

**ОБ ОПИСАТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВАХ  
КОСМОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЙНШТЕЙНА**

**В. Б. ЗЛОКАЗОВ** – д. физ-мат. н., вед. н. с.,  
Объединённый институт ядерных исследований (ОИЯИ)  
(г. Дубна, Россия)

E-mail: zlokazov@jinr.ru

*В статье проведен анализ философского содержания таких категорий ОТО как поле тяготения и инерция; рассмотрены недостатки геометрической интерпретации физических взаимодействий. Рассмотрены возможности альтернативной интерпретации таких явлений, которые не поддавались ньютоновскому анализу. Показано, что ОТО является описательной системой космологии, дополняющей ньютоновский подход.*

*Ключевые слова: ОТО, пространство, время, гравитация, инерция.*

**ABOUT DESCRIPTIVE PROPERTIES  
OF EINSTEIN'S COSMOLOGICAL MODEL**

**V. B. ZLOKAZOV** is a Doctor of Physics and Mathematics, senior researcher,  
Joined Institute of Nuclear Researches (JINR) (Dubna, Russia)

*The analysis of philosophical contents of such categories in the General Relativity as gravitation and inertia has been performed. Shortcomings of the geometric interpretation of physical interactions have been considered. Possibilities of an alternative approach to phenomena which could not be adequately described in terms of the Newton's theory are shown. It has been pointed out that the General Relativity is a descriptive system which completes the Newton's approach.*

*Keywords: general theory of a relativity, space, time, gravitation, inertia.*

**1. Введение**

Приближается юбилей одного из самых выдающихся событий мировой космологии – 100-летняя годовщина со дня создания А. Эйнштейном ОТО (Общей Теории Относительности) – 1915 год (опубликована в 1916), составившей наряду с ЗВТ (Закон Всемирного Тяготения) И. Ньютона базис современного научного описания Вселенной. Здесь, на страницах этого журнала, хотелось бы беспристрастно проанализировать не физику ОТО (этому посвящена огромная литература), а её философско-математическую концептуальную основу.

Философская, смысловая сущность ОТО требует особенно тщательного анализа, ибо ОТО основана на идеях, которые наука всего Мира вполне серьёзно считает «безумными», так что в нашей дискуссии убедительность аргументации должна быть вполне очевидной.

В частности, самым интересным вопросом будет следующий: является ли ОТО языком описания своего объекта – гравитации, или системой концептов его объяснения?

Выяснение этого момента ни в коем случае не может рассматриваться как некая критика ОТО – ведь совершенно очевидно, что почти столетняя положительная репутация ОТО не могла возникнуть на пустом месте и не может существовать лишь благодаря субъективным предрассудкам, так что нет повода бояться за её честь и престиж и нет ничего преступного или предосудительного в стремлении выявить её объективную общенаучную ценность.

Сам Эйнштейн главными достижениями ОТО считал следующие:

- распространение концепции поля на самый широкий класс физических взаимодействий, включая и тяготение;
- глубокий анализ понятия «пространственно-временной континуум» (ПВК);
- самое общее толкование связи физических законов с системами отсчёта;
- установление связи между такими фундаментальными явлениями как инерция и тяготение [Эйнштейн, Инфельд, 1965].

Мы сведём рассмотрение этих пунктов к анализу двух понятий, философское содержание которых для нас представляет наибольший интерес:

- 1) поле тяготения как ПВК;
- 2) инерция и динамика;

и, разумеется, проанализируем математическую состоятельность экспериментального обоснования ОТО. Итак.

## 2. Поле тяготения как ПВК

Когда читаешь книгу «Эволюция физики» (А. Эйнштейн, Л. Инфельд) [Эйнштейн, Инфельд, 1965], сразу же бросается в глаза то, что в лексиконе авторов отдельные слова «время» и «пространство» отсутствуют напрочь, а в тексте встречаются только как атрибутивные составляющие конструкции «пространственно-временной континуум», т. е. философия пространства-времени Эйнштейна является утрированно реляционной; в ней роль пространства играет «поле тяготения», а времени – некие «часы».

В обществе имя Эйнштейна неразрывно связано с таким словесным штампом, как «кривое пространство-время», хотя в упоминаемой фундаментальной работе [Эйнштейн, Инфельд, 1965] Эйнштейн не употребляет его ни разу. Этот штамп – результат неуёмных усилий горячих сторонников (фанатов) ОТО, понявших всё в меру своего разумения и так, что их усердие превозмогло эту меру, так что «кривая пустота» победно шествует почти по всем трудам, посвященным ОТО и поныне. Впрочем, сам Эйнштейн вольно или, скорей, невольно способствовал такой ситуации громкими афористичными заявлениями типа «Реальный мир неевклидов», поскольку публика запоминала громкую фразу, не зная, что для ультра-реляциониста Эйнштейна «реальный мир» – это не пространство и время, а «поле тяготения». Сказывается и то, что иногда путают кривизну геометрических объектов с кривизной пространства. Типизированных кривых и поверхностей (окружности, сферы и т. д.) полно и в евклидовом пространстве. А кривое неевклидово пространство – это, образно говоря, пространство с «кривой» метрикой.

Эйнштейн бросает явный упрек Ньютону за то, что тот не поднялся до уровня осознания реальности «поля тяготения», а пользовался концепцией абсолютных пространства и времени, да к тому же в сочетании с идеей дальнего действия, но думается, что такой упрек безоснователен – экспериментально реальность объекта по имени «поле тяготения» не подтверждена по сей день, равно как и его функция как переносчика информации, и «статические взаимодействия» представляют собой ещё больший вызов здравому смыслу, чем ньютоновское дальнее действие.

Однако популярность приёма рассматривать наряду с сосредоточенной формой существования любого объекта его распределённую оказалась очень плодотворной. Были введены в научный обиход множество полей – «поле упругих, поле слабых, поле сильных и т. д. взаимодействий», – сыгравших большую и положительную роль в теоретической физике, хотя, конечно, досадно то, что все они – лишь эффективные описатели физического мира, и к тому же не доступны непосредственному наблюдению. Даже дискретные представления наименее абстрактного поля упругих колебаний – фононы – и те наблюдаются не в прямой регистрации, а получают лишь математической обработкой косвенных данных. Ну, а так наз. «гравитоны», которые от частого упоминания в научной литературе приобрели репутацию реально существующих и уже обнаруженных, пока что ни в одном эксперименте не наблюдались.

### 3. Физика или геометрия?

Очень важный вопрос, вытекающий из философии ОТО, которого мы здесь коснемся – это вопрос о силах. Со времён Аристотеля взаимодействие в природе описывалось с помощью понятия «сила», которая воздействуя на тело, заставляет его менять характеристики своего состояния.

ОТО сделала попытку заменить физическое понятие силы её геометрическим эквивалентом, который, будучи не связанным ни с какими источниками сил, порождает такие же эффекты в статике и динамике физических объектов, как и силы. И хотя из контекста ОТО следует, что такая замена относится только к силам гравитации, общераспространённая практика перенесла их на все виды сил, в том числе и не имеющие отношение к гравитации. Не вдаваясь в изучение вопроса о благах такого подхода к описанию физических процессов, мы должны признать, что даже если оно и даёт некоторые теоретические преимущества в трактовке общих проблем гравитации, на практике это будет означать мощный удар по ясности, простоте и удобству представления о любом сколько-нибудь конкретном взаимодействии, т. е. объяснительные способности такого подхода весьма сомнительны.

С точки зрения «физики здравого смысла» силы являются одним из самых важных конститuentов Вселенной, и моделирование взаимодействия её объектов в терминах сил является самым естественным, самым компактным и наиболее легко читаемым. Поскольку силы, воздействуя на физический объект, меняют геометрические характеристики этого объекта (любой физический процесс может быть представлен именно так – как процесс геометрических преобразований), то, разумеется, можно описать конечный результат взаимодействия и напрямую – с помощью чисто геометрических операций; но думается, что подобные действия лишь затемняют научную суть дела, привносят цирковые элементы в методологию и ведут к терминологической хаотизации науки. Всё-таки предпочтительнее будет интерпретация физических явлений в

содержательных, а не только в формальных понятиях. Так что и для описательных целей физический подход более приемлем, чем геометрический. Это показывают приводимые ниже примеры.

Эйнштейн использовал пример с лифтом, являющийся весьма удобной моделью гравитации и иллюстрацией проблем, связанных с ней, и мы попробуем прибегнуть к нему тоже.

Итак, лопнул канат лифта с пассажирами и различными вещами, и он начал свободное падение под действием силы тяготения. Эйнштейн справедливо указывает, что внутри лифт стал идеальной инерциальной системой, в которой тотчас заработал закон инерции Ньютона. Мы сегодня назовём ситуацию внутри такого лифта состоянием невесомости. Похожие вещи происходят и на космических кораблях, где складывается впечатление, что гравитация исчезла. Но – не могла же она в самом деле исчезнуть!

На самом деле физически ситуацию можно объяснить очень просто – компенсацией сил их сложением. А как объяснить её в понятиях геометрии? Нельзя же, в самом деле, утверждать, что вне лифта (космического корабля) метрический тензор нашего ПВК остался, как и был ранее, неевклидовым, а внутри вдруг «сгладился» и стал евклидовым!

Аксиоматика гладкого риманова многообразия (ГРМ) включает в себя важный пункт – непрерывную дифференцируемость функций метрики. Это означает, что каков бы ни был конкретный вид этих функций, в каждой малой окрестности ГРМ оно может быть с точностью до угловых и масштабных преобразований аппроксимировано евклидовой гиперплоскостью. И если считать, что ПВК является ГРМ, то тем самым мы утверждаем, что локально наш Мир всегда евклидов, и отсюда следует, что никакой кривизны в ПВК локально не существует (стало быть, сил тоже).

Очевидно, что этот абсурдный вывод есть неслучайный сбой мышления – это нелогичность, возникшая из привычки физиков слишком вольно обращаться с математическим формализмом.

Возьмём такую иллюстрацию. Поверхность Земли – сфера – является типичным 2-мерным ГРМ, особенно, если смотреть на неё издалека. Вблизи неровности суши делают нашу аналогию менее очевидной, но если взять участок океана в штить, то, находясь в его любой точке, мы видим вокруг идеально плоскую поверхность этого океана. Да и на суше любая география маленького участка легко и естественно трактуется в терминах евклидовой геометрии (она сама есть всего лишь плоское землемерие). Получается, что в малых областях земной поверхности мы особенной кривизны земного шара не заметим; реально она есть, но ничтожно мала. Однако силы притяжения в любом сколь угодно малом участке сферической поверхности любой звезды (например, Солнца) могут быть сколь угодно большими.

Но допустим всё же, что мы действительно адекватно описали ситуацию в космическом корабле как локальную евклидовость. Тогда давайте продолжим наш пример: пусть космонавт оттолкнулся от стенки каюты и «поплыл» от неё в противоположную сторону. Сила, сообщившая ему движение, – это сила, порождённая биохимией организма космонавта, и она к гравитации никакого отношения не имеет. И что же делать? Вводить новое поле и строить «тонкую структуру» метрического тензора, уже не совсем «евклидова», в каюте с помощью суперпозиции двух полей?

Ещё один довод в пользу большей прагматичности понятия «сила» – она более естественно входит в понятия, производные от неё, такие как энергия и работа. В высшей степени выразительно и афористично звучит заявление Архимеда: дайте мне точку опоры и я своими малыми силами переверну Землю! А как выразить ту же самую мысль в понятиях кривизны пространства? Длину рычага, определяющего размер требуемой силы для подъёма тяжёлого тела, можно менять произвольно, стало быть рычаг способен уменьшать или увеличивать кривизну ПВК? Рычаг является в механике мощнейшим средством воздействия на гравитацию, но в формализм ОТО он не входит – нет в ней такого понятия.

Всё это – убедительный довод в пользу сомнительности преимуществ геометрической интерпретации Природы перед физической, и он говорит о том, что в вопросе о силах ОТО явно «перестаралась» – отрывать от здравого смысла так далеко всё же не следовало.

#### 4. Философия инерции

Сам Эйнштейн не без иронии говорил: «Что такое инерциальная система (ИС)? Это система, которая движется относительно наблюдателя прямолинейно и равномерно. А что значит, что она движется относительно наблюдателя прямолинейно и равномерно? А это значит, что она является инерциальной системой» [*Эйнштейн, Инфельд, 1965*].

В этой шутке была, конечно, заключена неудовлетворённость бытующим в физике определением ИС, так что сам Эйнштейн в ОТО от этого стереотипа отказался. Возникнув как интуитивно ясный рабочий термин, он был понятен всем тем, кто думал и рассуждал в единой тональности и не требовал пояснений. Но для внешних участников обсуждения такие пояснения были нужны.

Начнём с того, что общепринятого философского определения понятия «инерция» нет, так что придётся пользоваться бытовым, гласящим: «Инерция – это неподвижность, бездействие и прочие родственные понятия». Но если внимательно присмотреться к бытовой инерции, можно заметить одну очень важную её характеристику: это если не по форме, то по сути активная неподвижность, это активное противостояние всякому изменению, и тогда ничто не мешает нам возвести это определение в ранг философской категории:

**инерция – это интенциональный консерватизм.**

Но тогда при чём тут прямолинейное и равномерное движение? Ответ физики дают такой: это всё для того, чтобы в ИС выполнялся закон инерции Ньютона, гласящий: «Если на тело не действует никакая сила, то оно либо находится в состоянии покоя, либо движется прямолинейно и равномерно». С такими телами можно связать т. наз. «инерциальные системы отсчёта», в которых все законы природы имеют одинаковый вид.

Напомним: физическая система отсчёта – это не то же самое, что математическая система координат. Для последней не имеет значения, движется она или нет, и все ли законы природы в ней выглядят одинаково – это произвольная точка абстрактного пространства, объявленная «нулём» координатной системы, к которой произвольно привязаны геометрические координаты для описания положения любой другой точки этого пространства. Такое пространство всегда существует в виртуальном мире наших представлений и понятий. Но может ли существовать идеальная инерциальная физическая система от-

счёта в реальном мире? Примеров такой вокруг нас мы не видим, а если и называем иную систему отсчёта ИС, то «инерциальной» она является лишь в весьма условном смысле.

Да и вообще, возможна ли она физически в мире, в котором нет абсолютной нейтральности, так что все физические объекты обязательно взаимодействуют друг с другом?

Чтобы в природе (не просто в математическом пространстве) существовало объективно явление прямолинейного и равномерного движения, реальная система отсчёта должна состоять как минимум из 6 объёмных объектов и 3 временных событий одинаковой ненулевой длительности – для того, чтобы имели физический смысл углы и координаты направления движения и объективно существовала его «равномерность». А в такой системе как минимум будет иметь место гравитация.

Все эти проблемы легко понять – физики мыслят менее абстрактно, чем математики, и даже в математический формализм стремятся внедрить элементы не только внутренней похожести на физический мир, но и похожести чисто внешней. Как остроумно заметил однажды J. Weizenbaum – образно говоря, если физик пишет уравнение движения слона, то он обязательно постарается придать записи этого уравнения хоть какие-нибудь черты внешнего сходства со слоном.

А ведь на самом деле в физике нужна система отсчёта, в которой наблюдение и описание интересующего их объекта и процесса не было бы замутнено примесью посторонних явлений; чтобы сама система отсчёта не привносила в наблюдение свои нежелательные эффекты, да и со стороны наблюдателя не подвергалась хотя бы невольному воздействию. При этом логично считать, что она не обязательно должна быть инерциальной. Думается, что в условиях отсутствия в реальном мире идеальных ИС и в рамках наблюдаемой повсеместно математизации физики следовало бы описывать физические явления так, как это принято в математике, т. е. использовать обычную конвенциональную систему геометрических координат, исходя при этом лишь из соображений простоты и наглядности? Такая система – уже не система отсчёта – никак не будет связана с понятием инерции. И, разумеется, переход к более простому и ясному геометрическому формализму метрического описания объектов ничего общего не имеет с упомянутой выше подменой физики геометрией. Дух физики проникнет в этот формализм без всяких проблем.

Тогда, исходя из здравого смысла, о механическом законе инерции можно сказать следующее: если в любой математической системе координат на тело действуют несколько сил, то в случае прекращения действия части этих сил характер движения тела будет определяться оставшимися действующими силами.

Это и есть активная инерция в соответствии со сформулированным выше философским принципом. Все примеры движения по инерции из повседневной жизни именно таковы. Вот один из них: мы стоим на платформе на колёсах, которая вместе с нами катится вниз под уклон под действием силы тяжести. Но вот тележка уткнулась в упор и остановилась, а мы продолжаем движение, которое и будет движением по инерции (хотя и неравномерным). Из этого примера следует, что уместнее было бы говорить об инерции сил, или более обще, об инерции факторов, порождающих (в частности, в механике) движе-

---

ние. Потому что по существу движением по инерции будет и такое: пусть на тело действует несколько сил, взаимно уравновешивающих друг друга, так что их равнодействующая равна нулю, и, следовательно, тело покоится. Если часть этих сил «выключается», то тогда движение под действием оставшихся сил мы должны тоже считать инерционным, т. е. стремящимся к логическому status quo, которому «выключившиеся» силы до этого стремились помешать.

Пример: кабина лифта висит на канате. Канат внезапно лопнул, и кабина «по инерции» начала падать вниз (ускоренно, не равномерно).

Эти примеры показывают, что понятию «инерция» неявно присущ ещё один атрибут: незапрограммированность. Истинно незапрограммированные движения (в условном смысле, конечно) мы не считаем инерционными. Пример: спонтанное деление тяжёлых ядер. Мы не знаем истинных причин спонтанного развала ядер, например, урана (хотя они, по-видимому, существуют), но как бы то ни было, ускоренное механическое движение осколков ядра под действием кулоновских сил отталкивания мы инерционным не считаем.

Возникает вопрос: а какова структура общей системы сил, существующей в мире? Ведь мы верим в принцип всеобщего детерминизма (в мире материи – каузального, а в мире сознания – ещё и целевого), а это означает, что все силы в Мире связаны в единый довольно жёстко упорядоченный клубок рекуррентных связей (включая положительные и отрицательные обратные) – гомеостат, в котором нет места случайности. Случайность существует только в виртуальном мире нашего воображения, в реальном мире её нет. В реальном гомеостате Природы все силы «включаются» и «выключаются» по жёсткой логике, моделью которой может служить, например, отработка программы компьютером.

Вот это и есть философское понимание инерции как одной из 2-х диалектических крайностей, а другая крайность – активное же стремление изменить status quo – может быть реализована только через детерминизм другого, отличного от инерционного, типа. Какого? Ответ очевиден – целевого, поскольку никакого другого в реальном мире просто нет. Там случайность может существовать и реально.

На уровне бытовых представлений мы можем указать один такой источник целевого детерминизма – Жизнь, как единство Материи и Сознания и как фактор, способный перевести гомеостат из статического в динамическое состояние. Но в физике таких понятий как «жизнь», «сознание» и т. д. (при этом активных участников физических событий и процессов, а не просто «наблюдателей», ничем не отличающихся от регистрирующего прибора) нет, и это означает принципиальную ограниченность физического знания о Мире; образно говоря, физика – это узкая щелочка, сквозь которую мы можем подсмотреть что-то, что является частью большого целого, но не более. Отсюда следует, что трактовка такого явления как, например, инерция, требует подхода, более общего чем физический – философского; целевой детерминизм неизбежно вводит такие понятия, как «план», «дизайн», «управление», «метод», «генератор временного тактирования» и т. д., что напрочь отсутствует в современной физике, и это всё поясняет, почему нам здесь приходится широко использовать философские рассуждения.

## 5. Экспериментальная проверка ОТО

А теперь мы перейдём к анализу экспериментальных фактов, которые численно описала ОТО, но чего не смог сделать ньютоновский подход. Заодно посмотрим, до какой степени этот подход был действительно ньютоновским.

В общем-то признано, что экспериментальное подтверждение ОТО базируется в основном лишь на 2 научных событиях:

- 1) вытекающее из ОТО объяснение аномалиям движения орбиты Меркурия;
- 2) предсказание на основе ОТО непрямолинейности траектории светового луча в поле тяжести Солнца.

Численные расчёты при этом совпали с экспериментальными с фантастической точностью – цифра в цифру. Это, конечно, доказывает замечательные описательные качества ОТО, но пока что не даёт ответа на вопрос об объяснительной эффективности ОТО. Червь сомнений гложет нас неспроста – всё-таки идеи, на которых основывается ОТО, как было сказано выше, относятся к числу «безумных», и естественно, для философии возникает мировоззренческая проблема – так что же, нужно ей зарифить свои паруса перед «безумием», или всё-таки хранить традиционную верность «любомудрию».

По-видимому, имеет смысл пройти ещё раз по математической аргументации ОТО и посмотреть, а так ли бесспорна необходимость «безумных» идей для получения упомянутых замечательных числовых результатов; нельзя ли было получить те же самые оценки, используя математический формализм ОТО, но интерпретируя его в терминах не «безумных» идей, а вполне «разумных», пусть не совсем ньютоновских, но всё же вполне конвенциональных. Разумеется, если такая попытка окажется успешной, это никак не бросит тень на описательные свойства ОТО – «отменить» точность оценки Эйнштейном значений вышеупомянутых эффектов уже нельзя.

Итак, сначала необходимые пояснения к обсуждаемому вопросу. Пусть задано поле гравитационного энергетического потенциала  $Q$ , в котором находятся два тела с определенными массами  $m_1$  и  $m_2$ . Потенциал будет называться кулоновским, если он обратно пропорционален  $R$  – расстоянию между телами.

Далее сделаем ещё одно допущение: пусть эти тела являются идеальной ньютоновской парой – т. е. парой безразмерных точек, отстоящих друг от друга на ненулевом расстоянии и в которых сосредоточены массы  $m_1$  и  $m_2$ . Для этих пар справедлива ньютоновская модель точечного взаимодействия.

Реально такой парой будет, например, пара геометрически симметричных шаров, если их массы распределены внутри этих шаров идеально равномерно.

Тогда, если начальные движения тел ньютоновской пары не были встречными (или противоположно направленными), то эти тела будут вращаться вокруг их общего центра масс по траекториям типа кривых конических сечений (эллипсам при финитных движениях, параболам и гиперболам при инфинитных). Если масса большего тела неизмеримо превосходит массу меньшего, то фактически центр их масс совпадёт с положением большего тела, и меньшее будет вращаться вокруг большего.

Возьмём в качестве орбиты любого из этих двух тел эллипс. В идеальном случае тело, сделав полный оборот, вернётся в точку, из которой движение началось; если же тело вернётся в точку, которая не совпадает с начальной, то при



новых оборотах начнёт поворачиваться сам эллипс. В этом случае говорят о прецессии орбиты.

Математический анализ ситуации показал, что в случае идеального кулоновского потенциала (а также квадратического, который имеет место, например, в системах идеальных колебаний) и идеально ньютоновской пары прецессия будет отсутствовать.

Поскольку считалось, что Солнце и любая планета являются именно такими идеальными парами (вообще-то не очень обоснованное допущение), то отсюда вытекало, что прецессии у любой планеты нет. Но в 1859 г. Леверье, изучая движение планеты Меркурий и сравнив данные наблюдений за 100 лет, пришёл к выводу, что у орбиты Меркурия такая прецессия всё же есть.

Незадолго до этого обнаружение тем же Леверье расхождений между реальным положением планеты Уран и ньютоновскими расчётами для его оценки позволило обнаружить новую планету Нептун, вносящую возмущения в движение Урана и тем приводившую к этим расхождениям, и естественно, Леверье сразу же предположил, что между Солнцем и Меркурием находится неизвестная планета, которая и породила прецессию Меркурия. Однако самые тщательные поиски этой планеты успехом не увенчались.

Тогда попытались оценить прецессию Меркурия с помощью ньютоновской модели с учётом возмущающего действия других планет на движение Меркурия. Часть прецессии действительно удалось оценить именно таким путём, но остался незначительный остаток, который за 100 лет накопления составил 43" (в полярных координатах) и который упорно не хотел поддаваться ньютоновской оценке.

Мысль о реальной неидеальности пары Солнце – Меркурий почему-то никому в голову не пришла, и на какое-то время загадка прецессии Меркурия оставалась в поле внимания науки как необъяснённый парадокс.

А далее события развивались так. Объяснение загадки Меркурия не было целью созданной Эйнштейном ОТО, но когда он узнал о существовании этого парадокса, он попробовал применить к его объяснению именно ОТО. Результат известен: вытекавшая из формализма ОТО оценка прецессии Меркурия совпала с реальными данными сенсационно точно.

Ниже приводится краткий конспект построения математических формул ОТО для решения двух вышеназванных проблем в трактовке В. К. Фредерикса [Фредерикс, 1918], написанной, так сказать, по самым свежим следам.

Итак, базисным является предположение Эйнштейна, что материальные тела, находясь в т. н. «реальном ПВК», задают в нём неевклидову геометрию, вследствие чего свободное движение любого объекта оказывается криволинейным независимо от того, обладает он массой покоя или нет. Существования каких-либо сил при этом не предполагается.

## 6. Задача 1

Начнём с неё. Сразу же нужно отметить: ссылки на невозможность объяснить движение перигелия Меркурия в рамках ньютоновской механики не являются абсолютно убедительными: взаимодействие Солнца и Меркурия является неточечным, что означает, строго говоря, некулоновость гравитационного потенциала, а, следовательно, возможность прецессии орбиты Меркурия; к тому же у нас нет информации о, строго говоря, неоднородной и текучей

структуре обоих тел; мы игнорируем собственное вращение Солнца и планет и мы не знаем всей богатой истории возмущений, происходивших в солнечной системе (и самом Солнце) и вызывавших кумулятивные изменения в орбитах тел этой системы.

Можно также отметить следующее: так как Солнце вращается вокруг общего центра масс, то ввиду малости его отличия от центра Солнца в движении последнего можно выделить осциллирующие компоненты как результат действия градиента соответствующего колебательного потенциала, который опять-таки из-за неточности взаимодействия будет не вполне квадратичным, и это тоже способно сделать, пусть и ничтожный, но всё же вклад в прецессию орбиты Меркурия.

Тем не менее, принято считать, что 43", на которые сдвигается каждое столетие перигелий Меркурия по сравнению с расчётами, объяснить в рамках ньютоновской (правда, не точной, а грубо приближённой) модели нельзя в принципе.

Методически ситуация не подобна случаю с открытием планеты Нептун. Там, правда, тоже возмущения орбиты Урана были объяснены сначала гипотезой (существование неизвестной планеты), но затем эта планета действительно была экспериментально обнаружена.

Здесь же всё ограничилось гипотезой и следствием из неё. Опытного независимого доказательства существования «кривой реальной пустоты», или, используя обычный термин Эйнштейна – «неевклидова пространственно-временного континуума» – не последовало.

Итак, рассуждения в ОТО были таковы. Шаровая симметрия поля тяготения Солнца (вклад Меркурия и других планет не учитывается!!) задаёт шаровую же симметрию метрического тензора (правда, лишь при условии неподвижности системы, а Солнце на самом деле движется!) Отсюда Шварцшильд вывел выражение для метрического элемента в полярных координатах:

$$ds^2 = \frac{r}{r-\alpha} dr^2 + r^2(\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2) - \frac{r-\alpha}{r} dt^2 \quad (1)$$

Здесь  $r$  и  $\theta$  – полярные координаты Меркурия. Двумерность уравнения объясняется тем, что вращение Меркурия фактически происходит лишь в плоскости;  $ds^2$  – бесконечно-малый элемент траектории в неевклидовом ПВК. Коэффициент  $\alpha$  здесь играет особую роль – он ответственен за шаровую неевклидовость метрического тензора; при его равенстве нулю мы получим обычную евклидову метрику (в полярных координатах).

Из этого выражения мы на основе вариационного принципа можем получить уравнение для траектории свободного движения как линии кратчайшего расстояния (уравнение ОТО):

$$\frac{d\rho^2}{d\phi^2} = k_0\rho - \rho^2 + \alpha\rho^3, \quad \rho = 1/r \quad (2)$$

Оно отличается от классического уравнения Кеплера

$$\frac{d\rho^2}{d\phi^2} = k_0\rho - \rho^2 \quad (3)$$

на все то же  $a$ , умноженное на 3-ю степень  $\rho$  (обратного расстояния), и если бы  $a$  было равно нулю, или расстояние бесконечности, то действовала бы кеплеровская модель движения. Что для больших расстояний справедлива модель Кеплера, возражений не вызывает (работает точечное представление); а вот то, что пределом траекторий тел с исчезающей массой являются орбиты Кеплера, здравому смыслу кажется странным.

Значение  $a$  оценивается из предположения о возможности идеальной (круговой) орбиты, и тогда сравнивая круговую орбиту ОТО и такую же в подходе Кеплера, получаем, что  $a$  играет роль массы Солнца, но выражается в метрических единицах (для Солнца 1,5 км).

Далее находится приближённое решение уравнения ОТО (2) как зависимость координаты угла от координаты расстояния (но не времени!), а из неё вычисляется смещение угла перигелия (макс. удаления) орбиты за 1 оборот планеты вокруг Солнца. Неизвестные константы, входящие в эту зависимость, можно вычислить с помощью закона Кеплера о связи периода планеты с большой полуосью её орбиты (ньютоновские законы точнее кеплеровских, но они выводятся из отвергаемой ОТО аксиоматики, тогда как кеплеровские получены из наблюдений; логика, впрочем, неубедительная, так как кеплеровская модель, хотя и более похожа на реальность, чем аристотелевская, тоже является слишком идеальной).

Окончательно для Меркурия получается: это смещение за 100 лет равно 43" – той самой величине, которую не мог объяснить ньютоновский подход.

Совпадение поистине фантастическое, особенно если учесть, что рассуждения, давшие этот ответ, содержат ряд грубых приближений даже по сравнению с ньютоновским подходом.

Эстетический момент портит также и картина не зависящей от времени, чтобы не сказать закостенелой (хотя сам Эйнштейн называл её всего лишь «статичной») геометрии, в которой траектории объектов прочерчены раз и навсегда, и вся-то жизнь такой Вселенной – унылое вращение по вечным «кругам своим».

А теперь попробуем рассуждать иначе. Мы ведь можем сказать, что так как модель взаимодействия 2 точек к паре «Солнце – Меркурий» неприменима, то реальное уравнение их движения не может быть идеальным, т. е. кеплеровским, а будет возмущённым (типа (2)). Правда, мы не в состоянии оценить вид этого возмущения, но ведь математика предлагает нам вполне легитимный, опробованный и освящённый веками и весьма универсальный метод формального учёта такого возмущения: повышение порядка уравнения или степени аппроксимирующего выражения.

Руководствуясь этим, мы допускаем, что реальная орбита Меркурия будет описываться не уравнением 2-го порядка (3), как в случае Кеплера, а 3-го (типа 2), причём так, что для точной точечной модели 3-й член исчезает. Это как раз и даст нам уравнение ОТО, в котором  $a$ , правда, имеет иной смысл: это коэффициент, связанный не с массами тел, а со степенью неточности взаимодействия. А далее, используя те же выкладки, что и Эйнштейн (благо они уже от первоначальной «безумной» гипотезы не зависят), мы получим всё те же 43", что и требовалось. Разница с ОТО:

1) не понадобилась «безумная» идея о «кривом реальном неевклидовом пространственно-временном континууме»;

2) не запятнан заслуженный перед историей Науки авторитет Ньютона.

3) и не поколеблен тоже заслуженный перед историей Науки авторитет Эйнштейна, поскольку описательную задачу ОТО выполнила блестяще.

## 7. Задача 2

Рассуждения снова ведутся в рамках аксиоматики о «реальном кривом пространстве», но здесь привлекается ещё один пункт, бросающий вызов здравому смыслу: объявляется, что фотон движется по геодезической линии нулевой длины, т. е. что траекторию фотона с «нормальной» длиной надо выводить из условия

$$ds^2 = 0 \quad (4)$$

Напомним: элемент расстояния между точками  $X$  и  $Y$  с координатами  $x_1, x_2, x_3$  и  $y_1, y_2, y_3$  в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  на ПВК определяется с помощью «метрики» Минковского:

$$ds^2 = (x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + (x_3 - y_3)^2 - (c(t_1 - t_2))^2 \quad (5)$$

где  $c$  – скорость света в вакууме.

Почему «метрика» (5) не может быть обычной математической метрикой? Ответ следует из определения метрики в математике – функция  $r(x, y)$  называется расстоянием между элементами некоторого метрического пространства  $x$  и  $y$ , если

1.  $r(x, y) = r(y, x)$ ;
2.  $r(x, y) > 0$  если  $x \neq y$ ;  $r(x, x) = 0$ .
3.  $r(x, z) \leq (r(x, y) + r(y, z))$  для любых 3 элементов  $x, y, z$  [Шилов, 1961: с. 25].

Видно, что выражение (5) не удовлетворяет пункту 2; следовательно, метрикой не является. Правда, физический смысл (4) выяснить несложно – это утверждение, что фотон может двигаться из точки  $X$  в  $Y$  за время  $t_2 - t_1$  только в точности со средней скоростью  $c$  – скоростью света в вакууме. То, что эта скорость не больше  $c$ , это понятно – это один из постулатов ОТО. Но почему фотон не может двигаться с меньшей? Ведь мы прекрасно знаем, что свет в материальной среде имеет скорость меньшую, чем  $c$ . Получается, что двигаясь в любой области ПВК, фотон движется в вакууме. Но тогда и вся Вселенная представляет собой сплошной вакуум; однако это не так, она – не вакуум, она заполнена под завязку – самой собой. Так что получаем больше новых вопросов, чем приемлемых ответов на старые.

Правда дальнейшие рассуждения, к счастью, ведутся уже в терминах, так сказать, рабоче-крестьянского здравого смысла. Снова выводится уравнение (2) 3-го порядка для траектории фотона. С помощью некоторых действий получается приближённое решение этого уравнения – почти гипербола с очень большим эксцентриситетом  $E = 2B/\alpha$  (т. е. почти прямая линия), где  $B$  – ближайшее расстояние траектории от Солнца. Приближённо определяются асимптоты этой гиперболы и угол между ними; он оказывается равным  $\alpha/B$ , т. е. очень малым, но нулю не равным. Это значит, что фотон, двигавшийся по прямой в поле малого тяготения, слегка изменил угол своего направления при прохождении около Солнца и дальше двигался снова по прямой. Численное значение

изменения угла =  $1,7''$ . Английская экспедиция, наблюдавшая солнечное затмение в 1919 году в Бразилии, зарегистрировала точно такую же цифру. В дальнейшем факт воздействия гравитации на электро-магнитное излучение был подтверждён также наблюдениями и над фотонами из радиодиапазона.

Итак, снова фантастическая суперточность результата при весьма и весьма приближённых вычислениях. И всё-таки объективный взгляд на ситуацию склоняет к мысли, что главное здесь – факт загадочного, необъяснимого (для «нормального» мышления) воздействия гравитации на излучение, а гипотеза о «реальном кривом пространстве» выглядит искусственным довеском, так сказать, аппендиксом во всём этом деле. Мы могли бы снова утверждать так: ньютоновский подход к гипотетическому объекту фотону непосредственно неприменим, т. к. считается, что последний не имеет массы покоя; в то же время у нас нет оснований полагать, что его поведение в гравитационном поле будет качественно иным, нежели у объектов с массой (наблюдения тоже склоняют нас к такой мысли); отсюда в условиях незнания деталей взаимодействия гравитации и света и полного отсутствия наглядного образа для фотона (уж конечно это не точка, поскольку это вообще непонятно что такое) логично предположить, что траекторией фотона будет обобщённая кеплеровская орбита, а в силу постоянства его скорости она вырождается в гиперболу – выкладки вполне допускают такую интерпретацию, и далее определить ими угол в  $1,7''$  между асимптотами этой гиперболы. Малое  $\alpha$  при этом играло бы другую роль – было бы призвано учесть возмущающее воздействие гравитации на изначально прямолинейную траекторию фотона.

Так что по поводу проблемы 2 можно сказать, что хотя догадка Эйнштейна о воздействии гравитации на излучение гениальна, всё же предложенное им геометрическое объяснение механизма этого воздействия достаточно убедительным считать нельзя.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** В приведённых рассуждениях мы могли бы просто сказать: по неизвестным и непонятным причинам модель Ньютона не работает, хотя две причины мы можем всё же указать: уже упомянутое отступление от точечности, и тот факт, что в Природе взаимодействуют не два произвольно вырванные из среды объекта, а вся совокупность объектов между собой, о многих из которых мы просто ничего не знаем. Ну а дальше общематематический подход к формальному уточнению модели уже полностью оправдан.

Напомним: высокая точность описания орбит планет в рамках подхода Птолемея (да и первоначально Коперника тоже) была достигнута именно таким путем, и это было огромным успехом (открытие Америки – триумф астрономии Птолемея).

Правда, живое воображение физика такой слишком абстрактный подход вряд ли удовлетворит. Ему захочется иметь пусть не столь логически корректный образ Гравитации, но всё же более впечатляющий и содержательный, и более увлекательный для романтической фантазии, жаждущей не серой и скучной обыденности, а тайн, поэзии и парадоксов.

Обобщая, можно сказать, что всегда в любой духовной среде существует сложное взаимодействие двух вкусов – так сказать, классического и альтернативного. Позиции, удерживаемые сторонниками ОТО в теоретической физике, сегодня выглядят незыблемыми, несмотря на мощную критику и оппозицию со стороны «здорового смысла», но «безумный» стиль – это в действительности реакция на длительное господство классических вкусов, так что «безумные»

объяснения Мира просто обречены на долголетие, да и в дальнейшем, когда маятник качнётся в другую сторону, они всё же будут сосуществовать рядом с «разумными».

### 8. Общий вывод

И ЗВТ Ньютона и ОТО Эйнштейна дают математический инструмент, позволяющий описать численно гравитацию с высокой степенью точности, вплоть до прогнозирования её многочисленных тонких эффектов.

Ньютон сознательно не претендовал на описание глубинной сущности Гравитации (вспомним его гордое *hypotheses non fingo* – гипотез не измышляю!)

ОТО и в явной и в неявной форме такую претензию высказывает. Но как мы видим, без достаточных оснований, ибо математический формализм, позволивший ОТО точно описать эффекты, которые не смог описать ньютоновский (точнее, псевдо-ньютоновский) подход, допускает неоднозначную физически содержательную интерпретацию, версии которой исключают друг друга, причём ни одна из них не имеет экспериментального подтверждения, так что объявить какую-либо одну из этих версий единственно верной было бы субъективным произволом.

С горечью приходится признать, что физическая сущность Гравитации остаётся для нас такой же загадкой, какой она была и во времена Ньютона.



### Литература

- Эйнштейн, Инфельд*, 1965 – *Эйнштейн А., Инфельд Л.* Эволюция физики. – М., 1965.  
*Фредерикс*, 1918 – *Фредерикс В.К.* Общий принцип относительности Эйнштейна. – УФН, 2, 162, 1918.  
*Шилов*, 1961 – *Шилов Г.Е.* Математический анализ. Специальный курс / 2-е изд. – М., 1961.



### References

- Einstein A., Infeld L.* Evolyuciya fiziki [The evolution of physics]. – Moscow, 1965.  
*Fredericksz V.K.* Obshaya teoriya otnositel'nosti [General principle of a relativity of Einstein]. – УФН, 2, 162, 1918.  
*Shilov G.E.* Matematicheskii analiz. Special'nyi kurs [Mathematical analysis. Special course]. – Moscow, 1961.

