вселенной как термодинамический параметр.

Эволюция критерия эволюции Вселенной

В космологии эволюция материи во Вселенной диктуется геометрией, возможны всего три варианта: знак трехмерной скалярной кривизны (свертки трехмерного тензора Риччи) определяет эволюции Вселенной: при положительном знаке реализуется пространство постоянной положительной кривизны, при отрицательном знаке – пространство постоянной отрицательной кривизны и при равенстве нулю – плоское евклидово пространство.

Но дело в том, что кривизна может появиться исключительно после возникновения частиц, частицы и формируют кривизну, она не дается заранее, независимо, извне, с ростом числа частиц кривизна увеличивается. Однако в уравнении Фридмана расширение Вселенной не определяется из материи, масштабный фактор навязывается «извне».

Кроме того, эволюция вселенной определяется также тем, больше, меньше или равна критической космологическая постоянная, то есть, плотность вакуума. Но критерии критической плотности и критической лямбда не отстоят друг от друга, лямбда связана с плотностью вакуума. Возникает противоречие, т.к. плотность вакуума сама входит в другой критерий, определяющий знак кривизны пространства.

Кроме того, если темная энергия есть энергия вакуума, то эти 70-75% массы Вселенной – отрицательны, следовательно, плотность Вселенной не близка к нулю, а существенно меньше нуля.

Во-вторых, полагается, что и ранняя Вселенная (сразу после инфляции) была плоской – что явно неверно, т.к. плотность вещества была явно выше критической.

В-третьих, в стадии лямбда-доминирования превалирует плотность вакуума, эта плотность отрицательна, следовательно, и кривизна отрицательна. Однако последние астрономические данные показывают, что кривизна Вселенной больше нуля.

За период инфляции, в эпоху бариогенеза масса вещества во Вселенной увеличивается с 10^{-5} г до 10^{56} г, кривизна резко возрастает. Поскольку в декартовых координатах кривизна и постоянная Хаббла связаны, то их уравнения, их связывающего получается, что при большой кривизне оказывается большой и постоянная Хаббла. При снижении плотности вещества во Вселенной кривизна падает и постоянная Хаббла резко уменьшается.

Казалось бы, здесь уравнения Фридмана адекватны. Однако кривизна пространства не может быть постоянной, в уравнении Эйнштейна она определяется наличной материей, ее плотностью, которая изменяется со временем. Поэтому уравнение Фридмана делят по времени на четыре части:

инфляционную, стадию радиационного доминирования, пылевую и стадию лямбда-доминирования.

В последней стадии полагается, что суммарная плотность во Вселенной близка к критической, из чего делаются выводы о дальнейшей эволюции Вселенной. Но при расширении Вселенной плотность неизбежно станет меньше критической, т.е. выводы об эволюции Вселенной должны измениться на противоположные.

Принято считать, что в том случае, если плотность Вселенной больше критической, то расширение Вселенной должно остановиться и смениться сжатием. Физический смысл утверждения сомнителен: при расширении Вселенной скорость, согласно закону Хаббла, только возрастает, с другой стороны, останавливающее действие гравитации спадает с расстоянием.

В настоящее время, как показывают измерения, плотность Вселенной с большой точностью близка к критической.

Но, следовательно, скажем, 3-4 млрд. лет назад, что легко получить, используя закон Хаббла, плотность Вселенной была выше критической, то есть, Вселенная была закрыта и должен был реализоваться сценарий сжатия Вселенной.

С другой стороны, измерения показывают, что кривизна положительна, и плотность Вселенной чуть выше критической. Должно наступить сжатие. Но легко получить, что через пару миллиардов лет плотность Вселенной будет ниже критической, следовательно, Вселенная будет открыта, и должен реализоваться сценарий бесконечного расширения Вселенной.

То есть, уравнения Фридмана в отношении эволюции Вселенной выдают явно неверный результат.

2) В уравнении Фридмана входит уравнение неразрывности, используется модель идеальной жидкости, но это полная чепуха, т.к. вакуум не является динамической системой, он никуда не течет и ниоткуда не вытекает, для вакуума нет ни теоремы Остроградского, ни уравнения Навье-Стокса, вакуум – не идеальная жидкость.

3) Критическая плотность определяется путем уравнивания КЛАССИЧЕСКОЙ гравитационной энергии и энергии антигравитации (кинетической энергии по закону Хаббла). Эта классика затем и засовывается в анализ уравнений Фридмана.

При этом нет никаких препятствий, чтобы просто уравнивать силу гравитации и силу антигравитации, как это делает Чернин. Стоит продолжить его выкладки.

Связь критической плотности и постоянной Хаббла $H = (8\pi G\rho/3)^{1/2}$ выводится из классического равенства кинетической энергии галактики и потенциальной энергии гравитации:

$$v^2 = 2GM/R = 8\pi G\rho R^2/3 = H^2 R^2$$

В таком случае сила гравитационного отталкивания в 8 раз отличается от гравитационного притяжения:

$$F = 8GMm/R^2$$

Но в ОТО нет классического закона сохранения энергии, поэтому нет никаких ограничений, чтобы для определения состояния с не увеличивающейся скоростью использовать условие равновесия отталкивающей силы и силы ускоряющей. Тогда исчезает множитель 8, ускорение, придаваемое антигравитацией, запишется в виде

$$a = GM/R^2$$

То есть, антигравитация становится тождественной гравитации, закон Глинера – закону Ньютона, масса – классическому вакууму. При этом критическая плотность увеличивается в 8 раз.

В любом случае критическая плотность вычислена неверно, из представления о постоянстве положительной гравитирующей плотности.

То есть, понятие критической плотности теряет смысл.

4) Если применить методику расчета критической плотности к взаимодействию двух гравитирующих тел (версия антигравитации Глинера), то в линейном случае она работает. Напр., туманность Андромеды приближается с постоянной скоростью, что соответствует расчету по версии Глинера. Но туманность Андромеды слегка вращается вокруг Млечного пути, и расчет показывает, что в таком случае туманность Андромеды не будет сближаться с Млечным путем, что противоречит наблюдениям. Больше того, попытка определить теоретически равновесный радиус, как это делал Чернин (3 Мпс), немедленно приводит к противоречиям.

Дело в том, что ускорение Хаббла можно записать двояко: как $H^2 r$ и как $H\dot{r}$, что дает существенно разные дифференциальные уравнения. Но в обоих случаях в уравнениях движения r – искомая функция от времени, в то время как в уравнении Хаббла она уже определена как экспоненциальная, поэтому вблизи равновесия (r ни большой, ни маленький) она не определена.

Корректнее представить уравнение движения таким образом, что сила Хаббла является результирующей при сложении силы гравитации с реальной силой отталкивания.

Заключение

Кроме использования плотности Вселенной в качестве критерия ее эволюции, повторяют ошибку Хокинга, что термодинамика выделяет стрелу времени. Ошибка Де Бройля, что давление газа – только на стенках сосуда, а внутри газа отсутствует, напечатана в «Эйнштейновском сборнике», ее повторяют, в т.ч. Толмен, откуда выводят, что формула релятивистской температуры Эйнштейна якобы не противоречит противоположной формуле Отта, хотя на самом деле оба ошиблись.

Утверждается, что астрономические данные по плотности вакуума отличаются от теоретических (по КТП) на 120 порядков. На самом деле Зельдович и Вайнберг ошиблись, использовали неверную перенормировку.

Расчет критической плотности исходит из схемы вычисления 2-й космической скорости, подразумевающей постоянство массы, от которой отрывается ракета. В реальной Вселенной масса вакуума увеличивается вслед за полетом ракеты. Это ошибочная схема, но физическое сообщество не стремится установить истину.

Причина в том, что научное сообщество следует принципу конвенционализма, являющегося частью уже опровергнутого постпозитивизма.

Литература

1. Горбунов Д. С., Рубаков В. А. Введение в теорию ранней вселенной. М.: URSS-ЛКИ, 2008.

2. Чернин А. Д. Физический вакуум и космическая антигравитация», ГАИШ МГУ Обс. Туорла, ун-т Турку, Финляндия.

3. Введение в молекулярную физику и термодинамику.

https://scask.ru/k_book_m_ph.php?id=31

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД В КОСМОЛОГИИ

Введение

В теме термодинамики в теории гравитации и, соответственно, в космологии, существуют две проблемы: 1) адекватность термодинамики для Вселенной, 2) формулирование термодинамики в ковариантном виде для локальных систем.

Термодинамическая система – это система многих частиц, которые делятся на группы тождественных частиц (атомов или молекул). Эти частицы постоянно сталкиваются между собой, что позволяет ввести длину свободного пробега и средний квадрат скорости. Термодинамика твердых тел базируется на наличии нескольких типов тождественных многих частиц, колеблющихся около положения равновесия. Термодинамика жидкостей, в том числе плазмы, подразумевает наличие таких связей, как уравнение непрерывности, уравнения теплопереноса и т.д.

Для системы или двух, тех, n соприкасающихся систем можно вести понятия равновесия, термостата и температуры.

Во Вселенной же нет соприкосновения. Одна часть пространства заполнена галактиками, массы которых колеблются от порядка 10^1 до порядка 10^3 млрд. солнечных масс. Всего порядка $3 \cdot 10^{22}$ звезд в видимой части (в нашей галактике – 10^{11} звезд), порядка 10^{11} галактик. Галактики сцепляются в скопления, 90% галактик – в скоплениях.

Из них 10^7 – сверхскопления из тысяч галактик, $2,5 \cdot 10^{10}$ – галактические группы, $3,5 \cdot 10^{11}$ – гигантские галактики, $0,7 \cdot 10^{13}$ – карликовые галактики, и это лишь малая часть, т.к. 9/10 галактик от нас скрыто.

Сверхскопления образуют цепочки, например, цепочка Маркаряна.

Другие части Вселенной, войды, размером в сотни Мпк – пусты. Цепочки и войды иногда образуют так называемые стены, например, Великая стена Слоуна. Великая стена CfA2, находящаяся от нас на расстоянии 200 млн световых лет, имеет толщину 15 млн световых лет и протяженность порядка 500 млн световых лет. Стена «Громадная группа квазаров» имеет размер 4 млрд. световых лет, Великая стена Геркулес – Северная корона – 10 млрд. световых лет.

Наконец, предполагают существование еще не обнаруженного Великого Аттрактора, кластера множества сверхскоплений, притягивающего вещество нашего сектора Вселенной.

Часть Вселенной – барионная материя, 5%, часть – темная энергия, 75%, часть – темная материя, 20%.

Вселенная заполнена протонами, электронами, водородом, гелием, реликтовым излучением, излучением звезд, астероидами. 60% барионной материи – в межгалактическом пространстве, недавно там обнаружены нити плотного газа из высоко ионизированных атомов кислорода при температуре 60 млн градусов, которые составляют 30% всей барионной материи [1].

Недавно обнаружилось, что число галактик ранее недооценивали в 10–20 раз, т.к. неверно определяли скорость образования галактик в ранней Вселенной. Есть отдельные холодные и тёплые облака, окружённые более горячим газом, а также реликтовые черные дыры.

Предполагается, что в масштабах порядка 300 Мпк Вселенная практически однородна и представляет собой совокупность нитевидных скоплений галактик, между которыми – войды. Иногда нити и пустоты образуют стены.

То есть, по своей консистенции Вселенная не является термодинамической системой. Вселенная напоминает биомассу океана, где микроорганизмы – межзвездный газ, атолл – звездные скопления, но без воды.

Внутри себя Галактики – бесстолкновительны, То есть, говорить даже о термодинамике галактик – затруднительно. Чаше соударяются сами галактики. Если исходить из частоты соударений молекул в газе, частота соударений галактик порядка 10^{-14} в год, реально – на два порядка меньше. Кроме того, столкновения галактик не носят характер соударений между молекулами, в случае их слияния

(мержинга) в них активизируется процесс звездообразования. Следовательно, и термодинамика галактик – под вопросом.

Во Вселенной нет локального термодинамического равновесия, вообще невозможно ввести понятия равновесия, термостата, следовательно, и температуры. Можно говорить лишь о термодинамике электронов, спектр их энергий описывается распределением Максвелла, о термодинамике реликтового излучения (уравнение Стефана-Больцмана), о термодинамике облаков газа, для которых можно записать 1-е начало термодинамики.

Приведем определение: вечный двигатель второго рода - неограниченно долго действующая машина, которая, будучи пущена в ход, превращала бы в работу всё тепло, извлекаемое из окружающих тел. Невозможность осуществления вечного двигателя второго рода постулируется в термодинамике в качестве одной из эквивалентных формулировок второго начала термодинамики: во всех необратимых процессах энтропия изолированной системы неизменно возрастает: $dS > 0$.

Вселенная, являясь изолированной системой, не обменивается теплом, поэтому $\delta Q = 0$, следовательно, $dS = 0$ и $S = const$. Адиабатический процесс, при котором $S = const$, обратим. Кроме того, в отличие от расширения газа в пустоту, в случае расширения Вселенной пустота отсутствует, Вселенная еще должна каждый момент расширения порождать пустое пространство вокруг себя. Что показывает, что представления о невозможности вечного двигателя 2-го рода ограничены локальными системами. (В [2, с. 64, 119] сформулирован закон сохранения энтропии в сопутствующей, т.е. расширяющейся системе, $sa^3 = const$, где s – плотность энтропии, которая падает с увеличением радиуса a . Что подтверждает вывод о сохранении энтропии в объеме всей Вселенной. Это, казалось бы, подтверждает справедливость предыдущего утверждения. Однако в [2] указывают, что это ковариантный закон. Но дело в том, что S является аддитивной величиной, поэтому данное соотношение справедливо для любых расширяющихся изолированных систем.)

Введение только классического гравитационного поля нарушает 2-й закон термодинамики (в известной задаче о нагреве двух шаров, на подставке и на нити, см. [3]. Закон можно спасти, как это и предлагается в [4], путем введения энергии шаров в гравитационном поле Земли во внутреннюю энергию.

Следовательно, в общем виде внутренняя энергия

$$U \rightarrow U + \frac{1}{2} \int \rho \varphi dV,$$

Где ρ - плотность, φ - потенциал внешнего гравитационного поля. Тогда можно записать видоизмененный 1-й закон термодинамики:

$$\delta Q = d(U + \frac{1}{2} \int \rho \varphi dV) + \delta A$$

Однако, поскольку хаббловское расширение совершает работу против гравитационных сил, и, поскольку внешние источники расширения отсутствуют, Вселенная представляет собой вечный двигатель 1-го рода.

В струнной М-теории, в модели пульсирующей Вселенной и в модели Линде-Старобинского Вселенная – тоже вечный двигатель.

Кроме того, как многократно отмечалось в литературе, если говорить о сингулярном состоянии в момент рождения Вселенной, температура и плотность не могут быть одновременно бесконечными, т.к. при бесконечной плотности энтропия стремится к нулю, чего при бесконечной температуре не может быть. Но и в планковском масштабе при высокой температуре энтропия – исчезающе малая величина. Еще одно затруднение в том, что 1-й закон термодинамики – не эволюционный, он фиксирует только начальное и конечное состояние, потому не может быть записан в ковариантном виде.

Наконец, в ОТО нет понятий термостата и равновесия.

Межзвездное пространство

В межпланетном пространстве содержится около 10 молекул водорода и гелия на 1 см^3 ; в межзвездном пространстве содержится около 1 молекулы в 1 см^3 ; в межгалактическом пространстве содержится 10^{-6} молекул в 1 см^3 .

По количеству частиц с ненулевой массой покоя космические лучи на 92% состоят из протонов, на 6% — из ядер гелия, около 1% составляют более тяжелые элементы, и около 1% приходится на электроны.

Плотность энергии реликтового излучения составляет $0,25 \text{ эВ/см}^3$ ($4 \cdot 10^{-14} \text{ Дж/м}^3$) или 400-500 фотонов/см³. К нему добавляется электромагнитный диффузный фон и нейтрино от сверхновых, наконец, фотоны видимого спектра.

Энергетический спектр космических лучей на 43% состоит из энергии протонов, на 23% — из энергии альфа-частиц и 34% из энергии, переносимой остальными частицами.

Представим пространство Вселенной как сосуд, в котором между различными газами убрали перегородки. Температура смеси газов должна определиться по формулам:

$$T = \sum_i \frac{p_i V_i}{C_{pi} / C_{vi} - 1} \left(\sum_j \frac{T_j p_j V_j}{C_{pj} / C_{vj} - 1} \right)^{-1} \text{ или } T = \sum_{i \neq j} \rho_i T_j \left(\sum_k \rho_k \right)^{-1}$$

Для одноатомных газов, когда сумма внутренних энергий не меняется, равновесная температура определяется из легко получаемого соотношения:

$$T = \frac{\sum_i (T_i m_i^{-1})}{\sum_k m_k^{-1}} \text{ или } T = \overline{m_i / T_i} \cdot \overline{m_k}$$

где $\overline{x}$ - среднее гармоническое величин X . Между тем температура межзвездного пространства – 4 K, в то время как температура реликтового излучения – 2,7 K, т.е. за миллиарды лет равновесие так и не установилось (см. также [5, с. 150-151]).

Охлаждение Вселенной

В популярных лекциях (например, А. Линде) принято указывать, что внутренняя энергия Вселенной убывает по закону $dU = -pdV$, где V – объем вселенной, если таковой может быть, p – давление, оно постоянно. Соответственно, при увеличении объема внутренняя энергия и температура убывают. Однако утверждение о постоянстве давления - ошибка, расширение Вселенной - адиабатический процесс, когда система не отдает теплоту и не получает ее извне. При адиабатическом расширении идеального газа $pV^\gamma = k$, где k – константа, $\gamma = C_p / C_v$. То есть, при увеличении объема давление уменьшается.

Соответственно, уравнение имеет вид:

$$dU = -kV^{-\gamma} dV$$

Отсюда снижение внутренней энергии при расширении имеет несколько иной характер:

$$U = -\frac{kV^{1-\gamma}}{1-\gamma} + c_1$$

Поскольку гравитационные силы на много порядков слабее ван-дер-ваальсовых, можно представить Вселенную как идеальный газ.

Однако дело в том, что если представить содержимое Вселенной как идеальный газ, то его внутренняя энергия при расширении не зависит от объема, как было показано Джоулем еще в 1845 году.

В реальном газе

$$(V - b)(p + \frac{a}{V^2}) = \nu RT$$

Постоянные Ван-дер-Ваальса a и b учитывают притяжение между молекулами на больших расстояниях (постоянная a) и сильное отталкивание на малых (постоянная b). Это отталкивание делает недоступным внутреннее пространство молекулы для остальных молекул и уменьшает общий свободный объем.

Поскольку во вселенной проникновение во внутренние пространства не грозит, то постоянную b можно смело положить равной нулю:

$$V(p + \frac{a}{V^2}) = \nu RT$$

Причем постоянная a перестает быть постоянной: $a \propto 1/r^2$, $a \rightarrow a'$, и

$$V(p + \frac{a'}{r^2 V^2}) = \nu RT,$$

где r – радиус Вселенной, ν - число молей, a' - новая константа.

Оценим скорость изменения температуры Вселенной.

В реальном газе при расширении в пустоту среднее расстояние между молекулами увеличивается, силы притяжения совершают отрицательную работу, и потенциальная энергия увеличивается. Поскольку полная внутренняя энергия остается постоянной, кинетическая энергия молекул, а значит, и температура газа, уменьшаются.

Во Вселенной роль сил Ван-дер-Ваальса играют силы гравитации, причем исключительно на «поверхности», т.к. «внутри» Вселенной сумма гравитационных сил в точке равна нулю в приближении ньютоновской механики и не равна нулю лишь в ОТО. Однако говорить о снижении кинетической энергии элементов, составляющих Вселенную, затруднительно. Это, во-первых, галактики, которые в выделенной системе отсчета не только не снижают свои скорости, но при удалении от точки отсчета их увеличивают.

Можно говорить о межзвездной пыли, реликтовом излучении, электронах, протонах, ядрах гелия, излучении звезд, температура всего этого содержимого, действительно, теряет температуру, несмотря на продолжающийся процесс звездообразования.

Можно представить давление в уравнении Ван-дер-Ваальса как внутреннее давление, определяемое законом Хаббла. Если представить Вселенную в виде шара, вся масса которого в центре, то в классическом случае и приближенно работа, совершаемая при расширении Вселенной:

$$dA = \int_s \rho \left(\frac{GM}{r^2} + H\dot{r} \right) dr ds$$

(Если массу «размазать» равномерно по Вселенной, то получим для средней плотности величину порядка 10^{-31} г/см³. По другой версии считается, что в галактиках должно быть много невидимого вещества, иначе нельзя понять, почему некоторые галактики группируются в системы со спутниками. Если такая точка зрения правильна, то оценка средней плотности вещества увеличивается до 10^{-30} г/см³, т. е. до — 1 нуклон/м³).

Примем среднее расстояние между галактиками 2 Мпк (по другим данным — 0,7 Мпк). Примем среднюю массу m галактики за 300 млрд. солнечных масс: $m = 2 \cdot 3 \cdot 10^{11} \cdot 10^{30} = 6 \cdot 10^{41}$ кг. В одном квадрате $2 \cdot 2$ Мпк содержится одна галактика. Радиус Вселенной $R = 78$ млрд. световых лет, или 10^{16} м $\times 78 \times 10^9 = 7,4 \times 10^{26}$ м. Площадь одного квадрата $s = 0,36 \cdot 10^{34}$ м². $1 \text{ нк} = 3 \cdot 10^{16}$ м. Итого поверхностная плотность $\rho = 1,6 \cdot 10^6$ кг / м², что на 9 порядков меньше, чем в Млечном пути. Площадь сферы $S = 4\pi R^2 = 0,68 \cdot 10^{54}$ м².

Тогда, если считать галактики точечными

$$dA \approx 10^{60} \text{ кг} \left(\frac{GM}{r^2} + H\dot{r} \right) dr \text{ и } A \approx 10^{60} \left[GM \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_0} \right) + H \int_{t_0}^{t_1} \dot{r}^2 dt \right]$$

Используем еще раз закон Хаббла:

$$A \approx 10^{60} \left[GM \left(\frac{e^{-Ht_1} - e^{-Ht_0}}{r_0} \right) + \frac{r_0^2 H}{2} (e^{2Ht_1} - e^{2Ht_0}) \right]$$

где r_0 — константа интегрирования. Если сегодняшний момент времени принять за точку отсчета $t_0 = 0$ и $r_0 = R$ — современный радиус Вселенной, то

$$A \approx 10^{60} \left(-\frac{GM}{R} + \frac{R^2 H}{2} e^{2Ht} \right)$$

При больших R работа определяется хаббловским вкладом, что было ясно с самого начала, и, поскольку в адиабатическом процессе

$$dA = -\nu C_v dT,$$

то очевидно, что, в виду множителя 10^{60} температура Вселенной почти мгновенно должна упасть практически до нуля, что не наблюдается. Если за исходную принять поверхностную плотность в Млечном пути, порядка 70 масс Солнца на квадратный парсек [6, с. 462.], то множитель еще больше увеличится, до 10^{69} . Таким образом, термодинамический подход не применим ко Вселенной как к целому.

Релятивистская температура

В подходе Планка-Эйнштейна система будет холоднее с точки зрения наблюдателя, движущегося относительно ее, а поток тепла будет меньше,

$$T = T_0 \sqrt{1 - v^2 / c^2}.$$

В подходе Отта законы преобразования обратны. Если за δQ принять полную переданную энергию, то

$$T = T_0 (1 - v^2 / c^2)^{-1/2}.$$

Тогда для движущегося наблюдателя система горячее, а тепловой поток больше:

$$\delta Q_v = dE = \delta Q_0 / \sqrt{1 - v^2 / c^2}$$

Утверждается, что разночтения связаны это с произволом в определении количества теплоты.

Передаваемую теплоту в СТО можно определить либо при постоянном импульсе (как предложили Планк и Эйнштейн), либо при постоянной скорости.

Ландсберг полагал, что температуру следует считать лоренцевым инвариантом, тогда как для переданного тепла остается верным старое планковское преобразование. Де Бройль исходил из того, что давление не существует внутри системы, а лишь, на границе, Мёллер предположил, что в 1-е и 2-е начало термодинамики входит разная теплота. Ван-Кампен предложил схему с инвариантной температурой и инвариантным потоком тепла. Балеску показал, что существует целый класс преобразований, который не противоречит обобщению термодинамики в рамках специальной теории относительности [7]. Авторы вывели, что температура и прочие интенсивные параметры – лоренц-инвариантны. В планковской же релятивистской термодинамике молярный объем становится интенсивным параметром, а давление – экстенсивным.

Появляются новые работы, где объем лоренц-инвариантен, но экстенсивен [4].

Толмен следует Планку и Эйнштейну и аргументирует следующим образом: в СТО импульс может меняться и при постоянной скорости, если изменяется энергия системы, а следовательно, должна существовать внешняя сила, которая производит работу и поддерживает постоянную скорость. релятивистской поправкой

$$dA = pdV - \frac{u^2}{c^2} d(U + pV)$$

где u – скорость движения относительно наблюдателя [8, с. 163].

Передача энергии от одной системы к другой связана с изменением импульса и массы.

Количество тепла определяется как количество энергии за вычетом работы $c \frac{v^2}{c^2} dp$ (p – импульс). В

системе покоя при постоянном объеме $dE_0 = \delta Q_0$. В движущейся системе координат [там же, с. 165]:

$$dE = \frac{\delta Q_0}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}, \quad dp = \frac{1}{c} \frac{v^2}{c^2} \frac{\delta Q_0}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}$$

$$\text{и } dQ_p = dE - c \frac{v^2}{c^2} dp = \sqrt{1 - v^2 / c^2} \delta Q_0$$

Далее Толмен переходит к общей теории относительности и логично утверждает, что и теплота, и температура являются скалярами и потому их значения никак не связаны с системой отсчета. Однако далее он после некоторых вычислений приходит к выводу, что инвариантом является отношение

$$\delta QT = \delta Q_0 / T_0$$

[там же, с. 304, 306]. Тем не менее, несмотря на то, что температура – скаляр, Толмен вычисляет распределение температур в гравитирующей жидкой сфере в состоянии равновесия – при перемещении в радиальном направлении, [там же, с. 320]. Кроме того, Толмен указывает на релятивистский 1-й закон термодинамики, но он так и не сформулирован.

Но такого не может быть, чтобы температура, например, удаляющихся звезд определялась тремя разными способами, становятся ли в СТО они теплее, холоднее или не меняют температуру при преобразованиях Лоренца, это мгновенно бы сказалось на их спектрах. Отметим, что, например, в [9, 10] релятивистская термодинамика не упоминается.

Дело в том, что в СТО кинетическая энергия определяется как разность полной энергии и энергии покоя:

$$E_k = E_{\text{полн}} - mc^2.$$

В системе покоящихся частиц температура равна нулю, а энергия покоя – нет. Следовательно, вычитать нужно не таинственную работу внешних сил, а энергию покоя, которая к термодинамике не имеет отношения. Можно показать, что в СТО преобразования координат сохраняют усредненный импульс. Температура же является экстенсивной величиной и определяется в точке через усредненный по малому элементу системы квадрат скорости частиц, например:

$$m\overline{v^2} = 3kT$$

При преобразованиях Галилея сохраняется усредненный квадрат скорости, сохраняется и квадрат проекции скорости на вектор скорости движущейся системы, поскольку температура не меняется:

$$\overline{v_u^2} = \overline{(v'_u + u)^2} = \overline{v'^2_u}$$

То есть: постоянная скорость при усреднении отбрасывается.

В СТО скорость преобразуются следующим образом:

$$v_u = \frac{v'_u + u}{1 + uv'_u / c^2}$$

При $v_u \ll u$ соотношение сводится к виду:

$$v_u = v'_u(1 - u^2 / c^2) + u,$$

при усреднении, поскольку постоянная скорость системы отбрасывается, получим

$$T = T'(1 - u^2 / c^2)^2$$

То есть, температура в движущейся системе для покоящегося наблюдателя будет меньше, чем в сопутствующей. В ультрарелятивистском пределе, но при малых u соотношение сохраняется. Таким образом, уравнение, например, Клапейрона-Менделеева не является Лоренц-инвариантом.

Первое начало термодинамики

1. Запишем первое начало термодинамики:

$$\delta Q = dU - \delta W$$

где Q – теплота, U – внутренняя энергия, W – работа, в равновесных процессах

$$W = -PdV,$$

P – давление, V – объем; в неравновесных процессах dW тоже не является дифференциалом. Это линейная дифференциальная форма Пфаффа для двух независимых переменных. Для данной пфаффовой формы условие интегрируемости Эйлера не выполняется, то есть, δQ – функционал, а не полный дифференциал несуществующей функции $Q(U, W)$. Приращения работы и теплоты не являются полными дифференциалами, их бесконечно малые приращения не могут быть представлены в виде суммы бесконечно малых приращений аргументов с коэффициентами, точнее, в виде суммы попарных произведений частных производных на дифференциалы соответствующих переменных.

Второе начало термодинамики постулирует недоказуемое положение о том, что пфаффова форма δQ при любом числе переменных всегда голономна и, следовательно, для любой закрытой термодинамической системы существуют энтропия.

Неравновесная термодинамика, исходя из постулата локального равновесия, бездоказательно переносит определение энтропии, данное для равновесия, на неравновесные состояния.

Очевидно, что указанные выше постулаты и определения могут быть отменены в ОТО. Уравнения, описывающие систему в ОТО, не обязаны быть голономными, следовательно, энтропия в них не определена, говорить о ее возрастании бессмысленно. В космологическом смысле это может означать либо усиление диссипативных процессов во Вселенной, либо, наоборот, некие ограничения диссипации. Но еще до решения вопроса о неголономности пфаффовых форм в ОТО в рамках расширенной необратимой термодинамики, в которой нет локального равновесия, можно говорить об ограничениях 2-го начала термодинамики. Если в космологических моделях учесть вклад вакуума, то 2-й закон термодинамики $\partial S / \partial t \geq 0$ выполняется, если и только если не нарушается энергодоминантность [11].

Однако мы знаем, что нарушение энергодоминантности в полевых моделях – не редкость [12]. Таким образом, учет вакуумных поправок заставляет переосмыслить классическое понимание закона сохранения.

2. Хотя, как указывалось, различные авторы придерживаются разных взглядов на определение температуры, связанной с движущимся телом [13], если ввести лоренц-инвариантную температуру, можно придать второму началу термодинамики $dQ = TdS$, где энтропия S — инвариант, релятивистскую форму. Ввести 4-скорость u и записать первое начало термодинамики следующим образом:

$$\delta Q = dU - \delta W = dU - p dV + u dp$$

Где U – внутренняя энергия, W – работа внешних сил, p – давление, V – объем.

В общем случае в уравнение входят обобщенные внешние силы и химический потенциал μ и изменение числа частиц dN . Поскольку границы влияют на систему, наиболее естественной независимой переменной является давление p , в связи с чем в качестве термодинамического потенциала удобно

брать энтальпию. Для такой системы «обычная» энтальпия и импульс системы $\vec{g}$ образуют 4-вектор и за определение инвариантной энтальпии, одинаковой во всех системах отсчёта, берётся инвариантная функция этого 4-вектора:

$$H = \sqrt{(U + pV)^2 - c^2 \vec{g}^2}$$

Введем

$$\gamma = \sqrt{1 - v^2 / c^2}$$

Основное уравнение релятивистской термодинамики записывается (см. [14]) через дифференциал инвариантной энтальпии следующим образом:

$$dH = TdS + VdP / \gamma + \mu dN$$

Поскольку объем преобразуется как $V = \gamma V'$, из уравнения Клапейрона-Менделеева следует, что

давление преобразуется следующим образом: $p = \gamma^3 p'$. Тогда из 1-го начала термодинамики следует, что теплота и внутренняя энергия преобразуются так же, как и температура:

$$Q = \gamma^4 Q' \text{ и } U = \gamma^4 U'.$$

Поскольку dN – инвариант, то

$$\mu = \gamma^4 \mu'.$$

Функция распределения

Для формулировки релятивистских кинетических уравнений [15], релятивистских уравнений сплошной среды с температурой [16], в подходе Гиббонса и Хокинга для описания черных дыр использовался классический канонический ансамбль Гиббса.

Но дело еще и в том, что второй закон термодинамики, закон возрастания энтропии, не меняется в классическом гравитационном поле, например, на Земле, потому, что в его основе лежит симметрия эвклидова пространства. Законы физики эквивалентны относительно преобразований группы Галилея в евклидовом пространстве, в пространстве Минковского – относительно группы Лоренца. Но сильно искривленные пространства описываются иными группами симметрии, группой Бонди-Метцнера-Сакса и др. То есть, теория вероятности в ОТО – другая, в ней распределения Гаусса (нормальное распределение Пирсона типа IX), Коши, Фишера, логнормального, Пуассона – не симметричны.

В [2, с. 112] распределения Бозе и Ферми получают, исходя из классической функции распределения с релятивистским аргументом. Однако очевидно, что при преобразованиях Лоренца, если распределение случайной величины - вдоль вектора скорости системы отсчета, смещается математическое ожидание

$$M = (M' + ut) / \gamma$$

и в формуле для плотности вероятности

$$f(x) = (\sigma \sqrt{2\pi})^{-1} \exp[-(x - M)^2 / 2\sigma^2]$$

уменьшается дисперсия σ :

$$f(x) = (\gamma \sigma' \sqrt{2\pi})^{-1} \exp[-(x' - M')^2 / 2\gamma^2 \sigma'^2]$$

Следовательно, сама плотность вероятности при переходе в движущуюся систему координат преобразуется сложным образом.

Заключение.

Таким образом, термодинамический подход не применим к Вселенной как к целому. Выводы ряда авторов в отношении преобразований температуры и теплоты представляются необоснованными. Система найденных элементов релятивистской термодинамики может позволить сделать шаг к ее ковариантной формулировке для локальных систем.

Литература

1. Nicastro F, Kaastra J., Krongold Y. et al. Observations of the missing baryons in the warm-hot intergalactic medium // Nature. - 2018. - Vol. 558. - P. 406–409. DOI <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0204-1>
2. Горбунов Д. С., Рубаков В. А. Введение в теорию ранней Вселенной. Теория горячего Большого взрыва. М.: ЛКИ, 2008. 552 с.
3. Palma G., Normale S., Sormani M. C., Peierls R. Counterintuitive effect of gravity on the heat capacity of a metal sphere: re-examination of a well-known problem. <https://arxiv.org/pdf/1502.01337.pdf>
4. Даныльченко П. Релятивистская термодинамика с лоренц-инвариантным экстенсивным объемом. Винница: ГНПП «Геосистема», 2006. 8 с.
5. Зельдович Я. Б., Новиков И. Д. Строение и эволюция Вселенной. М.: Наука, 1975. 736 с.
6. Фридман А. В., Хоперсков А. М. Физика галактических дисков. М.: Физматлит, 2011. 640 с.
7. Каллен Г., Горвиц Дж. Релятивистская термодинамика // УФН. - 1972. - Т. 107. - вып. 3. - С. 489–502
8. Толмен Р. Относительность, термодинамика и космология. М.: Наука, 1974. 520 с.
9. Воронцов-Вельяминов Б. А. Внегалактическая астрономия. М.: Наука, 1978. 480 с.
10. Гинзбург В. Л. Теоретическая физика и астрофизика. М.: Наука, 1981. 504 с.
11. Жоу Д., Касас-Баскес Х., Лебон Дж. Расширенная необратимая термодинамика. М: Институт компьютерных исследований, 2006. 528 с.
12. Ихлов Б. Л. Хиггсовский вакуум в калибровочной теории гравитации: Автореф. дисс. канд. физ. мат. наук, М., 1988. 14 с.
13. Шмутцер Э. «Симметрии и законы сохранения в физике». М.: Мир, 1974. 159 с.
14. Болгарский А. В., Мухачев Г. А., Щукин В. К. Термодинамика и теплопередача. М.: Высшая школа, 1975. 495 с.
15. Де Гроот С., ван Леувен В., ван Верт Х. «Релятивистская кинетическая теория». М.: Мир, 1983. 424 с.
16. Черный Л. Т. Релятивистские модели сплошных сред. М.: Наука, 1983.

ОБ УВЕЛИЧЕНИИ МАССЫ ВСЕЛЕННОЙ

Введение

Согласно гипотезе вселенной с нулевой энергией ее полная энергия равна нулю: количество положительной энергии в форме вещества в точности компенсируется ее отрицательной энергией в форме гравитации. В курсе теоретической физики Ландау и Лифшица «Теория поля» содержится указание, что в гравитационном поле сохраняется не 4-импульс материи, а 4-импульс материи вместе с гравитационным полем [1], но нет доказательства равенства нулю полной энергии.

В 1995 году Дж.В. Джохри рассчитал, что полная энергия вселенной Розена равна нулю во вселенной, соответствующей метрике Фридмана-Леметра-Робертсона-Уокера, и предложил механизм генерации материи за счет инфляции в молодой вселенной. Ксулу, используя комплекс Ландау-Лившица, показал, что энергия и отдельно полный импульс вселенной – нулевые [2]. Существует решение с нулевой энергией для пространства Минковского, представляющего наблюдаемую вселенную [3].

Экспериментальные доказательства, что энергия Вселенной нулевая, сомнительны. Гравитационная энергия видимой материи составляет 26-37% от наблюдаемой общей плотности массы-энергии [4]. На роль дополнительной отрицательной энергии предлагают темную материю [5]. Однако согласно опубликованным в марте 2013 года данным наблюдений космической обсерватории «Планк», интерпретированным с учётом стандартной космологической модели Лямбда-CDM, общая масса-энергия наблюдаемой Вселенной состоит на 4,9 % из обычного вещества, на 26,8 % из тёмной материи

и на 68,3 % из тёмной энергии [6]. Даже если темная материя отрицательна (что явно расходится с экспериментальными данными), полная масса-энергия Вселенной не может быть равной нулю. Кроме того, при больших радиусах Вселенной гравитационная энергия стремится к нулю, если бы она равнялась массе Вселенной, то и масса вселенной должна была бы стремиться к нулю, что противоречит наблюдаемым данным.

Гравитационная энергия

Масса вещества во вселенной из состояния в 10^{-8} кг увеличилась до 10^{53} кг. Предположим, что причина увеличения массы - расширение Вселенной, работа против сил гравитации:

$$A = - \int f dr = -GMm \int dr / r^2 = GMm / r + C = c^2 \Delta m$$

В модели шара выберем слой dm и удалим его на бесконечность, совершенная работа

$$dA = Gmdm / r$$

равна изменению гравитационной энергии слоя.

$$m = M(r / R)^3, dm = 3M(r^2 / R^3)dr$$

Проинтегрируем послойно:

$$U = -0,6GM^2 / R$$

$$\Delta U = 0,6GM^2 \Delta R / R_1 R_2$$

В системе СИ подставим $H = 2,2 \times 10^{-18}$, $G = 6,7 \times 10^{-11}$, $M = 10^{53}$, $c = 3 \times 10^8$, $R = 8,8 \times 10^{26}$, используем закон Хаббла, получаем, что за 13 млрд. лет приращение массы могло составить лишь порядка 10% от M . И наоборот: если начальную массу Вселенной считать неизвестной, то она оказывается втрое больше современной массы Вселенной.

С другой стороны, подставляя параметры для планковской Вселенной $r = 0,8 \times 10^{-35}$, $m = 2,18 \times 10^{-8}$, и ориентировочный радиус Вселенной по окончании эпохи инфляции 10^{-1} , получаем, что масса Вселенной всего лишь примерно удваивается (на 120%), что на 62 порядка меньше наблюдаемой массы Вселенной. Таким образом, в ньютоновской гравитации версия возникновения массы из гравитационной энергии не оправдывается.

В ОТО говорить о компенсации массы гравитационной энергией невозможно, поскольку нет понятия гравитационной энергии, ее заменяет кривизна пространства.

Во-вторых, гравитационный радиус планковской вселенной меньше радиуса Шварцшильда, т.е. возможно, что часть ее плотности была компенсирована отрицательной плотностью вакуума, за счет эффекта Казимира.

Плотность вакуума Казимира электромагнитного поля $\rho_{VEM} \approx 10^{96}$, что близко к планковской плотности $\rho_{pl} = 5,1 \cdot 10^{96}$. Таким образом, в планковскую эпоху эффект Казимира, если он имел место при специфичных граничных условиях, мог бы увеличить гравитационный радиус планковской Вселенной, но не решал бы проблему возникновения массы современной Вселенной.

В планковскую эпоху в системе СИ плотность космологического вакуума – порядка 10^{97} , соответственно, его масса на порядок больше, но далека от 10^{53} кг.

Законы сохранения

Поскольку скачок величины массы – наблюдаемый факт, то 1) нужно признать, что вещество во Вселенной возникает постоянно и не в связи с работой против сил гравитации; 2) возникает вопрос об «альтернативном» источнике вещества.

В современной парадигме ничто не возникает из ничего, согласно Ломоносову – Лавуазье выполняется закон сохранения массы-энергии, любая система стремится к минимуму потенциальной энергии, энтропия замкнутой системы возрастает. В то же время в ОТО нет закона сохранения момента импульса, момент импульса может возникать в замкнутой системе. В ОТО также отсутствует и закон сохранения энергии, хотя в рамках ОТО вечный двигатель невозможен.

Дирак выдвинул гипотезу, согласно которой гравитационная постоянная убывает обратно пропорционально времени. Изменение других фундаментальных констант со временем рассматривается в [7]. Данные изменения исключаются имеющимися экспериментальными данными [8] В то же время в

случае конформного скалярного поля без взаимодействия в квазиевклидовой модели эффективная гравитационная связь варьируется [9].

Изменение гравитационной постоянной со временем также приводит к не сохранению энергии. Очевидно, что указанная парадигма построена исключительно на локальном экспериментальном материале и не обязана иметь место глобально или в планковскую эпоху. Например, в виду того, что у Вселенной в целом нет теплообмена, ее полная энтропия не возрастает. Введение классического гравитационного поля нарушает 2-й закон термодинамики (в известной задаче о нагреве двух шаров, на нити и на подставке, см. [10]) уже и локально. Невыполнение условий энергодоминантности также нарушает 2-й закон термодинамики.

Сохранение энергии вытекает из однородности времени, но время однородно здесь и сейчас, в ранней Вселенной – существенно не однородно, следовательно, не сохраняется полный импульс.

Рубаков полагает, что увеличение темной энергии с расширением Вселенной не приводит к нарушению закона сохранения энергии, поскольку увеличивается отрицательная энергия гравитации [11].

Однако в таком случае вся темная энергия должна образовываться исключительно за счет обычной материи. Во-вторых, узлы сверхскоплений галактик уплотняются, Вселенная, расширяясь, сжимается в узлах сверхскоплений [12]. В целом обратный процесс формирования галактик, звезд, скоплений галактик, черных дыр по данному утверждению должен приводить к исчезновению темной энергии. Известно, что в современной Вселенной на 5% меньше темной материи, чем было в эпоху рекомбинации, что объясняют ее распадом.

Впервые мысль, что во Вселенной непрерывно генерируется новое вещество, была высказана в 1948 году [13]. В [14] идея о непрерывном и однородном производстве массы в объеме Вселенной объединена с гипотезой существования отрицательной массы. Решение уравнений Фридмана без учета темной материи и темной энергии, но с соответствующими добавками, показывают, что если отрицательная масса будет производиться с постоянной скоростью, то плотность отрицательной массы будет оставаться постоянной и она эффективно моделирует космологическую постоянную. При этом скорость расширения и время жизни Вселенной получается такими же, как в модели Λ CDM.

Рождение частиц

Эпоха инфляции продолжалась от 10^{-42} до 10^{-36} сек. (см., напр., [6]). В это время $10^{36} < H < 10^{42}$ сек $^{-1}$. Инфляция заканчивается в связи с отделением гравитационного взаимодействия от других взаимодействий в результате нарушения симметрии, по другой версии потому, что отталкивающая гравитационная материя нестабильна. К этому времени радиус Вселенной порядка 10^{-2} м. Согласно модели хаотической (вечной) инфляции, предложенной Линде, Албрехтом и Стейнхардтом, Вселенная заполнена скалярным полем с предельно большой плотностью и релятивистским отрицательным давлением. Потенциал скалярного поля $V = m^2 \varphi^2 / 2$.

Выпишем уравнение Фридмана для масштабного фактора Вселенной и для скалярного поля:

$$H = \frac{\dot{a}}{a} = \sqrt{\frac{2\pi G}{3}} m\varphi, \quad \ddot{\varphi} + 3H\dot{\varphi} + m^2\varphi = 0$$

По версии Линде при большой постоянной Хаббла трение велико, скалярное поле уменьшается очень медленно. Поэтому и постоянная Хаббла, являющаяся функцией скалярного поля, долгое время почти не менялась. Постепенно поле уменьшилось, постоянная Хаббла тоже уменьшилась, трение стало маленьким, и поле начало колебаться, порождая элементарные частицы. Объем Вселенной постоянно рос, потенциальная энергия скалярного поля выделялась в виде элементарных частиц и их кинетической энергии, образуя кварк-глюонную плазму. Но само решение уравнения для скалярного поля зависит от отношения постоянной Хаббла и массы. Уравнение для колебаний с трением:

$$\ddot{\varphi} + 2\delta\dot{\varphi} + \omega_0^2\varphi = 0$$

При большом трении $\delta > \omega_0$ колебания отсутствуют:

$$\varphi = e^{-\delta t} (Ae^{\omega_0 t} + Be^{-\omega_0 t})$$

Следовательно, при большой постоянной Хаббла скалярное поле порождать частицы не может. Амплитуда поля быстро снижается к нулю, поле перестает играть роль.

Колебательный режим возможен только тогда, когда трение мало: $\omega_0 > \delta$, тогда

$$\varphi = \Phi e^{-\delta t} \cos(\omega t + \varphi_0), \quad \omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$$

Но в таком случае спектр поля ограничивается одной частотой (одной частицей).

Реалистические модели элементарных частиц предполагают много сортов скалярных полей. Например, в объединённых теориях слабого, сильного и электромагнитного взаимодействий существует, по крайней мере, два других скалярных поля. В таком случае – лишь две частицы.

Если постоянная Хаббла начала уменьшаться, она должна была пройти критическую точку,

при $\omega_0 = \delta$ – критическое затухание:

$$\varphi = e^{-\delta t} (A + Bt)$$

В этой точке поле тоже затухает и не может перейти в колебательный режим.

Важно, что в первом случае квадрат собственной частоты может быть отрицательным, как в лагранжиане Хиггса, тогда режим будет колебательным.

Если же и трение отрицательно, то решение определяется характеристическим уравнением, подобным уравнению Фидия, оно совпадает со случаем большого трения, с нарастающей и затухающей частями.

Если версия Линде справедлива, то скалярное поле должно продолжать порождать частицы, масса Вселенной за 13,8 млрд. лет должна была существенно возрасти. С другой стороны, скалярное поле должно прожрать скалярные частицы, т.е. с нулевым спином, оно не может прожрать барионы и лептоны. Таким образом, модель Линде не может объяснить увеличение массы Вселенной.

Расчеты числа рождений частиц в космологии показывают, что из вакуума могло появиться лишь небольшое их число [15], в рамках гипотезы гравитационного вакуума полагают, что всё вещество могло появиться за счет «высвечивания» виртуальных планкеев [16].

Существуют также попытки объяснения возникновения всего вещества за счет рождения частиц [17, 18]. В [18] вычислена плотность числа рождающихся скалярных частиц, совпадающая с плотностью частиц, полученной Станюковичем в рамках качественной модели, приводящей к полному числу частиц во Вселенной. В рамках закрытой модели в ОТО рассматривался самосогласованный учет рождения фермионов, получилось, что за счет этого рождения могло образоваться до 90% всего вещества Вселенной, правда, при крайне узком выборе начальных условий [19]. Данный вывод модифицирован для скалярно-тензорной теории Бранса – Дикке [17]. Утверждается также, что в современную эпоху рождение частиц идет медленно, в первом приближении число частиц сохраняется [20, 21].

Во всех данных моделях речь идет о планкеевском, гравитационном, фермионном вакууме и о рождении частиц в гравитационном поле. Дирак предположил, что число частиц (т.е. и массы) во Вселенной растет пропорционально квадрату времени, что явно не соответствует наблюдаемым данным.

Горбунов и Рубаков полагают, что вся темная материя образовалась в эпоху инфляции [22].

Предположим, что рождение частиц происходит не только за счет изменения гравитационной энергии, не только за счет работы против сил гравитации, но еще и за счет работы сил отталкивания в модели Глиннера. Модель выбрана потому, что объяснение расширения как простого увеличения масштаба некорректно – в таком случае должны увеличиваться и галактики, и звезды, должна увеличиваться и измерительная линейка, что сделало бы расширение ненаблюдаемым.

Из закона Хаббла в данной модели

$$F = dmH^2 r; m = M(r/R)^3; dA = \frac{3}{R^3} MH^2 r^4 dr$$

При вычислении возникает трудность: во-первых, нет операции удаления слоев шара на бесконечность, во-вторых, при двойном интегрировании верхний предел интегрирования первого интеграла становится переменным. Поэтому проще ввести потенциал расталкивающей силы

$$V = \frac{1}{2} H^2 r^2$$

который соответствует уравнениям Фридмана. После интегрирования от R_1 до R_2 получается выражение

$$\Delta M = A = \frac{3}{10} MH^2 \Delta(R^2) / c^2$$

где M – масса Вселенной. В таком случае почти вся масса Вселенной действительно могла образоваться в эпоху инфляции, если принять постоянную Хаббла для эпохи инфляции равной величине порядка 10^{44} , что близко к существующим оценкам. Массу увеличивает гигантское

ускорение, точнее – увеличивает число элементарных частиц, т.к. их кинетическая энергия переходит в массу покоя новых частиц. В противном случае все массивные частицы мгновенно приобрели скорость почти равную скорости света. Например, протон при высоких энергиях образует резонанс, который доживает до конца инфляции и распадается на протон и нейтрон. Нужно также учесть излучение, возникающее при ускорении заряженных частиц.

После инфляции работа сил расталкивания затрачивается на увеличение – в модели Глиннера – кинетической энергии галактик.

Как только кинетическая энергия переходит в массу, ускорение резко падает, постоянна Хаббла уменьшается на почти 60 порядков, инфляция заканчивается.

Однако вся масса обычного вещества Вселенной не могла возникнуть за период инфляции.

Во-первых вторых, если бы вся масса вещества возникла бы в период инфляции, то радиус Шварцшильда такой Вселенной был бы 10^{26} м, тогда как после инфляции размер вселенной был порядка 0,1 м.

Во-вторых, если представить, что вся масса Вселенной по окончании инфляции уместилась в размерах 0,1 м, то ее отрицательная гравитационная энергия $U = GM^2 / r \sim 10^{78}$ кг, т.е. полна масса на 25 порядков меньше нуля. Для того, чтобы полная масса была не меньше нуля, масса вещества к концу инфляции должна быть не больше 10^{26} кг, тогда из (1) средняя постоянная Хаббла за время инфляции – 10^{27} сек⁻¹.

То есть, за время существования Вселенной почти вся масса возникла после инфляции.

Полная масса

В некоторых моделях масса обычного вещества во Вселенной компенсируется отрицательной гравитационной энергией. Однако это неполная компенсация.

Закон сохранения в ОТО

$$\frac{\partial}{\partial x^k} [(-g)(T^{ik} + t^{ik})] = 0$$

где t^{ik} – псевдотензор гравитационного поля. Псевдотензор гравитационного поля – это чистая геометрия, т.е. гравитация не рассматривается как физическое поле.

Таким образом, в ОТО не сохраняются ни масса, ни энергия, ни масса вместе с гравитационной энергией.

В уравнение водит также изменение метрики, которая продуцирует кривизну:

$$\partial_\mu (-g),$$

$$\text{напр., } \Gamma_{ik}^i = \frac{1}{2g} \partial_k g = \frac{\partial(\sqrt{-g})}{\partial x^k}$$

Через символы Кристоффеля выражается тензор кривизны Римана, его свертка – тензор Риччи, свертка которого есть кривизна пространства времени.

Следовательно, кривизна пространства-времени есть эквивалент массы.

Массу Вселенной определяют разными методами: с помощью гравитационного линзирования, по изучению реликтового излучения, по содержанию изотопов водорода, гелия и лития и т.д.

Попытка оценить массу вселенной с использованием теоремы вириала, согласно которой средний квадрат скорости частиц системы

$$v^2 = GM/R$$

где R - эффективный радиус объекта, M - полная масса, G - гравитационная постоянная, приводит к тому, что скорости галактик должны быть порядка скорости света. Тогда как при анализе порядка 1000 галактик обнаружено, что их скорости – в диапазоне от 160- км/сек до 400 км/сек, из анализа данных о сотне миллионов галактик обнаружено, что их средняя скорость на 10-15% выше измеренной ранее.

Темная энергия составляет 68,3 % общей массы Вселенной, темная материя - 26,8 %, и обычное вещество - 4,9 %. То есть, полная масса вселенной – отрицательна. Если в планковской Вселенной полная масса с учетом отрицательной гравитационной энергии была равна нулю, то откуда взялась отрицательная масса?

Дело в том, что нет гарантии, что дальнейшие измерения не увеличат массу обычного вещества. Кроме того, нужно учитывать еще и массу темной материи.

Есть единственная возможность: чтобы полная масса так и оставалась равной нулю, для этого обычное вещество и темная материя должны компенсировать темную энергию. Для этого наблюдаемая масса обычного вещества должна быть больше примерно в 8 раз.

Если же расширение Вселенной продолжает порождать вещество, то увеличение плотности нельзя увидеть, потому что вещество, которое мы наблюдаем, сформировалось сотни, тысячи, десятки, сотни тысяч, миллионы и миллиарды лет назад, свет от того вещества, которое возникло в эти промежутки времени, не мог еще достичь земных телескопов.

Звезды и газы Млечного Пути на широком диапазоне расстояний от центра Галактики вращаются со скоростью примерно 220 км/сек. Постоянная скорость вращения противоречит законам кеплеровской динамики и предполагает, что около 90% массы Млечного Пути невидима для телескопов, не испуская и не поглощая электромагнитное излучение. Предполагается, что эта масса является темной материей. Однако диаметр диска Млечного Пути составляет около 200 000 световых лет, таким образом, если вещество возникает достаточно далеко от Земли, его попросту невозможно увидеть в виду того, что свет от него еще не достиг земных телескопов.

Частицы порождаются также вследствие эффекта Фуллинг-Дэвиса-Унру, если оценивать порядки величин, то фотоны Унру, возникшие в эпоху инфляции, имеют ту же температуру, что и фотоны реликтового излучения. Если учесть увеличение ускорения разбегания галактик, то эффект приведет к тому, что после остывания белых карликов и нейтронных звезд, но задолго до распада вещества галактики начнут постепенно нагреваться.

Заключение

- 1) Никто не обязывал начальную массу Вселенной быть равной планковской. Но.
- 2) Если масса Вселенной компенсируется ее кривизной, то в рамках «нулевой» гипотезы кривизна Вселенной не равна нулю.
- 3) Несмотря на малость вклада энергии гравитации в рост массы Вселенной после эпохи инфляции, за 100 млрд. лет масса вещества может за счет гравитации примерно удвоиться, это существенно меняет картину эволюции Вселенной. При этом масса вакуума возрастает намного больше.

Литература

1. Ландау Л. Д. Теоретическая физика. Теория поля. М., Наука, Изд. 7, 1988. Т. 2. С 362.
2. Xulu, S. S. (2000). Total Energy of the Bianchi Type I Universes. *International Journal of Theoretical Physics*. **39** (4): 1153-1161.
3. Berman, Marcelo Samuel (2009). On the Zero-Energy Universe. *International Journal of Theoretical Physics*. **48** (11): 3278-3286
4. Shankar, Karthik H. (2020). Eternally Oscillation Zero Energy Universe. *General Relativity and Gravitation*. **52** (2): 23. doi:10.1007/s10714-020-02671-5 . S2CID 119208193
5. Popławski, Nikodem J. (2014). "Энергия и импульс Вселенной". Классическая и квантовая гравитация. **31** (6): 065005. doi:10.1088/0264-9381/31/6/065005. S2CID 118593046
6. Ade P. A. R. et al. (Planck Collaboration). Planck 2013 results. I. Overview of products and scientific results. Table 9. *Journal of Astronomy and Astrophysics : journal*. EDP Sciences, 2013. 22 March. V. 1303. P. 5062.
7. Калинин М. И., Мельников В. Н. Проблемы теории гравитации и элементарных частиц. М.: Атомиздат, 1975, вып. 6. С. 70.
8. Мельников В. Н., Станюкович К. П. Проблемы теории гравитации и элементарных частиц. М., Атомиздат, 1978, вып. 9. С. 3.
9. Мельников В. Н. Конформное скалярное поле, гравитация, вакуум и космология. Гравитация и теория относительности. КГУ, 1980, вып. 17. С. 71-80.
10. . Ихлов Б. Л. Термодинамический подход в космологии. Евразийский научный журнал. 2019. №1. http://journalpro.ru/articles/termodinamicheskij-podkhod-v-kosmologii/?sphrase_id=14205
11. Рубаков В., Штерн Б. Масштабная линейка Вселенной. ТрВ-Наука №83 от 19.7.2011. <https://trv-science.ru/2011/07/19/masshtabnaya-linejka-vselennoj/>

12. Сокуров В.Ф. Масса Вселенной. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 12-10. С. 1774-1777.
13. H. Bondi, T. Gold. The Steady-State Theory of the Expanding Universe. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, V. 108, Is. 3, 1948, P. 252–270, <https://doi.org/10.1093/mnras/108.3.252>
14. Farnes J. S. A unifying theory of dark energy and dark matter: Negative masses and matter creation within a modified Λ CDM framework. Astronomy & Astrophysics. 2018. V. 620. №A92. DOI <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201832898>
15. Гриб А. А., Мамаев С. Г., Мостепаненко В. М. Квантовые эффекты в интенсивных внешних полях. М., Атомиздат, 1980.
16. Станюкович К. П., Мельников В. Н. Гидродинамика, поля, константы в теории гравитации. М.: Энергоатомиздат, 1983. 256 с.
17. Барабаненков Ю. Н., Мельников В. Н., Станюкович К. П. Труды института физики АН. БССР, 1979.
18. Obregon O. S., Pimental L. O. Gen. Relat. Grav., 1978, V. 9. P. 585.
19. Schafer G., Dehnen H. Astron. Astrophys. 1977, V. 54. P. 823.
20. Мельников В. Н., Решетов В. А. Тезисы VIII Всесоюзной конференции по теории элементарных частиц в Ужгороде. Киев, изд. ИТФ АН УССР, 1971.
21. Барабаненков Ю. Н., Мельников В. Н. В кн. ПТГ и ЭЧ, вып. 8. М., Атомиздат, 1977.
22. Горбунов Д. С., Рубаков В. А. Введение в теорию ранней Вселенной. М.: ЛКИ. 2008. С. 34.

К ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЗАКОНА ХАББЛА

Введение

В теории стационарной Вселенной Ф. Хойла, Т. Голда, Г. Бонди и др. (1948), согласно которой по мере расширения Вселенной между разлетающимися галактиками постоянно создается новая материя. В отличие от теории Хойла и др. данная модель не претендует на роль альтернативы версии Большого взрыва. Но если бы данная теория соответствовала действительности, однородность Вселенной должна была бы нарушаться.

Закон Слайфера – Эддингтона – Леметра – Хаббла устанавливает, что скорость движения галактик от Солнечной системы пропорциональна расстоянию до них [1]. Считается, что обратная постоянная Хаббла соответствует возрасту Вселенной [2]. Что, конечно, неверно т.к. постоянная Хаббла непостоянна.

Предполагают, что примерно 5 млрд. лет назад расширение Вселенной начало ускоряться [3]. Из закон Хаббла $v = Hr$ получим: $r = r_0 \exp(Ht)$, ускорение: $a = H^2 r = r_0 H^2 \exp(Ht)$, то есть, ускорение расширения вытекает из закона Хаббла. Дополнительное ускорение связано с увеличением постоянной H . Считается, что причиной ускорения расширения является темная материя. Поправки к постоянной Хаббла с учетом плотности темной материи получены в модели Λ CDM в [4]. Подтверждение увеличения постоянной Хаббла обнаружено наблюдениями за нейтронными звездами [5].

Галактики обладают также собственными (пекулярными) скоростями, которые могут составлять несколько сотен км/с, галактики в массивных скоплениях более 1000 км/с [6]. Для галактик, находящихся на расстоянии ближе 0,3-4,5 Мпк, закон Хаббла плохо выполняется или не выполняется. Расширения Вселенной существенно отличается от расширения газа в пустоту, когда давление сохраняется. Аналогом однородного расширения Вселенной может служить расширение шара при нагреве, состоящего из множества кристалликов: с энергией межчастичного взаимодействия типа Ван-дер-Ваальса $U \propto r^{-6}$, с энергией Маделунга в ионных кристаллах $U_{ij} = c_1 \exp(-c_2 r_{ij}) \pm q^2 / r_{ij}$ с эмпирическими постоянными, ковалентных, металлических или с водородными связями - при слабом, медленном и однородном нагреве. Или, например, модель нагреваемого пудинга с изюмом, локально все изюминки удаляются друг от друга.

Но такие модели 1) не могут быть сформированы из материала ранней Вселенной, 2) не соответствуют энергии связи во Вселенной и ее охлаждению, 3) противоречат закону Хаббла.

Например: если каждый объект расширяющейся структуры движется с постоянной скоростью, то $H = H(t)$ является убывающей гиперболической функцией: $H = \text{const}/t = a/t$. В противном случае нетрудно показать, что вместо закона Хаббла с экспоненциальной зависимостью расстояния от времени будут выполняться следующие соотношения: $v \propto at^{a-1} \propto r^{1-1/a}$. Это означает, что в стадии радиационного доминирования и в пылевой стадии расширение происходило с постоянной скоростью. Однако, например, для пылевой стадии $a(t) \propto t^{2/3}$.

Согласно одной из интерпретаций скорости разбегания галактик не имеют отношения к обычным скоростям, а, как и красное смещение, являются проявлением расширения пространства. По той же интерпретации эффект Доплера не имеет отношения к красному смещению. Однако это противоречит не только истории открытия красного смещения, но и формальной логике.

При расширении Вселенной связанные или близкие объекты не разбегаются, их взаимное притяжение пересиливает расширение. То есть, источник разбегания вполне сравним с механической силой. Если же разбегание галактик есть расширение пространства, то расширяются и линейки, которыми проводятся измерения. Следовательно, расширение Вселенной не должно быть наблюдаемо. Во-вторых, если пространство связанных объектов не расширяется, а пространство между звездными скоплениями расширяется, это бы означало различие структуры пространства на малых и больших расстояниях и приводило бы к возникновению напряжений внутри связанных объектов.

Можно предполагать, что закон Хаббла, как и космологический принцип, выполняется приближенно. Отклонения от закона Хаббла - пекулярные движения галактик, связанные с отклонениями от однородности и изотропии, обусловленные существованием групп, скоплений и сверхскоплений галактик. Однако пекулярные скорости галактик и их скоплений практически не зависят от расстояния, тогда как хаббловская скорость Hr возрастает с расстоянием, поэтому относительный вклад пекулярных скоростей в картину движений объектов в дальней Вселенной сравнительно невелик.

Но, как указал А. Сэндидж, закон Хаббла действует даже внутри ячейки неоднородности, на расстояниях около 2 Мпк, в то время как переход к однородности Вселенной происходит на расстояниях в 150 раз больших. Это означает, что не может играть роль то, на какой стадии находится Вселенная, пылевой или радиационного доминирования, поскольку неоднородности не оказывают влияния на постоянную Хаббла.

При изотропном расширении H является пространственной константой. Зависимость H от времени определяется дополнительными условиями. Расширение Вселенной во времени происходит существенно неравномерно, аналогично неким фазовым переходам.

В зависимости от уравнения состояния вещества в стадии инфляции постоянная Хаббла

$H = \sqrt{8\pi\rho_{\text{vac}} / 3m_{pl}^2}$, в стадии радиационного доминирования ($p = \rho c^2 / 3$) $H = 1 / 2t$, в пылевой стадии ($p = 0$) $H = 2 / 3t$, в стадии Λ -доминирования $H = \sqrt{8\pi G \rho_\Lambda / 3}$.

Укажем, что в сплошной среде фазовые переходы при изменении температуры приводят к изменению плотности. Ссылки на темную энергию, которая должна обусловить динамику уже на расстояниях 1,5-2 Мпк и распределена с гораздо большей степенью однородности, чем обычное вещество, не проходят, поскольку в таком случае фазовые переходы не имели бы места.

При изотропном расширении H является пространственной константой. Зависимость H от времени определяется дополнительными условиями. Если же каждый объект расширяющейся структуры движется с постоянной скоростью, то $H = H(t)$ является убывающей гиперболической функцией: $H = \text{const}/t = a/t$. В противном случае нетрудно показать, что вместо закона Хаббла с экспоненциальной зависимостью расстояния от времени будут выполняться следующие соотношения: $v \propto at^{a-1} \propto r^{1-1/a}$. Это означает, что в стадии радиационного доминирования и в пылевой стадии расширение происходило с постоянной скоростью. Однако, например, для пылевой стадии $a(t) \propto t^{2/3}$.

Закон Хаббла соответствует космологическому принципу лишь для не релятивистских скоростей. Пусть v_1 и r_1 - векторы скорости удаления и расстояния от Земли некоторой произвольно выбранной галактики

1. Эти же величины, измеренные в системе отсчета, связанной с галактикой 2, обозначим v_1' и r_1' .

Обозначим v_2 - вектор скорости галактики 2, r_2 - ее радиус-вектор относительно нашей галактики.

Векторы скоростей и расстояний связаны между собой преобразованиями Галилея:

$v_1 = v_1' + v_2; r_1 = r_1' + r_2$. Согласно закону Хаббла $v_1 = Hr_1; v_2 = Hr_2; v_1 - v_2 = H(r_1 - r_2)$, тогда $v_1' = Hr_1'$.

Очевидно, что при релятивистских скоростях закон Хаббла противоречит однородности и изотропии Вселенной.

В модели Фридмана постоянная Хаббла $H = \dot{a} / a$ зависит от времени ($a(t)$ – масштабный фактор). Для не слишком удаленных объектов красное смещение $z = Hr$ [7], соответственно, закон Хаббла $v = Hr$. То есть, для удаленных объектов связь должна иметь иной вид.

Обобщенный закон Хаббла в реляционном подходе с предгеометрией [8] не дает ответ на указанные вопросы.

Сверхсветовые скорости

D [9] в последней главе рассматривается световой конус, интегрируя интервал, получают уравнение СТО (там же, ф. 114.2), также рассмотрена однородность как одинаковость метрических свойств во всех точках пространства (там же, с. 482). Однако сверхсветовые скорости не рассмотрены.

Согласно некоторым интерпретациям расширения Вселенной «кажущееся сверхсветовое расширение горизонта частиц Вселенной не противоречит теории относительности, т.к. эта скорость не может быть использована для сверхсветовой передачи информации и не является скоростью движения в инерциальной системе отсчёта какого-либо наблюдателя» [10].

Тем не менее, принято считать, что скорость далеких галактик вполне может превысить скорость света, и это не противоречит специальной теории относительности (СТО).

Есть объяснение такого рода: на таких огромных расстояниях теряется смысл понятия «скорость».

Так или иначе, достижение и превышение скорости света далекими галактиками, по общепринятому

мнению, не приводит к расходимости в энергии типа $T = mc^2 / \sqrt{1 - v^2 / c^2}$.

Превышение скорости света при расширении Вселенной – не единственное, в тонких щелях величиной 1 нм скорость света в вакууме Казимира по теоретическим расчетам К. Шарнхорста на 10^{-24} превышает скорость света в обычном вакууме, причем это не приводит к нарушению причинности [11].

Есть утверждение, что можно увидеть галактики, разбегающиеся от нас со скоростью, большей скорости света – «поскольку скорость расширения изменяется со временем. Сначала фотон действительно сносится расширением. Однако хаббловское расстояние не постоянно: оно увеличивается, и, в конце концов, фотон может попасть в сферу Хаббла. Как только это случится, фотон будет двигаться быстрее, чем удаляется Земля, и он сможет достичь Земли [12].

Указывается, что в рамках стандартной космологической модели галактики с красным смещением около 1,5 (т.е. принимаемая длина волны их излучения на 50% больше лабораторного значения) удаляются со скоростью света, обнаружено около 1000 галактик с красным смещением больше 1,5, т.е. удаляющихся быстрее скорости света. Реликтовое излучение приходит с еще большего расстояния и имеет красное смещение около 1000. Когда горячая плазма молодой Вселенной испускала принимаемое нами сегодня излучение, она удалялась от нас почти в 50 раз быстрее скорости света (там же).

Есть противоположное утверждение, что в будущем мы «уже не сможем увидеть так много галактик, как сейчас, ибо они будут улетать от нас быстрее скорости света (из-за расширения пространства), так что их свет не сможет достичь нас» [13].

Однако оба утверждения неверны, достаточно взглянуть на релятивистский закон преобразования скоростей: $v = (v_1 + v_2) / (1 + v_1 v_2 / c^2)$.

Если скорость фотона равна c , а скорость убегающей галактики тоже c , то сумма скоростей всё равно будет равна c . Электромагнитному излучению «всё равно», с какой скоростью движется галактика, с досветовой или сверхсветовой – скорость света не зависит от скорости движения источника света, свет далеких галактик должен двигаться с направлением нашей галактики со скоростью света, ничуть не уменьшенной скоростью далекой галактики.

С другой стороны, рассмотрим выражение для частоты для релятивистского эффекта Доплера:

$$\omega = \omega_0 \sqrt{\frac{1 - v / c}{1 + v / c}}$$

При достижении галактикой скорости света электромагнитное возмущение перестанет иметь волновую природу. При $V > C$ частота становится мнимой, следовательно, амплитуды электромагнитных возмущений будут затухать без осцилляций по экспоненте: $A \propto e^{-\beta t}$, где $\beta = \omega_0 \sqrt{v/c - 1} / \sqrt{v/c + 1}$.

То есть: на световом рубеже сигналы от далеких галактик перестанут поступать.

Но это вовсе не значит, что сверхсветовые галактики перестают взаимодействовать с нашей галактикой. Поскольку они взаимодействуют с далекими досветовыми галактиками, а те в свою очередь, взаимодействуют с нашей галактикой (гравитационное не волновое или электростатическое взаимодействия – под вопросом). Если бы существовал прибор, передающий информацию от сверхсветовой к нашей галактике через досветовую галактику, мы могли бы получать сверхсветовые электромагнитные сигналы, но идущие со скоростью света. Аналогично можно наблюдать в подзорную трубу возбужденное взрывом дребезжание стекол в окнах домов, не видя и не слыша самого взрыва. Естественным кандидатом на такие явления может служить наблюдаемые в течение 2-3 недель водородные линии досветовых водородных облаков или линии O, N, S, возбуждаемые излучением при невидимых для нас взрывах сверхсветовых сверхновых.

Насколько актуален вопрос? Оценим скорость самых удаленных галактик. На январь 2013 года объектом с максимальным красным смещением примерно 11,9 считали протогалактику UDFj-39546284. В 2015 году астрофизики обсерватории Кека на Гавайях зарегистрировали излучение самой далекой от Земли галактики EGSY8p7. Она находится на расстоянии 13,1 млрд. световых лет. Мы видим ее такой, какой она была спустя 585 млн после Большого взрыва. Ее скорость – досветовая.

При очень больших расстояниях, когда скорости галактик, начинают играть роль кривизна пространства-времени, нестационарность, вообще определение таких расстояний зависит от принимаемой модели Вселенной. Поэтому скорости принято оценивать по коэффициенту красного смещения z :

$$v = c \frac{(1+z)^2 - 1}{(1+z)^2 + 1}$$

Но наличие сверхсветовых галактик можно ценить и по радиусу Вселенной. Есть оценки в 78 млрд. световых лет, мы воспользуемся более известной – 46 млрд. световых лет [11]. Подставляя эту величину и современное значение постоянной Хаббла $H = 2,2 \cdot 10^{-18}$ в закон Хаббла $v = Hr$, получаем скорость $v = 0,96 \cdot 10^9$, что почти вдвое превышает скорость света.

Отклонения от закона Хаббла

Согласно космологическому принципу любой наблюдатель в один и тот же момент времени, независимо от места и направления наблюдения, обнаруживает во Вселенной в среднем одну и ту же картину. Утверждается, что независимость от места наблюдений, то есть равноправие всех точек пространства, есть однородность Вселенной.

Однако однородность – нечто иное. Если любой наблюдатель в разных точках наблюдает одну и ту же неоднородную Вселенную – это не однородность. Космологический принцип – это нетривиальное утверждение о равноправности различных систем отсчета, который лишает Вселенную границ.

Однородность же - это одна и та же плотность в различных точках наблюдаемой Вселенной.

Закон Хаббла не противоречит космологическому принципу. Это иллюстрируется следующим образом: рассматривают какую-нибудь геометрическую фигуру, образованную несколькими галактиками. С течением времени эта фигура должна увеличиваться так, чтобы всегда оставаться подобной самой себе. В противном случае расстояния в одном направлении росли бы быстрее, чем в другом, что противоречило бы изотропии Вселенной. Поэтому за одно и то же время расстояние до каждой галактики должно возрастать в одно и то же число раз.

Рассмотрим одномерный случай. Пусть галактика 1 расположена в k раз дальше от нашей галактики, чем галактика 2. Поэтому 1 должна двигаться в k раз быстрее, чем 2. То есть, скорость галактики должна быть пропорциональна расстоянию до неё, а это и есть закон Хаббла.

Если эффект Казимира зависит от формы объема, от топологии, от размерности пространства [14], то расширение по закону Хаббла не зависит от топологии. Он выполняется и в модели Вселенной в виде тора, и в виде додекаэдра, и в модели куба.

Шар гомеоморфен кубу, его эйлерова характеристика равна эйлеровой характеристике куба $\chi = 1 + 1 = 2$. Но можно представить куб лишь как граф, без граней. Сфера же не имеет вершин и ребер. Представим многогранники как графы и выпишем их эйлеровы характеристики по мере увеличения числа вершин. Тетраэдр: $\chi = 4 - 6 = -2$; пентаэдр: $5 - 8$ или $6 - 9 = -3$; куб (гексаэдр): $8 - 12 = -4$; октаэдр: $6 - 12 = -6$; додекаэдр: $20 - 30 = -10$; икосаэдр: $12 - 30 = -18$.

Т.к. для евклидовой сферы разбиений на правильные многоугольники всего 5, то дальнейшее увеличение числа вершин продолжим на плоскости Лобачевского, число разбиений для которой бесконечное счетное множество. Тогда при бесконечном увеличении числа вершин образуемый ими многогранник переходит в сферу, а эйлерова характеристика окаймляющего графа стремится к минус бесконечности.

Видим, что модели расширения Вселенной можно сравнить в терминах графов. При этом, чтобы Вселенная была однородной, графы, окаймляющие расширяющийся объем вселенной, могут иметь различную эйлерову характеристику.

Например, представим несколько рядов галактик, выстроенных на площади с интервалом 1 пс. Раздвинем за один год ряды по оси x так, чтобы этот интервал увеличился до 2 пс. Относительная скорость двух рядом стоявших рядов галактик будет равна 1 пс/год, а относительная скорость двух галактик, стоявших друг от друга на расстоянии 100 пс, будет 100 пс/год, если учесть, что расстояние между ними увеличится от 100 до 200 пс. Аналогично выполняется увеличение интервала по оси y . Тогда скорость взаимного удаления пропорциональна расстоянию, что соответствует закону Хаббла, после расширения рядов остается справедливым космологический принцип: галактики по-прежнему распределены равномерно, и сохраняются те же пропорции между различными взаимными расстояниями. То же будет справедливо для раздвижения и по оси z . Такого рода расширение имеет место при расширении куба.

Закон Хаббла не зависит и от размерности пространства. То же, что в одномерном случае, будет справедливо для поверхностной плотности вещества при расширении и двумерного круга, и для объемной плотности при расширении трехмерного шара.

Выделим во Вселенной точку и две сферы вокруг нее, радиуса R и $2R$. Поскольку вселенная однородна, поверхностная плотность, допустим, звезд на этих сфера одинакова: $\rho_1 = m_1 / S_1$, $\rho_2 = m_2 / S_2$ и $\rho_1 = \rho_2$.

Через время t звезды на первой сфере в виду расширения Вселенной достигнут второй сферы. Их поверхностная плотность, соответственно, уменьшится в 4 раза. Поскольку линейная плотность остается одинаковой, за это же время звезды второй сферы достигнут сферы радиуса $4R$.

Соответственно, их плотность уменьшится тоже в 4 раза.

То же самое можно проделать с объемной плотностью, допустим, тонкого слоя на поверхности сферы, объем которого равен разности объемов двух конусов с близкими радиусами:

$$V = \frac{2}{3} \pi R_2^2 h - \frac{2}{3} \pi R_1^2 h = \frac{2}{3} \pi (1 - \cos \alpha) (R_2^3 - R_1^3) = f (R_2^3 - R_1^3) \quad (1)$$

где $f = \frac{2}{3} \pi (1 - \cos \alpha)$, h – разность между радиусом сферы и высотой конуса, α – плоский угол конуса.

Объем слоя вблизи сферы меньшего радиуса, соответственно $V_0 = f (r_2^3 - r_1^3)$. Как мы условились,

$R_2 = 2r_2$, с точностью до пренебрежимо малых величин ввиду нашего приближения $R_2 - R_1 \approx R_2, R_1$ и

$r_2 - r_1 \approx r_2, r_1$ можем принять $R_1 \approx 2r_1$, следовательно, $V = 8V_0$. Через время t звезды из первого объема займут второй объем, их плотность уменьшится в 8 раз, плотность звезд второго объема уменьшится тоже в 8 раз. Для более точного вычисления можно привлечь еще раз закон Хаббла и разложить экспоненту в ряд, оставив первые два члена $R \approx 1 + Ht$, но вычисления останутся теми же. То есть, закон Хаббла для объемов соответствует однородности Вселенной.

Однако поскольку в выражении (1) фигурирует угол, который в неевклидовой геометрии меняется с радиусом, очевидно, что кривизна пространства должна нарушать однородность Вселенной, соответственно, чтобы сохранить однородность, необходимо изменить закон Хаббла.

Кроме того, в СТО для выражения радиуса существует дополнительный множитель, который будет увеличивать радиус по мере удаления от точки отсчета:

$$R' = (R - vt) / \sqrt{1 - v^2 / c^2}, \quad t' = [t - (v / c^2) R] / \sqrt{1 - v^2 / c^2}$$

Таким образом, по мере удаления наблюдаемая плотность должна уменьшаться. Поскольку этого не наблюдается, нужно принять, что в виду СТО постоянная Хаббла должна зависеть от расстояния.

Столкновение галактик

В модели вращающейся Вселенной на галактики действуют разные центробежные силы, пропорциональные $\omega^2 r$ в любой системе отсчета, где r – расстояние до начала координат. В данной модели в силу принципа относительности при вращении Вселенной туманность Андромеды вращается вокруг Млечного пути.

Точная задача двух тел в случае силы, обратно пропорциональной квадрату радиуса, дает траектории трех типов: эллипс, парабола и гипербола, в зависимости от параметров (начальной скорости, начального расстояния и масс). Столкновение в задаче двух тел отсутствует. При учете разбегания галактик задача усложняется, но даже эллипса в таком случае получиться не может, не говоря уже о столкновении. Траектории типа падения спутника возникают лишь в случае, когда одна из масс много меньше другой, но если бы Земля была точкой – столкновения все равно бы не было. Столкновения других галактик во Вселенной происходит из-за их начальных скоростей, из-за того, что они следуют встречным курсом.

Решение задачи двух тел при нескольких разнородных силах сложно, поэтому будем решать задачу движения Млечного пути и туманности Андромеды грубо, в одномерном приближении, для качественной оценки. Примем, что закон Хаббла справедлив для расстояний между Туманностью Андромеды и Млечным путем. Уравнение движения сведется к уравнению для модуля радиуса (расстояния между галактиками) и с учетом «силы» Хаббла будет иметь вид

$$r^2 \ddot{r} - Hr^2 \dot{r} + \gamma m_1 = 0$$

где m_1 – масса нашей галактики, m_2 – масса туманности Андромеды.

Компьютерное моделирование показывает, что данное уравнение имеет решение, соответствующее движению двух галактик навстречу друг другу с почти постоянной скоростью, что близко к экспериментальным данным.

При вращении появляется дополнительный член с центробежным ускорением:

$$r^2 \ddot{r} - Hr^2 \dot{r} + \gamma m_1 - \omega^2 r^3 = 0$$

Сделаем уравнение безразмерным, введем $R^3 = \frac{\gamma m_1}{H^2} r^3$ и $\tau = Ht$. Уравнение примет вид:

$$R^2 \ddot{R} - R^2 \dot{R} - \frac{\omega^2}{H^2} R^3 = -1$$

Используем оценку современно скорости вращения Вселенной - 10^{-13} . Подставим значения:

$$\ddot{R} - \dot{R} - 10^{25} \cdot R = -\frac{1}{R^2}$$

Данное уравнение не имеет решений, содержащих уменьшение радиуса до нуля (т.е. до столкновения). Частным решением является параболическое увеличение радиуса со временем, семейство решений содержит выход на стационарный режим.

В любом случае: при наличии вращения нужно вообразить, сколько оборотов совершила бы туманность Андромеды вокруг Млечного пути за 10^{17} секунд, если даже представить невероятное (в рамках космологии с вращением): скорость вращения 10 млрд. лет назад была бы той же, что и по современным оценкам: 10^{-11} – 10^{-13} . Это означает, что ни о каком центральном соударении не может быть речи, если существует вращение Вселенной как целого. Реально - поскольку 10 млрд. лет назад скорость вращения была еще достаточно велика, после расхождения галактик они бы никак не могли начать сближение. При больших $R > 100$ (размер много меньше планковского) видим, что сближения не будет, т.к. в этом случае притяжением $1/R^2$ можно пренебречь в сравнении с центробежной силой $10^{-4}R$. В то же время известно, что движение туманности Андромеды относительно Млечного Пути имеет тангенциальную составляющую не более 100 км/с (по другим данным она много меньше радиальной скорости), при этом галактики сближаются почти по прямой. Столкновение в задаче Кеплера оказывается возможным лишь при учете релятивистской добавки к силе тяготения $F_{add} \sim 1/r^4$.

В ОТО при малых расстояниях между притягивающим центром и пробным телом исчезает существующий в классической кеплеровской задаче «центробежный барьер» $M^2/2mr^2$, $M = mr^2\omega$, не позволяющий пробной частице упасть на притягивающий центр.

Таким образом, закон Хаббла не действует и на больших расстояниях, и на малых. Следовательно, модель Фридмана, из которой следует закон Хаббла, на этих расстояниях не корректна.

Заключение

Из последних астрономических наблюдений, согласно которым 5 млрд. лет назад расширение Вселенной ускорилось. Таким образом, после масштабного уменьшения коэффициента Хаббла по окончании инфляции данный коэффициент остается зависимым от времени. Из изложенного следует, что для разрешения вопросов, возникающих вследствие большой удаленности разбегающихся объектов во Вселенной, вследствие эффектов СТО, необходимо принять, что «постоянная» Хаббла зависит также и от расстояния.

Литература

1. Way, M. J. Dismantling Hubble's Legacy? ASP Conference Proceedings. 2013. vol. 471. P. 97–132.
2. Aghanim N. et al. Planck Collaboration). Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters. Astronomy and Astrophysics. 2020. vol. 641. P. A6-A72.
3. Блинников С.И., Долгов А.Д. Космологическое ускорение // УФН - РАН, 2019. Т. 189. С. 561-602. [doi:10.3367/UFNr.2018.10.038469](https://doi.org/10.3367/UFNr.2018.10.038469)
4. Heneka, C.; Amendola, L. General modified gravity with 21cm intensity mapping: simulations and forecast. Journal of Cosmology and Astroparticle Physics. 2018. vol. 85. P. 084032-084048.
5. Vitale, Salvatore; Chen, Hsin-Yu. Measuring the Hubble Constant with Neutron Star Black Hole Mergers. Physical Review Letters. 2018. vol. 121 (2). P. 021303-021308.
6. Sedgwick, Thomas M., Collins, Chris A., Baldry, Ivan K, James, Philip A. The effects of peculiar velocities in SN Ia environments on the local H0 measurement. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2020. vol. 500 (3). P. 3728–3742.
7. Горбунов Д. С., Рубаков Д. А. Введение в теорию ранней вселенной. М.: ЛКИ, 2008. 552 с.
8. Владимиров Ю. С., Молчанов А. Б. Обобщенный закон Хаббла в реляционном подходе. Пространство, время и фундаментальные взаимодействия. 2017. Вып. 2. С. 24-34. <https://readera.org/obobshhennyj-zakon-habbla-v-relyacionnom-podhode-14266196>
9. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля.
10. Davis Tamara M., Lineweaver Charles H. Expanding Confusion: Common Misconceptions of Cosmological Horizons and the Superluminal Expansion of the Universe // Publications of the Astronomical Society of Australia. 2004. Vol. 21. P. 97-109. ISSN 1323-3580. DOI:10.1071/AS03040. arXiv:astro-ph/0310808).
11. Liberati S., Sonogo S., Visser M., Faster-than-c signals, special relativity and causality. <https://arxiv.org/pdf/gr-qc/0107091.pdf>
12. Парадоксы Большого взрыва <http://www.modcos.com/articles.php?id=99>.
13. Такого мнения Нил Корниш, астрофизик из Монтанского государственного университета, <http://www.zabaznov.ru/statyi/nauka/spacocom.html>
14. Мостепаненко В. М., Трунов Н. Я. Эффект Казимира и его приложения. УФН. 1988 г. Ноябрь Том 156, вып. 3. С. 385-426.
15. Сангмо Т. С., Андерсон Д., Марел Р. Вектор скорости М31. I. Измерения собственного движения космического телескопа Хаббла // Астрофизический журнал. 2012. Т. 753 (1). С. 7-32.

МЕХАНИКА С АНТИГРАВИТАЦИЕЙ

Введение

В модели Глинера [1, 2] предполагается, что разбегание галактик обязано отрицательной массе космологического вакуума. При этом попытка определить теоретически равновесный радиус в ряде случаев приводит к противоречиям. Кроме того, более близкая в Млечному пути, нежели Туманность Андромеды, галактика удаляется от Млечного пути. С одной стороны, дело в том, что ускорение

Хаббла можно записать двояко: как $H^2 r$ и как $H\dot{r}$, что дает существенно разные дифференциальные уравнения. С другой стороны, оказывается, что равновесный радиус зависит от начальных условий.

Равенство сил

Связь критической плотности и постоянной Хаббла $H = (8\pi G\rho_c / 3)^{1/2}$ выводится из классического равенства кинетической энергии галактики и потенциальной энергии гравитации, тогда

$v^2 = 2GM / R = 8\pi G\rho R^2 / 3 = H^2 R^2$. В таком случае сила гравитационного отталкивания в 8 раз отличается от гравитационного притяжения: $F = 8GMm / R^2$. Но в ОТО нет классического закона сохранения энергии, поэтому нет никаких ограничений, чтобы для определения состояния с не увеличивающейся скоростью использовать равновесие отталкивающей силы и силы ускоряющей. Тогда исчезает множитель 8, ускорение, придаваемое антигравитацией, запишется в виде

$$a = GM / R^2$$

То есть, антигравитация становится тождественной гравитации, обусловленной отрицательной массой космологического вакуума [3]. При этом критическая плотность увеличивается в 8 раз.

Запишем ускорение частицы на поверхности шара в законе тяготения:

$$a = (4/3)\pi R^3(G\rho / R^2) \square R \quad (1)$$

Та же самая зависимость и в законе Хаббла. Однако плотность здесь сама зависит от радиуса, такое подобие – лишь для частицы на поверхности шара.

Если представить вакуум как массу, которая растет с расстоянием между галактиками и взаимодействует гравитационно с каждой из галактик, то сила отталкивания будет тождественной

закону Хаббла: $F_1 = Mm_1 / 4R^2 = \rho m_1 R / 3$, $F_2 = Mm_2 / 4R^2 = \rho m_2 R / 3$, где R – расстояние между галактиками, то есть, расстояние от галактик до центра массы вакуума - $R/2$. То есть, отталкивание галактик будет тождественным классическому закону Ньютона, но с отрицательной массой.

Применим антигравитацию в классической динамике. Рассмотрим две взаимодействующие галактики и закон Слайфера-Хаббла: $v = Hr$.

Некорректное уравнение движения

Если представить «ускорение Хаббла» путем дифференцирования закона Хаббла, получим, используя закон Ньютона, систему уравнений для двух галактик, которая упрощается при равенстве их масс:

$$r^2\ddot{r} - Hr^2\dot{r} + Gm = 0 \quad (2)$$

где t – время, c – константа, m – масса галактик. Видим, что закон Слайфера-Хаббла автоматически приводит к своего рода постньютоновскому приближению: $\ddot{x}^i = -\Gamma_{00}^i - 2\Gamma_{0j}^i \dot{x}^j$, где x – координата, Γ_{jk}^i – символы Кристоффеля. Решение уравнения (2) не выражается в аналитических функциях и в сильной степени зависит от начальных условий. При сближении при начальной нулевой скорости расстояние между галактиками, как показывает компьютерное моделирование, уменьшается по параболическому закону с малым коэффициентом, т.е. кривая близка к прямой, уравнение имеет решение, соответствующее движению двух галактик навстречу ускоренно:

$$r = r_0 - at^2; \quad a > 0 \quad (3)$$

что для туманности Андромеды и Млечного пути не соответствует наблюдаемым данным, галактики сближаются с почти постоянной скоростью.

При разлете в ряде решений расстояние между галактиками увеличивается линейно.

Приближение заключается в определении радиуса и массы Млечного Пути.

Некорректность заключается еще и в определении силы расталкивания. Согласно двум леммам Ньютона тонкая сферическая оболочка постоянной толщины и одинаковой повсюду плотности притягивает тело, находящееся на расстоянии от её центра так же, как материальная точка с массой равной массе оболочки и находящаяся в её центре. На тело, находящееся в произвольной точке внутри тонкой оболочки, направленные в противоположные стороны силы притяжения со стороны элементов такой оболочки полностью компенсируются и суммарная сила равна нулю. Таким образом, внутри толстой оболочки сила притяжения отсутствует. Во-вторых, на тело, находящееся на глубине h внутри

тела, сложенного из оболочек по п.1 действует сила тяжести, такая, как для от материальной точки массой равной массе части этого тела, расположенной на глубинах более h :

$$F = GMm / (r - h)^2 = \frac{4}{3} Gm\rho(r - h).$$

Т.е. туманность Андромеды (М31) притягивается не к Млечному пути (МП), а к центру сферы с радиусом, равным половине расстояния между двумя галактиками, лежащему внутри Млечного Пути, захватывая галактики Местной группы.

Устойчивость самогравитирующей Местной группы была доказана с разными предположениями, был сделан вывод, что между устойчивостью и неустойчивостью выбор сделать невозможно [4]. Данный вывод был сделан без учета разбегания галактик.

Вращение. Некорректное уравнение

10 млрд. лет назад М-31 уже сталкивалась с МП, затем галактики разошлись и снова начали сближаться. М31 вращается относительно МП, обе галактики вращаются вместе: МП совершает движение по спирали, с периодом в миллиарды лет делая полный оборот вправо (по часовой стрелке, если смотреть на Галактику со стороны ее северного полюса, находящегося в созвездии Волосы Вероники на 25 градусов влево (75,2/79,2 градуса северной широты и 5,2 градуса западной долготы) от направления на Северный полюс МП) вокруг центра масс Местной группы. Утверждается, что, поскольку М31 находится относительно близко от МП, то силы гравитационного притяжения перевешивают закон Хаббла, галактики не разбегаются, а сближаются. Однако МП не сближается с Магеллановыми облаками или Треугольником, хотя Магеллановы облака в 10 раз ближе к Млечному пути, чем М31. Рассмотрим классическую динамику с антигравитацией и вращением.

При вращении галактик друг относительно друга на них действовали центробежные силы, пропорциональные $\omega^2 r$, в силу принципа относительности - в любой системе отсчета.

Точная задача двух тел в случае силы, обратно пропорциональной квадрату радиуса, дает траектории трех типов: эллипс, парабола и гипербола, в зависимости от параметров (начальной скорости, начального расстояния и масс), но не столкновение. При учете хаббловского отталкивания задача усложняется, но и в этом случае нет решений типа эллипса или столкновения.

Траектории типа падения спутника возникают лишь в случае, когда одна из масс много меньше другой, но если бы Земля была точкой – столкновения все равно бы не было. Столкновения других галактик во Вселенной происходит из-за их начальных скоростей, из-за того, что они следуют встречным курсом. Для оценки используем некорректное уравнение движения (2). При вращении в (2) появляется дополнительный член с центробежным ускорением:

$$r^2 \ddot{r} - Hr^2 \dot{r} + Gm - \omega^2 r^3 = 0$$

Сделаем уравнение безразмерным, введем $R^3 = Gmr^3 / H^2$ и $\tau = Ht$. Уравнение примет вид:

$$R^2 \ddot{R} - R^2 \dot{R} - (\omega / H)^2 R^3 = -1$$

Допустим, что скорость вращения Вселенной - 10^{-13} , коэффициент перед $R^3 \sim 10^{25}$. Тогда уравнение не имеет решений, содержащих уменьшение радиуса до нуля (т.е. до столкновения). Частным решением является параболическое увеличение радиуса со временем, семейство решений содержит выход на стационарный режим.

Решениями являются быстрые мелкие колебания вблизи начального положения $R(t=0) = 1$, или $r = 10^{-24}$ м. В нашем случае $R(0) =$ примерно 2,5 млн световых лет, или много больше этого значения.

При малых R имеется стационарное решение. При больших R сближения не будет, т.к. в этом случае притяжением $1/R^2$ явно можно пренебречь в сравнении с центробежной силой.

Если положить оценку $\omega \ll 10^{-19}$, тогда расстояние между галактиками будет уменьшаться до нуля по параболическому, близкому к прямой, закону (частное решение), семейство решений – семейство стационарных радиусов при $R \ll 1$.

Однако события, описываемые уравнением, разворачиваются на столь микроскопических масштабах, что не могут быть интерпретированы физически. Например, при больших $R > 100$ (размер много меньше планковского) видим, что не будет даже попытки сближения, т.к. в этом случае притяжением $1/R^2$ можно пренебречь в сравнении с центробежной силой $10^{-4}R$. При гигантских расстояниях между галактиками, как только возникает вращение, даже самое малое, не может иметь места. В то же время известно, что движение туманности Андромеды относительно Млечного Пути имеет тангенциальную

составляющую не более 100 км/с (по другим данным она много меньше радиальной скорости), при этом галактики сближаются почти по прямой. Таким образом, некорректное уравнение приводит к расхождению с экспериментом.

Закона Хаббла как уравнение движения

В уравнениях движения r – искомая функция от времени, в то время как закон Хаббла – самодостаточное уравнение с разделяющимися переменными, соответственно, зависимость радиуса от времени уже определена как экспоненциальная, поэтому вблизи равновесия (r ни большой, ни маленький) она не определена.

Представим, что имеющаяся постоянная Хаббла есть результирующая гравитации и антигравитации:

$$-GM_{\text{вещ}} m / R^2 + GM_{\text{вак}} m / R^2 = mH^2 R. \text{ Или: } \rho_{\text{вещ}} = \rho_{\text{вак}} - 3H / 4\pi G.$$

Отсюда можно переопределить H в уравнении движения, но очевидно, что и в данном случае равновесие недостижимо, даже если учесть, что H меняется, как в стадии радиационного доминирования $H = 1 / 2t$ и в пылевой стадии $H = 2 / 3t$. Поскольку плотность вакуума не меняется, а плотность вещества уменьшается, чтобы достичь равновесия, H должно расти. Но это снова означает рост положительного ускорения расширения Вселенной

Если же подставить в уравнение движения ускорение, найденное решением уравнения Хаббла, то

$$F_{\text{реп}}(r, t) = m\ddot{r} = mH^2 r_0 e^{Ht} - GMm / r^2 \quad (4)$$

Решение уравнения (4) можно представить в виде полинома со сложными коэффициентами $C = C(r(0), H, GM)$:

$$r = C_0 + C_1 t + C_2 t^2 + C_3 t^3 + C_4 t^4 + O(t^5)$$

Если представить (4) как $y'' + a / y^2 - b \exp(ct) = 0$, то коэффициенты будут иметь вид:

$$c_0 = a/y(0)^2 - b + y''(0); c_1 = c_1 = -2ay'(0) / y(0)^3 - bc + y^{(3)}(0),$$

$$c_2 = a(3y'(0)^2 - y(0)y''(0) / y(0)^4 - bc^2 / 2 + y^{(4)}(0) / 2,$$

$$c_3 = -a(y(0)^2 y^{(3)}(0) - 12y'(0)^3 + 9y(0)y'(0)y''(0)) / 3y(0)^5 - bc^3 / 6 + y^{(5)}(0) / 6$$

$$c_4 = a[(-y(0)^3 y^{(4)}(0) + 9y(0)^2 y''(0)^2 + 60y'(0)^4 + 12y(0)^2 y'(0)y^{(3)}(0) - 72y(0)y'(0)^2 y''(0)) / 12y(0)^6 - bc^4 / 24 + y^{(6)}(0) / 24$$

Соответственно, если разбегание галактик обусловлено не только действующими силами, но и начальными условиями

$$F_{\text{реп}} = d_0 + d_1 t + d_2 t^2$$

В данном случае возникает вопрос о совпадении начальных условий в инерциальных системах отсчета для выполнения принципа относительности Галилея [4, 5]. В [5] отмечается, что при соблюдении ковариантной формы уравнений забывают о не ковариантности дополнительных условий, «а вопрос о физической адаптации даже не ставится». Т.е. данный подход не может считаться корректным.

Равновесный радиус

В антигравитационной статике оказывается, что связь типа закона Хаббла в сочетании с законом тяготения выходит за рамки классической механики, использование массы вакуума в уравнениях Ньютона приводит к противоречиям – в том случае, если ускорение, придаваемое силой Хаббла, вычисляется через первую производную в законе Хаббла. Радиус, на котором устанавливается равенство

$$\text{силы отталкивания и силы притяжения } F_{\text{grav}} = F_{\text{Hubble}} = mH\dot{r}$$

$$r_{\text{равн}} = (C \pm Gmt / H)^{1/3}$$

где c – константа интегрирования. Т.к. равновесный радиус увеличивается со временем, решение не корректно. Если же использовать закон Хаббла вторично, подставив его в выражение для производной радиуса, то $H^2 r^3 = GM$ и

$$r_{\text{равн}} = (Gm / H^2)^{1/3} \quad (5)$$

Можно было бы сказать, что антигравитация на больших расстояниях подобна пружине, растягиваемой со стороны, противоположной притяжению. Если массы у галактики разные, то величина равновесного

радиуса зависит от обеих масс. В [6, 7] аналогичный расчет некорректен, т.к. у равновесного радиуса отсутствует зависимость от масс.

Если рассмотреть три массы, подставить антигравитацию в явном виде $Gm_1m_2/r^2 = 4m_1M/r^2$, где M – масса вакуума, а ее центр помещен в соответствии с леммой Ньютона посередине между галактиками, становится очевидно, что равновесие недостижимо:

Дело в том, что галактики уже начали расхождение, с увеличением радиуса уменьшается сила гравитации, а сила антигравитации растет с ростом массы вакуума в виду увеличения радиуса. Это означает, что галактики уже прошли положение равновесия, что обусловлено высокой начальной скоростью разлета вследствие Большого взрыва и последующей стадии инфляции. Это означает, что наблюдаемое сближение галактик обязано иным механизмам.

Корректное уравнение движения с силой антигравитации

Поскольку плотность вакуума не меняется со временем и не зависит от координаты, можно посчитать его отрицательную массу в объеме. Эта отрицательная масса в модели Глинера и является причиной разбегания галактик. Сила гравитационного отталкивания в виду умножения плотности на объем не падает обратно пропорционально квадрату расстояния, а растет прямо пропорционально расстоянию – что соответствует закону Хаббла. В таком случае уравнение движения имеет вид:

$$\ddot{r} + GMm/r^2 - H^2r = 0$$

Переопределением r можно свести уравнение к виду:

$$\ddot{y} + 1/y^2 - ay = 0 \quad (6)$$

Решение выражается сложным образом через полилогарифмы:

$$y = \text{ilt}\left(\frac{y'(0) - L(1/y^2, x, g_{19164}) + y(0)g_{19164}}{g_{19164}^2 - a}, g_{19164}\right)$$

В другом виде можно представить решение следующим образом:

$$C_1 \pm x = \int \sqrt{\frac{y}{ay^3 + Cy + 2}} dy$$

Переопределением u можно свести уравнение к виду

$$C_1 \pm x = \int \sqrt{\frac{y}{y^3 + Cy + 1}} dy$$

Константа интегрирования C существенно не равна нулю, в противном случае

$$f(y) = (2/3)\ln(y^{3/2} + \sqrt{1+y^3}) + C_2$$

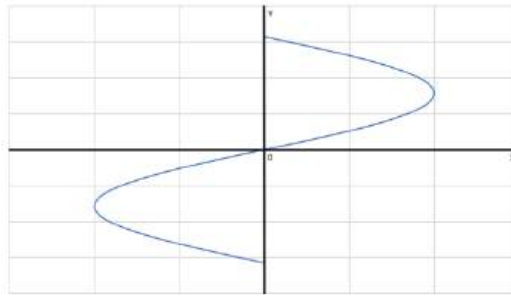
$$y^{3/2} + \sqrt{1+y^3} = C_3[\text{sh}(3x/2); \text{ch}(3x/2)]$$

То есть, у функции u либо нет экстремума, соответственно, нет равновесного радиуса, либо равновесный радиус равен нулю.

Для $C=1$ решение можно представить как знакопеременный полином с дробными степенями:

$$C_1 \pm x = k_{10}y^{3/2} - k_{20}y^{5/2} + k_{30}y^{7/2} - k_{40}y^{9/2} + \dots = z^3 - kz^5 + k_1z^7 - k_2z^9 + \dots$$

где $0 < k_i < 1$, $z = k_{10}^{1/3} y^{1/2}$. Для $C=-1$ – то же самое, только знаки у членов полинома обратные. При увеличении модуля C полином становится знакположительным. Для $C > 0$ при увеличении C сначала ничего не меняется до $C = 100$, при $C = 200$ добавляется член $+k_0x^{1/2}$, другие коэффициенты становятся значительно больше единицы и меняют знак на противоположный. Получается, равновесный радиус зависит от начальных условий. График обратной функции $y = f(x)$ не содержит минимумов и движение нетривиально: сначала радиус увеличивается со временем, потом уменьшается и затем начинает снова увеличиваться.



Ускорение как вторая производная радиуса по времени от обратной функции $y = f(x)$ представляет собой сложный знакопеременный полином, при приравнении к нулю получаем несколько равновесных радиусов. Вращение реализуется через добавку к коэффициенту a перед третьим членом правой части (4) и не меняет решение по существу. Таким образом, механика с классической антигравитацией не согласуется с наблюдаемыми космологическими данными.

Масса Вселенной

Тем не менее, из модели антигравитации можно сделать важные выводы. Так, из (1) получаем:

$$H = \sqrt{\frac{4}{3} \pi G \rho} = \sqrt{\frac{4}{3} \pi G (\rho_{vac} - \rho_D - \rho_B)} \quad (7)$$

Считается, что расширение Вселенной с увеличивающейся постоянной Хаббла началось с тех пор, как вселенная вступила в эпоху доминирования темной энергии примерно 5 млрд. лет назад. Из (7) видно, что постоянная Хаббла может увеличиваться из-за прекращения или замедления генерации темной материи (dark) или вещества (барионного).

Полагают также, что плотность барионной материи в расширяющейся Вселенной уменьшается быстрее, чем плотность темной энергии, с какого-то момента темная энергия начинает преобладать. Либо плотность темной энергии остается постоянной – в модели ОТО с космологической константой.

По Решетникову постоянная Хаббла, наоборот, постоянно падает с величины ~ 150 ($z=1,5$ или 9.5 млрд. лет назад) до 68 в современную эпоху и продолжает падать. По Гоуху постоянная Хаббла падает с 85 ($z=4$ или 12 млрд. лет назад) до 59 ($z=0.6$ или 5,7 млрд. лет назад), а затем начинает расти до современных 68.

В [8] представлены данные наблюдений, свидетельствующие об очень высокой корреляции (99,5 %) светимости сверхновых Ia с возрастом содержащих их галактик, что в полной мере объясняет расхождение наблюдаемой светимости с красным смещением и, таким образом, отрицает ускорение расширения Вселенной. Отсюда следует, что плотность барионной материи не меняется, таким образом, положительная масса вещества во Вселенной должна расти по закону $\exp(3Ht)$ вместе с отрицательной массой вакуума.

Отсюда видим, что ни за время инфляции 10^{-32} сек с $H \sim 10^{42}$, ни за время после инфляции 10^{17} сек с $H \sim 10^{-18}$ Вселенная не могла увеличить массу барионной материи с 10^{-5} г до 10^{56} г (без учета галактик за горизонтом событий). То есть, масса барионной материи росла гораздо быстрее, чем по экспоненциальному закону - либо за период инфляции, либо после нее. Если почти вся масса вселенной возникла во время инфляции, то постоянная Хаббла должна быть порядка 10^{79} сек^{-1} . Либо плотность барионной материи в эпоху инфляции росла соответственно снижению плотности инфляционного вакуума.

Однако это предположение разрушается тем соображением, что уменьшение отрицательной массы инфляционного вакуума (кривизны) не может привести к росту положительной массы барионной материи. Следовательно, механизм возникновения массы Вселенной остается нераскрытым.

Заключение

Классическая механика с антигравитацией дает результаты, не согласующиеся с экспериментом. Сближение галактик оказывается возможным лишь при учете релятивистской добавки к силе тяготения $F_{add} \sim 1/r^4$. В ОТО при малых расстояниях между притягивающим центром и пробным телом исчезает существующий в классической кеплеровской задаче «центробежный барьер» $M^2/2mr^2$, $M = mr^2\omega$, не позволяющий пробной частице упасть на притягивающий центр.

Имеется еще одно отклонение космологической механики от классической – для гравитационного поля Вселенной теорема Гаусса $\oint_S \vec{g} d\vec{S} = -4\pi GM$; $\nabla \cdot \vec{g} = -4\pi G\rho$ неверна, поскольку нет потока вовне. Из

этого следует, что механика с антигравитацией не является классической, в ней нет предельного перехода от теории относительности к классической механике. Кроме того, обнаруженные равновесные радиусы не имеют отношения к сближению галактик.

Если рассмотреть три массы, подставить антигравитацию в явном виде $Gm_1m_2/r^2 = 4m_1M/r^2$, где M – масса вакуума, а ее центр помещен в соответствии с леммой Ньютона посередине между галактиками, становится очевидно, что равновесие недостижимо:

Дело в том, что галактики уже начали расхождение, с увеличением радиуса уменьшается сила гравитации, а сила антигравитации растет с ростом массы вакуума в виду увеличения радиуса. Это означает, что галактики уже прошли положение равновесия, если бы они были ближе друг к другу, они никогда бы не разлетелись, их разбегание обусловлено высокой начальной скоростью разлета вследствие Большого взрыва и последующей стадии инфляции.

Это означает, что наблюдаемое сближение галактик, как и в случае вращения, обязано исключительно поправкам общей теории относительности – вследствие того, что в релятивистской теории поступательное движение при расширении порождает момент импульса.

Литература

1. Глинер Э. Б. Вакуумоподобное состояние среды и фридмановская космология. ДАН. 1970. Т. 192. С. 771-774. [Bibcode: 1970DoSSR.192..771G.](#);
2. Глинер Э. Б. Раздувающаяся Вселенная и вакуумоподобное состояние физической среды. УФН. 2002. Т. 172, №2. С. 221-228. [doi:10.3367/UFNr.0172.200202f.0221.](#)
3. Ихлов Б. Л. Хиггсовский вакуум в теории гравитации. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. М.: МГУ, 1988.
4. Мандельштам Л. И. Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. – М.: Наука, 1972 – 439 с.
5. Фок В. А. Теория Эйнштейна и физическая относительность. М.: Знание, 1967 – 48 с.
6. Чернин А. Д. Физический вакуум и космическая анти-гравитация. ГАИШ МГУ, Обс. Туорла, ун-т Турку, Финляндия. <https://scorcher.ru/art/theory/chernin/vakuum.htm?ysclid=lp0832yg8n434432173>
7. Чернин А. Д. Космический вакуум. УФН. 2001. Т. 171. Вып. 11. С. 1153-1175.
8. Yijung Kang, Young-Wook Lee, Young-Lo Kim, Chul Chung, Chang Hee Ree. Early-type Host Galaxies of Type Ia Supernovae. II. Evidence for Luminosity Evolution in Supernova Cosmology. The Astrophysical Journal. 2020. Т. 889, №1.

К ГИПОТЕЗЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВСЕЛЕННОЙ ИЗ КВАНТОВОЙ ФЛУКТУАЦИИ

Введение

Обобщение принципа неопределенности на релятивистский случай нетривиально, т.к. возникает необходимость перехода от евклидовой метрики с мнимым временем к метрике Минковского с реальным временем. Принцип неопределенности в одной из форм записывается следующим образом.

$$\Delta x_1 \Delta p_1 \geq \hbar / 2$$

В трехмерном случае вместо Δx_1 - норма вектора перемещения $(x_1^2 + x_2^2 + x_3^2)^{1/2}$. Другая форма записи принципа неопределенности – соотношение Мандельштама-Тамма: $\Delta E \Delta t \geq \hbar / 2$. Она появляется

потому, что между энергией и импульсом в классике есть связь: $E = \frac{p^2}{2m}$. Но в СТО и ОТО этой связи

нет, время и координата, энергия и импульс – самостоятельные компоненты.

Существуют модели, в которых время выводится из квантовой запутанности. Можно попытаться соединить евклидово расстояние и принцип неопределенности: $ds^2 = g_{ik} dx^i dx^k \pm l_P^2$, где l_P – планковская («элементарная») длина. Аналогично $ds^2 = g_{ik} dx^i dx^k \pm \hbar / \Delta p$.

Однако такой вид интервала нековариантен. Можно записать принцип неопределенности следующим образом: $\Delta p_k \Delta x^k \geq \hbar/2 + \hbar/2 = \hbar$. Или

$$g_{ik} \Delta p^i \Delta x^k \geq \hbar \quad (1)$$

где p – 4-импульс. Получается, что квантовые флуктуации порождают некую затравочную метрику. (По версии Хартгла – Хокинга сначала есть только пространство и нет времени.) Но в этом случае метрика – евклидова. Для пространства Минковского уравнение не имеет ясной интерпретации:

$$g_{ik} \Delta p^i \Delta x^k \geq 0 \quad (2)$$

Планковская Вселенная

Постулируется, что при охлаждении горячей Вселенной в пред-инфляционный период Вселенная была наполнена квантами полей GUT (например, в модели GUT Джорджи – Глэшоу SU(5) поля с плотностью $\varepsilon_{vac} \approx 10^{74} \text{ эрг} / \text{см}^3$), т.е. не была пустой. После остывания Вселенной вакуум уже не был ложным, в нём начали образовываться пузырьки истинного вакуума размером $\sim 10^{-20}$ см, радиус которых увеличивался со скоростью света. Поскольку внутри вакуумные пузырьки пусты, их размеры увеличивались по экспоненциальному де-Ситтеровскому закону $R = R(0) \exp(\sqrt{\Lambda/3}t)$. В конце инфляции размеры пузырьков составляли $10^{30} - 10^{38}$ м. Размеры видимой Вселенной 10^{26} м, если модель верна, Вселенная – один из таких пузырьков, образовавшаяся без «затравочных» полей GUT, оставшихся за ее пределами. Однако если перед инфляцией Вселенная охлаждалась, неясно, в какую форму переходила тепловая энергия. Во-вторых, если размер пузырька на 4 – 12 порядков больше радиуса видимой Вселенной, то и масса ее должна быть больше на 12 – 36 порядков. (Линде указывает и другие размеры – $1 \approx 10^{10^{12}}$ [1]). В то же время, в планковскую эпоху, предшествующую инфляции, постулируется наличие обычной сверхплотной массы.

Планковский радиус $r_{\text{планк}} = \sqrt{\hbar G / c^3} = 1,6 \cdot 10^{-35} \text{ м}$, температура 10^{32} К , плотность $5,1 \cdot 10^{96} \text{ кг} / \text{м}^3$, $m = \rho V = 4\pi \rho r^3 / 3$, масса $m_{pl} = 2,176 \cdot 10^{-8}$. Радиус Шварцшильда $r_g = 2Gm / c^2$, $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$, c — скорость света в вакууме. Начальные размеры Вселенной объявляются планковскими. Для планковской массы радиус Шварцшильда $r_g^{pl} = 3,23 \cdot 10^{-35}$. Следовательно, планковская Вселенная – черная дыра.

Следовательно, из состояния сингулярности Большой взрыв произойти не мог.

В [2] утверждается, что подстановка просуммированной по всем полям плотности энергии Казимира $\varepsilon = -Aa^{-4}$ ($A > 0$) в правую часть уравнений Эйнштейна позволяет получить несингулярную космологическую модель инфляционного типа. Это не корректно. Коэффициент A характеризует тип поля и геометрию объема, в случае шара плотность вакуума для ряда полей

$$\rho \sim (0,03 \div 0,3) \hbar / 4\pi r^4 c$$

В современную эпоху энергия Казимира на 17-18 порядков меньше плотности космологического вакуума. В планковских масштабах плотность вакуума безмассового скалярного поля $\sim (-10^{94})$, электромагнитного поля $\sim 10^{95}$, что существенно меньше планковской плотности $\rho_{pl} = 5,1 \cdot 10^{96}$.

Утверждают, что черная дыра в планковвнутренневской Вселенной не возникала потому, что гравитационная энергия и масса в сумме равны нулю. Но это утверждение противоречит самому процессу возникновения черных дыр при сжатии массы большей критической под действием гравитации. С другой стороны, объяснение возникновения массы вселенной в виду роста отрицательной гравитационной энергии наталкивается на то возражение, что в таком случае при расширении Вселенной после инфляции ее масса обязана расти, т.е. плотность обычного вещества не должна падать. Именно в виду этих обстоятельств Ли Смолин выдвинул теорию возникновения Вселенной от взрыва сингулярности внутри чёрной дыры. Однако природа этого взрыва осталась необъясненной.

Рождение вселенной из квантовой флуктуации

Квантовые флуктуации суть флуктуации вакуума, когда возникают и исчезают пары виртуальных частиц и античастиц. В построениях Ли Смолина и Эдварда Трайона само рождение Вселенной является квантовой флуктуацией. Логично представить флуктуацию в виде пары частиц Маркова «максимон-антимаксимон» и предположить, что каждая частица порождает метрику. Из $\Delta t \Delta E \sim \hbar/2$ и соотношения $E = mc^2$ определяется масса максимона, тождественная массе планковской Вселенной

$$m = \sqrt{\hbar c / G}$$

Проблема космологической постоянной (вакуумная катастрофа), формулируемая через планковское состояние, отпадает. Максимон распадается подобно резонансам за время

$$\tau \sim \hbar/mc^2 \approx 0,5 \times 10^{-43} \text{ с},$$

что соответствует планковскому времени. Таким образом, планковское время приобретает смысл времени распада максимона. Аннигиляции рожденной пары «максимон – антимаксимон» не происходит, вследствие СР-симметрии они имеют противоположно направленные импульсы, возникают две Вселенные, с материей и антиматерией, решается проблема отсутствия антиматерии. Таким образом, предположение, что Вселенная возникает путем квантового распада и дальнейшего туннелирования, испарения черной дыры, приобретает основание.

Если планковская Вселенная не частица, и ее температура порядка 10^{32} К , возникают минимум две проблемы. Согласно теории Большого взрыва температура Вселенной падает со временем по закону

$$T \approx (c/k)\sqrt{m_{Pl} \hbar/t} \approx 3 \times 10^{14} t^{-1/2}$$

Вычисленная по этой формуле современная температура Вселенной $4,5 \times 10^5 \text{ К}$ явно не соответствует наблюдаемым данным. Кроме того, если Вселенная – не элементарная частица, то она вращается с угловой скоростью порядка 10^{43} , возникает ускорение, что эквивалентно гравитации черной дыры, имел бы место эффект Фулинга-Унру. Температура излучения Унру выражается той же формулой, что и температура излучения Хокинга, но зависит не от поверхностной гравитации, а от ускорения системы отсчета a : $T = \hbar a / 2\pi k c \approx 4 \cdot 10^{-21} \cdot a$ с соответствующими размерностями. Поскольку $a = \omega^2 r$, то

$$T = \hbar \omega^2 r / 2\pi k c$$

Если подставить планковский радиус $r_{\text{планк}} = \sqrt{\hbar G / c^3} = 1,6 \cdot 10^{-35} \text{ м}$, то температура, вызываемая эффектом Унру $T \approx 10^{30} \text{ К}$. Однако эпоха инфляции начинается в момент времени 10^{-42} сек . В предшествующий момент времени Большого взрыва 10^{-43} сек температура была близка к планковской. Подставляя размер Вселенной в момент Большого взрыва $r = 10^{-5} \text{ м}$ и планковскую $\omega = 10^{43} \text{ с}^{-1}$, получим $T \approx 10^{60} \text{ К}$, что явно не соответствует температуре планковской эпохи 10^{32} К . В любом случае эффект Унру при такой гигантской угловой скорости вызвал бы множественное рождение частиц, что до неузнаваемости изменило бы историю Вселенной.

Если же планковская Вселенная представляет собой элементарную частицу, то указанные проблемы снимаются, поскольку для одной частицы невозможно ввести температуру, отсутствуют усреднение по скоростям, статистический ансамбль, понятие равновесия и т.д.

Поскольку планковский радиус меньше радиуса Шварцшильда, логично предположить, что метрика планковской Вселенной есть метрика Шварцшильда. При этом, в отличие от метрики Шварцшильда, где $r > r_s$ (радиус Шварцшильда), сигнатура метрического тензора меняется, подпись метрики меняется на евклидову: (+, +, +, +), у временной и пространственных координат одинаковые знаки.

Евклидово пространство получается из пространства Минковского при повороте Вика в комплексной плоскости на $\pi/2$, если время – мнимое, $t \rightarrow it$.

Можно было бы предположить, что расширение планковской Вселенной происходило аналогично распаду черной дыры с зарядом больше критического. В метрике Рейснера-Нордстрёма при превышении критического заряда, когда гравитационное притяжение не может компенсировать собственное электрическое отталкивание материи, сигнатура метрики не меняется.

Поскольку Вселенная не заряжена, можно предположить, что распад планковской Вселенной как черной дыры происходил вследствие ее вращения. В метрике Керра в данном случае происходит изменение сигнатуры, как и требует обобщение принципа неопределенности.

Ограничение для момента импульса черной дыры массы m : $L \leq Gm^2 / c$. Или в классическом приближении для шара:

$$2mR^2\omega/5 \leq Gm^2 / c \quad (3)$$

Отсюда максимальная угловая скорость планковской Вселенной $\omega = 4,72 \times 10^{43} \text{ с}^{-1}$.

Но если планковская Вселенная – это элементарная частица, то ее угловой момент не обязан соответствовать механическому вращению. Напр., спин электрона не есть вращение электрона вокруг своей оси, в противном случае скорость на его поверхности была бы больше скорости света. Обобщение понятия спина, изотопический спин, означает наличие пространства состояний, никак не связанных с перемещением частицы в обычном пространстве, но есть движение в изоспиновом пространстве.

Аналогично для описания сильных взаимодействий введены «внутренние» цветовое пространство (red, green, blue) и пространство ароматов (по оси изоспина, u, d, s, c, b, t). Т.е. в метрику Керра вместо

момента импульса нужно подставить значение спина возникшего вследствие принципа неопределенности максимона. Поскольку максимон не может быть ни скалярной частицей, ни фермионом, его спин, так же, как и спин Z^0 -бозона, равен единице.

Тем не менее, спину соответствует и магнитный момент, и угловой момент частицы

$$L = s\hbar \quad (4)$$

Оказывается, что ограничение для момента импульса планковской Вселенной как черной дыры, измеренное в (4) в единицах $\hbar$, с достаточной степенью точности равно единице, но чуть меньше: 0,9985. Следовательно, максимон с $s = 1$ разрушает планковскую Вселенную как черную дыру. Очевидно, что максимон в виду своей огромной массы не распадается по типу распада Z -бозона (на кварк и антикварк, образующих мезон, распадающийся на лептон и антилептон). Внутри сферы Шварцшильда тоже происходит изменение подписи метрики, временная и пространственная координата меняются местами. Однако физический смысл евклидовой метрики – не промежуточное состояние, соответствующее распаду черной дыры. Вакуумная флуктуация возможна лишь в первичном пространстве-времени, где существует вакуум, которое могло быть евклидовым пространством.

Релятивистское обобщение принципа неопределенности

Возникает вопрос, насколько правомерно применять классические формулы (2), (3 и (4), когда речь идет о релятивистском обобщении принципа неопределенности. Следующий вопрос: как выглядит релятивистский момент импульса и релятивистская энергия вращения?

Для момента импульса нет канонической пары, поэтому в коммутаторе фигурируют компоненты

момента импульса, соответственно, $\Delta L_x \Delta L_y / L_z \geq \hbar / 2$, Однако можно представить соотношение неопределенности для квантовых величин $\Delta L \Delta \varphi \geq \hbar / 2$. В полуклассическом приближении

$$\Delta \omega \Delta \varphi = \Delta \dot{\varphi} \Delta \varphi \geq \hbar / 2J$$

Т.е. $\dot{\varphi}$ играет роль импульса. Обобщение принципа неопределенности выглядит следующим образом:

$$\Delta E_0 \Delta t + (J / 2) \Delta \dot{\varphi} \Delta \varphi + \Delta p \Delta x \geq \hbar$$

Здесь нет коэффициента 3/2, т.к. момент импульса входит в энергию вращения. Но при этом каждый из трех компонент в отдельности может быть меньше $\hbar / 2$.

Отметим также, что для планковской Вселенной объем не определен, т.к. $\Delta p = 0$ и

$$\Delta E_0 \Delta t + (J / 2) \Delta \dot{\varphi} \Delta \varphi \geq \hbar$$

Однако данное уравнение не может претендовать на релятивистское обобщение принципа неопределенности, т.к. вращение в уравнении не представлено в релятивистской форме.

В [3] релятивистский момент импульса выглядит следующим образом

$$L = \frac{3\pi\rho c^4 R}{2\omega^3} - \frac{\pi\rho c^2 R^3}{2\omega} - \frac{3\pi\rho c^5 (1 - \omega^2 R^2 / c^2)(1 + \omega^2 R^2 / 3c^2)}{4\omega^4} \ln \frac{1 + \omega R / c}{1 - \omega R / c} \quad (5)$$

Если вращающееся тело нельзя представить как волчок, если его вращение – хаотично, то выпишем сначала релятивистский лагранжиан свободной релятивистской частицы: $L = -mc^2 / \gamma$, где

$\gamma = 1 / \sqrt{1 - v^2 / c^2}$ - фактор Лоренца, v – скорость частицы, c - скорость света.

Отсюда импульс $p = \partial L / \partial v = mv\gamma$ и дифференциал момента импульса $dL = \gamma dmrv$.

Момент импульса для тонкого слоя шара

$$dL = \vec{r} \times d\vec{p} = \vec{r} \times (dm \cdot \vec{v}) \cdot \gamma = 4\pi\rho\omega r^5 dr / \sqrt{1 - \omega^2 r^2 / c^2} = \frac{2\pi\rho c^6 x^2}{\omega^5 \sqrt{1 - x}}$$

Интегрирование по сферическим слоям при подстановке $u = 1 - x$ дает

$$|L| = \frac{2\pi\rho c^6 \gamma}{15\omega^5} \{ [6(\omega R / c)^2 + 8\omega R / c + 16] - 16 / 15 \}$$

Теперь определим релятивистскую энергию вращения. Для примера возьмем шар, выделим в нем элемент массы, в цилиндрических координатах $dm = \rho dV = \rho r dr d\varphi dz$; $dE = \gamma dm = \rho \gamma r dr d\varphi dz$. После интегрирования по dr и $d\varphi$

$$dE_i = \frac{2\pi\rho c^4}{\omega^2} (1 - \sqrt{1 - \omega^2 r_i^2 / c^2}) dz$$

Интегрируем по dz , учитывая, что $r_i^2 = R^2 - z^2$, используя подстановку $x = \tan(y)$ и сравнивая с (5):

$$E = \frac{3}{4} L \omega \quad (6)$$

Отсюда видим, что связь между энергией и моментом импульса в релятивистском случае имеет иной, чем в классике, характер, но близкий к нему. Следовательно, можно записать $J \omega \propto |\vec{s}|$. То есть, наши оценки энергии максимона верны. Отсюда следует, что

$$\Delta E_0 \Delta t + \mu \Delta s \Delta \varphi = (\Delta E_0 + \mu \omega \Delta s) \Delta t = (\Delta E_0 + \eta s \Delta s) \Delta t \geq \hbar$$

E_0 – энергия покоя. Обратим внимание, что (5) не имеет не релятивистского предела. Дело в том, что данный расчет оценочный, только для того, чтобы увидеть порядок связи, расчет не учитывает то, что вращающееся тело находится в неинерциальной системе отсчета.

Возникновение метрики Минковского

После порождения максимальным вакуумом флуктуации в виде максимона и после распада максимона начинается формирование пространственно-временной структуры, возникающей вследствие «противоборства» вещества (бытия) и его основного состояния, вакуума (небытия): массы свертывают пространство, плотность вакуума расширяет Вселенную.

Поле Хиггса стало составной частью Стандартной модели в теории Вайнберга-Глэшоу-Салама, объединяющей электромагнитные и слабые взаимодействия, объяснив массы переносчиков слабого взаимодействия, W и Z бозонов, спонтанным нарушением симметрии.

Если механизм возникновения масс благодаря полю Хиггса имеет место, можно также предположить, что, подобно тому, как массы искривляют пространство Минковского, вакуум поля Хиггса, возможно, формирует пустое пространство Минковского, как своего рода основное состояние [4].

В ОТО пространство Минковского есть тривиальное решение уравнений Эйнштейна для вакуума, т.е. пространства с нулевым тензором энергии-импульса и нулевым лямбда-членом.

В естественной системе координат тензор кривизны Риччи равен:

$$R_{ij} = R_{ikj}^k = \partial_k \Gamma_{ji}^k - \partial_j \Gamma_{ki}^k + \Gamma_{km}^k \Gamma_{ji}^m - \Gamma_{jm}^k \Gamma_{ki}^m$$

где $\Gamma_{kl}^i = g^{im} (\partial_l g_{mk} + \partial_k g_{ml} - \partial_m g_{kl}) / 2$. Соответственно $T_{\alpha\beta} = 0$; $R_{\alpha\beta} = \Lambda g_{\alpha\beta}$. То есть, при $\Lambda \neq 0$ кривизна не равна нулю, пространство Минковского получается лишь при равенстве нулю тензора Риччи.

Астрономические исследования сверхновых типа IA дают положительное значение для $\Lambda = 10^{-53} \text{ м}^{-2}$. Однако космологический член не может быть постоянной величиной, т.к. меняется плотность вакуума электромагнитного и других полей, плотность которых зависит от радиуса Вселенной.

Имеется иное вакуумное решение уравнений Эйнштейна. Каким образом вакуум, имея массу, не искривляет пространство Минковского? Ответ очевиден: вакуум и порождает пространство Минковского. Подобно тому, как массы искривляют пространство Минковского, космологический вакуум, возможно, формирует пустое пространство Минковского, как своего рода основное состояние. Тогда в уравнении Эйнштейна $R_{\mu\nu} - R g_{\mu\nu} / 2 - \Lambda g_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu}$ нужно положить равным нулю не тензор энергии-импульса, как в модели де Ситтера, а рассмотреть нулевую кривизну. При наличии вакуума

$$\Lambda g_{\mu\nu} = -8\pi G T_{\mu\nu},$$

Отсюда компоненты тензора энергии-импульса $\rho_{vac} = -\rho_{vac} = -\Lambda / 8\pi G$, и компоненты метрического тензора пропорциональны компонентам метрики пустого пространства Минковского.

То есть, теперь уже наоборот, при $\Lambda \neq 0$ возникает пространство Минковского, космологическая постоянная уже не может быть связана с кривизной пространства. То есть: пространство Минковского есть решение не только с нулевым ТЭИ, но и с ненулевым ТЭИ.

В стадии лямбда доминирования уравнение состояния вакуума известно, для обычного вещества Вселенной не подходят модели ни идеальной жидкости, ни газа, но вполне адекватна модель пыли с нулевым давлением. В таком случае полный тензор энергии импульса для Вселенной имеет вид:

$$T_{ik} = (\Lambda / 8\pi G) \text{diag}(-1 + 8\pi G(\rho_{sub} + \rho_{qf}) / \Lambda, 1, 1, 1)$$

где ρ_{sub}, ρ_{qf} – плотность вещества (субстанции) и плотность вакуума всех квантовых полей, кроме космологического. В таком случае вакуум Хиггса является космологическим. В этом случае проблема

расширения Вселенной из черной дыры могла бы решаться за счет наличия давления вакуума. Однако хиггсовский вакуум в сверхмалом объеме не обладает существенным давлением. Во-вторых, он не может быть космологическим вакуумом, его плотность зависит от объема. Космологическим вакуумом может быть вакуум скалярного поля с нарушением энергодоминантности [5]. После возникновения частиц появляется кривизна, которую эти частицы формируют (она не дается заранее, извне), с ростом числа частиц кривизна увеличивается, и реализуется сценарий де Ситтера. Вопрос, поставленный Э. Шмутцером, о материальном источнике пустого пространства-времени, находит разрешение. Утверждается, что происходит увеличение масштаба, что не есть движение частиц со скоростями выше скорости света. Но увеличение масштаба должно приводит к увеличению масштаба измерительной линейки, таким образом, заметить расширение Вселенной невозможно. С другой стороны, увеличение масштаба означает увеличение и размеров частиц, планет, звезд, чего не происходит при расширении Вселенной. В интерпретации масштабного фактора, согласно которой вакуум порождает пространство-время, парадокс снимается, не частицы движутся, а пространство возникает. Вселенная не расширяется, а порождается. Тогда вакуумный тензор энергии импульса примет вид:

$$T_{ik} = (\Lambda / 8\pi G) \text{diag}(-1, 1, 1, 1) \quad (7)$$

Метрика Фридмана записывается следующим образом: $ds^2 = dt^2 - a(t)^2 dl^2$, где dl^2 — элемент длины в пространстве постоянной кривизны, $a(t)$ — масштабный фактор.

В сферических координатах $dl^2 = dr^2 / (1 - kr^2) + r^2(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2)$, соответственно,

$$ds^2 = dt^2 - a(t)^2 [dr^2 / (1 - kr^2) + r^2(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2)] = dt^2 - a(t)(dr^2 / (1 - kr^2) + r^2 d\Omega^2)$$

Из этой метрики следует, что пространство «растягивается», соответственно, должны растягиваться и межатомные расстояния, и эффективные сечения частиц.

Утверждается, что закон Хаббла, метрика пространства-времени и уравнения Гильберта-Эйнштейна-Фридмана имеют отношение лишь к крупномасштабной структуре Вселенной на расстояниях порядка мегапарсек. Однако закон Хаббла действует и на расстояниях меньших, нежели расстояние между Млечным путем и туманностью Андромеды.

Для пустого пространства, которое порождается вакуумом, интервал нужно записать и в другом виде:

$$ds^2 = dt^2 - [d(r+a)]^2 + r^2 d\Omega^2$$

Соответственно, положительные массы замедляют время и сворачивают пространство.

Закон Хаббла в таком подходе получается непосредственно из метрики.

Допустим, дополнительный объем длины Δr генерируется за единицу времени вакуумом объемом длины r_0 , тогда

$$n\Delta r / \Delta t = nr_0 = r \square v; v = Hr$$

Например, $g_{22} = (r+a)^2 \cos^2 \varphi \cos^2 \vartheta + (r+a)^2 \sin^2 \varphi \cos^2 \vartheta + (r+a)^2 \sin^2 \vartheta = (r+a)^2$

Тогда в сферических координатах трехмерный метрический тензор запишется в виде:

$$g_{mn} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & (r+a)^2 & 0 \\ 0 & 0 & r^2 \sin^2 \vartheta \end{pmatrix}$$

Таким образом, существует не одна, а две модели пространства Минковского: статическое (абсолютное) и динамическое (с расширением трехмерного пространства).

Заключение

Отметим, что определение планковского Δt через мировые константы совпадает с определением через принцип неопределенности, определение Δp - не совпадает.

Отметим также, что планковская плотность не обязана быть порядка 10^{94} , т.к. планковский размер не определен. Тогда снимается противоречие, что r планковской Вселенной меньше r Шварцшильда.

Отметим также, что должна существовать константа, связывающая квантовую механику и ОТО, микромир и Вселенную. Такой константой может быть только космологическая постоянная.

Космологическая постоянная мала, т.е. должен существовать коэффициент, делающий ее малой. А

именно: $\Lambda g_{ik} \rightarrow \Lambda_{ik} \rightarrow \xi \Lambda_{ik} = 10^{-29} \Lambda_{ik}$. В этом случае не нужны поворот Вика в метрике или евклидово

пространство, или к мнимые время и энергия: $\Delta p_i \Delta x^i \rightarrow \xi \Lambda_{ik}^i g^{ik} \Delta p_i \Delta x_k = \Delta E \Delta t + \Delta \vec{p} \Delta \vec{x} \geq \hbar$.

Литература

1. Linde, A. D. (1990a) Particle Physics and Inflationary Cosmology, Harwood Academic Publishers, Chur, Switzerland.
2. Starobinsky A. A. Phys. Lett. A New Type of Isotropic Cosmological Models Without Singularity. 1980. V. 91. №1, P. 99.
3. Федосин С. Г. О зависимости релятивистского момента импульса однородного шара от радиуса и скорости углового вращения. International Frontier Science Letters, Vol. 15. P. 9-14 (2020).
4. Ихлов Б. Л. Хиггсовский вакуум в теории гравитации. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. М.: МГУ, 1988. 13 с.
5. Ихлов Б. Л. Квантовый космологический вакуум. С. 130-135. Материалы V Российской конференции «Основания фундаментальной физики и математики», М., РУДН, 11-12 декабря 2021 г.

О ПРИНЦИПЕ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ

Введение

Принцип эквивалентности (ПЭ) утверждает, что свободное движение тела, наблюдаемое в неинерциальной системе отсчета, аналогично движению тела в поле тяготения, всякое поле тяготения в малой области пространства эквивалентно некоторой неинерциальной системе отсчета. В обоих случаях ускорение тела не зависит от его массы. ПЭ в применении только к законам движения тел в пространстве называется слабым принципом эквивалентности. Утверждение, что не только механические, но и любые физические процессы при одинаковых начальных условиях протекают совершенно одинаково в поле тяготения и вне его, но в ускоренной системе отсчета, называется сильным принципом эквивалентности. ПЭ является локальным, т. е. тождественность поля тяготения ускоренной системе отсчета справедлива лишь в небольшой области пространства и времени, в которой поле тяготения можно считать однородным и постоянным во времени.

Источником гравитации является масса. В ОТО гравитация и, следовательно, масса может быть рождена за счёт перехода в ускоренную систему отсчета, а затем уничтожена обратным переходом в инерциальную систему отсчета, этому соответствует эффект Фуллингса – Унру. Ускорение не порождает ни электрические, ни цветные заряды, однако равноускоренное движение электрона порождает излучение, аналогично ускоренный кварк излучает глюоны. Таким образом, заряды – это своего массы. Очевидно, что гравитационное поле только тогда будет физическим, только тогда его можно будет проквантовать, когда масса инертная не будет равна гравитационной массе.

Альтернативные теории гравитации, использующие скалярные поля, предсказывают нарушению сильного ПЭ [1,6]. В наиболее известной альтернативной теории Бранса-Дикке интенсивность гравитационного взаимодействия зависит от дополнительного скалярного поля. В рамках этой теории можно сформулировать принцип Маха, согласно которому инерция тел проявляется из-за взаимодействия с распределенным веществом во Вселенной.

Нарушение ПЭ связано с наличием элементарной массы.

Квантовые свойства электромагнитных систем связаны с наличием элементарного заряда, у электрона или протона. Переносчиком электромагнитного взаимодействия является электромагнитное поле, виртуальные фотоны. Переносчики сильного взаимодействия, глюоны, связывают кварки, носители элементарных зарядов сильного взаимодействия. Слабое взаимодействие переносится W и Z бозонами. Для того, чтобы существовал гравитон, необходимо существование элементарного заряда, характерного для гравитационного взаимодействия. В какой форме возможно существование этого заряда?

Примером наличия обезличенной массы является ядерный распад. Существует альфа-распад, бета-распад, двойной бета-распад, позитронный распад вследствие слабого взаимодействия: $p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$, бета-распад без испускания бета-частиц, протонная эмиссия, двойной протонный распад, нейтронная эмиссия, кластерный распад – развал ядра на фрагменты, большие чем альфа-частицы, безнейтринный двойной бета-распад, гамма-распад (ядро переходит из возбужденного состояния в основное), два распада протона одновременно.

Все эти процессы являются квантовыми. Можно предположить, что ядро подобно атому Бора, то же - в оболочечной и статистической моделях ядра, но с особым правилом переходов: энергии переходов соответствуют спектру масс элементарных частиц. Таким образом, поскольку ни в протоне, ни в нейтроне, состоящих их кварков, нет ни электронов, ни позитронов, ни нейтрино, выделяющаяся из ядра энергия обезличена, и эта обезличенная энергия преобразуется в различные виды элементарных частиц. Следовательно, распады ядер указывают на существование элементарной массы. Это означает, что должны существовать пионный, мюонный и т.д. распады не радиоактивных ядер – при их возбужденном состоянии.

Закон тяготения

Оценим изменения эволюции Вселенной при нарушении ПЭ в классическом приближении. Рассмотрим простейшее одномерное движение в поле силы тяготения:

$$m_1 a = G \frac{m_1 m_2}{r^2} = m_1 \frac{d^2 r}{dt^2} \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dr}{dt} \right) = G \frac{m_2}{r^2} = \frac{d}{dt} v; \quad G \frac{m_2 dt}{r^2} = G \frac{m_2 dr}{r^2} \frac{dt}{dr} = G \frac{m_2 dr}{r^2} \frac{1}{v}$$

Отсюда находим скорость: $v = \sqrt{Gm_2 / r + c}$; константа интегрирования

$$c = v_0^2 - Gm_2 / r_0 \quad (2)$$

На больших начальных расстояниях и при нулевой начальной скорости $r \propto (t + c_1)^{2/3}$, где c_1 – новая константа интегрирования. То есть, расстояние $r_0 - r \rightarrow 0$ по степенному закону с показателем меньше единицы. В общем случае имеем уравнение с разделяющимися переменными

$$(c + Gm_2 / r)^{-1/2} dr = dt$$

путем переопределения r и t получаем безразмерное уравнение,

$$x^2 dx / \sqrt{x^2 \pm 1} = dt'$$

решения которого находятся с помощью интегрирования по частям и с тригонометрическими подстановками, в зависимости от направления начальной скорости:

$$t \pm t' = \frac{2x}{z} + \frac{1}{4} \left(\frac{x^2}{z^2} - 1 \right) \ln((x/z + 1) / (x/z - 1) + \ln(x + z)) / (x^2 / z^2 - 1) + \ln(x + z) + C$$

где $z = \sqrt{x^2 + 1}$, и второе решение:

$$t \pm t' = -x^2 \frac{2z + \ln((z + 1) / (z - 1)) / x^2}{4} - \ln(x + \sqrt{x^2 - 1}) + C$$

где $z = \sqrt{1 - 1/x^2}$, обоих случаях $r \propto x^2$. Расстояние не выражается через время явно. Характер движения очевиден: если начальная скорость одной массы направлена к другой массе, сближение происходит с увеличивающимся ускорением. Если начальная скорость одной массы направлена от другой массе, но не превышает 2-ю космическую, сначала она замедлится до нуля, после чего массы снова начнут сближение с растущим ускорением.

При неравенстве инертной и гравитационной масс нарушение ПЭ не ведет к изменению механики, но масса в правой части (1) становится перенормированной.

Вернемся к уравнению (2): при $c > 0$ скорость разлета масс при увеличении радиуса становится постоянной. При $c < 0$ начальная скорость меньше второй космической, она становится равной нулю, разлет масс сменяется их сближением. Подставим планковские значения, тогда

$$c \approx v^2 - 9,2 \cdot 10^{16} < 0$$

Т.е. при наличии только положительной массы при выполнении ПЭ расширение Вселенной должно смениться сжатием. Расширение Вселенной обязано именно нарушению ПЭ.

Существование отрицательной массы, постулированное Терлецким, наталкивается на возражение, что если в уравнении (1) одна из гравитационных масс отрицательна, то два тела с разными знаками масс будут двигаться в одну и ту же сторону – вследствие закона сохранения импульса, причем равноускоренно.

Теория относительности

На ПЭ основана ОТО, на ОТО базируется космология. Но, хотя эта теория, наряду с постньютоновским приближением и другими версиями теории относительности дает верные оценки отклонения луча света в поле Солнца, отклонения перигелия Меркурия и т.д., она является крайне противоречивой.

1) Гравитационная энергия в силу связи массы и энергии должна давать вклад в инертную массу. При этом сама гравитационная энергия зависит от выбора систем отсчета. Таким образом, инертная масса становится неопределенной, что противоречит эксперименту.

2) Гравитационное поле в ОТО кардинально отличается от других физических полей. Подобия гравитационного поля электромагнетизму (гравитоэлектромагнетизм, эффект вращения масс Лензе – Тирринга и пр.) можно добиться лишь при малых массах. Хотя электростатическое поле намного мощнее гравитационного, оно не отклоняет луч света (фотон нейтрален), в электростатическом поле не замедляется время. В метрике Рейснера-Нордстрема заряд и масса входят симметрично, но заряд в электрическом поле не движется по геодезической. Дело в том, что не существует принципа эквивалентности для зарядов. Чтобы для электростатического поля выполнялся принцип эквивалентности, необходимо, чтобы существовали три дополнительных измерения.

3) В [1] показано, что отождествление физического поля с геометрией приводит к неопределенности измерений. Метрики Фридмана, де Ситтера, анти-де Ситтера с разными топологиями и разной физикой переходят друг в друга путем алгебраических преобразований, таким образом, разные калибровки приборов должны давать разные значения физических величин.

4) Поскольку гравитационное поле в ОТО объявлено не физическим, гравитацию нельзя квантовать, в правой части уравнений Эйнштейна можно заменить импульс на квантовый оператор, в левой части остаются не квантованные переменные. Дифференциалы координат в левой части не могут быть одновременно квантовыми операторами в правой части.

5) Пуанкаре, затем в 1968 году Дезер и Лоран попытались соединить теорию Ньютона и СТО, по аналогии с релятивистской электродинамикой, однако их постигла неудача.

Попытка Фролова, Логунова (бывш. ректор МГУ), Местверишвили, Лоскутова развить релятивистскую теорию гравитации (РТГ) свелась к добавке модифицированного лямбда-члена. К 10 уравнениям Эйнштейна (минус 4 тождества Бьянки) Логунов добавил 4 уравнения для гравитационного поля.

В ОТО нет фоновой метрики, у Логунова она присутствует. Наличие пространства Минковского в РТГ, утверждает Логунов, позволяет рассматривать гравитационное поле как обычное физическое.

В РТГ фридмановская однородная и изотропная Вселенная – бесконечная и плоская, ее трехмерная геометрия евклидова, плотность вещества Вселенной точно равна критической, суммарная плотность энергии вещества и гравитационного поля Вселенной равняется нулю.

Критика геометризации гравитации Логуновым справедлива, в том числе его сомнения относительно черных дыр с бесконечной плотностью. Но и систему уравнений Логунова невозможно проквантовать, т.к. нельзя проквантовать уравнения, фактически совпадающие с ОТО (на их совпадение указывает Л. П. Гришук, автор полевой ОТО). В РТГ первична не только материя, но и фоновая метрика, т.к. не определен материальный источник фона, РТГ тоже оказывается геометризованной.

В уравнениях Эйнштейна пространственно-временная форма не исчезает с исчезновением содержания: массы и энергии в ТЭИ. В то же время в диалектической паре «форма – содержание» форма вторична, определяется содержанием, а именно: массами, зарядами, спинами и их взаимодействием. Форму задают силовые характеристики, которые в ОТО выражены в равенстве нулю дивергенции ТЭИ. Таким образом, силовые характеристики не могут формировать пространство Минковского.

Парадокс лифта

Заряженная частица, покоящаяся в гравитационном поле на поверхности Земли согласно принципу эквивалентности должна быть неотличима от частицы в плоском пространстве-времени, ускоряемой силой. Из уравнений Максвелла ускоренный заряд должен излучать электромагнитные волны, но такое излучение не наблюдается для неподвижных частиц в гравитационных полях.

В 1960 году Фриц Рорлих объявил, что уравнения Максвелла выполняются только в инерциальных системах отсчета, поверхность земли инерциальной системой отсчета не является. В 1965 году Рорлиха показал, что заряженная частица и нейтральная частица падают одинаково быстро в гравитационном поле. Точно так же заряженная частица, находящаяся в состоянии покоя в гравитационном поле,

излучает не в своей системе покоя, а в системе свободно падающего наблюдателя Принцип эквивалентности сохраняется и для заряженных частиц. Рорлих сконструировал интервал таким образом, что при соответствующих этому интервалу преобразованиях заряд в системе отсчета покоя излучает, однако это не преобразования Лоренца [2, 3].

Волновая зона начинается на расстояниях больше c^2/g (g – ускорение), т.е. при земном ускорении - в световом годе от заряда. Кроме того, величина излучения лежит за пределами чувствительности приборов. Температура излучения выражается формулой Унру:

$$T = \frac{\hbar a}{2\pi k c} \approx 4 \cdot 10^{-21} \cdot a$$

Чтобы излучение приобрело температуру в 1 градус, необходимо ускорение планетного тяготения $2,5 \times 10^{20}$ м/сек². Т.е. в парадоксе лифта излучение покоящегося на Земле заряда измерить невозможно. Нужно признать, что в системе покоя заряда в гравитационном поле этот заряд излучает, и ПЭ не нарушается.

Нарушение ПЭ

1. Рассмотрим значения постоянной Кеплера для 8 планет Солнечной системы: $k = r^3 / T^2$; где R – среднее расстояние от центра планеты до центра Солнца, T – время полного оборота планеты вокруг Солнца. Эту константу можно выразить через инертную и гравитационную массы:

$$k = GMm_g / m_i$$

где m_g - гравитационная масса планеты, M – масса Солнца, m_i - инертная масса планеты, G - гравитационная постоянная. Для планет земной группы с мало возмущенными орбитами, Земли, Венеры, Марса, $k = 3,35 \cdot 10^{24}$ км³·год⁻²; для Меркурия с сильно возмущенной орбитой и Плутона, $k = 3,33 \cdot 10^{24}$ км³·год⁻², на 1% меньше; для Сатурна, Юпитера, Урана $k = 3,34 \cdot 10^{24}$ км³·год⁻². То есть, постоянная Кеплера оказывается не постоянной, то можно объяснить только неравенством отношения гравитационной массы к инертной массе, то есть нарушением принципа эквивалентности [4].

Кроме того, Солнце не является твёрдым телом и движение Меркурия может вызывать на Солнце приливную волну, которая может в свою очередь влиять на смещение перигелия Меркурия.

Наконец, в совместном американско-китайском сборнике [5, стр. 5] китайский математик, академик Хуа Ди показал, что при вычислении величины прецессии перигелия орбиты Меркурия Эйнштейн допустил грубую ошибку при интегрировании. В итоге результат оказался 71.5'', а не 43''. В некоторых более поздних изданиях статьи Эйнштейна в формуле (3) в квадратных скобках перед интегралом появился ничем не обоснованный коэффициент 0,5 и результат вычислений становится ближе к 43'' [5].

Кроме того, ставится под сомнение и эксперимент с отклонением света в гравитационном поле Солнца: в 1962 году группа Королевских астрономов заявила, что отклонение луча света вблизи Солнца не может рассматриваться как подтверждение ОТО – у Солнца существует атмосфера, простирающаяся на огромное расстояние. Явление рефракции давно учитывается для земной атмосферы.

2. Однако плотность космологического вакуума отрицательна, следовательно, его масса отрицательна, она и создает отталкивание. Это отталкивание возможно потому, что вакуум не обладает инертной массой. Космологический вакуум не может быть динамической системой, не может обладать инертной массой – в силу принципа относительности, вакуум не может быть системой отсчета. Таким образом, основное состояние вещества нарушает ПЭ: его гравитационная масса не равна инертной массе. Плотность и масса космологического вакуума отрицательна, она и создает отталкивание. Оно возможно потому, что вакуум не обладает инертной массой. Космологический вакуум не может быть динамической системой, не может быть системой отсчета. Т.о., основное состояние вещества нарушает ПЭ: его гравитационная масса не равна инертной массе.

Пассивная гравитационная масса - на которую действует тяготение, она равна инертной массе.

Равенство в т.ч. этих двух масс есть ПЭ. Но в отношении вакуума картина иная. В [6] специфика вакуумной материи объясняется так: «Вакуум способен влиять, но не испытывать обратного влияния. Он воздействует на вещество антитяготением. Сам вакуум не испытывает обратного влияния, геометрии и собственного антитяготения. Т.к. у него нет инертной массы; вернее, она равна нулю. Инертная масса единицы объёма тела равна сумме плотности энергии тела и давления, делённой на

квадрат скорости света. Но давление вакуума есть его плотность энергии со знаком минус, т.е. сумма, дающая инертную массу, обращается в нуль. Сл-но, любая сила, приложенная к вакууму, равна нулю. ПЭ применительно к вакууму означает, что его пассивная гравитационная масса равна нулю, как и его инертная масса. Активная гравитационная масса - не чувствующая, но создающая тяготение. Эффективная плотность – это активная масса на единицу объёма. Для вакуума она отрицательна. Т.е. и активная гравитирующая масса вакуума отлична от нуля и отрицательна».

Но что значит «эффективная плотность», из чего она складывается? Если сумма инертной и пассивной гравитационной массы равна нулю, то и активная гравитационная масса равна нулю.

1) Мы не можем говорить об отсутствии у вакуума пассивной гравитационной массы – откликается ли как-то вакуум н силу тяготения или нет, причина отсутствия его реакции – отсутствие инертной массы.

2) Принцип эквивалентности для обычной материи действует и в отношении активной гравитационной массы. Она должна быть равна инертной. Но в отношении вакуума принцип эквивалентности нарушается, соответственно, объяснения Чернина не являются удовлетворительными. Во-вторых, поскольку космологический вакуум обладает отрицательной плотностью, и это гравитационная плотность, которая должна быть эквивалентна инертной плотности, то сумма давления и энергии не может быть равна нулю. Во-третьих, давление не есть энергия со знаком минус, а производная энергии: $P = -\partial E / \partial r$. Давление есть термодинамический параметр:

$$P = nkT; \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m} = \frac{3}{2} kT; p^2 = \frac{3m}{n} P$$

Соответственно, в СТО связь массы и давления

$$E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2; m_0 = \sqrt{E / c^4 - aP}$$

То есть, давление никак нельзя вычитать из инертной массы.

Допустим, что полная инертная масса равна нулю, соответственно, пассивная гравитационная энергия равна нулю – то есть, она не равна ни инертной массе, ни давлению. Но остается активная гравитационная масса. Откуда она берется и чему равна, если она не равна по модулю ни инертной, ни пассивной гравитационной массе? Наконец, в [6] искажен принцип эквивалентности. Он гласит: активная гравитационная масса (т.е. тяготение) эквивалентна ускорению (инертной массе). В [6] активная гравитационная масса, играющая главную роль, выброшена из ПЭ.

Далее: что значит «эффективная плотность», и чего она складывается? Если сумма инертной и пассивной гравитационной массы равна нулю, то и активная гравитационная масса равна нулю.

1) Мы не можем говорить об отсутствии у вакуума пассивной гравитационной массы – откликается ли как-то вакуум н силу тяготения или нет, причина отсутствия его реакции – отсутствие инертной массы.

2) Следуя [6], нужно предположить различие активных и пассивных электрического заряда и цветного заряда.

3) Принцип эквивалентности для обычной материи действует и в отношении активной гравитационной массы. Она должна быть равна инертной. Но в отношении вакуума принцип эквивалентности нарушается, соответственно, объяснения Чернина не являются удовлетворительными.

Во-вторых, поскольку космологический вакуум обладает отрицательной плотностью, и это гравитационная плотность, которая должна быть эквивалентна инертной плотности, то сумма давления и энергии не может быть равна нулю.

Во-третьих, давление не есть энергия со знаком минус, а производная энергии:

$$P = -\frac{\partial E}{\partial r}$$

Давление есть термодинамический параметр:

$$P = nkT; \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m} = \frac{3}{2} kT; p^2 = \frac{3m}{n} P$$

Соответственно, в СТО связь массы и давления

$$E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2; m_0 = \sqrt{E / c^4 - aP}$$

То есть, давление никак нельзя вычитать из инертной массы.

Допустим, что полная инертная масса равна нулю, соответственно, пассивная гравитационная энергия равна нулю – то есть, она не равна ни инертной массе, ни давлению.

Но остается активная гравитационная масса. Откуда она берется и чему равна, если она не равна по модулю ни инертной, ни пассивной гравитационной массе?

Далее: из закона сохранения импульса вытекает, что активная и пассивная гравитационная масса равны, то есть, все три массы равны между собой.

Наконец, в [6] искажен принцип эквивалентности. Он гласит: активная гравитационная масса (т.е. тяготение) эквивалентна ускорению (инертной массе). В [1] активная гравитационная масса, играющая главную роль, выброшена из принципа эквивалентности.

Сравнение с другими взаимодействиями

В потенциале слабого взаимодействия – режущая экспонента, разложим ее в ряд Тейлора, учтем первые три члена и опустим константу:

$$V_w = -\frac{g_w^2}{r} \exp(-M_w r) = -\frac{g_w^2}{r} + \frac{g_w^2}{r} M_w r + \frac{g_w^2}{2r} M_w^2 r^2 \rightarrow -\frac{g^2}{r} + ar$$

В потенциале сильного взаимодействия – добавка появляется без разложения экспоненты, потенциал на больших расстояниях растет:

$$V_s = -\frac{g_s^2}{r} + br$$

Потенциал поля Браута-Энглера-Хиггса

$$V_H = -\frac{g_H^2}{r} \exp(-M_H r) \rightarrow -\frac{g_H^2}{r} + \frac{g_H^2}{2} M_H r = \frac{g_H^2}{r} + fr$$

Потенциал гравитационного взаимодействия

$$V_G = -G \frac{m}{r}$$

Закон Гука-Ньютона схож с законом Кулона как лишь с частью электромагнитного взаимодействия.

Однако потенциал магнитной добавки при величине элемента dl , по которому течет ток I , много меньшей, чем расстояние до точки наблюдения, зависит от расстояния точно так же, как, как и электрический потенциал:

$$A = \frac{Idl}{4\pi r}$$

Отличия гравитационного и электрического потенциалов: 1) в законе Гука-Ньютона масса как заряд = массе инертной, 2) в законе Кулона заряды не искривляют пространство, только лишь за счет того, что заряд преобразуется в энергию.

Но массы зависят от связи. Масса протона равна в единицах $\text{МэВ}/c^2$ 938,3, масса нейтрона 939,6.

Комбинация двух верхних и одного нижнего кварка даёт 9,4, т.е. 1% от массы протона. Комбинация двух нижних и одного верхнего кварка - 11,9, или 1,3% от массы нейтрона. Энергия изолированного кварка с цветным зарядом извлекает из вакуума виртуальные глюоны, как электрон, движущийся в своём собственном электромагнитном поле, «одевается» в виртуальные фотоны. Однако в отличие от фотонов, глюоны переносят свой цветной заряд и способны уменьшать энергию через, в частности, маскировку открытого цветного заряда. Энергии голого кварка хватает, чтобы извлекать из вакуума реальные элементарные частицы, появляется антикварк, спаривающийся с голым кварком и формирующий мезон.

Масса заряженной частицы должна включать энергию, содержащуюся в электростатическом поле частицы. Для точечного заряда она бесконечна: $mc^2 \propto q^2 / r$, обладает бесконечной инерцией, т.е. заряд не может двигаться ускоренно. Но полная масса заряда включает сумму электрической энергии и «голой» массы. Если принять «голую» массу отрицательной, можно перенормировать полную массу и получить согласующуюся с экспериментом массу электрона в т.ч. с нулевым радиусом.

Для закона Кулона существует другая добавка - с учётом радиационных поправок 1-го порядка, в СГС:

$$V_q = \frac{q}{r} \left[1 + \frac{\alpha}{4\sqrt{\pi}} \frac{\exp(-2r/\lambda)}{(r/\lambda)^{3/2}} \right]; \alpha = \frac{e^2}{\hbar c}; \lambda = \frac{\hbar}{mc} \quad (3)$$

Однако эта поправка не имеет того же вида, что для сильного или слабого взаимодействий.

Закон Кулона соответствует неподвижной системе отсчёта, согласно ОТО точной функции $1/r^2$ нет. Гравитационное поле искажает кулоновское, но слишком мало, чтобы это можно было наблюдать. Закон Кулона в стандартной форме выполняется до расстояний 10^{-13} см. На расстоянии 10^{-14} см электрические силы оказываются примерно в 10 раз слабее. При малых радиусах добавка к сильному или слабому потенциалам перестаёт играть роль. Кулоновское же поле отличается ещё и тем, что при уменьшении радиуса «добавка к заряду», если она существует, должна, в отличие от всех типов взаимодействия, резко уменьшить взаимодействие. То есть, возникает явление, подобное асимптотической свободе, однако характер снижения константы взаимодействия иной, одной и той же бета-функцией снижение констант описать невозможно.

Разложим экспоненту в (3), при больших r в определенном интервале расстояний из (3) получаем:

$$V_q = -k \frac{q}{r} + u\sqrt{r}$$

Отождествим вид гравитационного взаимодействия с видом других типов взаимодействий:

$$V_G = -G \frac{m}{r} + zr \quad (4)$$

$$\text{Соответственно, } V_G = -G \frac{m}{r} \exp(-zr / Gm) \quad (5)$$

Представим инертную массу как гравитационную массу с некоторой добавкой:

$$m_i = m_g + \Delta m,$$

В таком случае получается, что «дефект» масс прямо пропорционален квадрату радиуса – чем больше расстояние, чем пренебрежительнее локальность – тем больше нарушение ПЭ,

$$\Delta m = -kr^2; G\Delta m / r = -Gkr = -zr; z = Gk,$$

соответственно, тем больше отклонение от классического закона Гука-Ньютона. Таким образом, единообразный вид гравитационного поля получается естественным образом, если только допустить неравенство инертной и гравитационной масс. При малых r ПЭ выполняется.

Чтобы гравитация была подобна другим полям, размерности инертной и гравитационной масс должны не совпадать. Безразмерной величиной, характеризующей интенсивность взаимодействия цветовых зарядов (например, вероятность излучения глюона кварком), является величина $\alpha_s = g_s^2 / (\hbar c)$, e_c - цветовой заряд. То же – для слабого взаимодействия. Для электромагнитного взаимодействия, в системе СИ $\alpha = e^2 / (4\pi\epsilon_0 \hbar c)$. Для гравитационного взаимодействия безразмерная константа $a_g = Gm_p^2 / \hbar c$.

В формулу входит масса протона, но не гравитона, чья масса порядка 10^{-46} , то есть, при оценке взаимодействия исходят из того положения, что существует элементарная масса и она равна массе протона. Эта масса больше массы электрона, но массу электрона не нужно считать элементарной, т.к. эта масса есть сумма положительного и отрицательного вкладов.

Таким образом, из нарушения ПЭ вытекает, что должна существовать элементарная масса и эта масса равна массе протона.

Однако с тем же успехом вместо массы протона в формулу для константы гравитационного взаимодействия можно подставить массу u и d -кварков, которые всего в три раза меньше массы протона: значения масс конституентных кварков в статическом пределе $m_u \approx m_d \approx 300$ МэВ. Однако в этом случае понятие элементарной массы становится размытым, т.к. существуют и другие кварки: $m_s \approx 500$ МэВ, $m_c \approx 1,5$ ГэВ, $m_b \approx 5$ ГэВ, $m_t \approx 170$ ГэВ. Понятие элементарной массы, а вместе с ней и константы взаимодействия становится ещё более размытым в виду того, что значения масс токовых кварков составляют: $m_u \approx 4,5$ МэВ, $m_d \approx 7$ МэВ, $m_s \approx 150$ МэВ, $m_c \approx 1,2$ ГэВ, $m_b \approx 4,5$ ГэВ, $m_t \approx 170$ ГэВ. Отношения масс тоже могут быть различными: например, масса фотона видимого спектра на 7 порядков больше массы протона и на 10 порядков больше массы электрона. Поэтому понятие дискретности масс не соответствует дискретности других зарядов. Понятие элементарной массы не совпадает с представлением, что эта элементарная масса является составной образующей частью всех частиц: кварков, электрона или нуклона. Наконец, возникает вопрос, почему масса электрона определяется путем перенормировки с вычетом бесконечной энергии, но характерная масса во всех прочих видах взаимодействия определяется без перенормировки.

Электрический заряд определяется через силу тока: 1 Кл равен электрическому заряду, проходящему через поперечное сечение проводника при постоянном токе силой 1 А за 1 с; 1 Кл = 1 А·с.

В свою очередь сила тока определяется через механические характеристики: ампер – сила неизменяющегося тока, который, проходя по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н. Аналогично заряд кварка определяется путем наблюдения адронных струй.

Чтобы гравитация была аналогом других взаимодействий, должны быть гравитационные токи. Однако их обнаружение и, соответственно, определение через них гравитационного заряда невозможно в виду крайней малости постоянной гравитационного взаимодействия. Тем не менее, можно постулировать, что в (1) размерности масс в правой части отличаются от размерности массы (зарядовой) в левой части:

$$[m] = [km_{ch}^2] = [k][m_{ch}]^2$$

То же самое можно представить в виде

$$m + \Delta m = km_{ch}$$

$$k \sim 1 + \alpha; \alpha \ll 1$$

Вышеизложенное означает, что существование элементарной массы не требует существования особых массовых частиц, не имеющих никаких других зарядов.

Заключение

Модификации закона Гука-Ньютона предлагались в качестве альтернативы гипотезы темной материи [7]. Однако гипотеза темной материи тождественна предложенной выше модификации закона Гука-Ньютона. Дело в том, что потенциал (5) с учетом квадратичного члена в разложении экспоненты в точности соответствует модели Глинера [8, 9] с силой гравитационного отталкивания:

$$F_{rep} = G \frac{m_{dark} m}{r^2} = \frac{4\pi}{3} G \frac{\rho_{vac} m}{2} r, \text{ или } F_{rep} = ma = mH\dot{r} = mH^2 r.$$

То есть, плотность вакуума, нарушающая ПЭ, является модификатором закона Гука-Ньютона.

Отметим: инертная и гравитационная массы близки потому, что связаны с искривлением пространства.

Литература

1. Катанаев М. О. Спецкурс «Общая теория относительности и геометрическая теория дефектов», 2015.
2. Fulton, Thomas; Rohrlich, Fritz. Classical radiation from a uniformly accelerated charge. Annals of Physics. 1960. Vol. 9, no. 4. P. 499-517. [doi:10.1016/0003-4916\(60\)90105-6](https://doi.org/10.1016/0003-4916(60)90105-6).
3. Rohrlich, Fritz. The principle of equivalence. Annals of Physics. 1963. Vol. 22, no. 2. P. 169—191. [doi:10.1016/0003-4916\(63\)90051-4](https://doi.org/10.1016/0003-4916(63)90051-4).
4. Константинов С. Нарушение принципа эквивалентности и границы ОТО Эйнштейна.
5. Florentin, S. (2013) Unsolved Problems in Special and General Relativity. Education Publishing & Journal of Matter Florentin, S. (2013) Unsolved Problems in Special and General Relativity. Education Publishing & Journal of Matter Regularity, Beijing (2013)
6. Чернин А. Д. Космический вакуум. УФН. 2001. Т. 171. С. 1153-1175. DOI: [10.1070/PU2001v044n11ABEH000962](https://doi.org/10.1070/PU2001v044n11ABEH000962)
7. Milgrom M. A modification of the Newtonian dynamics as a possible alternative to the hidden mass hypothesis // Astrophys. J. 270. (1983) P. 365, 371, 384].
8. Глинер Э. Б. Вакуумоподобное состояние среды и фридмановская космология. ДАН. 1970. Т. 192. С. 771-774. Bibcode: [1970DoSSR.192..771G](https://ui.adsabs.org/abs/1970DoSSR.192..771G);
9. Глинер Э. Б. Раздувающаяся Вселенная и вакуумоподобное состояние физической среды. УФН. 2002. Т. 172, №2. С. 221-228. [doi:10.3367/UFNr.0172.200202f.0221](https://doi.org/10.3367/UFNr.0172.200202f.0221).

МОДЕЛЬ АНТИГРАВИТАЦИИ

Введение

Зельдович связывает критическую плотность во Вселенной с плотностью вакуума, космологическая постоянная отождествляется с энергией вакуума квантовых полей [1]. А. Д. Сахаров предполагал, что упругость вакуума способна остановить коллапс Вселенной [2]. Из общих соображений кажется очевидным, что вакуум Эйнштейна-Глинера имеет не макроскопическую, но квантовополевую природу. Обзор достижений в формулировании квантовой гравитации изложен в [3], однако не раскрыт вопрос о

квантовом источнике антигравитации. По версии Глинера разбегание галактик вызвано антигравитацией, которая порождается отрицательной плотностью вакуума [4].

Разбегание галактик представляют как увеличение масштаба линейки, для модели хаотической инфляции это может объяснить ее следствие, что за 10^{-35} сек. размер Вселенной увеличилась от планковской длины 10^{-33} см до $10^{10^{12}}$ см, что на много порядков превышает размер современной Вселенной, то есть, со скоростью, на много порядков больше скорости света.

Полагают также, что Вселенная и в текущее для наблюдателя на Земле время за пределами видимости расширяется со скоростью, большей скорости света. 1) Данная версия расширения Вселенной не коррелирует с моделью Глинера. 2) Увеличение масштаба не может приводит к увеличению размера, поскольку с увеличением масштаба увеличивается и эталон длины, расстояния, измеренные увеличенным эталоном длины, не изменяются. 3) критическая плотность, определяющая расширение или сжатие Вселенной, определяется исключительно из классической динамики. Сближение, туманности Андромеды и Млечного пути противоречит представлению об изменении масштаба.

«Сила» Хаббла»

Связь критической плотности и постоянной Хаббла $H = (8\pi G\rho_c / 3)^{1/2}$ выводится из классического равенства кинетической энергии галактики и потенциальной энергии гравитации,

$v^2 = 2GM / R = 8\pi G\rho R^2 / 3 = H^2 R^2$. В таком случае сила гравитационного отталкивания в 8 раз отличается от гравитационного притяжения: $F = 8GMm / R^2$. Но в ОТО нет классического закона сохранения энергии, поэтому нет никаких ограничений, чтобы для определения состояния с не увеличивающейся скоростью использовать условие равновесия отталкивающей силы и силы ускоряющей. Тогда исчезает множитель 8, ускорение, придаваемое антигравитацией, запишется в виде

$$a = GM / R^2$$

То есть, антигравитация становится тождественной гравитации, закон Глинера – закону Ньютона, масса – классическому вакууму. При этом критическая плотность увеличивается в 8 раз.

Возникает вопрос о квантово-полевым обосновании «силы Хаббла» $f = mH^2 r$.

Отрицательная плотность вакуума

Плотность энергии Казимира для скалярных, спинорных, электромагнитных полей $\varepsilon \propto k / r$ (k – коэффициент пропорциональности, зависит от размерности пространства и геометрии) [5].

В эпоху Λ -доминирования для полей, плотность энергии Казимира которых уменьшается обратно пропорционально радиусу, эта плотность на 17-18 порядков меньше плотности космологического вакуума. Следовательно, эти поля не могут претендовать на роль космологического вакуума как источника антигравитации. Рассмотрим поля Хиггса, Линде и Янга-Миллса.

Лагранжиан минимальной модели Хиггса - $L = T - U, U = -m^2\varphi^+\varphi + \lambda(\varphi^+\varphi)^2$, T – кинетическая энергия, квадратичный член в потенциале описывает самодействие. Рассмотрим лагранжиан

$$L_{\text{Higgs}} = D_\mu\varphi^+ D^\mu\varphi / 2 + m^2\varphi^+\varphi / 2 - \lambda(\varphi^+\varphi)^2 / 4;$$

$D_\mu = \partial_\mu - igT_a A_\mu^a$ - инвариантная производная, где T_a — генератор калибровочной группы, A_μ^a -

калибровочные поля, которые должны создавать через хиггсовский механизм массу. В основном состоянии поля возникает конденсат, вакуумное среднее.

Пусть $D \rightarrow \partial$. При $m^2 > 0$ лагранжиан соответствует скалярному полю массы m . Вакуумное среднее такого поля $\langle\varphi\rangle = 0$. При $m^2 < 0$ у потенциала – два минимума, $\langle\varphi\rangle = \pm m / \sqrt{\lambda} = \pm u$, экстремум $\varphi = 0$ не соответствует минимуму потенциала. Разложим величину поля вблизи минимума по малым возмущениям, квантовым флуктуациям: $\varphi = u + v$. Тогда лагранжиан флуктуаций будет иметь вид:

$$L_{\text{fluct}} = (\partial_\mu v)^2 / 2 - \lambda u^2 v^2 - \lambda u v^3 - \lambda v^4 / 4 + \text{const}.$$

Отождествляя слагаемые в полученном лагранжиане и лагранжиане для линейного уравнения Клейна-

Гордона-Фока (КГФ) $L_{\text{KG}} = \frac{1}{2}(\partial_\mu y)^2 - \frac{1}{2}m^2 y^2$, получим: массу хиггсовской частицы $m_v = \sqrt{2\lambda}u = \sqrt{2}m$.

То же – при оставлении в потенциале первых двух членов $U = m^2 \varphi^+ \varphi + \lambda (\varphi^+ \varphi)^2$ для слабого $SU(2)$ -дублета: $\varphi^* = (\varphi_1 + i\varphi_1'; \varphi_2 + i\varphi_2') / \sqrt{2}$ с тем же значением для массы [6]. При $m^2 > 0$ решение уравнения КГФ имеет вид суперпозиции плоских волн: $\varphi \propto e^{i(\vec{k}\vec{r} - \omega t)}$ и $\langle E^2 \rangle = m^2 + \langle p^2 \rangle$.

Уравнение движения маятника со 2-м и 3-м порядком нелинейности дает ангармонические колебания [7]. Решение нелинейного уравнения Клейна-Гордона-Фока (КГФ) с 3-м и 5-м порядками нелинейности имеет вид стационарного солитона [8]. Уравнение из лагранжиана с $m^2 > 0$ имеет вид:

$$\partial_\mu \partial^\mu \varphi + \omega_0^2 \varphi + \lambda \varphi^3 / 2 = 0 \quad (1)$$

Решение данного уравнения тоже имеет вид солитона - при параметре при 5-й степени в [12] равно нулю и при сведении нелинейности к пространственной части: $\varphi^3 \rightarrow |\varphi^2| \varphi$. Если $m^2 < 0$, амплитуда поля становится мнимой, энергия поля – отрицательная.

Можно показать, что стационарные решения уравнения (1) неустойчиво относительно плоских продольных флуктуаций и трехмерных поперечных длинноволновых флуктуаций. С другой стороны, если масса велика, а константа самодействия мала, мнимость массы приводит к тахионному решению, соответственно, если выбрать из решений $\exp[\pm(i\omega t)]$ физически осмысленные, то к затуханию поля. Так или иначе, хотя вакуумное среднее поля Хиггса не зависит от координаты, оно больше нуля. Поэтому вакуум поля Хиггса не может служить источником антигравитации.

Простейшее уравнение скалярного поля в модели Албрехта, Стейнхардта, Линде имеет вид:

$$H = \frac{\dot{a}}{a} = \sqrt{\frac{2\pi G}{3}} m \varphi, \quad \ddot{\varphi} + 3H\dot{\varphi} + m^2 \varphi = 0$$

Решение уравнения зависит не только от того, насколько велика постоянная Хаббла, но и какова масса поля. Выпишем уравнение для колебаний с трением

$$\ddot{\varphi} + 2\delta\dot{\varphi} + \omega_0^2 \varphi = 0$$

При большом трении $\delta > \omega_0$ колебания отсутствуют: $\varphi = e^{-\delta t} (Ae^{\omega_0 t} + Be^{-\omega_0 t})$. Следовательно, при большой постоянной Хаббла скалярное поле порождать частицы не может. Амплитуда поля быстро снижается к нулю, поле перестает играть роль.

Колебательный режим возможен только тогда, когда трение, наоборот, мало: $\omega_0 > \delta$, тогда

$$\varphi \propto e^{-\delta t} \cos(\omega t + \varphi_0), \quad \omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$$

Но в таком случае спектр поля ограничивается одной частотой (одной частицей).

Реалистические модели элементарных частиц предполагают много сортов скалярных полей. Например, в объединённых теориях слабого, сильного и электромагнитного взаимодействий существует, по крайней мере, два других скалярных поля. В таком случае – две, три частицы.

Если постоянна Хаббла начала уменьшаться, она должна была пройти критическую точку, при $\omega_0 = \delta$ - критическое затухание: $\varphi = e^{-\delta t} (A + Bt)$. В этой точке поле тоже затухает и не может перейти в колебательный режим. В первом случае квадрат собственной частоты может быть отрицательным, как в лагранжиане Хиггса, тогда режим тоже будет колебательным.

Если же и трение отрицательно, то решение определяется характеристическим уравнением, подобным уравнению Фидия, оно совпадает со случаем большого трения, с нарастающей и затухающей частями.

Отметим, что вещество с уравнением состояния $p = -\rho$ является неустойчивым относительно малых возмущений. Квадрат скорости звука в нем отрицателен, поэтому малые возмущения, описываемая экспонентой с мнимым декрементом, либо растут по экспоненте, либо затухают по экспоненте.

Растущие возмущения разрушают вещество с отрицательным давлением и прекращают инфляцию.

Если же и трение отрицательно, то решение определяется характеристическим уравнением, подобным уравнению Фидия, оно совпадает со случаем большого трения, с нарастающей и затухающей частями [там же]. Энергия Казимира данного скалярного поля тоже спадает с радиусом.

Аналогично не подходят скалярные поля с трением [9], где частота ω_n выражается через квадрат

полинома Эрмита H_n^2 , и, поскольку $\int_{-\infty}^{\infty} H_n(x) H_m(x) e^{-x^2/2} dx = \sqrt{2\pi} n! \delta_{nm}$, сумма частот расходится.

Нелинейные уравнения Янга-Миллса на больших расстояниях дают силу, не зависящую от расстояния (потенциал пропорционален расстоянию).

В [10] показано, что киральный предельный вакуумный кварковый конденсат качественно эквивалентен псевдоскалярной постоянной лептонного распада мезона в том смысле, что они оба получены как киральное предельное значение четко определенных калибровочно-инвариантных амплитуд перехода адрон-вакуум. Однако потенциал сильного взаимодействия $V_s = -a/r + br$ не является потенциалом вакуума глюонного поля, глюонный и кварковый конденсаты так же не могут играть роль космологического вакуума.

Антигравитационный потенциал

В перечисленных выше уравнениях для поляризации вакуума различных полей решена задача Дирихле, но во Вселенной нет границ. Кривизна Вселенной положительна $K < 2/R \approx 10^{-26} \text{ м}^{-1}$ и убывает обратно пропорционально радиусу Вселенной R . Данные, полученные в 2018 году обсерваторией «Planck», показывают, что Вселенная замкнута [11]. Однако периодические граничные условия Борна-Кармана $\psi(\vec{r} + n_i \vec{a}_i) = \psi(\vec{r})$ наложить невозможно, т.к. что данные условия могут быть наложены лишь для стационарной Вселенной. Невозможно также сформулировать и задачу Коши. Следовательно, поскольку в эпоху Λ -доминирования постоянная Хаббла и плотность вакуума постоянны, единственным возможным ограничением на решения уравнений КТП является постоянство плотности космологического вакуума. Выпишем в общем виде условие совместимости антигравитации и КТП:

$$\langle 0|T|0 \rangle_{reg} = \frac{1}{2} \left[\sum_0^\infty (\partial_\mu \varphi_n^- \partial^\mu \varphi_n^+ + \partial_\mu \varphi_n^- \partial^\mu \varphi_n^+ + \beta(r) \varphi_n^- \varphi_n^+) \right]_{reg} = \text{const}(r, R) < 0 \quad (2)$$

где φ - скалярное поле, R – радиус Вселенной, появляющийся вследствие нормировки $i \int_0^R \varphi_n^* \partial_t \varphi_n dx = 1$, β - функция, характеризующая антигравитацию.

Запишем потенциал вакуума в объеме Вселенной в виде:

$$V = \hbar c \sum_i \frac{k_i}{r} - \frac{1}{2} H_0^2 r^2 \quad (3)$$

где H_0 – постоянная Хаббла, суммирование производится по всем типам полей. Второй член в правой части (3) соответствует уравнениям Фридмана, первый – обобщенный потенциал в эффекте Казимира, где константы k характеризуют тип поля. Специфика данного потенциала в том, что он не описывается уравнением Пуассона $\nabla^2 V \neq -4\pi\rho$, где ρ - плотность поля, в виду того, что в него входит энергия Казимира, во-вторых, нет точечного «заряда», для которого бы $V \propto m/r$, и масса вакуума растет с радиусом. То есть, плотность вакуума содержится в H_0 и она является не зависящим от радиуса вакуумным средним некоего поля.

Допустим, что весь потенциал есть вакуумное среднее. Сконструируем скалярное поле, порождающее второй член в правой части (3) таким образом, чтобы его потенциал был бы пропорционален простейшим образом вакуумному среднему, введем $H = qH_0$, где $q = \text{const}$.

Поскольку мы рассматриваем большие расстояния, первый член в (3) можно опустить. Тогда уравнение КГФ для нового скалярного поля запишется по аналогии с уравнением КГФ с внешним полем:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} + (m^2 - H^2 r) \varphi = 0$$

Плотность вакуума уже заключена в H , поэтому член с m^2 – лишний:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} - H^2 r \varphi = 0 \quad (4)$$

Данное уравнение – уравнение с источником, источник – внешний потенциал, его физический смысл – возникновение дополнительной массы вакуума с расширением Вселенной.

Отметим, что уравнение не является релятивистски инвариантным.

Чтобы найти нерелятивистские решения (4) рассмотрим уравнение колебаний поля с массой, растущей прямо пропорционально объему:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} - \alpha \rho^2 r^6 \varphi = 0, \text{ где } \alpha = \frac{16}{9} \pi^2,$$

то есть, данный член играет роль отрицательной жесткости.

Выделим класс решений, в которых $\varphi = g(t)v(r)$ (задача Гурса, [12, с. 172]), $g \propto \exp(\delta t)$.

Тогда $v'' - (\alpha r^6 + \delta^2)v = 0$, решение имеет вид полинома: $v = c_1 r(\frac{\alpha}{72} r^8 + 1) + c_2(\frac{\alpha}{56} r^8 + \frac{\delta^2}{2} r^2 + 1)$.

Выделим класс решений (4) $\varphi = f(t)u(r)$. В рамках идеологии классической механики система двух тел описывается с помощью силы тяготения и силы отталкивания Хаббла, однако в виду того, что сила Хаббла с расстоянием растет, и сила тяготения падает, колебательный режим не наступает. Кроме того, «жесткость» расталкивающей «пружины» отрицательна. Поэтому вместо гармонических функций – экспоненциальное затухание или нарастание: $f \propto e^{\delta t}$, в зависимости от знака δ . Тогда

$u'' - (H^2 r + \delta^2)u = 0$. Данное уравнение является уравнением Риккати и имеет решение

$u = c_1 Ai(\frac{H^2 r - \delta^2}{H^{4/3}}) + c_2 Bi(\frac{H^2 r - \delta^2}{H^{4/3}})$, где Ai – функция Эйри, Bi – функции, – отличающаяся по фазе на $\pi/2$ от Ai -функции Эйри, описывающие почти синусоиду с увеличивающейся амплитудой и понижающейся частотой. При $x \rightarrow \infty$ функция Ai монотонно убывает по экспоненте, Bi при $x \rightarrow \infty$ монотонно растет по экспоненте.

Таким образом, полное решение записывается в виде: $\varphi = (c_1 Ai + c_2 Bi)(c_3 e^{\delta t} + c_4 e^{-\delta t} + c_5)$. Данное решение не может соответствовать квантовому полю, оно не порождает частицы и не имеет основного состояния. Другим классом решений (4) являются гармонические осцилляции $f \propto e^{i\omega t}$, в таком случае

решение тоже включает функции Эйри и выражается аналогично: $\varphi = (c_1 Ai + c_2 Bi)(c_3 e^{i\omega t} + c_4)$.

Поскольку на больших расстояниях поле не может спадать по экспоненте, то $c_1 = 0$,

$$\varphi = c_2 Bi(\frac{\delta^2 + H^2 r}{H^{4/3}})(c_3 e^{i\omega t} + c_4)$$

Плотность данного скалярного поля при небольших радиусах неоднородна и периодична, на больших расстояниях растет экспоненциально. Поскольку $Bi(x) = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty [\exp(xt - t^3/3) + \sin(xt + t^3/3)] dt$,

интегрирование по частям показывает, что $Bi(\omega, r) \propto \exp(H^{2/3} r) / r$.

Таким образом, потенциал вакуума, появляющийся в уравнениях Фридмана, в модели антигравитации не удовлетворяет условию (2).

В замкнутом объеме вакуумное среднее полей убывает с ростом объема. Масса космологического вакуума, наоборот, растет пропорционально объему Вселенной. В таком случае должна снижаться частота колебаний поля, порождающего космологический вакуум. Этого не происходит, если скалярное поле, ротор которого и спин равны нулю, неким образом содержит вращательную степень свободы. Уравнение скалярного поля описывает колебания одномерной струны. Вращающейся струне соответствует лагранжиан

$$L = \frac{1}{2} \int_0^l [(\frac{\partial y}{\partial t})^2 - \omega^2 (x^2 - l^2) (\frac{\partial y}{\partial x})^2] dx$$

Откуда уравнение колебаний вращающейся струны:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \frac{W^2}{2} \frac{\partial}{\partial x} [(x^2 - l^2) \frac{\partial y}{\partial x}] = 0$$

где W – частота вращения, l – длина струны. Пространственная часть решения представляет собой полиномы Лежандра, временная часть – гармоническое осцилляции. Частота колебаний n -ной моды

$$\omega_n = [(2n-1)n]^{1/2} W$$

Т.е. частоты колебаний поля пропорциональны частоте вращения, но не зависят от длины (радиуса Вселенной). При увеличении длины увеличивается натяжение, повышающее частоту, таким образом, суммарно частота остается неизменной.

Можно предположить, что искомое уравнение для скалярного поля имеет вид

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} + qH^2 \frac{\partial}{\partial r} [(r^2 - R^2) \frac{\partial \varphi}{\partial r}] = 0 \quad (5)$$

где $q = \text{const}$. Таким образом, член с $qH^2 r$ может соответствовать «силе Хаббла». Таким образом, космологический вакуум можно представить как континуум, вращающихся струн.

Уравнение (5) будет уравнением скалярного поля, если время – мнимое, что соответствует мнимой массе. Нарушения причинности не происходит, т.к. тахионное поле нестабильно. Однако, несмотря на нестабильность, возле максимума потенциала поле приобретает неотрицательную массу и становится стабильным возле минимума потенциала, конденсат скалярного поля чисто мнимой массы – стабилен. Конденсация тахионов приводит физическую систему в стабильное состояние, где не присутствуют физические тахионы. Кроме того, спонтанное нарушение симметрии $SU(2) \times U(1)$ с помощью механизма Хиггса может быть представлено как тахионная конденсация.

Как уже отмечалось выше, уравнение Дирака также имеет тахионные решения, волновая функция преобразуется с помощью гамма-матрицы: $\psi \rightarrow \gamma^2 \psi$. Кроме этого, уравнение содержит решения для частиц с отрицательными массами. Преобразование волновой функции частицы в волновую функцию античастицы осуществляется с помощью зарядового сопряжения и гамма-матрицы: $\psi \rightarrow C\gamma^0 \psi$.

Перевод античастицы в частицу с отрицательной массой – с помощью γ^1 , соответственно, частицы в частицу с отрицательной массой – с помощью матрицы $\gamma^1 C\gamma^0$.

В продолжение гипотезы Терлецкого о позитонах и негатонах введем оператор M [13], который переводит частицу в тахион, гравитационную массу в антигравитационную:

$$M\Psi(m_g) = \Psi(im_g); M^2\Psi(-m_g) \quad (1)$$

M – точечная циклическая группа, изоморфная C_4 , ее можно представить как сочетание поворотов в изопространстве группы C_2 с группой зеркальных отражений в двух плоскостях симметрии. Возникает четверная группа Клейна C_{2v} , имеющая 4 класса, соответственно, 4 неприводимых представления, которые одномерны, соответственно, энергетические состояния не могут быть вырожденными. Группа M не является калибровочной, но может быть встроена в симметрию $CPT \rightarrow CPTM$. В уравнении для гармонического осциллятора замена знака массы соответствует замене знака энергии, поэтому вопроса о вакууме полей с отрицательной массой не возникает.

Поскольку нарушение CPT -симметрии есть нарушение Лоренц-инвариантности, то нарушение Лоренц-инвариантности в искривленном пространстве может быть представлено как симметрия.

Заключение

- 1) Проблема космологической постоянной возникает вследствие некорректного определения и не требует переоценки в моделях суперсимметричных мембран или гипотезы квинтэссенции с убыванием энергии квантового вакуума с увеличением радиуса Вселенной.
- 2) Если существует мнимое скалярное поле, содержащее вращательную степень свободы, оно может связать гипотезу антигравитации и КТП. Пока известна лишь одна скалярная частица, кроме связанных кварк-антикварковых состояний – бозон Хиггса.

Литература

1. Зельдович Я. Б. Теория вакуума, быть может, решает загадку космологии. УФН. 1981. Т. 133. С. 479-503.
2. Сахаров А.Д. Вакуумные квантовые флуктуации в искривленном пространстве и теория гравитации // ДАН СССР. 1967. Т. 117 (1). С. 70-71.
3. Фильченков М.Л., Лаптев Ю.П. Квантовая гравитация. М.: URSS, 2020. 304 с.
4. Глинер Э. Б. Вакуумоподобное состояние среды и фридмановская космология // ДАН СССР. 1970. № 192(4). С. 771-774.
5. Мостепаненко В. М., Трунов Н. Я. Эффект Казимира и его приложения // УФН. 1988. Т. 156. Вып. 3. С. 385-426.
6. Хелзен Ф., Мартин А. Кварки и лептоны. Новокузнецк, ИО НКФМИ. 2000. 452 с.
7. Ландау Л. Д., Лившиц Е. М. Курс теоретической физики. М.: Физматлит, 1972. Т. 1. С. 111.

8. Жестков С. В., Романенко А. А. Построение и анализ двумерных и трехмерных солитонов уравнения КГ со степенной и насыщающейся нелинейностью // Вестник белорусско-российского ун-та. 2008. №2(19). С. 88-97.
9. Манько В. И., Сафонов С. С. Классическое представление для квантового осциллятора с трением: сравнение моделей с гамильтонианом и с кинетическим уравнением // ТМФ. 1998. №5. С. 25-32.
10. S. J. Brodsky, C. D. Roberts, R. Shrock and P. C. Tandy. [Essence of the vacuum quark condensate](#). Phys. Rev. C82 (2010) 022201 [arXiv:1005.4610]. DOI [10.1103/PhysRevC.82.022201](#)
11. Valentino, Di E., Melchiorri A., Silk J. (2020). Planck evidence for a closed Universe and a possible crisis for cosmology // Nature Astronomy. vol. 4, pp. 196–203. DOI [10.1038/s41550-019-0906-9](#)
12. Бицадзе А. В. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1982. 336 с.
13. Ikhlov B. L. Violation of Lorentz invariance as a symmetry // Proceedings of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”. Part 1. August 4, 2021. Beijing, PRC. P. 147-157. DOI 10.34660/INF.2021.13.42.021

ЖИЗНЬ ВО ВСЕЛЕННОЙ. ОБЗОР

Введение

Тема выживания человечества может рассматриваться как чисто теоретическая, в то же время – как современная практическая. А именно: кроме катастроф, которые неизбежно случатся в отдаленном будущем вследствие астрофизических процессов, существует проблема океанических течений, изменения климата, извержения вулканов, тектонических сдвигов, истощения энергоресурсов.

Ближайшие угрозы

Каждую секунду в Солнце выгорает в ядерной реакции свыше 600 млн т водорода, образуется гелий. Водорода хватит на 5 млрд. лет, за это время практически ничего не изменится. Через 10 млрд. лет светимость Солнца будет вдвое выше. Через 13 млрд. лет Солнце станет примерно в 100 раз больше, а его светимость увеличится в 2000 раз. Хотя температура поверхности Солнца понизится с 5800 градусов до 4000, на Земле океаны уже испарятся, а свинец будет плавиться. Гелий будет превращаться в более тяжелые элементы, Солнце пройдет стадию сжатия и сокращения, потом станет размером с Землю и превратится в белый карлик.

Но гораздо раньше, через 7,5 млрд. лет, Солнце станет красным гигантом, расширится до пересечения с орбитой Земли или немного не дойдет до ее орбиты, и жизнь на Земле станет невозможной.

Примерно через 5 млрд. лет радиус лунной орбиты достигнет максимального значения — 463 тыс. км, а продолжительность земных суток увеличится до 870 часов. Солнечные приливы будут продолжать тормозить Землю. Но теперь уже Луна будет опережать вращение Земли, и приливное трение начнет тормозить ее движение. В результате Луна станет приближаться к Земле, правда очень медленно, так как сила солнечных приливов невелика. 870 часов или чуть более 18 сегодняшних суток под Солнцем и столько же времени без Солнца. Полярная ночь длится дольше, на Южном полюсе – чуть менее 6 месяцев. При медленных изменениях живые организмы могли бы успеть приспособиться. Но не всё так просто.

У всех организмов есть предел приспособляемости. Хотя этот предел весьма высок. Если клетки простейших травить, скажем, мышьяком, они приспособляются – встраивают мышьяк в свою ДНК. Есть бактерии, которые дышат мышьяком. При зарождении жизни на Земле бактерии дышали метаном. Сине-зеленые водоросли могут жить даже в ядерном реакторе, прочие организмы на такое неспособны. Другие бактерии-экстремофилы способны жить и в космосе. Приспособляемость – такая сила, что нет гарантий признать в обитателях других планет не то, что разумных – вообще живых существ. По мере изменения температуры некоторые виды будут постепенно вымирать, другие – мутировать. Какие-то организмы приспособляются быстрее, какие-то медленнее. Первыми мутируют, приспособятся вирусы, болезнетворные бактерии. Следовательно, часть человечества или всё человечество неминуемо погибнет.

В ряде катастроф неминуемо погибнет, во всяком случае, разумная жизнь. Результат столкновения галактик зависит и от геометрии соударения и скорости. При скорости 200 км/сек системы чаще происходит мерджинг, при 600 км/сек галактики проходят друг сквозь друга, при 1000 км/сек галактики распадаются.

Туманность Андромеды вместе со своими карликовыми галактиками-спутниками летит к нам навстречу со скоростью 300 км/сек.

10 млрд. лет назад две галактики уже сталкивались. Следующее столкновение – через 4 млрд. лет, после которого, как прогнозируют астрономы, галактики сольются.

При анализе движения Млечного Пути и туманности Андромеды также используют математическое моделирование, учитывающее все составные части галактик. Однако ценность их под сомнением.

Так, размеры диска Млечного пути могут оказаться на 50% больше [10]. Китайские ученые из Государственной обсерватории с помощью самого крупного спектрографа LAMOST в мире выяснили, что Млечный путь шире на 26%. Оказывается, наша галактика имеет протяженность 38 кПк, а не 30 кПк, как считалось ранее. Китайские астрономы утверждают, что окончательно установить величину Млечного пути не представляется возможным [6].

Между тем даже грубые модели могут дать интересную информацию.

Первоначальный закон Слайфера-Хаббла, связывающий скорость удаления галактики с величиной удаления имеет вид:

$$v = H_0 r$$

Используем нерелятивистский закон тяготения Гука-Ньютона:

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

где m_1 и m_2 – массы двух галактик. Получаем общий вид уравнения движения туманности Андромеды в приближении Tree Code:

$$r^2 \ddot{r} - H_0 r^2 \dot{r} - \beta m_2 = 0 \quad (1)$$

где $\beta = \gamma m_1 / H_0$, t – время, c – константа, m_1 – масса нашей галактики, m_2 – масса туманности Андромеды.

Видим, что закон Слайфера-Хаббла автоматически приводит к своего рода постньютоновскому приближению:

$$\ddot{x}^i = -\Gamma_{00}^i - 2\Gamma_{0j}^i \dot{x}^j$$

где x – координата, Γ_{jk}^i – символы Кристоффеля.

Решение уравнения (1) не выражается в аналитических функциях и в сильной степени зависит от начальных условий. При сближении при начальной нулевой скорости расстояние между галактиками уменьшается по параболическому закону с малым коэффициентом, т.е. кривая близка к прямой, что соответствует наблюдаемым данным.

$$r = r_0 - at^2; \quad a > 0 \quad (2)$$

При разлете в ряде решений расстояние между галактиками увеличивается линейно.

Радиус, на котором устанавливается равенство «силы» отталкивания и силы притяжения

$$r = (3\beta t + c)^{1/3} \quad (3)$$

где c – константа интегрирования. То есть, расстояние, на котором может оказаться галактика типа сближающейся с нашей галактикой туманности Андромеды, медленно растет, медленнее, чем происходит разбегание галактик. Таким образом, вероятность космических катаклизмов такого масштаба падает. Эволюция галактик, связанная с их столкновениями, становится всё менее актуальной, уступая место их эволюции, связанной с эволюцией их звезд. Одновременно увеличивается вероятность стягивания внутригалактического материала к одной точке (точнее, к темному гало).

Для близких расстояний динамика системы описывается решениями элементарной задачи двух тел: в зависимости от сочетания параметров, траектория одной галактики вокруг другой – парабола, гипербола или эллипс.

Что касается Млечного пути и туманности Андромеды, столкновение галактик неизбежно. Перед этим Млечный Путь поглотит Большое и Малое Магеллановы облака. Утверждается, что при слиянии галактик непосредственных столкновений Земли с другими планетами или звездами может и не случиться – вследствие огромных расстояний между звездными системами. Вероятность вылета из диска Млечного Пути во время первого этапа столкновения сегодня оценивается в 12%, а вероятность захвата туманностью в 3%. Однако резко возрастет вероятность столкновения с астероидами, кроме того, жизнь могут уничтожить высокие напряженности магнитных полей.

Но человечество не доживет до момента столкновения галактик.

Через 1-3 млрд. лет непрерывное увеличение солнечного излучения, вызванное накоплением гелия в ядре Солнца, приведёт к исчезновению океанов. Через 4 млрд. лет увеличение температуры у поверхности Земли станет причиной стремительного парникового эффекта. К тому времени большая часть жизни (если не вся) на поверхности Земли погибнет.

Еще раньше, через 1 млрд. лет, остынет ядро Земли. Например, когда на Марсе началось остывание магмы и металлического ядра, это привело к снижению напряженности магнитного поля, следовательно, к увеличению потока солнечной радиации, наконец, Марс потерял магнитное поле, и солнечный ветер унес атмосферу планеты. Пока температура ядра Земли $T = 6200^\circ \pm 500^\circ$.

Однако еще ранее человечеству, возможно, придется столкнуться с тем, что продолжающийся суперконтинентальный цикл тектоники плит, вероятно, приведёт к образованию суперконтинента через 250—350 млн лет. Прецессия и нутация оси вращения Земли усилятся. В течение следующих 1,5-4,5 млрд. лет наклон оси вращения Земли может начать испытывать хаотические изменения с отклонением вплоть до 90° .

Стивен Хокинг считает, что человечество обречено на гибель, если в ближайшие 1000 лет не покинет Землю. Однако за такой большой срок на Землю может ворваться масса крупных метеоритов, каждый из которых сможет уничтожить жизнь на Земле, может остановиться Гольфстрим, начнется извержение Йеллоустоуна и т.д.

Некоторые источники сообщают, что нефти на планете хватит на 40 лет, газа – на 60 лет. Допустим, что все шире будут использовать АЭС, переведут боеголовки на электричество, применяют альтернативные источники, ветряные генераторы, солнечные элементы, водо-водородные двигатели и т.д. Но. Производство и потребление энергии на планете, объясняет Алексей Бялко, растет темпами, превышающими прирост населения. С середины XIX в. оно удваивалось каждые 50 лет, а после 2-й мировой войны – каждые 15-20 лет. То есть, при запасах урана на несколько столетий время удвоенного роста – всего 200 лет. Потому что тогда расход энергии в единицу времени составит 5% от тепловой мощности Солнца, попадающей на Землю. Это абсолютный верхний предел земной энергетики. При этом средняя температура земной поверхности возрастет на 3 градуса, и тропические леса Земли станут непригодными для жизни.

Это означает, что наращивание и усовершенствование вооружений должны быть свернуты в ближайшие 50 лет.

Возможность выживания

Для анализа возможностей выживания естественно сначала рассмотреть экзопланеты, т.е. сходные с Землей. Здесь возникает проблемы связи с внеземными цивилизациями.

В 1971 г. NASA выделила 10 млрд. долл. на программу SETI. В 1995 г. Институт SETI получил 5 млн долл. Университет Калифорнии в Беркли в 1999 г. реализовал проект SETI@home. Идея - привлечь к работе миллионы владельцев персональных компьютеров, чьи машины большую часть времени просто бездействуют. Те, кто участвует в проекте, скачивают из Интернета и устанавливают на своем компьютере пакет программ, которые работают в режиме скринсейвера. Эти программы участвуют в расшифровке сигналов, принятых радиотелескопом. К 2017 году к проекту присоединились 5 млн пользователей более чем в 200 странах мира; вместе они потратили электричества больше чем 1 млрд. долл.

Программа по поиску звезд с планетарными системами, где могла бы существовать жизнь, проводится в Специальной астрофизической обсерватории РАН на Северном Кавказе с помощью 6-метрового

рефлектора БТА. Разработан специальный комплекс аппаратуры «МАНИЯ», позволяющий обнаруживать сверхбыстрые, до 10^{-7} с, вариации светового потока и сверхузкие, до 10^{-6} А°, эмиссионные линии. Поиск сигналов ведётся одновременно с изучением нейтронных звёзд, поиском чёрных дыр и пр.

На радиотелескопе РАТАН-600 проводятся наблюдения близких солнцеподобных звезд. Крупная программа ведётся в Огайском университете США. Наблюдения начались в декабре 1973 года и ведутся до сих пор.

Крупный проект МЕТА/ВЕТА ведётся Гарвардским Университетом совместно с Планетным обществом. Цель программы - обнаружение узкополосных сигналов от гипотетических космических маяков, установленных сверхцивилизациями. Наблюдения проходят на частоте радиолинии водорода 1420 МГц и на удвоенной частоте 2840 МГц с помощью 26-метровой антенны Гарвардского Университета в режиме прохождения.

Осуществляются также проекты «Феникс», в которой Целевой поиск велся в диапазоне 1000-3000 МГц, особое внимание уделялось т.н. водородному окну (1,4 ГГц), «SERENDIP-IV», проводится поиск лазерных сигналов в инфракрасном диапазоне и т.д.

Для анализа нам понадобится имеющаяся в популярных изданиях формула Дрейка, определяющая число возможных контактов с внеземными цивилизациями:

$$N = R \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot L$$

где N - количество разумных цивилизаций, готовых вступить в контакт; R - количество звёзд, образующихся в год в нашей галактике = 7; f_p - доля звёзд, обладающих планетами; Дрейк оценил этот фактор в 0,5, но это сильно занижено; n_e - среднее количество планет (и спутников) с подходящими условиями для зарождения цивилизации > 0,014 (из того, что на данный момент известно более 3600 экзопланет, из которых 52 потенциально обитаемы); f_l - вероятность зарождения жизни на планете с подходящими условиями.

В подходящие условия входит температура на планете и наличие химических элементов, необходимых для биосинтеза. Температура на поверхности планеты должна колебаться в пределах от 0 до 100 градусов по Цельсию, она зависит от радиуса орбиты, таким образом, вокруг звезд выделяют «зону жизни». По расчетам Су-Шу Хуанга для обитаемых планет наиболее подходят звёзды главной последовательности спектральных классов от F5 до K5, из которых выбираются лишь звёзды второго поколения, богатые углеродом, кислородом, азотом, серой, фосфором. Также масса планеты должна быть достаточно большой, чтобы удерживать атмосферу, и т.д.

В 2002 г. Чарльз Лайнвивер и Тамара Дэвис оценили f_l как > 0.13 для планет с более чем миллиардом лет истории на основе Земной статистики. Лайнвивер также определил, что около 10% звёзд в галактике пригодны для жизни с точки зрения наличия тяжёлых элементов, удаления от сверхновых и достаточно стабильных по строению [18].

f_i - вероятность возникновения разумных форм жизни на планете, на которой есть жизнь; оценена Дрейком как 0,01. f_c - отношение количества планет, разумные жители которых способны к контакту и ищут его, к количеству планет, на которых есть разумная жизнь; оценена Дрейком как 0,01. L — время жизни такой цивилизации (то есть время, в течение которого цивилизация существует, способна вступить в контакт и хочет вступить в контакт). Оценка Дрейка - 10 000 лет.

(Альтернативная формула выглядит так:

$$N = N^* \cdot R \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot L / T_g$$

N^* - количество звёзд в нашей галактике; T_g - время жизни нашей галактики. Деление на T_g показывает, что цивилизация-контактер должна существовать одновременно с нашей. При упрощении формула эквивалентна предыдущей).

Итого: $R = 7/\text{год}$, $f_p = 0,5$, $n_e = 0,014$, $f_l = 0,13$, $f_i = 0,01$, $f_c = 0,01$, и $L = 10\,000$ лет

Получаем: $N = 7 \times 0,5 \times 0,014 \times 0,13 \times 0,01 \times 0,01 \times 10\,000 = 0,00637$.

$N \square 1$ означает, что контактеры отсутствуют.

Но, во-первых, чтобы оценить вероятность возникновения жизни, нужно знать, что такое жизнь, и, соответственно, конкретизировать условия возникновения.

Жизнь - активная форма существования органической белково-нуклеиновой материи, высшая по сравнению с её физической и химической формами существования (по мнению Тейяра де Шардена — вообще высшая во Вселенной); совокупность физических и химических процессов, протекающих в

клетке, позволяющих осуществлять обмен веществ и её деление. Приспосабливаясь к окружающей среде, живая клетка формирует всё многообразие живых организмов. Основные атрибуты живой материи — обмен веществ (Опарин), воспроизводимость, генетическая информация, используемая для репликации, эволюция и активность в плане самосохранения как процессов с обратной связью, в высших формах развитая до ощущения, восприятия и мышления в общем смысле слова.

Пока что понятие «жизнь» можно определить только атрибутивно, т.е. перечислением качеств, отличающих её от неживой материи. Как заметил Ф. Крик на Бюраканском симпозиуме по проблеме внеземных цивилизаций в сентябре 1971 года: «Мы не видим пути от первичного бульона до естественного отбора. Можно прийти к выводу, что происхождение жизни - чудо, но это свидетельствует только о нашем незнании».

Живая материя характеризуется: организацией (высокоупорядоченное строение), метаболизмом (получение энергии из окружающей среды и использование её на поддержание и усиление своей упорядоченности), ростом (способность к развитию), адаптацией (адаптированы к своей среде), реакцией на раздражители (активное реагирование на окружающую среду), воспроизводством (все живое размножается); информация, необходимая каждому живому организму, расщепляется в нем, содержится в хромосомах и генах, и передается от каждого индивидуума потомкам. Также можно сказать, что жизнь является характеристикой состояния организма, поскольку, например, вирусы проявляют свойства живой материи только после переноса генетического материала в клетку.

Помимо этого, жизнь невозможно определить вне вида или рода, поскольку эволюционное развитие группы определяет развитие отдельной особи.

Однако этих определений явно недостаточно, необходим прямой эксперимент с рождением жизни, в том числе в том случае, если в основе жизни будет мышьяк, кремний или иные химические элементы. Пока что для определения жизни не с чем сравнивать.

Во-вторых, необходимо оценить вероятность возникновения и развития живой материи в благоприятных- условиях до появления разумных форм жизни. Необходимо знать, что это такое, однако пока существует только атрибутивный подход. Тем не менее, именно эту вероятность нужно принять порядка 10^0 , равной единице, т.е. в 100 раз больше оценки Дрейка – из того предположения, что жизнь возникает закономерно.

Соответственно, долю цивилизаций, способных и желающих установить контакт, тоже нужно принять равной 100%, т.е. фактор равен единице, в 100 раз больше оценки Дрейка.

В-третьих, Дрейк верно оценил вероятность зарождения жизни в благоприятных условиях равной единице. Но, имея в виду т.н. альтернативную биохимию, разнообразие форм жизни, которая может существовать и не на углеродной основе, например, на основе мышьяка или кремния, необходимо принять среднее количество планет (и спутников) с подходящими условиями для зарождения цивилизации больше на порядок, т.е. $n_e > 0,14$. (Хотя планета именно с формой жизни на основе мышьяка или в аммиаке вместо воды или в серной кислоте и даже с зеркально симметричными D-аминокислотами и L-углеводами явно не будет пригодной для жизни.) Множитель f_l тоже нужно принять равным единице.

В-четвертых, Дрейк пожелал рассматривать только скорость рождения новых звезд, соотнеся со временем продолжительности попыток контакта. Почему он отверг уже имеющиеся в наличии звезды – неизвестно. Нельзя исключать и другие галактики. Потому параметр R нужно увеличить хотя бы на порядок.

В-пятых, параметр L явно некорректен. Это время нужно увеличить минимум на порядок. По той причине, что рано или поздно человечеству придется бежать с Земли. Потому попытками не то, что установить контакт, а хотя бы найти подходящую для бегства планету, человечество будет заниматься постоянно.

В то же время нужно оценить, какова вероятность того, что цивилизация (или жизни) сохранится при различных космических катаклизмах типа столкновение с экзопланетой кометы, астероида, другой планеты, смена полюсов планеты и т.д. Например, в 2182 году Земля может столкнуться с астероидом 1999 RQ36, который сблизится с Землей на предельно близкое расстояние.

Если взять за образец Землю, которая близка к окраине галактики, то можно эту вероятность посчитать равной 0,01.

(Отметим также, что парадокс Ферми тоже не имеет смысла, т.к. Ферми не указал, какие именно следы деятельности разумной жизни во Вселенной он пожелал бы увидеть. Вероятность увидеть космический зонд или корабль типа «Пионер» или «Вояджер», не говоря уже о сфере Дайсона, практически равна нулю; максимум – космический лифт, но он не сможет быть различим на фоне планеты.) Итого число контактеров в галактике порядка 10 000.

Отсюда сразу видно, что формула Дрейка на самом деле оценивает не число контактов, которые состоялись или в ближайшее время состоятся, а минимальное число обитаемых планет в галактике. Это число, как мы видим, может быть на 4 порядка больше.

Но формула Дрейка не содержит оценки возможности контакта, т.е. расстояния между экзопланетами, а также энергетическими возможностями на экзопланетах.

Например, при существующем росте потребления энергоресурсов на Земле оно скоро приблизится к критической отметке, так что никаких возможностей для установления контактов не останется.

Теперь начнем уменьшать вероятность контакта.

Во-первых, Солнечная система достаточно удалена от центра диска, потому удалена не только для полета на космическом корабле, но и для радиосвязи.

При движении с ускорением a до середины пути s и торможении на втором отрезке пути внутри ракеты пройдет время [5]:

$$t = \frac{2c}{a} \cosh^{-1}\left(1 + \frac{as}{2c^2}\right)$$

До ближайшей звездной системы, тройной звезды альфа Центавра – 4,3 световых года, или 1,32 парсек. Ограничения по скорости перемещения ракеты связаны не только с теориями относительности, но с возможностями живых организмов. С максимальным ускорением, позволяющим человеку выжить, путь туда и обратно займет 10 лет по земному времени.

Увеличим расстояние до 20 парсек. Тогда к возвращению космонавтов на Земле пройдет 130 лет. Но 460 килопарсек до туманности Андромеды отнимут по земному времени уже 30 млн. лет. Так что контактный радиус для полетов с возвращением не так уж велик по космическим масштабам. Соответственно, уменьшается и возможное количество цивилизаций, которые могут быть нам интересны.

Например, если привязывать форму цивилизации к земной, эксцентриситет орбиты планеты должен быть почти равен нулю, т.е. орбита должна быть почти круговой. Разница между полуосями эллипса, по которому бежит планета вокруг звезды, должна быть намного меньше, чем отклонение оси вращения планеты от оси орбиты. На Земле лето сменяет зиму потому, что ось вращения Земли наклонена по отношению к оси орбиты Земли вокруг Солнца. Нужно представить микроскопический по сравнению с солнечным масштаб отклонения земной оси и отклонения гигантской орбиты Земли от круговой должны быть порядка этого микромасштаба. Иначе перепад температур зимой и летом не позволит образовывать устойчивые молекулярные воспроизводящиеся структуры типа ДНК. А ведь это крайне жесткое требование, оно выбраковывает подавляющее большинство планет, где есть вода и сила тяжести, близкая к земной.

Принято, что денатурация двух цепочек ДНК происходит при 900° , частичное разрушение наступает при 850° . Однако ДНК плавится не при определенной температуре, а в интервале температур, т.к. разные участки молекулы плавятся при разных температурах. Уже в интервале от 65° до 72° наблюдается ряд пиков теплопоглощения, уже в этом интервале ДНК теряет способность к репликации. Белки начинают денатурироваться при $T > 40^\circ$, при той же температуре наблюдаются первые изменения в ДНК. (Есть соблазн добавить облучение УФ на резонансных частотах вблизи 260 нм, т.е. гиперхромный эффект, если ДНК достаточно долго облучать УФ при температуре 85° , она полностью денатурируется. Однако на Земле жизнь возникала в отсутствие атмосферы, под жестким УФ.)

Таким образом, в формулу Дрейка необходимо ввести дополнительный температурный множитель f_t . Данный множитель может снизить число возможных обитаемых планет на несколько порядков. С другой стороны, если учесть, что у бактерий-экстремофилов или у тихоходки разорванные ДНК способны сшиваться без изменений, а также способность белков к ренатурации, можно для начала осторожно оценить этот фактор равным 0,1. Соответственно, число контактеров снижается до 10^3 .

Далее, необходимо, чтобы движение спутников вокруг планеты настолько уравнилось, чтобы ось вращения планеты не переворачивалась слишком часто или чтобы магнитные полюса не менялись местами слишком часто. Также осторожно оценим новый фактор $f_s = 0,1$, и число контактеров снизилось до 10^2 .

Казалось бы, общее количество экзопланет в галактике Млечный Путь в настоящее время оценивается не менее чем в 100 миллиардов. Т.е. планет, вращающихся вокруг других звезд. Из них примерно от 5 до 20 миллиардов, возможно, являются землеподобными.

На 23.4.2015 достоверно было подтверждено существование 1915 экзопланет в 1210 планетных системах. По проекту «Кеплер» на январь 2015 года числилось ещё 4175 надёжных кандидатов, однако для получения ими статуса подтверждённых планет требуется их повторная регистрация с помощью наземных телескопов. Примем цифру, указанную выше – 3600. До ближайшей известной землеподобной планеты Глизе 581 - 20 световых лет = 6,13 парсек = 189,2 трлн. км. Температура там примерно $0^\circ \div 40^\circ\text{C}$, возможно, есть жидкая вода, масса примерно в 5 раз больше земной. При максимальном ускорении, возможном для человека, долететь можно туда за 2 года по времени в ракете (из-за замедления времени при околосветовых скоростях).

Из всех этих планет нужно выбрать те, у которых эксцентриситет примерно равен нулю, иначе звезда сожжет жизнь. А также выбрать те планеты, наклон оси вращения которых к плоскости вращения вокруг звезды должен быть мал, чтобы зима не слишком отличалась от лета.

Во-вторых, любая цивилизация, прежде чем посылать космический корабль, попыталась бы связаться в том информационном диапазоне, который доступен пункту назначения.

В 1960 г. Дрейк с сотрудниками попытались обнаружить космические послания на выделенной для Вселенной волны 21 см, начав прослушивание со стороны ϵ Эридана и τ Кита. Затем были обследованы другие системы. Сигналов обнаружено не было.

В 1974 году из пуэрто-риканской обсерватории Аресибо в направлении шарового звёздного скопления M13, находящегося на расстоянии 25000 световых лет в созвездии Геркулеса, было передано сообщение с длиной волны 12,6 см, содержащее 1679 цифр и длившееся 169 секунд. Оно было составлено Дрейком и Карлом Саганом. В сообщении были отражены атомные числа водорода, углерода, азота, кислорода и фосфора, формулы нуклеотидов ДНК, количество пар нуклеотидов в геноме человека и форма молекулы ДНК, информация о человеке, человечестве и Солнечной системе. Ответ можно будет получить не ранее, чем через 50 тыс. лет.

В период с 24 мая по 1 июля 1999 года из Евпатории осуществлено 4 сеанса передачи информации к четырём звёздам солнечного типа в рамках международного проекта Cosmic Call.

5.1.2012 было объявлено об обнаружении сигнала, который может являться потенциальным кандидатом на радиосигнал внеземного происхождения. Сигнал получен по направлению от экзопланеты KOI 817.

Конечно, можно, не зная язык будущего собеседника, самим направлять послания с использованием начальных обучающих кодов, космического языка Х. Фройдентала, а самим для расшифровки ответов использовать антикриптографию. Но при этом нужно помнить, что ответ на лекцию лектор за время своей жизни может не дождаться - из-за больших расстояний.

Затруднение еще и в том, что безвоздушное пространство Вселенной имеет температуру, отличную от абсолютного нуля, и, в частности, потому является дисперсной системой. Любой закодированный сигнал на Землю или с Земли через пару десятков световых лет может оказаться белым шумом, очищенным от какой-либо цивилизационной информации.

Таким образом, возникает фактор выбора планеты, аналогично $f_v = 0,1$, число контактеров снижается до 10^1 , что на самом деле ни хорошо, ни плохо, но точно совпадает с оценкой [14], полученной из совершенно других аргументов.

Окончательно формула Дрейка принимает вид:

$$N = R \cdot f_v \cdot f_s \cdot f_T \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot L \quad (4)$$

что, как сказано, косвенно подтверждается другими авторами.

Как видим, те факты, что Солнце – звезда третьего поколения с возрастом 4,5 млрд. лет, а продолжительность эволюции жизни на Земле с момента возникновения – 3,7 млрд. лет, что сопоставимо с возрастом вселенной 14,5 млрд. лет, не нашли отражения в формуле (соответственно, и

шкалы Кардашёва – Каутца, хотя, скажем, в юбилейном издании «Наука и техника СССР в 1917—1987а» классификация Кардашёва указана как одно из важнейших достижений советской науки в 1964 г. [8]. Они лишь еще раз ставят под сомнение необходимость отождествлять фактор R с числом рождений новых звезд за год и приравнивать фактор L к 10^5 , как это сделал Дрейк. Альтернативная формула – не учитывает звезды в других галактиках.

Такие выкладки позволяют оценить выживаемость человечества во Вселенной в плане достижимости других планет, пригодных для жизни, или, наоборот, недостижимость Земли, о чем ниже.

Выход за пределы галактики

Часть времени человечество проведет, потребляя ресурсы Земли, Солнца и близлежащих планет. Когда в общественном сознании отложится, что конец неизбежен, а ресурсы всё истощаются, начнется строительство межпланетных кораблей. Сначала - полеты дальше Солнечной системы, затем дальше от галактики, если последнее будет в силах землян.

Это означает, что спасение не будет разовым, а постепенным, сначала одним, двумя, тремя кораблями. За 10^5 лет корабли смогут перевезти менее 5 млрд. человек, с условием, что корабли будет строить вся планета, при современной производительности труда. Конечно, будут отправлены еще наборы ДНК, эмбрионы и т.д.

Возможно, оптический способ связи с внеземными цивилизациями [11] поможет найти обитаемые планеты.

Казалось бы, рано или поздно человечеству придется выйти за пределы хотя бы галактического диска, который имеет размер примерно 30660 парсек. При постоянном отношении силы тяги к массе ракеты равном 20 м/сек^2 это расстояние можно преодолеть примерно за 6 лет по часам внутри ракеты (по часам на Земле – порядка 10^5 лет). Для этого нужно набрать минимум 4-ю космическую скорость, 550 км/сек (1-я космическая – 7,9 км/сек).

Вопрос, хватит ли горючего, возможно, будет решен с реализацией двигателя emDrive.

Установка EmDrive была впервые предложена инженером Роджером Шойером. В 2013-2014 годах двигатель «Cannae Drive» испытывался в лаборатории NASA «Eagleworks» в космическом центре им. Джонсона. Работы проводились под руководством Гарольда Уайта, и в их ходе был получен аномальный результат — тяга величиной около 0,0001 Н [13].

В эксперименте *Eagleworks* в 2016 году также была получена аномальная тяга, ошибки не обнаружены [16].

Правительство КНР с 2010 года финансирует исследования двигателя, а прототипы EmDrive были отправлены для тестирования на низкой околоземной орбите [22].

Очевидно, что «нарушение» закона сохранения импульса в земных условиях не происходит.

Высказываются предположения, что закон нарушается вследствие эффекта Унру (что явно некорректно) или эффекта Казимира. Однако объяснения с эффектом Казимира неудовлетворительны. В 2001 году группой физиков из Bell Laboratories и Lucent Technologies (Г. Чан и др.) был исследован эффект для платины и полусферы. Пластина, положенная на два параллельных тонких пьезоэлектродов, могла наклоняться в обе стороны относительно середины, образуя крутильный маятник с малой амплитудой, а сфера располагалась над одним из крыльев пластины.

Но еще ранее, в 1997 году М. Кардар (Массачусетский технологический институт) предположил, что если две пластины сделать рифлеными, можно заставить силу Казимира действовать вдоль поверхности, пластины будут не притягиваться, а смещаться. Эксперимент, выполненный в лаборатории Мохидина, подтвердил это. Экспериментаторы поместили две гофрированные золотые пластины в вакуум на расстоянии несколько сотен нанометров, совместив их выпуклости и вогнутости. Когда пластины немного сместили, появилась сила, возвратившая их в исходную позицию. Продольная сила Казимира составила несколько пиконьютонов, она быстро убывает с расстоянием, но Мохидин уверен, что в масштабах будущих квантовых компьютеров она вполне может приводить в действие наномашин.

Предполагается, если посчитать вакуумные средние тензора энергии-импульса $\langle T_{ik} \rangle$

электромагнитного поля для усеченного конуса (см. [2]) должен получиться ненулевой импульс, по

порядку совпадающий с обнаруженным в экспериментах с emDrive. В таком случае вакуумному двигателю совершенно не нужна накачка магнетроном СВЧ-поля.

Для приближенной оценки силы тяги в упрощенной задаче с квадратным раструбом с малым углом α используем [7]:

$$\varepsilon = \langle T_{00} \rangle \approx -\frac{1}{720\pi^2\rho^4} \left(\frac{\pi^2}{\alpha^2} - 1 \right) \left(\frac{\pi^2}{\alpha^2} + 11 \right)$$

где ρ - выделенный отрезок на стороне угла.

Из того, что сила

$$F = -\frac{\partial \varepsilon}{\partial a}$$

где a – расстояние между пластинами, можно оценить учетверенную вертикальную составляющую силы, которая и позволяет оценить силу тяги:

$$F \approx -\frac{4\alpha^4}{45\pi^2\Delta^5} \left(\frac{\pi^2}{\alpha^2} - 1 \right) \left(\frac{\pi^2}{\alpha^2} + 11 \right) \sin \alpha \quad (5)$$

где Δ - разница между нижней и верхней сторонами раструба. Синус – для понимания, его можно заменить на угол, производная вычислена в приближении параллельных пластин.

Смысл в том, что, в отличие от намагниченности стороны угла раструба, которая не приводит к изменению импульса, сила Казимира действует перпендикулярно плоскости угла. Таким образом, сила, действующая на вертикальную сторону угла, горизонтальна и не компенсирует вертикальную составляющую, действующую на наклонную сторону угла.

Но высадка на планету, пригодную для жизни, не обязательно означает спасение.

- 1) Если это будет планета, не населенная живыми организмами, это будет фактически гибель землян.
- 2) Если планета будет населена неразумной жизнью, землянам придется заселять планету. Если они этого сделать не смогут, разумная жизнь на планете исчезнет.
- 3) Если на планете будет разумная жизнь более высокого уровня, земляне будут существовать только на время их собственной жизни, высший разум не будет воспроизводить низший.
- 4) Если планета будет заселена низшим разумом, землянам придется истреблять этот низший разум, чтобы выжить самим. Ведь землян будут единицы, они будут в подавляющем меньшинстве. Допустим, создадут бункер, где воспроизводство эмбрионов будет происходить в пробирках. Допустим, срок взросления будет сокращен. Питаться придется в том числе тем, из чего эволюция должна сделать высшую форму жизни. Пройдет еще миллиард лет – и надо будет снова покидать планету. Потому аборигены будут использованы как звено в «пищевой цепочке»: как рабы, как вынашивающие организмы, и т.п.

Еще нужно будет рассчитать, что лучше: погибнуть самим, чтобы дать возможность через миллиард лет аборигенам бежать со своей планеты – если по расчетам аборигены смогут это сделать, при помощи тех знаний, которые дадут земляне. Или потребить большинство аборигенов, если не смогут.

В любом случае земляне должны будут быстро размножиться и вытеснить аборигенов.

Аналогично все, кто будет прибывать на Землю, будут заняты тем же самым.

Таким образом, вероятность контакта с внеземной цивилизацией резко снижается.

О тепловой смерти Вселенной

Исходя из того, что энтропия Вселенной как замкнутой системы стремится к максимуму, Клаузевиц заключил, что рано или поздно во Вселенной закончатся все макроскопические процессы, и наступит «тепловая смерть».

Однако Вселенной не с чем обмениваться теплом, поэтому ее энтропия не меняется.

Сегодня тепловую смерть Вселенной выводят из ее расширения. Популяризатор теории струн и автор книги «Элегантная вселенная» Брайн Грин утверждает, что ускоренно расширяясь, Вселенная будет становиться всё больше и больше. Плотность вещества и энергии будет падать, пока они совсем не

распылятся. Так что сейчас довольно необычный период в истории Вселенной, когда может существовать такой преходящий феномен, как жизнь.

Первую модель расширяющейся Вселенной построил Фридман. В начале 30-х годов Леметр, включив в рассмотрение электромагнитное излучение, построил модель Вселенной с космологической постоянной, которая в определенный момент истории Вселенной переводит ее в устойчивый режим ускоряющегося расширения.

В 1997–1998 годах Сол Перлмуттер, Брайан Шмидт и Адам Рисс обнаружили, что галактики разлетаются быстрее, чем миллиарды лет назад, то есть, Вселенная расширяется с ускорением. В Λ CDM-модели для объяснения ускорения расширения Вселенной вводится темная материя с отрицательным давлением.

Из (2) видно, что если предположить наличие материи с отрицательной массой, то гипотеза темной материи не требуется, ускорение расширения Вселенной будет наблюдаться и без нее. При этом не нужно требовать увеличения постоянной Хаббла.

Вещество с отрицательной гравитационной или инертной массой не может аннигилировать с обычным веществом, поскольку оно будет не притягиваться, а отталкиваться от него.

Возможность существования отрицательной массы предположил Г. Бонди в 1957 году [12]. Он построил модели с разными отрицательными массами: инертной, активной и пассивной гравитационными массами. Бонди и Форвард проделали анализ таких экзотических частиц [17]

Речь идет об отрицательной гравитационной массе, поэтому противоречий с моделями Хиггса не возникнет.

Может возникнуть возражение, что наличие вещества с отрицательной массой существенно изменит историю ранней Вселенной. Но наличие темной материи тоже изменяет историю ранней Вселенной. Моррис с соавторами показал [21], что для получения локальной области пространства-времени с отрицательной массой можно использовать эффект Казимира. Форвард также предложил конструкцию двигателя космических кораблей с использованием отрицательной массы, который не требует притока энергии и рабочего тела, чтобы получить сколь угодно большое ускорение [19, 20].

В настоящее время получены частицы с отрицательной эффективной инертной (но не гравитационной) массой в конденсате Бозе-Эйнштейна [15].

Очевидно, что единственным критерием подтверждения наличия отрицательных масс могут быть только астрономические наблюдения. И. Баник обнаружил гигантское кольцо галактик, которые разбегаются, как в момент Большого взрыва, их расположение похоже на капли от вращающегося зонтика, при этом вращения кольца не наблюдается [1]. Хотя, конечно, в идеале при отрицательных массах должно быть не кольцо, а шар. Однако данные галактики летят от Млечного пути с гораздо большей скоростью, чем та, которая определяется стандартной космологической моделью.

Спиральная галактика M81 в созвездии Большая Медведица, обнаруженная Артом Хоагом в 1950 г. в созвездии Змеи – то же кольцо. Во внешней части находится кольцо, в котором преобладают яркие голубые звезды, а в центре находится шар из более красных звезд, которые, вероятно, значительно старше. Между ними – пробел, который выглядит почти полностью темным. В промежутке между ядром и кольцом видна еще одна кольцеобразная галактика, которая находится гораздо дальше. Если будет обнаружено, что скорости центра колец и самих колец относительно Млечного Пути существенно разные, это будет свидетельствовать в пользу наличия отрицательных масс.

Обнаружение скрытой массы породило надежду, что Вселенная остановит свое расширение, и тепловая смерть не грозит. Но коллапс Вселенной не обещает лучшего, произойдет сдавливание всей материи в одну черную дыру.

Мощные приливные силы начинают рвать пространство-время вокруг черной дыры, виртуальные частицы и античастицы за счет энергии гравитационного поля из вакуума переходят в состояние реальных частиц. Они аннигилируют, образующиеся фотоны устремляются к черной дыре, длины их волн всё более смещаются в ультрафиолет, вырезая на диаграммах Пенроуза, Крускала-Секереша и пр. все возможности для путешествий в прошлое-будущее. Те пары, что не успели аннигилировать, распадаются. Излучение черной дыры вследствие CP-симметрии (квантовая механика запрещает

вырванной из вакуума одной из пары «частица-античастица» двигаться к черной дыре) приводит к тому, что черная дыра извергает из себя потоки вещества и антивещества. Но ясно, что испарение черной дыры не исправит положения. Возможно лишь, что колапсирование остановит упругость вакуума, т.е. эффект Казимира.

По теории струн при Большом Взрыве пространство было 11-мерным, 7 измерений компактифицировались неизвестным образом и существуют на микроуровне. Но законы природы могут меняться с возрастом Вселенной, не обязательно ковариантно. В принципе природа не обязана описываться уравнением, причинная, каузальная связь – лишь часть всемирной связи.

Объединенная М-теория прогнозирует чередование смертей и рождений Вселенной, то есть, круговорот. Круговорот уже сам по себе нарушает 2-е начало термодинамики.

Если же в космологических моделях с расширением учесть вклад вакуума, то 2-й закон термодинамики

$\frac{\partial \dot{S}}{\partial t} \geq 0$ выполняется только тогда, когда не нарушается энергодоминантность [4]. Однако мы знаем, что

нарушение энергодоминантности в полевых моделях – не редкость [3]. Таки образом, учет вакуумных поправок заставляет переосмыслить классическое понимание закона сохранения. Во-вторых, как считал Ландау, Вселенная находится в не скомпенсированном гравитационном поле, следовательно 2-й закон термодинамики не выполняется. В-третьих, неясно, может ли вообще термодинамический подход применяться к Вселенной.

Но вопрос о выживаемости человечества в несколько иной плоскости – по мере выгорания ядерного топлива жизнь станет невозможной. Может ли звездообразование быть бесконечным? Может ли закон сохранения в ОТО с учетом вакуумных поправок представить Вселенную как вечный двигатель?

Белые карлики остынут до 1 К через 10^{17} лет. Через 10^{19} лет нейтронные звезды остынут до 30 К. Через 10^{32} лет вещество распадется на фотоны и нейтрино. Самые массивные черные дыры в центрах галактик испарятся в течение 10^{96} лет. Но это неполная картина.

Согласно закону Хаббла галактики разбегаются с ускорением. Оно снизилось на десятки порядков за эпоху инфляции, однако с эпохи 5-6 млрд. лет величина ускорения медленно увеличивается. Чем больше удаляется галактика, тем выше становится ее скорость. При ускорении возникает эффект Фуллинга – Унру, рождение пар частиц из вакуума.

Температура наблюдаемого излучения Унру выражается той же формулой, что и температура излучения Хокинга, но зависит не от поверхностной гравитации, а от ускорения системы отсчета a :

$$T = \frac{\hbar a}{2\pi k c} \approx 4 \cdot 10^{-21} \cdot a$$

Но наша галактика, Млечный Путь, точно такая же, как и остальные – она тоже отдаляется с ускорением от других галактик. В таком случае, когда ускорение Млечного Пути достигнет определенной величины, галактика будет окружена излучением. Это излучение – дополнительный источник энергии. И, поскольку плотность вакуума не меняется, из него можно было бы черпать эту дополнительную энергию бесконечно.

Для того, чтобы нагреть систему на 1 К, нужно, чтобы она имела ускорение порядка 10^{20} м/с², так что даже этот градус пришлось бы ждать на много порядков времени больше, чем возраст Вселенной.

Исходя из закона Хаббла ускорение $a = H^2 r$, $r = r_0 \exp(Ht)$, учитывая, что современный радиус Вселенной $r \approx 10^{27}$, и принимая для оценки, что постоянная Хаббла равномерно увеличивалась за 7 млрд. лет от нуля до современной величины 10^{-18} , можно посчитать, когда ускорение достигнет обозначенного уровня:

$$t^2 \exp(10^{-36} t) \approx 10^{64} c^2,$$

откуда $t \approx 3 \cdot 10^{24}$ лет. То есть, после остывания белых карликов и нейтронных звезд, но задолго до распада вещества галактики начнут постепенно нагреваться. Однако к этому моменту жизнь во Вселенной исчезнет.

Модель Линде-Старобинского, в которой Вселенная вечно воспроизводит сама себя, со множеством мини-вселенных, являющихся раздувшимися квантовыми флуктуациями в горячие вселенные Фридмана,

не оставляет возможности для вечной жизни в конкретно нашей Вселенной. Данная модель лишь повторяет слова классика, что если жизнь на Земле погибнет, она закономерно возникнет в другой части Вселенной.

Заключение

Эволюция и революция природы не может представлять собой ни круговорот, ни вечный ряд одноуровневых качественных изменений (трансформаций). Развитие природы есть возникновение прогрессивного нового в единстве с регрессивной ветвью и представляет собой восхождение от простого к сложному и, что не одно и то же – от низшего к высшему. Это означает, что человечество накопило еще недостаточно знаний, ни в смысле экспериментальных данных, ни в смысле адекватности существующих моделей, каждая из которых прогнозирует гибель жизни в нашей Вселенной.

Литература

1. Баник И., Чжао Х. Плоскость галактик высокой скорости во всей Локальной группе. 21.1.2017. Астрофизика галактик. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. Cornell University Library. arXiv.org > astro-ph > arXiv: https://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=ru&prev=search&rurl=translate.google.ru&sl=en&sp=nmt4&u=https://arxiv.org/abs/1701.06559v4&usg=ALkJrhhe68QEjZNHf1y8aVTxKB3BL-fwAA
2. Гриб А. А., Мамаев С. Г., Мостепаненко В. М.. Вакуумные квантовые эффекты в сильных полях. М.: Энергоатомиздат, 1988, 288 С. ISBN 5-283-03955-2.
3. Гутин В. В., Ихлов Б. Л., Панов В. Ф. Тензор энергии-импульса массивного скалярного поля в ограниченном пространстве. Известия вузов МВ и ССО СССР, серия «Физика», Томск, 1984
4. Жоу Д., Касас-Баскес Х., Лебон Дж. Расширенная необратимая термодинамика. М.-Ижевск, 2006, ISBN 5-93972-569-4, 487 с.
5. Левантовский В. И. Механика космического полета в элементарном изложении. — М.: Наука, 1970, 492 с.
6. Млечный Путь оказался больше, чем считалось. Популярная механика. М., 2017, №11 <https://www.pormech.ru/science/news-392892-mlechnyy-put-okazalsya-bolshe-chem-schitalos/>
7. Мостепаненко В. Н., Трунов Н. Я. Эффект Казамира и его приложения. УФН, 1988, Т.156, вып. 3, С. 385-426. https://ufn.ru/ufn88/ufn88_11/Russian/r8811a.pdf
8. «Наука и техника СССР в 1917—1987. Хроника». М.: «Наука», 1987, 185 с.
9. Пригожин И. От существующего к возникающему. М., Наука, 1985, 328 С.
10. Размеры Млечного Пути пересмотрены. Quazar.by 2013 http://quazar.by/news/razmery_mlechnogo_puti_peresmotreny/2015-03-13-196
11. Шкловский И. С. Вселенная, жизнь, разум. М., Наука, 1987, 320 с.
12. Bondi H. «Negative Mass in General Relativity», Rev. Mod. Phys. 29 No. 3 July 1957, pp. 423ff
13. Brady D. A. et al. Anomalous Thrust Production from an RF Test Device Measured on a Low-Thrust Torsion Pendulum // 50th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference. American Institute of Aeronautics and Astronautics. — 2014.
14. Carlos Cotta, Alvaro Morales. A Computational Analysis of Galactic Exploration with Space Probes: Implications for the Fermi Paradox. Cornell University Library, submitted on 2 Jul 2009, <https://arxiv.org/abs/0907.0345>
15. Khamsehchi M. A., Hossain K., Mossman M. E. Zhang Y., Busch Th., Forbes M. M, Engels P. Negative mass hydrodynamics in a Spin-Orbit--Coupled Bose-Einstein Condensate. Phys. Rev. Lett. 118, 155301 (2017)
16. Koberlein B. NASA's Physics-Defying EM Drive Passes Peer Review. Forbes (19 ноября 2016).
17. Landis G. Comments on Negative Mass Propulsion. J. Propulsion and Power, Vol. 7 No. 2, 304 (1991).
18. Lineweaver, C. H. & Davis, T. M. «Does the rapid appearance of life on Earth suggest that life is common in the universe?». Astrobiology, 2002, 2 (3): 293–304.
19. Marc G. Millis, "The Challenge To Create The Space Drive", 1997, Journal of Propulsion and Power.
20. Marc G. Millis & Eric W. Davis (editors): Frontiers of Propulsion Science. American Inst. of Aeronautics and Astronautics, Reston VA, 2009, ISBN 978-1-56347-956-4 (739 pages), Summary https://en.wikipedia.org/wiki/Breakthrough_Propulsion_Physics_Program#Diametric_drive
21. Morris M., Thorne K., and Yurtsever U. Wormholes, Time Machines, and the Weak Energy Condition. Physical Review, 61, 13, September 1988, pp. 1446—1449

22. Russon, Mary-Ann. EmDrive: These are the problems China must fix to make microwave thrusters work on satellites, *International Business Times UK* (14 December 2016).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ихлов Б. Л. Тензор энергии-импульса вакуума массивного скалярного поля в ограниченном пространстве. Рук. деп. в ВИНТИ 18.10.84, №6772-84.
2. Сарданашвили Г. А., Ихлов Б. Л. Хиггсовский вакуум в теории гравитации. Вест. МГУ, сер. Физика, 1986 - №2 – С. 17-19.
3. Ivanenko D. D., Ikhlov B. L. Higgs gravitation vacuum. Abstracts of Contr. Papers to 11-th Int. Conf. on General Relativity and Gravitation. Stockholm, Sweden, 1986.
4. Сарданашвили Г. А., Ихлов Б. Л. Хиггсовский вакуум в теории гравитации. Всесоюзный семинар «Современные проблемы гравитации» 2-4 февраля 1987 г., Томск.
5. Sardanashvily G. A., Ikhlov B. L. Higgs gravitation vacuum in the gauge gravitation theory. *Acta Phys. Hungarica*. – 1988 – Vol. 64 – Part IV.
6. Ихлов Б. Л. Хиггсовский вакуум в теории гравитации. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. М.: МГУ, 1987.
7. Ихлов Б. Л. Космология без вращения. XXX МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ» (03 сентября 2018 г.). НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ "CHRONOS". С. 46-49.
http://www.chronos-journal.ru/archive/new/Chronos_nat_september_2018.pdf
8. Ихлов Б. Л. О космологии с вращением. Евразийский союз ученых. 2018. №10(55). С. 60-69. ISSN 2411-6467. http://euroasia-science.ru/wp-content/uploads/2018/11/Euroasiajournal_3_part-17.pdf
9. Ихлов Б. Л. Термодинамический подход в космологии. Евразийский научный журнал. 2019. №1. http://journalpro.ru/articles/termodinamicheskiiy-podkhod-v-kosmologii/?sphrase_id=14205
10. Ikhlov B. L. Vacuum as a source of rotation. X международный Фридмановский семинар по гравитации и космологии и IV симпозиум по эффекту Казимира. 23.6.2019 – 29.6.2019. САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ, Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций.
<http://friedmann.spbstu.ru/2019/>
11. Ikhlov B. L. Some aspects of the expansion of the Universe. SCIENTIFIC RESEARCH OF THE SCO COUNTRIES: SYNERGY AND INTEGRATION. China. 2019. April 29. P. 133-140.
http://naukarus.ru/public_html/wp-content/uploads/2016/12/Scientific%20research%20of%20the%20SCO%20countries%20-%20English%20Reports%20-%20April%2029%20-%20Part%201.pdf
12. Ikhlov B. L. Solar System Features. Process Management and Scientific Development. Int. conf. UK, Birmingham. March 5, 2020. P. 114-123
DOI 10.34660/INF.2020.6.56909
URL: http://naukarus.ru/public_html/wp-content/uploads/2020/PMSD%20March%205%20-%20Part%202.pdf
<http://www.doi.org/>
13. Ikhlov B. L. Inconsistent Universe. Materials of the International Conference

“Process Management and Scientific Developments” (Birmingham, United Kingdom, March 31, 2020. ISBN 978-5-905695-91-9

http://naukarus.ru/public_html/wp-content/uploads/2020/PMSD%20March%2031%20-%20Part%202.pdf#page=118

DOI 10.34660/INF.2020.7.58917

<http://www.doi.org/>

14. Ихлов Б. Л. Степени свободы вакуума. Физический вакуум – парадигма науки XXI века, тезисы докладов 1-й российской научной конференции 7-8 ноября 2020. М., 2020. С. 72-77.

15. Ikhlov B. L. To interpretation of Hubble law. Scientific research of SCO countries: synergy and integration. Proceedings of international conference, October 28, 2020, China. P. 179-186.

DOI 10.34660/INF.2020.32.23.027

16. Ikhlov B. L. On the physics paradigm. Scientific research of SCO countries: synergy and integration. Proceedings of international conference, June, 24, 2020, China. P. 153-160.

"ON THE PHYSICS PARADIGM"

DOI 10.34660/INF.2020.58.21.002

17. Ikhlov B. L. Quantum antigravitation. Proceedings of the International Conference “Process Management and Scientific Developments” (Birmingham, United Kingdom, October 14, 2020). Part 1. P. 165-170.

DOI 10.34660/INF.2020.33.90.024

18. Ikhlov B. L. ON THE COMPOSITION OF INTERSTELLAR GAS. Proceedings of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”. Part 1. August 4, 2021. Beijing, PRC.

P. 158-170. DOI 10.34660/INF.2021.38.48.022

19. Ихлов Б. Л. К теории струн. С. 124-129. Материалы V Российской конференции «Основания фундаментальной физики и математики», М., РУДН, 11-12 декабря 2021 г.

20. Ихлов Б. Л. Квантовый космологический вакуум. С. 130-135. Материалы V Российской конференции «Основания фундаментальной физики и математики», М., РУДН, 11-12 декабря 2021 г.

21. Ikhlov B. L. ON THE MECHANISMS OF LUMINOSITY FLUCTUATIONS OF SEMIREGULAR VARIABLES. Journal of Applied Physics, 8 June 2022,

<https://jap.peerx-press.org/cgi-bin/main.plex?el=A4N2IiaW5A2MBfQ1F1A9ftd55ZGWm73ekPsf6F3qYbQY>

22. Ихлов Б.Л. Об увеличении массы Вселенной. Материалы XVIII Международной конференции «ФИНСЛЕРОВЫ ОБОБЩЕНИЯ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ». РУДН. 25 – 26 ноября 2022 года. С.114-122.

23. Ихлов Б.Л. Возможна ли термодинамика Вселенной? XVIII Международной конференции «ФИНСЛЕРОВЫ ОБОБЩЕНИЯ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ». РУДН. 25 – 26 ноября 2022 года. С. 123-132.

Ихлов Б.Л. Возможна ли термодинамика Вселенной? Материалы VI Российской конференции ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ И МАТЕМАТИКИ. Москва, РУДН, 9-10 декабря 2022 г. С. 228-235.

24. Ихлов Б.Л. О механизмах колебаний светимости полуправильных переменных. Материалы VI Российской конференции ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ И МАТЕМАТИКИ. Москва, РУДН, 9-10 декабря 2022 г. С. 235-242.

25. Ихлов Б. Л. О гипотезе вращения Вселенной. Научное обозрение. 2022. №1.

26. Ихлов Б. Л. ДИНАМИКА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ. Научное обозрение. Физико-математические науки. 2023. №1.
27. Ихлов Б. Л. Проблема критической плотности. Вестник Восточно-сибирской открытой академии. 2023, №51. <https://s.esrae.ru/vsoa/pdf/2023/51/1449.pdf>
28. Ихлов Б. Л. К гипотезе возникновения Вселенной из квантовой флуктуации. Основания фундаментальной физики и математики. Материалы VII российской конференции 8-9.12.2023. М., РУДН. С. 178-187.
29. Ихлов Б. Л. Динамика солнечной системы. Основания фундаментальной физики и математики. Материалы VII российской конференции 8-9.12.2023. М., РУДН. С. 171-177.
30. Ikhlov B. L. On the Convective Mechanism of Fluctuations in the Luminosity of Semi-Controlled Variable Stars. Open Access Library Journal. Vol. 1, No. 6. June 2024. <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=134309>
31. Ikhlov B. L. Life in the Universe. Scientific Research of the SCO Countries. Part 1. China, 2018. December, 12. P. 236-245.

SUMMARY

I was born at the beginning of the second half of the last century, in Perm. Russian by mother, a true Marian, non-partisan, fundamentally single. The character is northern, moderate, to strong. Aged – four stars. A wonderful athlete – 1st class in chess.

Key milestones:

- 1) From the 9th grade worked as a plasterer, repaired the plinths of over 100 houses in the Motovilikhinsky district of Perm.
- 2) In 1974, as part of the student construction team "Preduralie", built an 8-apartment house made of timber and 2 cottages in the Preduralie.
- 3) In 1975, as part of the Kvant MTR, built a 4-storey stone school in the village of Kochevo in the Gaynsky district of the Komi District, noted as one of the best workers.
- 4) In 1978, graduated from the physics department of PSU, had the first grade at the faculty, was noted as one of the best students of the physics department.
- 5) Led a team of 5 people, built a 3-storey stone garage in Kudymkar, Komi district, etc. Any builder has built and repaired much more in his life, but. And in 1974, and in 1975 and beyond - we worked 14 hours a day, almost seven days a week.
- 6) In 1980, taught physics at the Perm agricultural institute. the institute.
- 7) In 1983, taught physics at Perm Pharm. the institute.
- 8) In 1986, together with V. Zerkhin (Magnitogorsk), regardless of the materials of the groups Tony Cliff, Bordiga, etc., became the founder of the ideological trend in the USSR, according to which there was state capitalism in the USSR.
- 9) In 1987, graduated from the graduate School of Physics at Moscow State University and presented dissertation.
- 10) In 1988, taught at the Perm Polytechnic University.
- 11) In 1990, organized a successful strike at the Perm plant named after According to Lenin, 10,000 workers were on strike, and their demands for higher wages were met.

- 12) In 1990, organized protests, as a result, the construction of a nuclear power plant in the Gaynsky district of Komi-the Fukushima-type NPP district was canceled.
- 13) In 1992, organized a successful strike at a motorcycle repair plant and at a pasta factory in Vereshchagino.
- 14) When layoffs were underway at factories in the early 90s, actually single-handedly stopped the dismissal of 1,500 workers of Perm JSC Velta, 1,700 workers of Perm JSC Inkar and 3,500 workers of Sverdlovsk Uraltransmash for several years.
- 15) Actually single-handedly organized the successful defense in court of two members of two Perm strike committees.
- 16) When the workers of the Perm plant "Mashinostroitel" were delayed for six months, actually single-handedly organized workers to block highways, which forced them to pay their debts.
- 17) Organized protests and slowed down the missile disposal program in Perm for several years.
- 18) Has published over 770 scientific articles on sociology, literary studies, political science, philosophy, and economics.
- 19) Has published over 100 articles on natural science topics.
- 20) Has published over 3,000 journalistic articles.
- 21) Wrote 35 books, including 4 poetry collections.
- 22) Wrote about 50 songs based on poems by Russian and Soviet poets, as well as his own poems. **Ordinary life** Until 1962, participated in the movement of young communards. At school, participated in the work of the Perm television studio, in a number of television performances, including two children's performances, in the first feature film of the Perm television studio "Three and a half Days from the Life of Ivan Semenov".

In 1973, graduated from the Perm Phys. math. school No. 9, in the same year graduated from the school of young physicists, young biologists, with honors from the school of young chemists at Perm State University, graduated with honors from the music school No.2.

At school No. 9, headed the patronage sector in the Komsomol committee, participated in the regional Komsomol reporting conference, criticized the activities of the regional leadership of the Komsomol, for which he was expelled from the Komsomol committee.

In 1978, graduated from the PSU Faculty of Physics, Department of Theoretical Physics. Participated in construction teams, worked as a blacksmith, a builder of wooden buildings, structures, a bricklayer's helper, a bricklayer, a painter, a plasterer, moonlighted as a stagehand. Lectured on the line of the Science Society in the Komi region and Gornozavodsk-town. Upon graduation, was assigned to the Laboratory of Organic Semiconductors of the Natural Science Institute (ENI) at PSU.

In 1980, did not get along with the head of the laboratory and moved to the laboratory of Radio spectroscopy of the YENI PSU.

In 1982, received the title of junior researcher and, in connection with the salary increase, was transferred to the Laboratory of Radiobiology of the YENI PSU. Also worked on the development of the mat. providing the control computer "Electronics NC-03T" of the Soviet architecture, quantum chemical calculations and the introduction of methods of these calculations, as well as conformal analysis of chemical compounds.

While working at the university, taught physics and took entrance exams to the agricultural institute, farm. institute, taught at school. Led the student club of water tourists. Worked part-time as a roofer, watchman, janitor.

Was engaged in basketball at the Youth Sports School, boxing at PSU, water tourism, combat sambo.

Participated in the All-Union chess tournament among juniors, was awarded by the organizing committee of the tournament. In the camp for high school students in Gudauta and in Artek, in the Coastal camp, he took 1st place in chess tournaments.

Played for the Perm state university national basketball and chess teams. Speak English colloquially. Atudied German, French, Spanish, Tatar, I can explain myself in Komi, know three words in Japanese and four in Sanskrit. Have experience in leading a group of tourists, a course of students in field work, a construction team, a platoon, a trade union, a political organization, a strike committee, a newspaper editorial office, and a team of researchers. Currently, is a retired scientist (biophysics, cosmology) and an independent journalist. Specialize in the national question, production, military-industrial complex, economics, ecology, protest and trade union movement, legal issues, and international relations. I lead five scientific projects in radiobiology. Participate in the seminar of Professor V. F. Panov on the relativistic theory of gravity.

An unusual life

In 1988, was dismissed for political activities. A ban on the profession and a ban on setting up in factories followed. The ban is still in effect today.

Worked as a watchman, a tutor in physics, in production and commercial companies, for 3 years in commerce. Has been in journalism since 1986. Until 1991, was published in samizdat, in Perm and central newspapers, as well as in international magazines. Published the newspaper "Rabochy Vestnik", the political and economic magazine "Vzglyad", edited the political and economic magazine "IZM", the political magazine "International Diary". Publish on a number of websites on the Internet. In 2001, for exposing the Perm drug mafia in the press, the Ministry of Internal Affairs was searched and seized a computer with unpublished articles and books for 7 years of work, materials for 9/10 were lost. Organized and conducted a number of Russian and international scientific and practical conferences, including the international conference on the basis of PSU "The Labor Movement: History and Prospects". Lectured on political science at Perm state university.

In 1983, created the underground Marxist organization "Extended Day Group" - later the Union of Communists (1986) (not Aganbegyan), later (1990) – the Russian political association "Worker" (OPORA).

Now I am the secretary of the executive committee of OPORA, as well as a member of the trade union committee of the Perm workers' trade union "Protection, Employment, Legality".

The organization launched the publication of underground "samizdat", initiated the creation of the Perm Environmental Committee, the Perm Club of social initiatives, the Perm club of voters, the first independent trade unions, the first neighborhood Councils in the country and a number of other organizations.

Conducted 4 successful strikes at various factories in the Urals, assisted a number of strike committees, managed to stop mass layoffs at 4 factories in the Urals, won a number of major lawsuits by labor collectives, reinstated several illegally dismissed, including members of strike committees.

Participated in a number of national and international projects. Convinced the central government and a number of regional administrations to carry out some progressive reforms.

Failed the election campaigns of a number of representatives of the party in power, etc.

At one time had representatives (deputies) in the authorities in Perm, Sverdlovsk, Magnitogorsk. In 1993, the organization had about 2,500 people, currently there are about 70 people in Russia, 20 in Perm, where the legal address is located.

In 1986, organized the first alternative elections to the Moscow State University in the USSR, and managed to defeat a protégé of the CPSU.

In the same year, published two collections of materials of the underground extended Day Group in "samizdat".

In 1987, participated in the FSOC conference in Moscow.

In 1988, organized the first informal rally in Perm.

In the same year, participated in the congress of informal organizations in Moscow.

Participated in the organization of several informal associations of the Perm Region: 1) the Club of Voters, the Public Environmental Committee, the Perm Workers' Union, the trade union of Defense Industry Workers, the Club of Social Initiatives, etc.

In 1988, participated in the Congress of People's Fronts in Leningrad.

In the same year, participated in the congress of the Ural People's Front in Sverdlovsk.

In 1988, began publishing the magazine "Vzglyad" ("View"), in the same year began publishing the newspaper "Rabochy Vestnik".

In 1990, was one of the organizers of the first Congress of Independent Workers' Movements in Novokuznetsk in the USSR, and later participated in a number of conferences created at the Congress of the Confederation of Labor.

Was a participant in a number of schools organized by the Swedish trade union SAC.

Was a participant of the MADO conference in Chelyabinsk.

In 1992, was elected secretary of the executive Committee of the Russian political association Rabochy.

Was an organizer in Tolyatti and a participant in the MSC conference in Moscow.

In 1993, participated in the Congress of the International Labour Party in Paris.

In 1994, he was a participant in the Global Forum in Manchester.

Was the organizer and participant of the RSTK (Soviet of labour collectives) conference in Moscow.

Was elected leader of the New Left party.

In 1999, was a participant in the conference of workers and strike committees at the SEC.

In 1998, lectured in a number of cities in the UK.

Participated in dozens of conferences of the International Union of Workers in Buenos Aires.

Additionally, I am reporting information about myself that I have learned on the Internet: I am a red-brown, fascist, Russian nationalist, Zionist, Trotskyist, anarchist, Stalinist, alcoholic, anti-Semite, KGB officer, KGB informer, CIA officer, CIA employee recruited along the Jewish line, crazy, boor, liberal, Putin fan, a bourgeois agent of influence. Yes, I forgot: I also plundered the party cash register (which never existed in nature), I was for it repeatedly (!!!) I'm with my friends and I work for the administration (although they don't write which one). There is also a record of "Snitching at work," they say. everyone in Perm knows Ikhlov as a snitch, written by Vladik Bugera, a Kievan who had never been to Perm, who supported the Kosovo Albanians along with the British Trotskyists, who believes that he is a philosopher. For one tiny publication in Limonka, Booger signed me up as a fascist. Google has been carefully dragging this entry to the first page for two decades now. Recently, he has also been a racist, homophobic and sexist. The last two correspond to the truth.

DYNAMICS OF SOLAR SYSTEM

Introduction

The movement of the planets of the solar system is well understood. Its formation is a complex stochastic process, including the formation of protoplanetary disks, planetesimals, the migration of planets into the system and vice versa, and when moving toward the Sun, Jupiter start a chain of collisions between planetesimals. In this process, the Poynting- Robertson effect and light pressure act, and scenarios of accretion (coalescence of small particles) and gravitational collapse are realized. The structure of planetary systems is dictated by the parameters of the star (star system) and history of creation.

The number of giant planets depends on the metallicity of the star, i.e. its content is heavier than hydrogen and helium. The more heavy elements in the star, the more likely it is to find a giant planet next to it. Secondly, this amount depends on the mass of the parent star. The larger the star, the more likely it is to find a giant planet similar to Jupiter next to it. The stars of red dwarfs, which are lighter and much dimmer than the Sun, giant planets almost never occur, although there are exceptions. Among sun-like stars, about 8.5% have giant planets heavier than Jupiter in orbits closer than 2.5 a.u. (The Sun is at 8.5%, Jupiter is located at a distance of 5.2 a.u.) Among the more massive stars (1.5–2.5 mass of the Sun), the proportion of giant planets is closer than 2.5 a.u. reaches 20%.

Note some features of the solar system.

- 1) The planets of the solar system move in orbits in the direction that coincides with the direction of rotation of the sun around its axis, counterclockwise, if you look at the solar system from the North Pole of the Earth (straightforward direction). Around its axis, most planets also rotate in the forward direction (from west to east). Uranus rotates lying on its side, its rotation is reverse. Between the plane of the orbit of Uranus and the axis of its axial rotation is a small angle. The axis of rotation of Venus is almost perpendicular to the plane of the orbit, the rotation is reverse. For the rest of the planets, the angle between the axis of rotation and the plane of the orbit differs from the line by no more than 30° .
- 2) The planets of the solar system rotate in one plane close to the plane of the equator of the sun. The reference to the gravitational contraction of the gas-dust cloud from which the Sun arose into the disk is untenable, since in other systems the planets do not rotate in the same plane.
- 3) The gravitational compression of the Sun and the increase in the speed of its rotation, which was transmitted to all the planets, occurred after the formation of the planets, the centrifuge effect drove the giant planets with a large mass to the periphery of the system. Otherwise, the light elements that make up the giant planets would be closer to the Sun.
- 4) All the planets of the system rotate in the same direction as the Sun. At the same time, some transit exoplanets (for example, the hot giants HAT-P-7b and WASP-17b) demonstrate the anomalous Rossiter-MacLaughlin effect, the planet rotates around the star in the direction opposite to the direction of rotation of the star around its axis, i.e. is in retrograde orbit.
- 5) The eccentricity of the planets of the solar system is close to zero, the orbits are almost circular. It is believed that this fact is a consequence of the fact that the orbital motion of the planets around the star was formed during

the formation of the stars and planets themselves, and the mass of the star is much larger than the mass of the planets. However, this is not quite the right explanation. In general relativity, elliptical orbits periodically evolve to circular orbits, in particular, due to gravitational radiation, the power of which is negligible for planetary systems, for example, for the Solar System - 5 kW, of which about 90% falls on the Sun-Jupiter system. For the orbits of artificial satellites, the eccentricity slowly decreases according to the law $(1 - t)^{1/2}$, where t is a dimensionless time. In the next 50 thousand years, the eccentricities of Mars and Mercury are almost unchanged, the eccentricity of Venus will decrease by half, the eccentricity of the Earth will decrease by 8 times, then it will begin to increase.

The eccentricity of the planets of the solar system is close to zero, the orbits are almost circular – due to the fact that the orbital motion of the planets around the star was formed during the formation of the stars and planets themselves, and the mass of the star is much larger than the mass of the planets.

Thus, the Solar System is quite typical, so studying its features will allow us to understand the behavior of many similar planetary systems.

Occurrence

What caused the rotation of the solar system, the sun, the planets around the sun and the planets and the sun around their own axes? The reference to the asymmetry of the primary gas-dust cloud is untenable, if initially the gas-dust cloud has no angular momentum, it will be zero in the future.

Obviously, the point is the absence of the law of conservation of the classical angular momentum in GR.

In [1], the approximate Fock method was used; it was shown that the relativistic theory of gravity in comparison with Newton's theory leads to the conclusion that if there was no rotation in the system of bodies, it arises from their translational motion.

Unfortunately, the article made a mistake, it is argued that the law of conservation of the total moment - the sum of the orbital and intrinsic moments.

An elementary calculation for the solar system shows that this is not so, as can be seen from *Table. 1*. The fact that almost all the planets revolve around themselves in the same direction in which they revolve around the Sun suggests that the total angular momentum of the Solar system is not equal to zero. That is, when the system was formed from a gas-dust cloud that did not have an angular momentum, the law of conservation of angular momentum was violated.

In GR, the intrinsic angular momentum has the form:

$$L_d = \varepsilon_{abcd} (J^{ab} - Y^a p^b + Y^b p^a) p^c / m$$

where ε_{abcd} - 4- Levi Civita symbol, m - mass, p^a - 4- momentum, $Y^a = J^{ab} p_b / m^2$, J^{ab} - angular momentum relative to the origin:

$$J^{ab} = \int (x^a T^{b0} - x^b T^{a0}) d^3x$$

where integration is carried out over the area occupied by the system. The law of change of the 4-angular momentum is formulated in a complex way, through the effective energy-momentum tensor obtained by adding to the usual Landau-Livshits pseudo-tensor tensor. The 4-momentum and 4-angular momentum are preserved only in the linearized theory and with the introduction of gauge [2].

Let's write down the equation of motion for a particle in the post-Newtonian approximation:

$$a = 3v \frac{\partial \varphi}{\partial t} + 4v(v \cdot \nabla)\varphi - v^2 \nabla \varphi + v \times (\nabla \times \zeta) - \nabla(\varphi + 2\varphi^2 + \psi) - \frac{\partial \zeta}{\partial t}$$

where φ, ψ, ζ - potentials of the post-Newtonian approximation, v – velocity. The calculation of the gravitational field at large distances from an arbitrary finite energy – momentum distribution shows that the angular momentum vector is not zero:

$$\frac{2G}{r^3} (x \times J) \square \zeta$$

So the conclusion in [1] about the generation of rotation by translational motion remains and is almost trivial: in strong gravitational fields, in curved space, translational motion should generate rotation. Thus, the expansion of the Universe created the angular momentum of the Solar and other planetary systems, as well as galaxies. Due to the isotropy of space, their total angular momentum was zero. This means that the formation of the solar system did not begin 4.6 billion years ago, but much earlier, when the curvature of space was significant. Or it must be assumed that the curvature did not fall over time as fast as it is now commonly believed.

Becoming

Consider a system of two interacting weights (i.e two groups of planets), where the role of a tightening spring is played by the force of gravity, which counteracts the acceleration of rotational motion around a fixed center (the Sun).

Since centrifugal acceleration $a = v^2/r$ and $v = \omega r$, the system of equations of motion is written as follows:

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{r}_1 &= \gamma M m_1 / r_1^2 - m_1 \omega_1^2 r_1 - \gamma m_1 m_2 / (r_2 - r_1)^2 \\ m_2 \ddot{r}_2 &= \gamma M m_2 / r_2^2 - m_2 \omega_2^2 r_2 + \gamma m_1 m_2 / (r_2 - r_1)^2 \end{aligned}$$

where M – mass of the sun, m_1 and m_2 – masses of planets, the second is more distant. This system is a three-body problem in the collinear representation of Euler, with one motionless body (the Sun) and with $M \gg m_2 > m_1$.

Let's show that the stationary orbits of the planets are Keplerian. We equate the derivatives to zero and add both equations:

$$\gamma M [1/r_1^2 + 1/r_2^2] = \omega_1^2 r_1 + \omega_2^2 r_2$$

If we substitute in the left part the expression for the coarsened (instead of ellipse - circle) Kepler's 2nd law, we get the identity.

If we take into account the comparability of the difference between the radii and the second radius of smallness of the masses of the planets in comparison with the mass of the Sun and neglect the interaction of the planets, the system decomposes into two identical disconnected equations:

$$\ddot{r}_i = \gamma M / r_i^2 - \omega_i^2 r_i$$

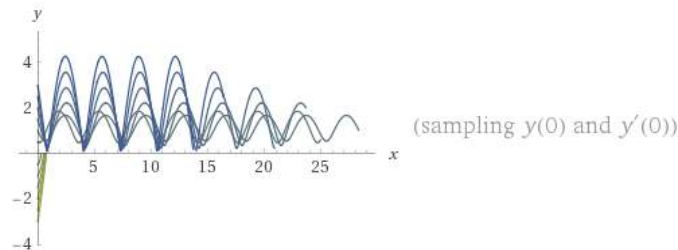
We make the equations dimensionless, introduce $t = \omega \tau$, $\omega^2 / \gamma M = k^2$, $r = k^{-1} y$. Then the equations can be written as:

$$\ddot{y} + y - k / y^2 = 0$$

Substituting $\frac{dy}{d\tau} \frac{d\tau}{dy}$ we can obtain $\dot{y} = (C_1 - 2k / y + y^2)^{1/2}$,

$$\tau = \int \frac{dy}{\sqrt{y^2 - 2k / y + C_1}}$$

which corresponds to formula 14.6 in [3]. The final decision is not expressed in analytical functions. Computer simulation shows that many solutions are beats, oscillatory movements, damping near a certain stationary radius. *Graph 1.*



Graph of the change in the radius of the planet in the field of the Sun

From *Graph 1* it can be seen that before the planet's orbit approaches the stationary one in an oscillatory manner. The solution for the second planet will have a similar form. This is the solution of the three-body problem, reduced to the two-body problem when their interaction is neglected. It follows that the parameters of the planets that satisfy relation (1) were established precisely due to the interaction between the planets. As can be seen from the equations, in this approximation, the value of the stationary radius does not depend on the mass of the planet. However, the interaction between the planets leads to the fact that planets of approximately the same mass are distributed in the planetary system as follows: the larger the radius of the planet, the farther it is from the star (correlation coefficient $r = 0.65$, $p < 10^{-5}$). Secondly, if the periods of revolution of the n th and $(n + 1)$ -th planets are related as 2: 1, then the periods of the $(n + 1)$ -th and $(n + 2)$ -th planets are also referred to as 2: 1 ($r = 0.46$, $p < 10^{-5}$) [4].

The Lagrange solution of the three-body problem gives an equilateral triangle and does not describe the structure of the solar system. Thus, we can assume that the Solar System implements yet another solution to the three-body

problem, where one body is the Sun, another is the Earth group, the third is a group of giant planets, and the structure of two planet groups is such that relation (1) is satisfied.

That is, it is completely optional that this solution will be true for all planetary systems in which completely different solutions to the problem of three or more bodies can be implemented.

Balance

A particular solution to the problem with three weights of different weights is given in [2].

A particular solution to the synchronous vibration of many oligosomes with different masses in DNA is $w = (G/NM)^{1/2}$, where G – rigidity, N – harmonic mean: $N = (1/N_1 + 1/N_2 + 1/N_p \dots)^{-1}$. Mass of oligosomes $m_i = N_i M$, M – monomer mass in oligosome, N_i – the number of monomers. That is, the role of mass in the formula for a spring pendulum in the form of a DNA helix is played by the harmonic mean mass of all oligosomes. The motion in the field of central forces and the Keplerian problem are considered in detail in [2]. We complicate the system, but simplify the approach. We show that the oscillatory regime is also possible in the field of central forces.

Consider two identical weights hanging on springs, one of which is attached to the ceiling. An expression for the natural frequency of their oscillations can be obtained from the Lagrange equations:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i} = 0, i = 1, 2, \dots, n,$$

where L – the Lagrange function of a system with n degrees of freedom, determined through the kinetic energy T and potential energy U as follows:

$$L(q, \dot{q}) = T(q, \dot{q}) - U(q).$$

Here $q, \dot{q}$ – vectors of generalized coordinates and generalized velocities, respectively,

$$L = \frac{m\dot{x}_1^2}{2} + \frac{m\dot{x}_2^2}{2} - \frac{k \cdot (x_2 - x_1)^2}{2} - mg(x_{01} - x_1) - m(x_{02} - x_2)$$

where x_{0i} – position of balance weights,

$$m\ddot{x}_1 = mg - kx_1 - k(x_1 - x_2)$$

$$m\ddot{x}_2 = mg - k(x_2 - x_1)$$

We introduce the natural frequency of individual weights: $\omega_0^2 = k / m$. Since gravity is constant, it only determines the equilibrium position, therefore, it can be excluded by redefining the coordinates. We are looking for a solution in the form

$$x_j = A_j \cdot e^{i\omega t}, j = 1, 2$$

Substitution leads to a homogeneous system of algebraic equations for determining the coefficients A_j :

$$A_1(2\omega_0^2 - \omega^2) - A_2\omega_0^2 = 0$$

$$-A_1\omega_0^2 + A_2(\omega_0^2 - \omega^2) = 0$$

The system has solutions only at certain frequencies ω . The latter should be determined from the condition that its determinant is equal to zero. We get:

$$\omega^4 - 3\omega_0^2\omega^2 + \omega_0^4 = 0$$

So $\omega_1^2 = \omega_0^2(1 + \Phi)$; $\omega_2^2 = \omega_0^2(2 - \Phi)$ and

$$\omega_1 = \pm\omega_0\sqrt{1 + \Phi}; \omega_2 = \pm\omega_0\sqrt{2 - \Phi}$$

where Φ is the number of Phidias. Thus, the eigen frequencies of synchronous oscillations of the system of two weights are not one, but four, and all are proportional to the "partial" eigen frequency of individual weights, one below it and the other above. The proportionality coefficient is expressed in terms of the Phidias number.

Similarly, the Phidias number, which is associated with the uniformity of space, appears in the dynamics of the Solar System.

Let's construct the complex z_i from the energy characteristics of the planet at number i , from the functions of its potential and kinetic energies, the kinetic energy is proportional to the root of its rotational energy, respectively, through the angular velocity:

$$z_i = U_i \omega_i$$

Using Kepler's second law in the circular orbit approximation

$$T^2 / a^3 = 4\pi^2 / [\gamma M(1 + m / M)] \approx 4\pi^2 / \gamma M \approx T^2 / r^3$$

we obtain:

$$z_i = m_i \sqrt{\gamma M} r^{2/3} / 2\pi$$

Writing down the expressions for potential energy, highlighting the factors $i i m r$, where m – the mass of the planet, r – the distance to the Sun, and summing over i , we get an analogue of the center of gravity relative to the Sun with weight coefficients.

Table 1

	$m, 10^{24} \text{ kg}$	$R_{cp}, 10^6 \text{ m}$	$\omega, 10^{-6} \text{ sec}^{-1}$	$W, 10^{-7} \text{ sec}^{-1}$	$r, 10^6 \text{ m}$	$M, 10^{24}$	$L, 10^{33}$	z/z_{Earth}
Mercury	0,33	58	1,22	8,3	2,4	0,93	0,9	0,559
Venus	4,86	108	0,3	3,2	6,1	21,7	3,7	1,844
Earth	6	150	72,7	2,0	6,4	7146,7	27,0	1
Mars	0,64	228	71,5	1,1	3,4	211,6	3,7	0,038
Jupiter	1907	778	176,2	0,017	70	$6,6 \times 10^8$	19×10^9	5,152
Saturn	571	1427	165,6	0,068	58	$1,3 \times 10^8$	$7,8 \times 10^9$	0,339
Uranus	87	2869	101,0	0,024	25	$0,02 \times 10^8$	$1,7 \times 10^9$	0,009
Neptune	103	4498	109,3	0,012	24	$0,03 \times 10^8$	$2,6 \times 10^9$	0,003
The Sun	$2,2 \times 10^7$	0				$0,6 \times 10^{18}$	0	

Parameters of the planets of the solar system

M – angular momentum of the planet relative to the axis of proper rotation, L – relative to the sun. The moment of amount of movement of the planet - $m[\vec{v}, \vec{r}] = mr^2 W$. The moments of inertia of the planets are calculated roughly, according to the formula $J = \frac{2}{5} mr^2$. Let single out the planets according to natural groups — the terrestrial planets and giant planets. It turns out that the analogues of their centers of gravity are proportional to each other

$$\sum_i U_i^C \omega_i^C \propto \sum_j U_j^F \omega_j^F \propto \sum_k U_k^3 \omega_k^3 \quad (1)$$

Proportionality coefficients – Φ and Φ^2 respectively. That is, the sums of the complexes z_i are analogues of line segments a and b satisfying the relation

$$a / b = (a + b) / a = \Phi = 1,618$$

Of course, all calculations are approximate, since the planets have satellites and rings, in the Solar there are planetoids, the main asteroid belt, Kuiper belt, other groups of asteroids, comets, and cosmic dust. However, among other things, the number Φ indicates that a homogeneous space has formed in the system.

The above calculations indirectly confirm the erroneous discovery of the 9th planet of the solar system. On 20.1.2016, a hypothesis was put forward about its existence, outside the orbit of Pluto - to explain the movement of trans-Neptune objects. Using computer simulation, its mass was determined, approximately 10 times larger than the Earth, diameter - 2-4 times larger than the Earth, a full revolution around the Sun - for 15 thousand years. A 9th planet would violate relation (1). However, it was calculated that the unusual orbits of some trans-Neptune objects are explained by the influence of gravity, not of the 9th planet, but of small objects that make up the disk outside the orbit of Neptune. The facts proving its existence are based on statistical imbalances in the astronomical database [6].

Conclusion

From this it can be assumed that the formation of the solar system occurred as follows.

- 1) From a gas-dust cloud with a density of $(10^{-18} - 10^{-19}) \text{ g/cm}^3$ and a temperature of about 100 over a period of about 10^5 years [5], the Sun was formed, possibly due to the occurrence of gravitational instability due to external influence [ibid.].
- 2) The Casimir effect could play the role of external influence - with space being limited by the framework of a gas-dust cloud (see, for example, [7], where the Casimir effect of a scalar field was considered).
- 3) The gravitational forces of the Sun, since they are proportional to the masses, separated the heavy elements of Fe, Ni, Si, Al, Mg, O from light, H, He.

4) Since there are much more light elements, they formed a clot from which giant planets arose, the clot was displaced to a large distance due to the centrifuge effect.

Thus, the formation of the solar system did not occur according to the Kant-Laplace model, but separately: the sun and protoplanets.

5) The second gas clot was formed from heavy elements, and the terrestrial planets arose from it.

6) Relativistic effects gave the planets, the Sun and the whole system as a whole a rotational movement around the center of mass.

7) The formation of planetary groups from two clumps, the gravitational interaction between them predetermined the further rotation of almost all the planets in one plane.

8) The system acquired its final form after the start of thermonuclear fusion inside the Sun, the T Taurus wind removed the dust-cloud clusters over long distances from each other for 10⁶ years, the temperature difference (from several thousand K in the inner part of the Solar System to 100 K in the outer) determined the snow line (ice line), according to the temperature of solidification of water, carbon dioxide and methane, located at a distance of about 3 AU from the Sun, in the middle between Mars and Jupiter. Saturn and Jupiter retained the gas component, Neptune and Uranus lost most of it.

References

1. Sandina I.V. The system of rotating bodies and conservation laws in the general theory of relativity. Yaroslavl Pedagogical Bulletin. Series "Physics, mathematics and natural sciences". 2010. Issue. 1. P. 81-85. <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-vraschayuschihsya-tel-i-zakony-sohraneniya-v-obschey-teorii-otnositelnosti/viewer>
2. Ikhlov B. L. Cosmology without rotation. Chronos. XXX International scientific-practical conference "Natural and technical sciences in the modern world". M.: 2018. P. 41-49
3. Landau L. D., Livshits E. M. A short course in theoretical physics. Vol. I, "Mechanics", M.: Nauka, 1988, P. 101.
4. Lauren M. Wriess etc. Peas in a Pod: Planets in a Kepler Multi-planet Size and Similar in Size and Regularly Spaced. The Astronomical Journal. 2018. 155, 48 https://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=ru&prev=search&rurl=translate.google.com&sl=en&sp=nmt4&u=https://arxiv.org/abs/1706.06204v3&usq=ALkJrhj23jbOaICgN_YMw_XLZ0acQkvm7Q
5. Legkostupov M. S. On the question of the model of formation of planetary systems. IPM preprints. 2018. №229. 31 P. doi:10.20948/prepr-2018-229, URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2018-229>
6. Shepherding in a Self-Gravitating Disk of Trans-Neptunian Objects; Cory Shankman, JJ Kavelaars, Michele Bannister, Brett Gladman, Samantha Lawler, Ying-Tung Chen, Marian Jakubik, Nathan Kaib, Mike Alexandersen, Stephen Gwyn, Jean-Marc Petit, Kathryn Volk. OSSOS VI. Striking Biases in the detection of large semimajor axis Trans-Neptunian Objects // Submitted on 16 Jun 2017 (v1), last revised 19 Jun 2017. V. 2.
7. Ikhlov B. L. Higgs vacuum in the theory of gravity. Abs. diss. cand. phys-math. sci. M.: MSU, 1988. <http://search.rsl.ru/ru/catalog/record/134189>

ON CONVECTION IN VARIABLE STARS

Introduction

In the absence of gravity in the static case, the temperature in a spherical system with a heat source in the center, as follows from Fourier's law, varies by hyperbola. It is argued that in pulsating variable stars, a change in volume can occur due to the instability between pressure and the force of gravity. Which is doubtful, because the pressure increases during compression, for example, according to the adiabatic law $pV^k = \text{const}$, где $k = C_p/C_V$. That is, the pressure is inversely proportional to r^{3k} , whereas the force of gravity decreases inversely proportional to r^2 . Thus, an equilibrium radius arises, and the equilibrium between pressure and gravity is stable. For RR Lyra and cepheid type variables, the Kappa luminosity change mechanism associated with He³ ionization is complemented by a gamma mechanism associated with a lower temperature of ionized helium and a radius mechanism associated with a decrease in the surface area of the star during compression and an increase in its density.

For semiregular variables, the change in luminosity is associated with convection in the outer layers, but it has not been investigated how the periodicity of luminosity arises.

Convection in stars is usually considered within the framework of classical thermodynamics. It is believed that in the equilibrium state, heat transfer occurs only through radiation, photons are absorbed by atoms and re-emitted, or radiation is scattered by free electrons. Convective mixing is determined only by temperature gradients. This approach leads to a contradictory result. Near the surface of the Sun, the thickness of the convective layer can reach about 10^4 km, in K-class stars it is noticeably larger, in M-stars it can reach almost to the center, in stars hotter than F0, the convective layer is practically absent. It turns out that the hotter the star, the less convection.

To study convection in stars without affecting the nuclear convective zone, it is necessary to consider a complete system of convection equations, for example, in the Boussinesq-Oberbeck approximation. equations of thermogravitational convection, equations of magnetic hydrodynamics [1], plasma equations [2, 3], So the theoretical investigation of it is too difficult task.

Convective flows occur if the Rayleigh number is greater than a certain critical value, the equilibrium of the liquid becomes unstable. The symmetry of the infinite horizontal layer and homogeneous heating conditions make possible periodic structures - shafts, rectangular and hexagonal cells, which are unstable with respect to three-dimensional, two-dimensional long-wave longitudinal disturbances, etc. In the case of a limited horizontal layer, profiles of the soliton type are possible. In the supercritical region, linear theory allows you to choose a perturbation whose growth rate is maximal, stationary solutions of the nonlinear problem are found in a wide range of Rayleigh number variations, allowing you to determine the intensity of motion, heat flow, etc. It was found that the additional heat flow in the horizontal layer near the threshold increases linearly with increasing supercriticality.

The mechanisms of convection pulsations of semi-correct variables are the least studied [4].

In [5], the Stothers–Leung theory was further developed, according to which the pulsations of the luminosity of stars are associated with the sequentially synchronous inversion of giant convection cells in the shells of massive red supergiants. The data in [5] are in good agreement with the data on long secondary periods of fluctuations in the luminosity of two stars, Betelgeuse and Antares.

In this article, alternative mechanisms of fluctuations in the pulsations of the luminosity of stars are proposed. Some points of it can be shown using a simple model of convection equations in the Boussinesq approximation.

Model task

Consider three-dimensional convection in a horizontal layer with heat-insulating surrounding arrays at small exceedances of the critical Rayleigh number. For simplicity and brevity, we investigate a linearized system in which the speeds are low. In the heat equation, we take into account the nonlinear gradient term. Then the system of convection equations will take the form

$$\begin{cases} \nabla p - \vec{U} + R_p T \vec{g} = 0 \\ -\frac{\partial T}{\partial t} + \Delta T + \vec{U} \vec{g} - \vec{U} \nabla T = 0 \\ \text{div} \vec{U} = 0 \end{cases}$$

where $R_p = \frac{g\beta L^2 \delta T}{\nu \chi}$, T – temperature deviation from the equilibrium distribution, δT - temperature difference at the boundaries of the layer, χ – thermal conductivity, ν – kinematic viscosity; unit of length L is the width of the layer, velocity is measured in ν/L , pressure is measured in $\rho_0 \nu \chi$.

Let's choose a suitable coordinate system, then for the thermally insulated layer the boundary conditions will be written as

$$z = 0, z = 1; U_z = \partial_z T = 0$$

Excluding the velocity from the equations, we get the system:

$$\begin{cases} -\frac{\partial T}{\partial t} + \Delta T + \nabla p \nabla T - RT \frac{\partial T}{\partial z} + \frac{\partial P}{\partial z} + RT = 0 \\ -\Delta p + R \frac{\partial T}{\partial z} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Since we are solving a model problem, for this system we can choose boundary conditions in this form:

$$z = 0; z = 1; \frac{\partial T}{\partial z} = 0; \nabla P = RT\vec{g} \text{ или } \frac{\partial P}{\partial z} = -RT.$$

For this system, the solvability condition of an inhomogeneous system of differential equations is obtained by integrating the expression for $\partial_z^2 T_k$, which is obtained in k -th order, by the thickness of the layer.

To consider processes having different time and spatial scales, we use the method of many scales. The functions of pressure and temperature can be represented as depending on a set of variables $t_n = a_m^n t$, where t_1, t_2 , etc. are slow times; then the time derivative has the form:

$$\frac{\partial}{\partial t} = \sum_{n=0}^{\infty} a_m^n \frac{\partial}{\partial t_n}$$

In the future, we believe that all the fast processes have already passed and the functions T, P do not depend, at least, on t_0 .

For spatial variables (horizontal), we restrict ourselves to the first order in the series, assuming that in the zero order the functions T, P have no dependence on x_0, y_0 :

$$\xi = a_m x, \quad \eta = a_m y$$

Then the derivatives of these coordinates have the form:

$$\frac{\partial}{\partial x} = a_m \frac{\partial}{\partial \xi}; \quad \frac{\partial}{\partial y} = a_m \frac{\partial}{\partial \eta}$$

We use the small parameter method; with small supercriticalities $R - R_0$ the wave number, temperature, pressure functions, as well as the critical Rayleigh number are decomposed in a series by degrees of the wave number:

$$R_p = \sum_{n=0}^{\infty} a_m^{2n} R_{2n}; \quad T = \sum_{n=0}^{\infty} a_m^{4n} T_n; \quad P = \sum_{n=0}^{\infty} a_m^{4n} P_n \quad (2)$$

Let's substitute these derivatives and decomposition (2) into the system of equations and into the system of equations (1). Using boundary conditions, we obtain in zero order:

$$P_0 = R_0 T_0 \cdot z - \frac{R_0 T_0}{2}; \quad \frac{\partial T_0}{\partial z} = 0$$

In the first order, we obtain that the functions T, P do not depend on t_1 ;

$$P_1 = R_0 T_1 \cdot z - \frac{R_0 T_1}{2}; \quad \frac{\partial T_1}{\partial z} = 0$$

In the second order, using the solvability condition, we obtain: $R_0 = 12$, the functions do not depend on t_2 ;

$$P_2 = \frac{R_0}{2} \Delta_2 T_0 \left(\frac{z^2}{2} - \frac{2}{3} z^3 + \frac{z^4}{2} - \frac{z^5}{5} \right) + \frac{R_0}{2} [\nabla_2 T_0]^2 (2z^3 - z^4) + R_2 T_0 z + C_2$$

where Δ_2, ∇_2 - two-dimensional laplacian and gradient, C_2 - integration constant independent of z ,

$$T_2 = \Delta_2 T_0 \left(-\frac{z^2}{2} + z^3 - \frac{z^4}{2} \right) + (\nabla_2 T_0)^2 (3z^2 - 2z^3)$$

In the third order, the calculations coincide with the calculations in the second order. We get:

$$P_3 = \frac{R_0}{2} \Delta_2 T_1 \left(\frac{z^2}{2} - \frac{2}{3} z^3 + \frac{z^4}{2} - \frac{z^5}{5} \right) + \frac{R_0}{2} [\nabla_2 T_1]^2 (2z^3 - z^4) + R_2 T_1 z + C_3$$

$$T_3 = \Delta_2 T_1 \left(-\frac{z^2}{2} + z^3 - \frac{z^4}{2} \right) + [\nabla_2 T_1]^2 (3z^2 - 2z^3)$$

the functions T, P do not depend on t_3 .

In the fourth order, using the solvability condition, we obtain a closed equation for T_0 :

$$\frac{\partial T_0}{\partial t} + \frac{2}{21} \Delta_2^2 T_0 + \frac{R^2}{12} \Delta_2 T_0 - \frac{6}{5} (\nabla_2 T_0 \nabla_2) [\nabla_2 T_0]^2 - \frac{6}{5} \Delta_2 T_0 [\nabla_2 T]^2 = 0 \quad (3)$$

Since the solution of a linear problem should have the form

$$T_0 = \exp(i\xi) \exp(i\eta)$$

so, substituting this expression in (3), we get $R_2 = \frac{8}{7}$.

To get rid of the coefficients in equation (3), we introduce variables

$$\tau = \frac{2}{\sqrt{35}} t, \quad \bar{T} = \sqrt{\frac{63}{5}} \cdot T_0$$

then equation (3) will be written as::

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial \tau} + \Delta_2^2 \bar{T} + \Delta_2 \bar{T} - (\nabla_2 \bar{T} \nabla_2) [\nabla_2 \bar{T}]^2 - \Delta_2 \bar{T} [\nabla_2 \bar{T}]^2 = 0$$

In a planar problem, when only one horizontal coordinate is involved, the equation goes into the following:

$$\dot{\mathcal{G}} + \partial_{\xi}^4 \mathcal{G} + \partial_{\xi}^2 \mathcal{G} - \partial_{\xi}^2 (\mathcal{G}^3) = 0 \quad (4)$$

where $\mathcal{G} = \partial_{\xi} \bar{T}$. For high speeds, the calculations are much more cumbersome, but the equation turns out exactly the same. In the stationary case, equation (4) has the solution

$$\mathcal{G} = \sqrt{\frac{2k^2}{1+k^2}} \operatorname{sn} \frac{\xi - \xi_0}{\sqrt{1+k^2}}$$

where k is the module of the elliptic Jacobi function associated with the wavenumber $\bar{a} = a / a_m$ by the relation

$$\bar{a} = \frac{\pi}{2K(k)\sqrt{1+k^2}}, \text{ where } K(k) \text{ is a complete elliptic integral of the first kind, } \xi_0 \text{ is an integration constant.}$$

Numerical analysis (4) shows that the temperature increases with time to the upper boundary of the layer. That is: equation (4) itself does not contain vibration modes, but it shows a periodic cessation of convection. Are large exceedances of the Rayleigh number of critical value characteristic for stars? I.e. the analytical solution of the Rayleigh-Benard problem for a homogeneous one-component liquid was investigated in [6], distributions of temperature and velocity fields for supercriticality up to $R = 3 \cdot 10^6$ are obtained. For semi-controlled supergiants, the acceleration of gravity, which is included in the Rayleigh number, exceeds the terrestrial by at several orders of magnitude, so this calculation is valid for them with small supercritical exceedances.

Dependence of the oscillation period on the Rayleigh number

It can be seen from the equations of the Boussinesq model that the harmonic dependence of temperature on time is realized in a linear system.

Oscillatory modes in various convective nonlinear systems are well known.

Vibrational regimes were experimentally observed during Marangoni concentration convection [7]. Forced oscillations were studied in a system with magnetic convection, see [8]. The oscillatory mode of Rayleigh-Benard convection is investigated, and the critical value of the Rayleigh number is obtained in a linear system of nonautonomous Lorentz-type equations.

Asymmetric oscillations in a convective system are considered in [9], and the dependence of the natural frequency of the system on the normalized Rayleigh number is obtained in the Lorentz model for $Pr = 10$

$\omega \approx 0,22 + 2,11\sqrt{r-1}, 4; 1,5 < r < 20$. Without restrictions of generality, one can put

$\omega = c_1 + c_4 \sqrt{Ra - c_5}$, where c_i – characteristic parameters.

Estimation of the frequency of changes in luminosity

$$\omega = 2\pi \sqrt{G\rho}$$

see [10, p. 403].

The critical Rayleigh numbers depend on the wave numbers and on the dimensionless parameters of the medium: the magnetic Prandtl number, the Hartmann number, the Taylor number, the Rossby number. In massive bodies, a relativistic effect occurs.

Rayleigh number $Ra \propto g$, that is, the Rayleigh number depends on the radius of the star - due to the dependence of gravity on the distance to the center, which is enhanced due to its non-classicity. For example, the equations of motion of a material point in a gravitational field have the form

$$\frac{d^2 x^i}{ds^2} + \Gamma_{jk}^i \frac{dx^j}{ds} \frac{dx^k}{ds} = 0, \quad \Gamma_{jk}^i = \frac{g^{il}}{2} \left(\frac{\partial g_{kj}}{\partial x^l} + \frac{\partial g_{kl}}{\partial x^j} + \frac{\partial g_{jl}}{\partial x^k} \right).$$

In the case of velocities small compared to the speed of light and weak constant gravitational fields, the potential and equations of motion take the form

$$\varphi = -c^2(1 + g_{44})/2, \quad \varphi(r) = -\frac{Gm}{r} + C$$

$$\Delta\varphi = \frac{2}{r} \frac{\partial\varphi}{\partial r} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial^2 r} = 4\pi Gm; a \propto -\nabla\varphi.$$

In the post-Newtonian approximation

$$a = -\nabla\varphi + q(\nabla\varphi)^2, \quad (\nabla\varphi)^2 = \frac{1}{2}\Delta\varphi^2 - \varphi\Delta\varphi, \quad a = -\nabla\varphi + 4\pi qm\varphi = g = Gm/r^2 + 4\pi qGm/r. \text{ So}$$

$g = \frac{4}{3}\pi G\rho r(1+r)$. Then the Rayleigh number $Ra = \frac{4\pi r(1+r)\beta L^3}{v\chi} G\rho$, and the natural frequency will be written as

$$\omega = c_1 + c_2 \sqrt{G\rho - c_3}$$

Thus, the natural frequency of asymmetric oscillations in the convection equations corresponds to the estimation of the period of changes in the luminosity of stars.

Conclusion

It is generally believed that in stars, the temperature directly below the photosphere increases extremely rapidly into the interior and radiation emission cannot ensure the release of radiation from deeper hot layers, which is the cause of convection, which ensures the stability of the star.

However, when convection occurs, mixing occurs, which leads to temperature equalization.

The mechanism generating the oscillatory mode can be schematically represented as follows: 1) first, due to the outflow of energy in the form of radiation and stellar wind in the surface layer of the star, the temperature difference generates intense convective mixing, which leads to an averaging of the temperature over the layer, the temperature gradient decreases; 2) the same happens with the next, lower-lying layer; 3) the cooling of the upper layers continues to the level where thermonuclear fusion takes place, the energy of which, with the help of convection, heats the upper layers to the previous temperature, the temperature gradient decreases again. 4) The cooling of the upper layers begins again, etc.

Thus, there are at least two mechanisms of periodic pulsations of luminosity of semi-controlled variables:

- temperature equalization along the upper layer, a decrease in the Rayleigh number less than the critical one and the cessation of convection, then the occurrence of convection due to heating from the stellar core and cooling of the upper boundary of the layer;
- the occurrence of asymmetric oscillations in the convective layer.

In the latter case, taking into account the dependence of the critical Rayleigh number on the gravitational field, it is possible to adjust the formula for the pulsation frequency of semiregular variable stars.

References

1. Reiners, A., Basri, G. (2009) On the magnetic topology of partially and fully convective stars. *Astronomy and Astrophysics journal*, 496, 3, 787-790 [doi:10.1051/0004-6361/200811450](https://doi.org/10.1051/0004-6361/200811450).
2. F. Pegoraro, F. Califano, G. Manfredi, P. J. Morrison (2015) Theory and applications of the Vlasov equation. *Eur. Phys. J. D.*, 69, 68 [doi:10.1140/epjd/e2015-60082-y](https://doi.org/10.1140/epjd/e2015-60082-y)
3. Kopp, M. I. (2015) On the theory of stability of a rotating plasma with a constant temperature gradient. *M. Young Scientist*, 23, 103, 34-40. URL: <https://moluch.ru/archive/103/24082/> (accessed: 24.01.2022).

4. Karttunen H., Kroger P., Oja H., Poutanen M., Donner K. J. (2016) Fundamental Astronomy. 6th Edition. Berlin; Heidelberg; N. Y.: Springer.
5. Stothers, Richard B. (2010) Giant Convection Cell Turnover as an Explanation of the Long Secondary Periods in Semiregular Red Variable Stars. The Astrophysical Journal, 725, 1, 1170-1174 DOI: [10.1088/0004-637X/725/1/1170](https://doi.org/10.1088/0004-637X/725/1/1170)
6. Gabitova, A. (1983) Numerical study of convective flows in elastic-viscous liquids. Candidate's dissertation in Mathematics and Physics. Kazan state university.
7. Birikh, R. V. (2011) Vibrational modes of concentration convection and features of setting boundary conditions at interphase boundaries. Bulletin of the Nizhny Novgorod University, 4, 3, 647-649.
- Denisova M. O., Zuev A. L., Kostarev K. G. (2022) Oscillatory modes of concentration convection. Successes of physical sciences, 1. DOI: [10.3367/UFNe.2021.07.039030](https://doi.org/10.3367/UFNe.2021.07.039030)
8. M. I. Kopp M. I., Tur A. V., Yanovsky V. V. (2020) Magnetic convection in an inhomogeneously rotating electrically conductive medium under the influence of modulation of an external magnetic field. Journal of Experimental and Theoretical Physics, 157, 5, 901-927. DOI 10.31857/S0044451020050132
9. Melentyev, A. B., Tarunin, E. L. (2012) Effects of asymmetric oscillations in convection. Computational continuum mechanics, 5, 3, 284-291.
10. Kononovich, E. V., I. V. Moroz, I. V. (2004) General Astrophysics Course, Moscow, URSS [in Russian].

HIGGS GRAVITATION VACUUM

The Goldstonic treatment of gravity by Ivanenko and Sardanashvily /1/ poses the question on a Higgs gravitation vacuum. To describe such a vacuum one can apply the familiar method of effective action /2/. By this method a gravitation Lagrangian includes terms induced by the polarization of the matter vacuum $L_g = L_g^0 + (f_0 a_0 + f_1 a_1 + f_2 a_2)$, where $a_0 = 1$, $a_1 \in R$, a_2 denotes quadratic curvature terms, coefficients f depend on the sort of matter. These coefficients yield the renormalization of cosmological, gravitation and other constants in the gravitation Lagrangian.

We examine an internal symmetry Higgs vacuum as a source of the gravitation Higgs vacuum /3/. Let φ be a scalar field responsible for formation of a Higgs vacuum σ , i.e. σ obeying the equation

$$\text{Tr}(\sigma G(\sigma)) = i g \sigma \quad (130)$$

where $G(\sigma)$ is Green's function of the field φ in the presence of σ , and $L^0 = g \sigma^2 / 2$ is an initial Lagrangian of a Higgs field σ . Take a constant solution σ_0 of the equation (130) (without as yet considering concrete models). Then coefficients f read

$$f_0 = i \int \text{Tr} G(\sigma) d\sigma / 2, \quad f_1 = -i \text{Tr} G(\sigma) / 2, \quad f_2 = i \frac{\partial}{\partial \sigma^2} G(\sigma) / 2 \quad (131)$$

Substituting this constant solution σ_0 of Eq. (130) in (131), one finds the effective gravitation Lagrangian

$$L_g = L_g^0 \frac{1}{2} g \sigma_0^2 + g a_1 \quad (132)$$

Emphasize that the cosmological term $\frac{1}{2} g \sigma_0^2$ is compensated by the initial Higgs field Lagrangian L_σ^0 so that the whole Lagrangian reads $L = L_g^0 + g a_1 / 2 + L_\sigma$ where the Higgs field Lagrangian L_σ includes only polarization terms. The renormalizable gravitation constant is independent from the value of Higgs field σ_0 , and quadratic curvature terms are absent in (132), i.e. Higgs sources, lead just to the Hilbert-Einstein gravitation action.

1. D. Ivanenko, G. Sardanashvily, Phys. Rep., 1983, v.94, p.1.
2. N. Birrel, P. Davies, Quantum fields in curved space, Cambridge Univ.Press, 1982.
3. G. Sardanashvily, B. Ikhlov, Vestnik Mosk. Univ., Physics, 1986, №2, p.18 (russ.).

THE PROBLEM OF CRITICAL DENSITY

The evolution of the universe is associated with a critical density: if the density of the Universe is higher than the critical one, then this is a closed model, its future is collapse. If the density is below critical, then this is an open model, its future is thermal death.

The density of the universe consists of the density of vacuum, the density of ordinary matter and the density of radiation. According to one version, the density of dark energy is the density of vacuum. It is defined through the cosmological constant:

$$\rho_V = \Lambda / (8\pi G); c=1, \rho_V \approx \rho_c \approx 0,6 \cdot 10^{-29} \text{ g/cm}^3, \text{ in Plank mass } \rho_V \approx 2 \cdot 10^{-123} M_{Pl}.$$

According to Friedman's theory, gravity is created not only by the density of the medium, but also by its pressure in combination $3p + \rho$. Vacuum causes antigravity because its effective gravitational energy,

$$\rho_G = \rho_V + 3p_V = -2\rho_V, \text{ is negative at a positive density.}$$

Accordingly, the gravitational density is equal to the sum of the densities of vacuum, latent mass, baryonic matter and radiation:

$$\rho_G = -2\rho_V + \rho_D + \rho_B + \rho_R = C_V + C_D / r^3 + C_B / r^3 + C_R / r^4$$

The wave resistance in gases is equal to the speed of sound per gas density:

$$R_{gas} = v_{gas} \rho_{gas}$$

The wave resistance of the physical vacuum in which the electromagnetic wave propagates is determined through the magnetic and dielectric permittivity of the vacuum:

$$R_{vac} = \sqrt{\mu_0 / \epsilon_0} = 376,73 \Omega$$

The speed of sound in a vacuum is zero, although in many problems devoted to the Casimir effect, the speed of sound is found, which sometimes exceeds the speed of light.

The sound wave in a vacuum is replaced by an electromagnetic wave, responsibly,

$$R_{vac} = \rho_{vac} c$$

Hence, the density of the physical vacuum is $1.257 \times 10^{-9} \text{ g/cm}^3$, which is 20 orders of magnitude higher than the critical density. Thus, the parameter called "critical density" cannot be related to the evolution of the universe.

Thermodynamics

Usually, the fact that the cosmological vacuum has a negative density equal to its pressure is explained from thermodynamics. The amount of energy enclosed in a volume V with a vacuum is pV , where ρ is the density. An increase in the volume of dV leads to an increase in its internal energy, which means performing negative work. Since the work performed by changing the volume of dV is $p dV$, where p is the pressure, then p is negative and $p = -\rho$.

However, such free treatment of thermodynamics is unacceptable. The fact is that when the gas expands into the void, the gas does not work, its temperature does not change.

The work is performed with adiabatic expansion, we can assume that since the Universe does not receive heat from the outside and does not give it anywhere, the process of its expansion is adiabatic. The role of internal energy is performed by the energy of gravity. However, it is impossible to consider the Universe as a thermodynamic system, in addition, the presence of gravity violates the 2nd law of thermodynamics. This has been proven both at the classical and quantum levels.

In the presence of gravity in thermodynamic systems, classical thermodynamics does not work. However, Hawking boldly applies it to black holes. This is a mistake – but conventionalism prevails in physics.

Using a simple example of a gas (in a solid or in a photonic gas it is more complicated, but the essence is the same), you can see the following: in order for the thermodynamics model to work, numerous elastic collisions between atoms are needed, that is, averaging is needed. This averaging makes it possible to introduce such an intensive parameter (at a point) as temperature. In the Universe, the number of collisions between galaxies is many orders of magnitude less than in ordinary gas, stars collide more often, but still rarely, and all collisions are clearly inelastic. It is impossible to introduce a statistical ensemble for the Universe. On the other hand, there is no thermostat in the universe, respectively, there is no concept of equilibrium. Therefore, the temperature at a point is nonsense for the universe.

In vacuum, energy dominance is violated in many cases (for example, in the Casimir effect for some volumes), in the framework of extended nonequilibrium thermodynamics, it is shown that in such systems (if they are thermodynamic), the 2nd law of thermodynamics is also violated.

Thus, the model of thermodynamics for the Universe does not work.

It would seem that gas makes up the bulk of matter in the universe. Can gas and radiation be considered as a thermodynamic system? No, it turns out that the temperature of the gas and the temperature of the relic radiation are different. The balance has not been established for billions of years! And therefore it has not been established that collisions between gas atoms in the Universe are extremely rare, the average density of the Universe is negligible, there is no statistical ensemble.

But Gorbunov and Academician Rubakov, nevertheless, draw a dedicated site in the Universe, which is bombarded by electrons and positrons.

In the book by D. S. Gorbunov and V. A. Rubakov "Introduction to the Theory of the Early Universe" (Moscow: URSS-LKI, 2008) – the authors mistakenly apply a thermodynamic approach to the Universe. Chernin does the same.

We are reading the article by A. D. Chernin "Physical vacuum space antigravity", Traffic Police of Moscow State University - Tuorla, Turku University, Finland: "With adiabatic compression or expansion of a homogeneous ball, the relationship between density change and pressure is described by the equation

$$d\rho = -3(\rho + p)d\ln a$$

for any component of the medium, if there is no energy exchange between the components. As it is easy to check, this relation follows from the thermodynamic identity $dE = TdS + pdV$ (E is the total internal energy with rest energy) if $dS = 0$.

From this equation, Chernin writes, it is easy to find how the densities of matter and radiation change over time when its radius changes during the expansion or contraction of the ball.

Probably, a is the radius of the ball, Chernin does not specify. He also does not indicate what the ball consists of – whether it is an ideal gas for which the Clapeyron-Mendeleev equation is fulfilled (not even Van der Waals), or whether it is a solid with a completely different equation of state, the $pdV = -dE$ ratio is NOT fulfilled when taking into account the internal thermal motion of the crystal particles.

In general, for a solid, the dependence of the pressure tensor and internal energy on volume is an alternating function, see, for example, "Introduction to Molecular Physics and Thermodynamics"

https://scask.ru/k_book_m_ph.php?id=31

Gorbunov and Rubakov write out the SAME equation as Chernin, and indicate that a is a scale factor (formulas 3.11 and 3.13, pp. 63, 64). The authors write that these formulas are derived from the zero divergence of the energy-momentum tensor, i.e. without any thermodynamic equation of state - hence, obviously incorrect.

The Chernin equation is derived from the known relation for an ideal gas:

$$dS = d(C_V \ln T + R \ln V); V = (4/3) \times 3.14 a^3$$

taking into account the multiplier, which includes the mass of the gas ball.

And this thermodynamic approach, also classical, they apply to the analysis of Friedman's equations, from where they get the dependence of the Hubble constant H and density on time for different epochs with different equations of state.

Gorbunov and Rubakov consider the equilibrium in the universe, use the Boltzmann distribution function, worse, consider the chemical potential, both are incorrect.

Return to criteria for the evolution of the Universe

In cosmology, the evolution of matter in the Universe is dictated by geometry, only three options are possible: the sign of three-dimensional scalar curvature (convolution of the three-dimensional Ricci tensor) determines the evolution of the Universe: with a positive sign, a space of constant positive curvature is realized, with a negative sign, a space of constant negative curvature, and with zero, a flat Euclidean space.

But the fact is that curvature can appear only after the appearance of particles, and particles form curvature, it is not given in advance, independently, from the outside, with an increase in the number of particles, the curvature increases. However, in Friedman's equation, the expansion of the Universe is not determined from matter, the scale factor is imposed "from the outside".

In addition, the evolution of the universe is also determined by whether the critical cosmological constant, that is, the density of the vacuum, is greater, less or equal to. But the criteria of critical density and critical lambda are not separated from each other, lambda is related to the vacuum density. A contradiction arises, because the vacuum density itself enters into another criterion that determines the sign of the curvature of space.

In addition, if dark energy is vacuum energy, then these 70-75% of the mass of the Universe is negative, therefore, the density of the Universe is not close to zero, but significantly less than zero.

Secondly, it is assumed that the early Universe (immediately after inflation) was flat – which is clearly incorrect, since the density of matter was clearly higher than critical.

Thirdly, in the lambda-dominance stage, the vacuum density prevails, this density is negative, therefore, the curvature is negative. However, recent astronomical data show that the curvature of the universe is greater than zero.

During the period of inflation, in the era of baryogenesis, the mass of matter in the Universe increases from 10^{-5} gram to 10^{56} gram, the curvature increases sharply. Since the curvature and the Hubble constant are connected in Cartesian coordinates, then their equations connecting them turn out that with a large curvature, the Hubble constant is also large. As the density of matter in the universe decreases, the curvature decreases and the Hubble constant decreases sharply.

It would seem that Friedman's equations are adequate here. However, the curvature of space cannot be constant, in Einstein's equation it is determined by the available matter, its density, which changes with time. Therefore, the Friedman equation is divided by time into four parts: inflationary, radiation dominance stage, dust and lambda dominance stage.

In the last stage, it is assumed that the total density in the Universe is close to critical, from which conclusions are drawn about the further evolution of the Universe. But with the expansion of the Universe, the density will inevitably become less critical, i.e. the conclusions about the evolution of the Universe should change to the opposite.

It is generally believed that if the density of the Universe is greater than the critical one, then the expansion of the Universe should stop and be replaced by compression. The physical meaning of the statement is doubtful: with the expansion of the Universe, the speed, according to Hubble's law, only increases, on the other hand, the stopping effect of gravity decreases with distance.

Currently, measurements show that the density of the Universe is close to critical with great accuracy.

But, therefore, let's say 3-4 billion. years ago, which is easy to get using Hubble's law, the density of the Universe was higher than critical, that is, the universe was closed and the scenario of Universe compression had to be realized.

On the other hand, measurements show that the curvature is positive, and the density of the universe is slightly higher than critical. There should be compression. But it is easy to get that in a couple of billion years the density of the Universe will be below the critical one, therefore, the Universe will be opened, and the scenario of the infinite expansion of the Universe should be realized.

That is, Friedman's equations in relation to the evolution of the Universe give an obviously incorrect result.

2) The Friedman equation includes the continuity equation, an ideal fluid model is used, but this is complete nonsense, because vacuum is not a dynamic system, it does not flow anywhere and does not flow out of nowhere, there is no Ostrogradsky theorem or Navier-Stokes equation for vacuum, vacuum is not an ideal fluid.

3) The critical density is determined by equating the CLASSICAL gravitational energy and the antigravity energy (kinetic energy according to Hubble's law). This classic is then thrust into the analysis of Friedman's equations.

At the same time, there are no obstacles to simply equalize the force of gravity and the force of antigravity, as Chernin does. It is worth continuing his calculations.

The relationship between the critical density and the Hubble constant $H = (8 \times 3.14 \times G\rho/3)^{1/2}$ is derived from the classical equality of the kinetic energy of the galaxy and the potential energy of gravity:

$$v^2 = 2 GM/R = 8 \times 3.14 \times G\rho R^2/3 = H^2 R^2$$

In this case, the force of gravitational repulsion is 8 times different from the gravitational attraction:

$$F = 8GMm/R^2$$

But there is no classical law of conservation of energy in GRT, so there are no restrictions to use the equilibrium condition of the repulsive force and the accelerating force to determine a state with a non-increasing velocity. Then the multiplier 8 disappears, the acceleration given by antigravity will be written as

$$a = GM/R^2$$

That is, antigravity becomes identical to gravity, Gleaner's law becomes Newton's law, mass becomes classical vacuum. At the same time, the critical density increases by 8 times.

In any case, the critical density is calculated incorrectly, from the idea of the constancy of the positive gravitational density.

That is, the concept of critical density loses its meaning.

4) If we apply the method of calculating the critical density to the interaction of two gravitating bodies (Gleaner's version of antigravity), then in the linear case it works. For example, the Andromeda nebula is approaching at a constant speed, which corresponds to the calculation according to Gleaner's version.

But the Andromeda nebula rotates slightly around the Milky Way, and the calculation shows that in this case the Andromeda nebula will not approach the Milky Way, which contradicts observations.

Moreover, an attempt to determine the theoretically equilibrium radius, as Chernin did (3 Mps), immediately leads to contradictions.

The fact is that Hubble acceleration can be written in two ways: as $H^2 r$ and as $H\dot{r}$, which gives significantly different differential equations. But in both cases, in the equations of motion, r is the desired function of time, while in the Hubble equation it is already defined as exponential, so near equilibrium (r is neither large nor small) it is not defined.

It is more correct to present the equation of motion in such a way that the Hubble force is the resultant when the gravitational force is added to the real repulsive force.

Causes and effects

I talked about this topic with some Russian experts in the theory of gravity, doctors of sciences, they could not answer the question about critical density. I wrote to the American physicist Lee Smolin – there is no answer. Why is the issue of critical density not recognized by the scientific community? Yes, because, I repeat, the American principle of conventionalism prevails in the world. This is an illogical, stupid principle. If one scientist made a mistake, and a hundred scientists agreed with him, then this mistake will be considered the truth.

For example, Hawking's mistake is repeated and repeated, that thermodynamics allocates an arrow of time. The absurd mistake of De Broglie, that the gas pressure is only on the walls of the vessel, and there is no gas inside, is printed in the Einstein Collection. And all this is repeated like parrots, including Tolmen, from where they deduce that Einstein's relativistic temperature formula allegedly does not contradict the opposite Ott formula, although in fact both were mistaken.

Everyone, like parrots, keeps saying that astronomical data on vacuum density differ from theoretical ones (according to KTP) by 120 orders of magnitude. In fact, Zeldovich and Weinberg made a mistake, used the wrong renormalization. But everyone has been repeating their mistake since the 70s.

Why is that? Because the pluralistic version of "there are different opinions, different points of view" is incorrect, this version is included in the tools of manipulating mass consciousness. One opinion is opposed not by another opinion, but by a rigid clan ideology that stamps mass consciousness. Conventionalism is part of the generally accepted primitive religion of postpositivism.

"... modern physics lies in childbirth. It gives birth to dialectical materialism. Childbirth is painful. In addition to a living and viable being, they inevitably give some dead products..." (Lenin, "Materialism and Empirio-criticism", Politizdat, 1986, p. 335).

VIOLATION OF ENERGY DOMINANCE IN QUANTUM FIELD THEORY

Introduction

Violation of energy dominance in a field vacuum means an excess of pressure over the energy density.

Vacuum in quantum field theory is defined as the ground state $|\tilde{0}\rangle$ with minimal energy, satisfying the ratio

$\langle \tilde{0} | a_{\alpha}^- | \tilde{0} \rangle = 0$ для γ_{α} , where a_{α}^- - operator of annihilation of quantum field φ ; The index α can be discrete or continuous.

The effects associated with the polarization of vacuum in a limited space are described in detail in [1]. In [2,3], self-consistent cosmological solutions of the Einstein equation are obtained for the first time due to the polarization of the vacuum of massless fields in isotropic spacetime. In papers [4-7], a mechanism for inducing gravity by quantum processes of material fields was proposed, and in [8] the induction of "strong" gravity was considered. The problem of vacuum polarization taking into account temperature fluctuations has been solved in [9], but the spatial components of the energy-momentum tensor (TEI) are not defined there. In this paper, the vacuum averages of the components of a massive scalar field are calculated without taking into account gravity for a limited one-dimensional space and the velocity of propagation of a disturbance in a vacuum, as in a continuous medium, is estimated. (Assumed $\hbar = c = 1$).

Massive scalar field

Let's consider a one-dimensional problem. Let's write the Lagrangian of the field in the following form

$$L = \frac{1}{2} (\partial_{\mu} \varphi^* \partial^{\mu} \varphi - m^2 \varphi^* \varphi) \quad (133)$$

Find TEI by standard procedure from (1):

$$T_{\mu\nu} = \frac{1}{2} [\partial_{\mu} \varphi^* \partial_{\nu} \varphi + \partial_{\nu} \varphi^* \partial_{\mu} \varphi] - L g_{\mu\nu} \quad (134)$$

and write out the Klein-Gordon-Fock equation:

$$(-\partial_t^2 + \partial_x^2 - m^2) \varphi = 0. \quad (135)$$

Let's quantify the field:

$$\varphi = \sum_{\alpha} (\varphi_{\alpha}^+ a_{\alpha}^+ + \varphi_{\alpha}^- a_{\alpha}^-), \quad (136)$$

where $\varphi_{\alpha}^{\pm}(x, t)$ is a complete orthonormal system of positive and negative frequency solutions. The vacuum state in a space with boundaries is denoted by $|0\rangle$, the index α will be discrete in this case. Let's calculate the vacuum average from the zero component of the TEI:

$$T_{00} = \frac{1}{2} [\partial_t \varphi^* \partial_t \varphi + \partial_x \varphi^* \partial_x \varphi + m^2 \varphi^* \varphi] \quad (137)$$

for a one-dimensional segment $0 \leq x \leq a$.

The vacuum average has the form:

$$\langle 0 | T_{00} | 0 \rangle = \frac{1}{2} \sum_{n=0}^{\infty} (\partial_t \varphi_n^- \partial_t \varphi_n^+ + \partial_x \varphi_n^- \partial_x \varphi_n^+ + m^2 \varphi_n^- \varphi_n^+). \quad (138)$$

Let's solve equation (3) for a string fixed at the ends with boundary conditions

$$\varphi(t, 0) = \varphi(t, a) = 0. \quad (139)$$

The solution that satisfies these conditions

$$\varphi_n^{\pm} = \frac{1}{\sqrt{a\omega_n}} \exp(\pm i\omega_n t) \sin(\kappa_n x), \quad (140)$$

where $\omega_n^2 = \kappa_n^2 + m^2$, $\kappa_n = \frac{\pi n}{a}$, $n = 0, 1, 2, \dots$ and coefficient $1/\sqrt{a\omega_n}$ is determined from the normalization

condition нормировки $\int_0^a T_{00}^{(n)} dx = \omega_n$ или $i \int_0^a (\varphi_n^* \partial_t^{\leftrightarrow} \varphi_n) dx = 1$.

Substituting (8) and (6) we get

$$\langle 0 | T_{00} | 0 \rangle = \frac{1}{2a} \sum_{n=0}^{\infty} \left[\sqrt{\kappa_n^2 + m^2} - \frac{m^2}{\sqrt{\kappa_n^2 + m^2}} \cos(2\kappa_n x) \right] \quad (141)$$

Let's split the sum into two parts: $\langle 0 | T_{00} | 0 \rangle = S_1 + S_2$,

$$S_1 = \frac{1}{2a} \sum_{n=0}^{\infty} \sqrt{\kappa_n^2 + m^2}, \quad S_2 = -\frac{1}{2a} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{m^2}{\sqrt{\kappa_n^2 + m^2}} \cos(2\kappa_n x). \quad (142)$$

The sum S_2 converges everywhere except $x = 0$ and $x = a$. Using the Abel-Plan formula [1]:

$$\sum_{n=0}^{\infty} F(n) = \int_0^{\infty} F(x) dx + \frac{1}{2} F(0) + i \int_0^{\infty} \frac{F(it) - F^*(it)}{\exp(2\pi t) - 1} dt, \quad (143)$$

where $\kappa = \frac{\pi n}{a}$, k, n - continuous variables.

For an unbounded string, the solutions of equation (3) have the form

$$\varphi_{\kappa}^{\pm} = \frac{1}{\sqrt{4\pi\omega}} e^{\pm i(\omega t - \kappa x)} \quad (144)$$

and the average of the vacuum of unlimited space:

$$\langle \tilde{0} | T_{00} | \tilde{0} \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} \sqrt{\kappa^2 + m^2} \alpha \kappa, \quad \omega^2 = \kappa^2 + m^2. \quad (145)$$

Regularize (9) by subtracting the contribution of the infinite string:

$$reg \langle 0 | T_{00} | 0 \rangle = \langle T_{00} \rangle_c = \frac{m}{4a} - \frac{1}{\pi a^2} \int_r^{\infty} \frac{\sqrt{z^2 - r^2} dz}{\exp(2z) - 1} + S_2. \quad (146)$$

$r = am, z = \pi n$. When $r \rightarrow 0$

$$-\frac{1}{\pi a^2} \int_r^{\infty} \frac{\sqrt{z^2 - r^2} dz}{\exp(2z) - 1} \rightarrow -\frac{1}{\pi a^2} \int_0^{\infty} \frac{z dz}{\exp(2z) - 1} = -\frac{\pi}{24a^2}, \quad (147)$$

which corresponds to the result [1, p. 56]. The second sum when $r \rightarrow 0$

$$S_2 \rightarrow -\frac{m^2}{2a} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\cos(2\kappa_n x)}{\sqrt{\kappa_n^2 + m^2}} \rightarrow -\frac{m}{2a} - \frac{m^2}{2a} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(2K_n x)}{K_n} = \frac{m^2}{2\pi} \ln \left[2 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \right] - \frac{m}{2a}. \quad (148)$$

Finally, we have for the energy density when $r \rightarrow 0$:

$$\langle T_{00} \rangle_c = -\frac{\pi}{24a^2} - \frac{m}{4a} + \frac{m^2}{2\pi} \ln \left[2 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \right] \quad (149)$$

Near the boundaries, the energy densities diverge according to the logarithmic law, remaining finite everywhere, except $x = 0$ and $x = a$. In [1] it is noted that the divergence near the boundaries should be eliminated by introducing a finite permeability of the walls. We show that the introduction of non-zero boundary conditions does not remove the divergence. We introduce for the field $\varphi = X(\chi)T(t)$ the following boundary conditions

$$X(0) = X(a) = f(\omega). \quad (150)$$

The field on the border depends on the time. The solutions of equation (3) in this case are the functions:

$$\varphi_n^{\pm} = A_n \exp(\pm i\omega_n t) \sin(\kappa_n x) + f_n \exp[\pm i(\omega_n t - \kappa_n x)], \quad (151)$$

where $K_n = \frac{2\pi n}{a}$, $\omega_n^2 = \kappa_n^2 + m^2$.

The normalization gives $A_n = \left[\frac{(1 - 2af_n^2 \omega_n)}{a\omega_n} \right]^{\frac{1}{2}}$. (152).

Let's average TEI:

$$\begin{aligned} \langle 0|T_{00}|0\rangle = & \frac{1}{2} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \frac{\omega_n}{a} - \frac{m^2}{a\omega_n} \cos(2k_n \chi) + 2f_n^2 + m^2 \cos(2k_n \chi) + \right. \\ & \left. + \left[\frac{2}{\sqrt{a\omega_n}} - 2\sqrt{a\omega_n} f_n^2 \right] f_n \omega_n^2 \cdot \sin(2k_n \chi) \right\} \end{aligned} \quad (22)$$

It can be required that at high frequencies the value decreases quickly enough, then at high K

$$\langle 0|T_{00}|0\rangle \sim \frac{1}{2a} \sum_{n=k}^{\infty} \left\{ \omega_n - \frac{m^2 \cos(2\kappa_n \chi)}{\omega_n} + 2f_n \omega_n^{3/2} \alpha^{1/2} \sin(2\kappa_n \chi) \right\}. \quad (153)$$

Obviously, after regularization, the energy density will diverge, as before, since at the boundaries the term containing f_n disappears, and the sum

$$\frac{1}{2\alpha} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{m^2 \cos(2\kappa_n \chi)}{\omega_n}$$

at $ma \ll 1$ diverges again according to the logarithmic law [10]. Obviously, in the three-dimensional case there will be a similar result.

The speed of sound in a vacuum as in a continuous medium

Let's find the vacuum mean for the spatial component of the TEI:

$$T_{11} = \frac{1}{2} (\partial_t \varphi^* \partial_t \varphi + \partial_x \varphi^* \partial_x \varphi - m^2 \varphi^* \varphi). \quad (154)$$

Having done the same previous tabs, we regularize the vacuum average:

$$reg \langle 0|T_{11}|0\rangle = \langle T_{11} \rangle_c = -\frac{1}{\pi\alpha^2} \int_r^\infty \frac{z^2 dz}{\sqrt{z^2 - r^2} (\exp(2z) - 1)}. \quad (155)$$

or after replacing the variable $t^2 = z^2 - r^2$

$$\langle T_{11} \rangle_c = -\frac{1}{\pi\alpha^2} \int_0^\infty \frac{\sqrt{t^2 + r^2} dt}{\exp(2\sqrt{t^2 + r^2}) - 1}. \quad (156)$$

At $r \rightarrow 0$ (26) is equal $-\frac{\pi}{24\alpha^2}$ which matches the result [1]. It can be seen from expressions (18) and (26) that ρ is always greater than p when $ma \rightarrow 0$. Estimate the value of $p - \rho$ in general form for the middle of the segment $x = a/2$:

$$\rho - p = \frac{r^2}{\pi\alpha^2} \int_0^\infty \frac{dz}{\left[\exp(2\sqrt{z^2 + r^2}) - 1 \right] \sqrt{z^2 + r^2}} + \frac{r}{4\alpha^2} - \frac{r^2}{2\alpha^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{\sqrt{\pi^2 n^2 + r^2}}. \quad (157)$$

Numerical analysis shows that the pressure becomes greater than the energy density at $r = 0.2$, which violates the energy dominance. The velocity of propagation of a disturbance in a vacuum as a continuous medium (sound) is determined by the expression

$$v_3^2 = \frac{dp}{d\rho}$$

that is, at $r > 0.2$, the speed of sound can be greater than 1 [10].

Electric field, curvature of space

Spontaneous symmetry breaking in a homogeneous periodic electric vacuum field of a massive scalar field with self-action was considered. The inequality of the vacuum mean to zero with an invariant Lagrangian

$$L^{(0)} = D_n^* \cdot D^n \varphi - m^2 \varphi^* \varphi - \lambda/6 (\varphi^* \varphi)^2, \quad D_n = \partial_n + ieA_n \quad (158)$$

it means a spontaneous violation of the calibration symmetry:

$$\langle 0|\varphi(\vec{x}, t)|\tilde{0}\rangle = \langle \tilde{0}|\varphi^*(\vec{x}, t)|\tilde{0}\rangle = f(t) \neq 0. \quad (159)$$

Consider the speed of sound in such a vacuum with broken symmetry. The Lagrangian (28) corresponds to TEI

$$T_{\mu\nu} = \partial_\mu \varphi^* \cdot \partial_\nu \varphi + \partial_\nu \varphi^* \cdot \partial_\mu \varphi + \partial_\mu \varphi^* \cdot i e A_\nu \cdot \varphi + \left(\partial_\mu \varphi^* \cdot i e A_\nu \varphi \right)^* - L^{(0)} g_{\mu\nu}. \quad (160)$$

Considering that the vector field A_n in the case [I] is described by $A_3(t) = \alpha_0 \sin K_0 t$, calculate T_{00} and T_{33} :

$$\begin{aligned} T_{00} &= |\partial_0 \varphi|^2 + |\bar{V} \varphi|^2 + i e A_3 \partial_3 \varphi^k \cdot \varphi - i e A_3 \varphi^k \partial_3 \varphi + (m^2 + e^2 A_3^2) |\varphi|^2 + \lambda/6 |\varphi|^4 \\ T_{11} &= |\partial_0 \varphi|^2 + |\partial_1 \varphi|^2 - |\partial_2 \varphi|^2 - |\partial_3 \varphi|^2 - i e A_3 \varphi \cdot \partial_3 \varphi^k + i e A_3 \varphi^k \partial_3 \varphi - (m^2 + e^2 A_3^2) |\varphi|^2 - \lambda/6 |\varphi|^4 \\ T_{22} &= |\partial_0 \varphi|^2 + |\partial_2 \varphi|^2 - |\partial_1 \varphi|^2 - |\partial_3 \varphi|^2 - i e A_3 \varphi^k \partial_3 \varphi^k + i e A_3 \varphi^k \partial_3 \varphi - (m^2 + e^2 A_3^2) |\varphi|^2 - \lambda/6 |\varphi|^4 \\ T_{33} &= |\partial_0 \varphi|^2 + |\partial_3 \varphi|^2 - |\partial_1 \varphi|^2 - |\partial_2 \varphi|^2 - 2 i e A_3 \varphi \cdot \partial_3 \varphi^k + 2 i e A_3 \varphi^* \partial_3 \varphi - (m^2 + e^2 A_3^2) |\varphi|^2 - \lambda/6 |\varphi|^4 \end{aligned} \quad (161)$$

and averaging over the vacuum state, we obtain, respectively, the pressure along the 3 axis and the energy density:

$$\begin{aligned} P &= P_3 = \langle T_{33} \rangle = (\partial_0 t)^2 - (m^2 + e^2 A_3^2) f^2 - \lambda/6 f^4, \\ \rho &= \langle T_{00} \rangle = (\partial_0 f)^2 + (m^2 + e^2 A_3^2) f^2 + \lambda/6 f^4. \end{aligned} \quad (162)$$

From this it can be seen that ρ is always greater than p and is fulfilled $V_s^2 < 1$. Thus, in this case, in the presence of self-action, the speed of sound in a vacuum (with spontaneously broken symmetry) is less than 1. This is due to the fact that the field is spatially homogeneous and spatial derivatives of the field disappear during averaging. In [11], the components of the vacuum theory of a massive scalar field in an isotropic spacetime were calculated and the velocity of propagation of disturbances in the vacuum of a massive scalar field in the static Friedman model, similar to the speed of sound in a continuous medium, was estimated. It is found that at $ma > 0,1$ $p > \rho$ и $V_s > 1$ (where m is the mass of the field, a is the radius of the universe, ρ is the energy density, p is the pressure). The authors [11] calculated the contribution of vacuum popularization in the one-loop approximation to the effective action for a photon on a curved ground manifold. It was found that tidal gravitational forces caused by quantum corrections change the nature of photon propagation; in some cases, the photon's velocity exceeds 1. In [12], the regularized energy-momentum tensor of a massive scalar field was studied in closed cosmological models. In the static Friedman world, in particular, the domain of values (a – the radius of the Friedman world) is investigated, where $p_{vac} > \rho_{vac}$ and the singularity theorem is violated. The Lagrangian of a neutral massive scalar field in an external gravitational field with a conformal connection is written:

$$L_m = \frac{1}{2} \left[g^{\alpha\beta} \varphi_{,\alpha} \varphi_{,\beta} - \left(\mu^2 + R/6 \right) \varphi^2 \right] \quad (32)$$

For the static closed Friedman model:

$$dS^2 = a^2 d\eta^2 - a^2 d\chi^2 - a^2 \sin^2 \chi (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2) \quad (33)$$

where $a = const$, $R/6 = -1/a^2$, $\sqrt{^3g} = a^3 \sin^2 \chi \sin \theta$.

The corresponding equation for the scalar field:

$$\left(\square + \mu^2 - R/6 \right) \varphi(\chi^\alpha) = 0$$

And expression for T_{ii}

$$3\bar{p}_{vac} - \bar{\rho}_{vac} = \frac{\mu^4}{2\pi} \frac{1}{r^2} \int_r^\infty \frac{\sqrt{z^2 + r^2} \cdot dz}{\rho^{2\pi} \sqrt{z^2 + r^2} - 1} \quad (34)$$

Numerical analysis (34) shows that when $r > 0,1$ the pressure exceeds the energy, then, starting with some, the pressure is again less than the energy and the principle of energy dominance ceases to be violated. That is, the violation of energy dominance in curved space occurs at smaller radii than in Euclidean space, and disappears with the expansion of the Universe.

Conclusion

Of course, it is clearly illegal to determine the velocity of propagation of disturbances in a vacuum as in a continuous medium, besides, for a linear field, one cannot talk about the propagation of sound, for which a self-acting field is necessary. On the other hand, the velocity of propagation of disturbances in the medium is less than the speed of light only in Minkowski space, and for curved space it is possible to exceed the speed of light.

Violation of energy dominance means non-fulfillment of the 2nd principle of thermodynamics, therefore, the curvature of space in cosmological models leads to violation of the 2nd principle of thermodynamics. Secondly, the fact that the violation of energy dominance for scalar fields occurs in Euclidean space may mean that the boundaries play the role of a kind of curvature of space.

References

1. A.A. Grib, S.G. Mamaev, V.M. Mostepanenko. Quantum effects in interesting external fields. M., Atomizdat, 1980. In Russ/
2. A.A. Starobinsky. Physics. Literature, 91b, №1, 99, 1980.
3. S.G. Mamaev, V.M. Mostepanenko. JETF, 78, 20, 1980. In Russ.
4. P. Minkovsky. Physics. Literature, 71b, 419, 1977.
5. A. Z. I. Phys.-mat.conf., 42, 417, 1979.
6. L. Smolin. Nuclear analysis. Physics, 160v, 253, 1979.
7. S. L. Adler. ed., mod. Physics, 54, 729, 1982.
8. V.F. Panov. Izv. universities of the USSR, Physics, №9, 27, 1983. In Russ.
9. I.V. Krivey. TMF, 54, №2, 230, 1983. In Russ.
10. Ikhlov B. L. Tensor of energy =momentum of vacuum of a massive scalar field in a limited space. News of universities. Physics Series Deposited by VINITI No. 6772-84. Tomsk, 1984.
11. V.G. Krechet, V.G. Lapchinsky, V.I. Nekrasov, G.N. Shishkin. Collection "Problems of the theory of gravity and elementary particles". M., Energoizdat, vol. 12, 48, 1981. Un Russ.
12. Lasukov V. Violation of the dominant energy condition in geometrodynamics. Faculty of Mathematics of Tomsk Polytechnic University, March 4, 2020. To reprint. In Russ.