

ОБ ОСНОВАХ ОБОБЩЕННОЙ ТЕОРИИ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ (АНИЗОТРОПНОЙ ГЕОМЕТРОДИНАМИКИ)¹

С.В. Сипаров

Государственный Университет гражданской авиации, Санкт-Петербург, Россия

sergey.siparov@gmail.com

Обсуждаются основные черты обобщенной теории эквивалентности (анизотропной геометродинамики). Приводится мотивация, приведшая к формулировке этого подхода в результате анализа некоторых противоречий, лежащих в основе классической механики. Изложены результаты использования данного подхода для интерпретации ряда наблюдений на галактическом масштабе, ранее не имевших объяснения, а также для интерпретации наблюдений без привлечения понятия темной материи.

Ключевые слова: гравитация, дальноедействие, геометрия, анизотропия, наблюдения, галактика.

«Не должно принимать в природе иных причин сверх тех, которые истинны и достаточны для объяснения явлений. . . Природа ничего не делает напрасно, а было бы напрасным совершать многим то, что может быть сделано меньшим.

Природа проста и не роскошествует излишними причинами.»

И.Ньютон “Principia”

Все, что связано с гравитацией, с одной стороны, является самым простым и привычным, поскольку с проявлениями именно этого фундаментального взаимодействия мы осознанно сталкиваемся с раннего детства. С другой стороны, гравитация, несомненно, является самым загадочным явлением, потому что именно ей не находится места в общепринятой Стандартной модели в физике элементарных частиц или потому что на галактических масштабах и выше не обойтись без введения гигантских количеств ненаблюдаемой темной материи, необходимого для того, чтобы классическая общая теория относительности (ОТО) оставалась состоятельной. Особая роль и положение гравитации неоднократно подчеркивались и обсуждались в работах ведущих ученых мира. В частности, Р. Пенроуз указывает на то, что она никак не может являться поправкой или следствием чего бы то ни было, но является первоочередным и приоритетным феноменом, фоном, на котором разворачивается все остальное, т.е. тем, что пришло на смену абсолютному пустому пространству Ньютона. Это вновь — через сто лет после Г. Минковского — приводит к мысли об анализе основных свойств тех структур, с помощью которых мы моделируем реальный мир, т.е. фактически, об используемой геометрии. Естественно, предполагаемое изменение фундамента должно иметь либо существенные причины, либо вести к существенным преимуществам.

Большая часть из того, что будет изложено ниже, уже публиковалось ранее. В данной работе более четко расставлены акценты, указано место этого подхода и направления его развития. Дальнейшее изложение построено так. Во вступительной части мы рассмотрим мотивацию исследования и остановимся на противоречиях различной степени глубины, как в наблюдениях, так и в предшествующей теории, а также упомянем известные попытки справиться с ними. Затем будет предложена новая конструкция для моделирования реальности и выполнены формальные построения и упрощения. Далее мы используем новый формализм для описания явлений на галактическом масштабе и выше с тем, чтобы

¹расширенная версия доклада на семинаре в РУДН 03.04.2013

убедится, что он работоспособен и обладает преимуществами по сравнению с известным. В заключение будут обсуждаться следствия, которые могут отразиться в космологических и других представлениях.

1 Мотивация

Наиболее очевидная мотивация и повод для вопросов связаны с анализом наблюдений, выполненных в последние десятилетия. Речь идет о кривых вращения спиральных галактик, т.е. о зависимостях скорости (чаще квадрата скорости) орбитального движения звезд вокруг центра галактики от расстояния до этого центра. Вопреки всем существующим теоретическим представлениям (с удалением скорость стремится к нулю), она выходит на константу порядка 10^5 м/с, причем кривые вращения подходят к ней как сверху, так и снизу в зависимости от параметров галактики (рис. 1). Нетрудно видеть, что эффект отнюдь не мал, статистически достоверен и имеет ясный смысл.

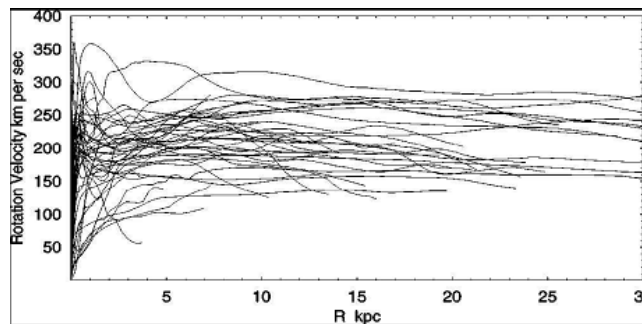


Рис. 1: Взято из Sofue Y. and Rubin V., 2001, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 31, 137.

В нашей собственной галактике Млечный Путь имеются два других эффекта, которые не кажутся столь же значимыми, хотя они также не имеют объяснения [1]. Известно около полутора сотен шаровых скоплений звезд, движущихся вокруг центра галактики как единое целое по различным орбитам. Для нескольких десятков из них параметры орбит установлены. Во-первых, оказывается, что большинство шаровых скоплений располагается вблизи центра галактики, что не соответствует следствию из закона Кеплера о секторальных скоростях, согласно которому подавляющую часть времени своего движения по эллиптической орбите спутник проводит вдали от центрального тела. Во-вторых, оказывается, что чем ближе плоскость орбиты скопления к плоскости, перпендикулярной плоскости галактики, тем в большей степени шаровые скопления подчиняются закону Кеплера. Первое наводит на мысль о том, что закон гравитации Ньютона может нуждаться в уточнении, второе — что такое уточнение может содержать анизотропию.

2 Попытки модификации

Сложившаяся ситуация не могла не привлечь внимания, и были предприняты усилия, направленные на ее разрешение. Они были связаны с попытками модифицировать ОТО, причем в различных направлениях. Упомянем некоторые из них.

Как известно, в основе теории лежит так называемый простейший скаляр, описывающий действие Гильберта-Эйнштейна

$$S_{EH} = -\frac{c^3}{16\pi G} \int d^4x (-g)^{1/2} R_\alpha^\alpha \quad (2.1)$$

к которому применяется вариационная процедура. Наиболее прямолинейным подходом, использованным Де Виттом, является последовательное усложнение известного выражения для действия за счет введения чисто метрических членов следующих порядков [2], что приводит к построению так называемых $f(R)$ -теорий. Однако с ростом числа членов разложения теория теряет простоту и становится подгоночной. Следующим естественным ходом может быть введение Брансом и Дикке дополнительного макроскопического скалярного поля [3]

$$S_{BD} = -\frac{c^3}{16\pi G} \int d^4x (-g)^{1/2} \left(SR_\alpha^\alpha - w \frac{S_{;\mu} S^{;\mu}}{S} \right) \quad (2.2)$$

где w — константа. Однако неясно, чему соответствует такое поле. Можно также попытаться увеличить число измерений пространства-времени с последующим выходом измерений высших порядков на Планковский масштаб длин. Соответствующие работы, начавшись с работы [4], привели к развитым в математическом смысле современным теориям струн [5], а затем и бран [6], но до выхода на расчетные зависимости дело не дошло. Развитие идей Г. Вейля [7] привело к теориям конформной гравитации, в которых метрика наделяется дополнительной симметрией. Формально этот подход оказывается аналогичным изменению простейшего скаляра и требует специфического подбора коэффициентов в одном из $f(R)$ -разложений. Уравнения Эйнштейна, полученные Маннхеймом в [8], используют тензоры Вейля и имеют вид

$$4\alpha_g W^{\mu\nu} = 4\alpha_g \left(2C_{;\lambda;\kappa}^{\mu\lambda\nu\kappa} - C^{\mu\lambda\nu\kappa} R_{\lambda\kappa} \right) = T^{\mu\nu} \quad (2.3)$$

где α_g — безразмерная константа. Дополнительного скалярного поля теперь не нужно, но уравнение (2.3) в пустом пространстве не имеет структуры волнового уравнения. Таким образом, не оказываются гравитационных волн, и эффект Халса-Тэйлора, связанный с изменением частоты двойного пульсара, совпавший с теоретическим предсказанием с очень высокой точностью, нужно будет объяснить как-то принципиально иначе. Геометрия пространства-времени тоже может подвергаться модификации. Так, отказ от симметрии метрики по индексам [9,10] позволяет получить приемлемое описание кривых вращения, но он подразумевает существование 5-го фундаментального взаимодействия, имеющего характер отталкивания. Таким образом, попытки, направленные на модификацию ОТО, к желаемому результату не привели.

Поскольку еще со времен Ф. Цвике, (не говоря уже об открытии Нептуна), идея о существовании «скрытой массы» на галактических масштабах была не новой², она получила специфическое развитие. Обратившись к правой части уравнения Эйнштейна, содержащей тензор энергии-импульса и отвечающей за гравитирующую массу, в него ввели поправку, необходимую для того, чтобы наблюдаемая форма кривых вращения совпала с расчетной. Оказалось, что величина недостающей массы превышает оценку для массы наблюдаемой галактики примерно в 4-6 раз, а радиус (сферического) распределения этой дополнительной массы превосходит наблюдаемый радиус галактики также примерно в 5 раз. При этом никаких следов того, что вещество, составляющее эту массу, участвует в электромагнитном взаимодействии, не обнаруживается ни в излучении, ни в поглощении. Это не смутило исследователей, и было введено понятие «темной материи» — небарионного вещества, не участвующего в электромагнитном взаимодействии, но сохраняющего гравитационные свойства. В настоящее время эта идея является научным мейнстримом, распределение темной материи на космологическом, галактическом и даже планетарном масштабах определяется с помощью компьютерных моделей, ей нашлось место в теориях

²Измерив дисперсию скоростей галактик в кластере галактик, Цвике с помощью теоремы вириала установил, что масса кластера недостаточна для его существования как связанной системы, и предположил, что имеется дополнительное количество *скрытой массы*, принадлежащей объектам типа остывших звезд.

эволюции Вселенной, но следов соответствующих частиц в настоящее время не обнаружено, несмотря на интенсивные поиски.

Отметим, что сама идея ненаблюдаемой массы на масштабах галактики содержит противоречие, которому по каким-то причинам не придается значения. Известен эмпирический закон Талли-Фишера, связывающий наблюдаемую светимость спиральной галактики, (пропорциональную барионной массе), с четвертой степенью орбитальной скорости звезд. Между тем, огромное количество темной материи, масса которой не связана никакой зависимостью с массой светящейся материи, не проявляет себя в этой наблюдаемой закономерности. Очевидно, что ее гравитационное воздействие на движение светящихся тел должно было бы нарушить связь параметров этого движения с параметрами *лишь светящейся материи*. Этот очевидный парадокс в настоящее время игнорируется.

М. Мильгрэм подверг ревизии уже классические основы, а именно 2-й закон динамики и закон гравитации Ньютона. Им был предложен феноменологический подход [11], известный как МОНД — МОдифицированная Ньютоновская Динамика, в котором вводится новая мировая константа, имеющая размерность ускорения

$$\mu \left(\frac{a}{a_0} \vec{a} \right) = \vec{f} \quad \text{или} \quad \vec{a} = \nu \left(\frac{f}{a_0} \right) \vec{f} \quad (2.4)$$

Предлагается так подобрать функции $\mu(x)$ или $\nu(x)$ и величину a_0 , чтобы в масштабах Солнечной системы получить классический результат, а в масштабе галактики — результат, описывающий плоские кривые вращения. Это было сделано, причем оказалось, что величина подгоночного параметра близка по величине к произведению скорости света на постоянную Хаббла. После того, как в [12] удалось выполнить релятивистское обобщение МОНД путем введения скалярного поля ψ , дающего аддитивную добавку к действию Эйнштейна-Гильберта в виде

$$S(\psi) = -\frac{1}{8\pi GL^2} \int d^4x (-g)^{1/2} f(L^2 g^{\alpha\beta} \psi_{;\alpha} \psi_{;\beta}) \quad (2.5)$$

где f — скалярная функция, L — константа, МОНД перестала быть простой феноменологией, но она стала относиться к тому же классу теорий, что и теория Бранса-Дикке. Несмотря на успешное описание кривых вращения, у МОНД возникают проблемы при дальнейшем ее обобщении.

Известны также различные попытки безосновательного изменения вида 2-го закона Ньютона, которые вряд ли заслуживают серьезного рассмотрения.

Таким образом, на пути преодоления проблем, связанных с наблюдениями, возникли затруднения, которые, впрочем, не признаются большинством научного сообщества.

3 Допущения и противоречия

Сформулируем допущения и предпосылки, которые стали настолько привычными, что противоречия, к которым они ведут, не принимаются во внимание.

Из нескольких десятков теорий гравитации физически осмысленными признаются только те, у которых метрика на бесконечности обращается в метрику Минковского, т.е. пространство становится плоским, а ОТО превращается в СТО. Возникает вопрос: такая теория является «осмысленной» в физическом или в философском смысле? Как проверить адекватность этого математического граничного условия физической реальности опытным путем? Возможно ли это вообще? Использование такого условия подразумевает, что решение уравнений поля соответствует островной модели источника и применяется к описанию ее периферии. Имеет ли отношение эта модель, например, к описанию галактики, где и возникли затруднения с наблюдениями? Какое граничное условие явилось бы более адекватным и одновременно допускало экспериментальную проверку?

Кроме того, обратим внимание на противоречие, имеющееся в наиболее известных фундаментальных утверждениях. Как совместить 1-й закон динамики и закон всемирного тяготения Ньютона? Закон гравитации утверждает, что между всеми телами существует вездесущая и неустранимая далекодействующая сила. О чем же тогда говорит 1-й закон, кроме той абстрактной и в сущности малоинтересной ситуации, когда во Вселенной имеется всего одно тело? Не это ли обстоятельство послужило причиной известного недовольства Ньютона собственным открытием закона движения планет, высказанного им в письме к Р.Бентли³, и отсрочки публикации закона тяготения на 20 лет? А ведь 2-й закон динамики, управляющий решительно всем — от квантовой механики до теории относительности — содержит в себе этот 1-й закон о существовании инерциальных систем отсчета. Где же, (кроме сознания наблюдателя), находятся эти системы, и как проверить эту гипотезу, если считать, что она относится все же к физике? Э. Мах также поднимал этот вопрос в своих работах, и Эйнштейн не мог не знать об этом. И все же он именно *обобщил* СТО на ОТО, а не свел некоторую самостоятельную теорию гравитации к частному случаю отсутствия источников, как сделал Максвелл в электродинамике. Неудивительно, что при таком обобщении в дальнейшем могли возникнуть непредвиденные вещи вроде ненаблюдаемой материи, влияющей на наблюдаемое движение тел. Еще В. Фок предупреждал, что попытка распространения ОТО на космологические масштабы будет носить спекулятивный характер. Если же 1-й закон является некоторым приближением, то в этом случае необходимо указать область его применимости, и естественно, что в теории должен появиться фундаментальный параметр, имеющий размерность длины.

Таким образом, получается, что в основу всех построений, имеющих отношение к физическому миру, должно лечь утверждение, прямо противоположное 1-му закону Ньютона. А именно:

- Во Вселенной, содержащей более одного тела и обнаруживающей далекодействие между телами, *не существует* системы отсчета, связанной с телом отсчета, в которой другое тело сохраняет состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения.

Это утверждение подрывает принцип относительности Галилея в той конкретной количественной формулировке, которая приписывается Ньютону⁴. Теперь этот принцип теряет связь с физической реальностью и становится абстрактным утверждением, проверить которое невозможно в силу отсутствия систем, движущихся равномерно и прямолинейно.

Поскольку речь идет о далекодействии, следует подчеркнуть, что при обработке данных наблюдений невозможно ограничиться только измерениями, она неизбежно должна включать в себя расчеты на основе заранее принятой модели. Это в первую очередь означает, что для расчетов расстояний и кинематических характеристик необходимо заранее выбрать геометрию, предписывающую способ их вычисления. Для Ньютона вопрос о выборе геометрии не стоял, поскольку единственно известной была геометрия Евклида. Но уже Н. Лобачевский показал, что существуют такие области наблюдаемой Вселенной, где выбор геометрии будет определяться условиями наблюдений. Такой выбор тем более относится к построению метрической теории, где движение определяется не силами, а геометрическими свойствами многообразий, моделирующих физическую реальность. И если

³*That gravity should be innate inherent and essential to matter so that one body may act upon another at a distance through a vacuum without the mediation of any thing else by and through which their action or force may be conveyed from one to another is to me so great an absurdity that I believe no man who has in philosophical matters any competent faculty of thinking can ever fall into it [underlined by me – S.S.]. Gravity must be caused by an agent acting constantly according to certain laws, but whether this agent be material or immaterial is a question I have left to the consideration of my readers. (I. Newton. 4th letter to R. Bentley)*

⁴Галилей своими качественными рассуждениями пытался защитить саму возможность гелиоцентрического подхода Коперника, и не выдвигал требования прямолинейности движения.

траектория движения является геодезической, то в пространстве с кривизной, порожденной гравитацией, она не совпадает с прямой в пространстве Евклида.

4 Общие положения

Поскольку наблюдаемое движение может быть равномерным и прямолинейным только в исключительных предельных случаях, начинать построение теории следует с математических структур, которые пригодны для описания общего, а не предельного случая движения, поскольку для реального мира «законы динамики» должны опираться на наблюдаемые движения, а не наоборот. Для такого построения имеется фундаментальный постулат, известный как принцип наименьшего действия. Его эффективность хорошо известна, ее причины и связь с геометрией обсуждаются в [13]. Сформулируем основные утверждения в виде следующих Предложений.

Предложение 1: Свободное тело движется вдоль геодезической пространства, выбранного для моделирования физической реальности.

Для плоского пространства без дальнего действия это Предложение переходит в 1-й закон Ньютона. Кривизна пространства порождается не исключаемыми источниками сил и определяется соответствующими потенциалами. Природа дальнедействующих сил, отличных от гравитационных, может быть установлена только с помощью дополнительных измерений.

Определение: Дальнедействующая сила, заставляющая тело двигаться вдоль геодезической, равна произведению меры количества вещества (массы) на ускорение, которое дается уравнением геодезической.

Замечание: Не существует способа различить гравитационную и инертную массу. Имеет место *обобщенный* принцип эквивалентности, приобретающий нелокальный характер. Последнее связано с отказом использовать системы отсчета, вытекающим из основного утверждения, сделанного в предыдущем разделе. Так как *наблюдаемые* ускорения зависят и от скоростей всех тел, участвующих в рассмотрении, гравитационная дальнедействующая сила и соответствующий ей потенциал также зависят от этих скоростей в силу определения.

Предложение 2: Сила, действующая на тело, равна произведению его массы на ускорение, дополнительное к тому, которое дается уравнением геодезической.

Это предложение является уточнением 2-го закона Ньютона.

Предложение 3: Ускорение первого тела, измеряемое по отношению ко второму, равно по величине и противоположно по направлению ускорению второго тела, измеряемого по отношению к первому.

Это все, что остается одновременно от 3-го закона Ньютона и принципа относительности. На первый взгляд может показаться, что такой подход, отсылающий к идеям Маха, слишком эмпиричен, поскольку не касается «сути» происходящих явлений, (в частности, исчезает понятие гравитационного *заряда*, отличающегося по смыслу от инертной массы). Это не совсем так, поскольку сути физического явления теперь сопоставляется суть используемой геометрии, а выбор последней диктуется возможностями измерений. Таким образом, развитие программы геометризации физики происходит не на основе угадывания, а планомерно и согласованно с возможностями наблюдений. С течением времени выдвигаемый подход, опирающийся на обобщенный принцип эквивалентности, получит

такое развитие и математические следствия, что появление инициированных ими новых наблюдений позволит сделать следующий шаг.

5 О выборе геометрии

Механика Ньютона была согласована с геометрией Евклида. При исследовании больших скоростей возникла СТО, а геометрия Евклида была заменена «специальным» случаем геометрии Римана — геометрией Минковского. При этом в пределе бесконечных скоростей восстанавливается классическая механика⁵. При обобщении СТО на ОТО, «специальный» случай геометрии Римана был также заменен на ее общий случай. Как указывалось в разделе 3, обычное требование состоит в том, чтобы восстанавливалась СТО — на этот раз при переходе к бесконечным расстояниям от источников.

Но из предыдущего следует, что в мире, для описания которого используются модели с дальнодействием, законы динамики, которые можно согласовать с наблюдениями, должны отличаться от классических законов механики. Поэтому геометрия Римана, обеспечивающая последовательный переход именно к классической механике, в общем случае оказывается непригодной⁶. Ускорения движущихся по траекториям тел, измеряемые с одного из них, могут зависеть от скоростей участвующих тел, т.е. от значений производных по естественному параметру. Поэтому как пространство, используемое для моделирования физической реальности, так и его метрика должны учитывать существование вектора в каждой своей точке, т.е. быть анизотропными [16-23]. Рассмотрим пример соответствующего построения.

Пусть $M = R^4$ дифференцируемое 4-мерное многообразие класса C^∞ , TM — его касательное расслоение, с координатами $(x, y) = (x^i, y^i)$; $i = 0 \div 3$. Если c — кривая на M , задаваемая $c: [a, b] \rightarrow M$, $t \mapsto (x^i(t))$, то ее естественное продолжение на TM есть $\tilde{c}: [a, b] \rightarrow TM$, $t \mapsto (x^i(t), y^i(t))$, где $y^i = \frac{\partial x^i}{\partial t}$. Длина дуги s , которая обычно принимается в качестве естественного параметра, следовательно, равна $\int_0^t \sqrt{g_{ij}y^iy^j} d\tau$, где g_{ij} — метрический тензор, и $\sqrt{g_{ij}y^iy^j} = F$. Пусть метрика зависит от y , введенного выше, т.е. $g_{ij} = g_{ij}(x, y)$. Такой метрический тензор соответствует обобщенной геометрии Лагранжа, и является дважды ковариантным симметричным тензором на TM с единственными ограничениями: а) $\det g_{ij} \neq 0$ для всех (x, y) на TM и б) при замене координат на TM , индуцированных заменой координат на M , его компоненты преобразуются по тому же правилу, что и компоненты тензора $(0, 2)$ -типа на основном многообразии M . Это означает, что TM превращается в восьмимерное Риманово многообразие, что представляет очевидную аналогию с известным в физике шестимерным фазовым пространством. 4-мерное основное многообразие M можно рассматривать как вложенное в восьмимерное касательное расслоение TM , и касательные векторы для всех возможных кривых на M образуют 4-мерное векторное пространство, то есть касательное пространство. Касательное расслоение можно рассматривать как изоморфное прямой сумме основного многообразия и касательного пространства. Строго говоря, геометрия такого восьмимерного «фазового пространства-времени» является достаточно сложной и требует некоторых специфических составляющих, например, таких, как (нелинейная) связность Эресмана.

Ограничимся линейными преобразованиями координат $x^i = \Lambda_j^i x^j$, где Λ_j^i — постоянные, и слабо искривленным слабо анизотропным пространством с метрикой $g_{ij} = \eta_{ij} + \varepsilon_{ij}(x, y)$,

⁵Нетрудно убедиться (например, [14]), что бесконечная скорость распространения сигнала, присущая классической механике, нарушает принцип причинности.

⁶С точки зрения группового анализа это означает, что использование группы Пуанкаре может не соответствовать рассматриваемым задачам. Наиболее общей группой кинематик является группа Де Ситтера [15]

где $\eta_{ij} = \text{diag}\{1, -1, -1, -1\}$ — метрика Минковского на M . Кроме того, полагая, что $\varepsilon_{ij}(x, y) = \sigma \zeta_{ij}(x, y)$; $\sigma \ll 1$ — малая (линейно аппроксимируемая) анизотропная деформация, при вычислениях сохраним только члены, пропорциональные $\alpha_1 \varepsilon_{ij}$, $\alpha_2 \frac{\partial \varepsilon_{ij}}{\partial x^k}$, $\alpha_3 \frac{\partial \varepsilon_{ij}}{\partial y^k}$ и $\alpha_4 \frac{\partial^2 \varepsilon_{ij}}{\partial x^k \partial y^k}$, где $\alpha_k = O(1)$, $\sigma \alpha_k \ll 1$, $k = 1 \div 4$. Тогда эта геометрия существенно упростится. Введенные определения y^i позволяют поднимать и опускать индексы, соответствующие как «горизонтальным» (x -), так и «вертикальным» (y -) величинам на касательном расщеплении, с помощью одного и того же метрического тензора $g_{ij}(x, y)$, т.е. использовать простейший случай — лифт Сасаки [24]. Для того, чтобы обеспечить неизменность длины кривой при изменении параметра на кривой, тензор g_{ij} должен быть 0-однородным по y , т.е. $g_{ij}(x, \lambda y) = g_{ij}(x, y)$; $\lambda > 0$, т.е. метрика зависит только от направления y , но не от его величины. Последнее эквивалентно соотношению $\frac{\partial g_{ij}}{\partial y^k} y^k = 0$; $i, j, k = 0 \div 3$, (если же одновременно выполняется и $\frac{\partial g_{ij}}{\partial y^k} y^j = 0$, то такая метрика превратится в обычную метрику Финслера [25].).

Определим геодезические как экстремальные кривые для длины дуги $s = \int_0^t F d\tau$, где $F = \sqrt{(\eta_{ij} + \varepsilon_{ij}(x, y))y^i y^j}$. Вариационная процедура в применении к этому выражению даст [16] уравнения Эйлера-Лагранжа в виде $\frac{\partial F}{\partial x^k} - \frac{d}{ds} \left(\frac{\partial F}{\partial y^k} \right) = 0$. С учетом принятой линейной аппроксимации, получим выражение для обобщенных геодезических в анизотропном пространстве

$$\frac{dy^i}{ds} + \left(\Gamma_{ik}^i + \frac{1}{2} \eta^{it} \frac{\partial^2 \varepsilon_{kl}}{\partial x^j \partial y^t} y^j \right) y^k y^l = 0 \quad (5.1)$$

где $\Gamma_{jk}^i = \frac{1}{2} \eta^{ih} \left(\frac{\partial \varepsilon_{hj}}{\partial x^k} + \frac{\partial \varepsilon_{hk}}{\partial x^j} - \frac{\partial \varepsilon_{jk}}{\partial x^h} \right)$ — символы Кристоффеля (коэффициенты связности), сохранившие прежний вид, но включающие зависимость от y .

В отличие от уравнения геодезической $\frac{dy^i}{ds} + \Gamma_{ik}^i y^l y^k = 0$ в пространстве Римана, полученное уравнение показывает, что в анизотропном пространстве использование преобразования координат такого, что все Γ_{ik}^i обращаются в ноль, не делает систему локально-инерциальной. Эта особенность отражает ситуацию, когда наблюдение за движением одного из тел, принадлежащих к системе, осуществляется с другого такого же тела.

Помимо уравнения для геодезической, необходимо получить уравнения поля в новом геометрическом представлении. В общем случае это представляет собой весьма нетривиальную задачу. Однако анализ, проведенный в [26], показал, что в используемом здесь приближении они не изменяют своего вида $G_{ik} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{ik}$, и лишь входящие в них коэффициенты

связности ($G_{ik} = R_{ik} + \frac{1}{2} R g_{ik} = \frac{\partial \Gamma_{ik}^j}{\partial x^j} + \Gamma_{il}^j \Gamma_{kj}^l$) будут зависеть от y . Именно это обстоятельство позволит не отбрасывать второе фундаментальное решение уравнения Пуассона из «физических соображений» и использовать граничные условия, допускающие сопоставление с наблюдениями. Полученное выражение (5.1) является основой для закона динамики в мире с дальнодействием, т.е. с гравитацией. В пространственном сечении уравнение (5.1) после упрощений приобретает вид

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{c^2}{2} \left\{ -\nabla \varepsilon_{00} + \left[\vec{v}, \text{rot} \frac{\partial \varepsilon_{00}}{\partial \vec{v}} \right] + \nabla \left(\vec{v}, \frac{\partial \varepsilon_{00}}{\partial \vec{v}} \right) \right\} \quad (5.2)$$

где ε_{00} — единственная компонента метрического тензора, которая остается в уравнении для случая слабого поля и при использовании тех же допущений о малости скоростей по

сравнению с фундаментальной скоростью, что и в [27]. Уравнение (5.2) описывает наблюдаемое движение свободного тела в мире с гравитацией. Поэтому выражение для гравитационной силы будет иметь вид

$$\vec{F} = \frac{mc^2}{2} \left\{ -\nabla \varepsilon_{00} + \left[\vec{v}, \text{rot} \frac{\partial \varepsilon_{00}}{\partial \vec{v}} \right] + \nabla \left(\vec{v}, \frac{\partial \varepsilon_{00}}{\partial \vec{v}} \right) \right\} \quad (5.3)$$

Нетрудно видеть, что если в нашем приближении $\frac{\partial \varepsilon_{ij}}{\partial y^k} \ll \frac{\partial \varepsilon_{ij}}{\partial x^k}$, т.е. $\alpha_3 \rightarrow 0$, то развиваемый подход переходит в обычное приближение ОТО, исследованное Эйнштейном. Для единственного стационарного сферически симметричного источника гравитации задача сводится к [27], и тогда решение уравнений поля дает $\varepsilon_{00}(x) = \frac{r_s}{r}$. Если в качестве масштаба длины r_s выбрать $r_s = \frac{2GM}{c^2}$, то получится известный закон гравитации Ньютона.

6 Геометрическое происхождение полевых теорий

Любой антисимметричный тензор второго ранга вида $F_{ik} = A_{k,j} - A_{i,k}$ удовлетворяет геометрическому тождеству

$$\frac{\partial F_{ik}}{\partial x^j} + \frac{\partial F_{kj}}{\partial x^i} + \frac{\partial F_{ji}}{\partial x^k} = 0 \quad (6.1)$$

Если обозначить компоненты тензора следующим образом

$$F_{23} \equiv -B_z; \quad F_{14} \equiv E_z; \quad F_{13} \equiv E_y; \quad F_{24} \equiv B_y; \quad F_{12} \equiv E_x; \quad F_{34} \equiv -B_x$$

то, выписывая получающиеся соотношения в явном виде, получим

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} + \text{rot} \vec{E} = 0 \quad (6.2)$$

$$\text{div} \vec{B} = 0$$

что по внешнему виду совпадает с первой парой уравнений Максвелла. Если теперь с помощью метрического тензора перейти к контравариантным компонентам $F^{ik} = g^{ij} g^{kl} F_{jl}$ и обозначить $I^i = \frac{\partial F^{ik}}{\partial x^k}$, то тогда

$$\text{rot} \vec{B} - \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \vec{j} \quad (6.3)$$

$$\text{div} \vec{E} = \rho$$

что по внешнему виду совпадает со второй парой уравнений Максвелла. Однако, ни те, ни другие уравнения не будут иметь никакого отношения к физике, пока использованным символам не будет сопоставлена измеряемая величина.

В электродинамике величине ρ можно сопоставить плотность электрического заряда, а величине j — плотность тока, при этом $\vec{j}^{(e)} = \rho^e \vec{u}$, \vec{u} — вектор скорости в данной точке. Тогда решения математических уравнений

$$\begin{aligned} \vec{E} &= -\nabla \left(\int \frac{\rho(r)}{|\vec{r} - \vec{r}_0|} dV \right) \\ \vec{B} &= \text{rot} \left(\int \frac{j(r)}{|\vec{r} - \vec{r}_0|} dV \right) \end{aligned} \quad (6.4)$$

приобретают смысл напряженности электрического поля и индукции магнитного поля в данной точке. При этом их измерение будет связано с использованием выражения для силы Лоренца

$$\vec{F}_L = e\vec{E} + e[\vec{\nu}, \vec{B}]; \quad (6.5)$$

$$\vec{B} = \text{rot} \vec{A},$$

где e — величина пробного заряда, ν_i — его скорость, а A_i — компоненты некоторого вектора, называемого вектор-потенциалом электромагнитного поля.

Это, однако, не единственная возможность придать уравнениям физический смысл. Сначала введем еще одно обозначение. Пусть: $A_i = \frac{1}{2} \frac{\partial \varepsilon_{00}}{\partial y^i}$, где ε_{00} — компонента малой поправки к анизотропному метрическому тензору. Тогда второе слагаемое в формуле (5.3) примет вид

$$\vec{F}_L^{(g)} = \frac{mc^2}{2} \left[\vec{\nu}, \text{rot} \frac{\partial \varepsilon_{00}}{\partial \nu} \right] = 2m \left[\vec{\nu}, \vec{\Omega} \right] \quad (6.6)$$

где $\vec{\Omega} \equiv \frac{c^2}{4} \text{rot} \frac{\partial \varepsilon_{00}}{\partial \vec{\nu}} = \frac{c^2}{2} \text{rot} \vec{A}$, а в самой правой части выражения (6.6) нетрудно распознать величину, которая по внешнему виду совпадает с силой Кориолиса. Совпадает, но не является, т.к. никаких вращающихся систем отсчета в нашем рассмотрении нет. Но поскольку в нем нет и различия между гравитационной силой и силой инерции, полученное выражение имеет прозрачный смысл и характеризует ту часть гравитационной силы, которая связана с наблюдаемым тангенциальным движением пробного тела. Возвращаясь к уравнению (5.3), можно предположить, что в нашем приближении допустимо использовать и понятие плотности тока массы $\vec{j}^{(m)} = \rho^{(m)} \vec{u}$, где $\rho^{(m)}$ — плотность массы, причем гравитационная сила начинает зависеть как от движения всех рассматриваемых тел, так и от скорости пробного тела, а все вычислительные результаты, полученные в электродинамике, остаются справедливыми⁷.

Заметим, что действия, производимые этой составляющей гравитационной силы, могут быть притяжением, отталкиванием и тангенциальным действием в зависимости от угла между $\vec{\nu}$ и $\vec{\Omega}(x)$. Если в некоторой области пространства (например, в спиральной галактике) вектор $\vec{\Omega}(x)$ сохраняет постоянное направление, то компонента скорости $\vec{\nu}$, параллельная $\vec{\Omega}$, не испытывает воздействия второго слагаемого в формуле (5.3). Это обстоятельство позволяет объяснить парадокс в движении шаровых скоплений, упомянутый в разделе 1 и связанный с возможной анизотропией.

7 Модель «центр плюс ток»

Использование законов динамики, в которые изначально заложен принцип дальнего действия, изменит постановку и решение целого ряда задач — в том числе с точки зрения налагаемых граничных условий. Теперь они будут диктоваться не формальными требованиями, опирающимися на привычные постулаты, а возможностью сопоставления с наблюдениями.

В качестве примера рассмотрим простейший случай спиральной галактики. Он интересен тем, что эффективный ток массы, окружающий массивный центр, — ядро галактики — можно считать статическим и круговым, а для конкретных случаев можно рассчитать

⁷Почти сразу после появления ОТО Лензе и Тирринг [28] предприняли попытку использовать электромагнитную аналогию «в лоб», что привело к возникновению так называемой теории гравитозлектромагнетизма. Она, однако, не является последовательной, поскольку в ней лишь часть имеющихся масс создает кривизну пространства, а другая часть участвует в гравитационном взаимодействии.

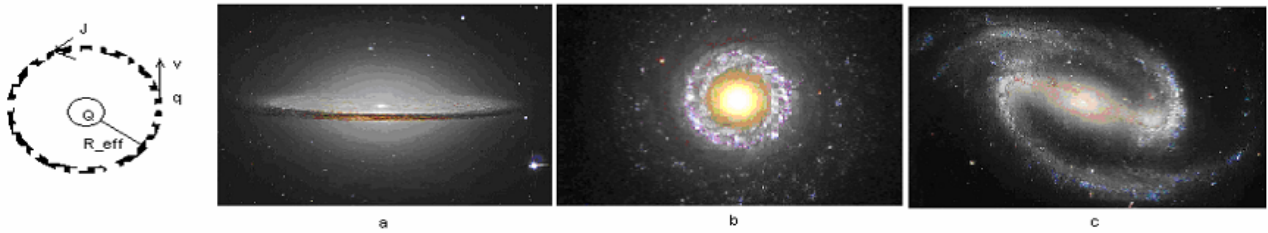


Рис. 2: Модель «центр плюс ток» и спиральные галактики: а — M-104, б — NGC-7742, с — NGC-1300. (Изображения получены с помощью телескопа «Хаббл»)

параметры модели по данным наблюдений [16]. Это позволит получить оценки, пригодные для сопоставления с наблюдениями.

Наряду с обозначением $\vec{\Omega} \equiv \frac{c^2}{4} \text{rot} \frac{\partial \varepsilon_{00}}{\partial \vec{v}}$ введем также и следующее

$$\vec{u} \equiv \frac{c^2}{4} \frac{\partial \varepsilon_{00}}{\partial \vec{v}} \equiv [\vec{\Omega}, \vec{r}], \quad (7.1)$$

где r — радиус-вектор, проведенный в рассматриваемую точку из центра⁸.

Нетрудно видеть, что третье слагаемое в (5.3) соответствует дополнительной силе притяжения или отталкивания, действующей на движущуюся частицу, если система тел, участвующих в рассмотрении, радиально расширяется (взрыв) или радиально сжимается (коллапс), что может представлять интерес как с точки зрения изучения соответствующих астрофизических процессов, так и с точки зрения космологии.

Внесем первое и третье слагаемое в (5.3) под общий знак градиента:

$$\vec{F} = \frac{mc^2}{2} \nabla \left[-\varepsilon_{00} + \frac{2}{c^2} \cdot 2(\vec{u}, \vec{v}) \right] + 2m[\vec{v}, \text{rot} \vec{u}] \quad (7.2)$$

и воспользуемся соотношением $([\vec{v}, \text{rot} \vec{u}], \vec{r}) = (\vec{v}, [\text{rot} \vec{u}, \vec{r}]) = (\vec{v}, \vec{u})$. Тогда последнее слагаемое также можно внести под градиент⁹, т.е

$$\vec{F} = \frac{mc^2}{2} \nabla \left\{ -\varepsilon_{00} + \frac{2}{c^2} \cdot 4(\vec{u}, \vec{v}) \right\}, \quad (7.3)$$

при этом в исходных обозначениях гравитационная сила принимает вид

$$\vec{F} = \frac{mc^2}{2} \nabla \left\{ -\varepsilon_{00} + 2 \left(\vec{v}, \frac{\partial \varepsilon_{00}}{\partial \vec{v}} \right) \right\} \quad (7.4)$$

Помимо обычного слагаемого, которое можно соотнести с Ньютоновским потенциалом, в новом выражении присутствует и *анизотропный* скалярный потенциал, обладающий следующими особенностями:

1. Его вклад не является малым и при определенных условиях может доминировать.
2. Он может давать вклад противоположного знака вплоть до преобладания сил отталкивания над силами притяжения.

⁸В общем случае $\vec{\Omega} = \vec{\Omega}(x^i)$, $i = 0 \div 3$. Пример, рассматриваемый в тексте, является упрощением.

⁹Можно сравнить вид скалярного произведения, полученного под градиентом, и вид выражения для «центробежной потенциальной энергии» в равномерно вращающейся системе отсчета, а именно $\frac{mV^2}{2}$, где $V = \omega r$ — линейная скорость вращения.

3. Гравитационное смещение частоты, обусловленное видом потенциала, теперь будет зависеть также от u и ν , а также от угла между ними. Новый вклад будет максимальным при движении пробного тела вдоль тока массы в спиральной галактике или перпендикулярно лучу зрения в общем случае. К поперечному эффекту Доплера обсуждаемое смещение частоты отношения не имеет.

Все эти особенности допускают очевидное сопоставление с наблюдениями.

Получим описание движения пробного тела, принадлежащего спиральной галактике и находящегося под действием силы (7.3), пригодное для сопоставления с наблюдениями. Поскольку задача является стационарной, уравнение поля вновь сводится к уравнению Пуассона. Как обсуждалось выше и в [16], обе полевые теории — гравитации и электромагнетизма — имеют одно и то же геометрическое происхождение. Это означает, что многие математические результаты будут одинаковыми в обоих случаях, в частности, величина Ω вычисляется так же, как индукция магнитного поля

$$\Omega = \text{rot} \left(\int \frac{j^{(m)}(r)}{|r - r_0|} dV \right), \quad (7.5)$$

где $j^{(m)}(r)$ — плотность тока массы, а r_0 — координата наблюдателя. Причем это — не действие по аналогии, а требование математического формализма. В рассматриваемом случае спиральной галактики это означает, что компонента $\Omega_z(r)$, создаваемая эффективным круговым массовым током J радиуса R_{eff} , может быть найдена по тем же формулам, что и следствия закона Био-Савара в электродинамике [29]:

$$\begin{aligned} \Omega_Z &= J \frac{2}{\sqrt{(R_{\text{eff}} + r)^2 + z^2}} \left[K + \frac{R_{\text{eff}}^2 - r^2 - z^2}{(R_{\text{eff}} - r)^2 + z^2} E \right] \\ K &= \int_0^{\pi/2} \frac{d\theta}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \theta}}; \quad E = \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \theta} d\theta \\ k^2 &= \frac{4R_{\text{eff}}r}{(R_{\text{eff}} + r)^2 + z^2} \end{aligned} \quad (7.6)$$

где K и E — эллиптические интегралы. Вводя обозначение $b = r/R_{\text{eff}}$ и принимая $z = 0$, получим

$$\Omega_Z(r) = J \frac{2}{R_{\text{eff}}(1 + b)} \left[K + \frac{1 - b^2}{(1 - b)^2} E \right] \quad (7.7)$$

Область, близкая к центру, соответствует $b \ll 1$ и постоянному значению $\Omega_Z(r) \rightarrow J/2R_{\text{eff}}$, удаленная область соответствует $b \gg 1$ и $\Omega_Z(r) \rightarrow 0$, промежуточная область, в которой находится эффективный ток и движется пробное тело, соответствует $b \sim 1$, и

$$\Omega_Z(r) \sim J/r. \quad (7.8)$$

В квазистатической системе центростремительное ускорение пробного тела создается «Кулоновским притяжением» ядра, и «силой Лоренца», связанной с полем эффективного кругового тока массы. Поэтому

$$\frac{\nu_{\text{orb}}^2}{r} = \frac{C_1}{r^2} \pm C_2 \nu_{\text{orb}} \Omega_Z(r) \quad (7.9)$$

где C_1 и C_2 — постоянные, а знак соответствует направлению тока и положению пробного тела вне или внутри контура. С учетом (7.8)

$$\nu_{\text{orb}}^2 = \frac{C_1}{r} \pm \nu_{\text{orb}} C_2. \quad (7.10)$$

Меньший корень дает $\nu_{orb} = \frac{C_2}{2} \left(1 - \sqrt{1 \pm \frac{4C_1}{rC_2^2}} \right) \rightarrow 0$, что соответствует закону Ньютона, знак зависит от направления движения частицы. Большой корень дает $\nu_{orb} = \frac{C_2}{2} \left(1 + \sqrt{1 \pm \frac{4C_1}{rC_2^2}} \right) \rightarrow C_2$. Пренебрегая малым слагаемым под корнем, получим

$$\nu_{orb} \sim C_2 \sim J, \quad (7.11)$$

т.е. при удалении от центра галактики орбитальная скорость звезд остается постоянной в достаточно широких пределах, определяемых условием $b \sim 1$.

Полученный результат (7.11) соответствует плоской кривой вращения, измеряемой в наблюдениях, не требует привлечения темной материи, а использованное уравнение динамики не является подгоночным.

Сделаем оценки. Будем считать, что для спиральной галактики отношение массы к светимости M/L_{lum} постоянно, что используется как одно из основных соотношений при определении расстояний в космологии. Пусть массовый ток $J \sim M/T$, где T — период обращения. При этом порядок величины массы, сосредоточенной в ядре галактики, такой же, как и порядок массы, образующей ток, масса спиральной галактики M пропорциональна ее площади, т.е. R_{eff}^2 , а период $T \sim R_{eff}^{3/2}$. Это дает $J \sim \sqrt{R_{eff}}$. Поскольку светимость L_{lum} также пропорциональна площади галактического диска, получим $R_{eff} \sim \sqrt{L_{lum}}$. Таким образом, $J \sim \sqrt{R_{eff}} \sim L_{lum}^{1/4}$ и окончательно

$$\nu_{orb} \sim L_{lum}^{1/4} \quad (7.12)$$

что *предсказывает* закономерность, действительно наблюдаемую в экспериментах и известную как эмпирический закон Талли-Фишера.

Определим условия, при которых оба члена в уравнении (7.3) начинают играть сопоставимую роль. Заметим, что из условия предельного перехода к ОТО следует, что

$$\vec{F}^{(g)} = \frac{mc^2}{2} \nabla \left\{ - \sum_n \frac{r_{n,s}}{r_n} + \frac{2}{c^2} \cdot 4(\vec{u}, \vec{v}) \right\} \quad (7.13)$$

Будем как и ранее считать, что пробное тело принадлежит круговому контуру, т.е. $u \sim v$. Тогда из формулы (7.13) следует, что

$$r\nu^2 \sim \frac{1}{4}GM. \quad (7.14)$$

Тогда для галактики, содержащей 10^{11} звезд с массами Солнца, (квази)устойчивому состоянию на расстоянии 10^4 парсек от центра скорость движения звезд должна иметь порядок 10^5 м/с, что соответствует наблюдениям. Поэтому расхождение предсказаний теории Ньютона-Эйнштейна, полученных на основе законов классической динамики, с наблюдениями, полученными для кривых вращения, не является удивительным. При использовании данного подхода расхождения теории и наблюдений не возникает, причем необходимость введения темной материи отсутствует.

8 Классические тесты на галактическом масштабе

Классическими тестами ОТО называются предсказания этой теории, касающиеся прецессии орбит планет, преломления луча света в поле звезды и гравитационного красного смещения, которые успешно подтвердились при наблюдениях в Солнечной системе. В рамках

развиваемого подхода, который относится уже к галактическому масштабу рассмотрения, следует выполнить аналогичные расчеты и сравнить их результаты с наблюдениями.

8.1 Орбитальное движение

Более детальный (численный) расчет движения звезды в спиральной галактике с эффективным радиусом тока массы, отмеченного дугой окружности на рис. 3, для зависимости декартовых координат $y(x)$ дает траектории, представленные на рисунке. В зависимости от параметров задачи и начальных данных можно обнаружить

- (а) прецессию орбиты звезды (явление, на котором неявно базируется теория волн плотности, используемая для объяснения формирования рукавов спиральной галактики),
- (б) инфинитное движение.

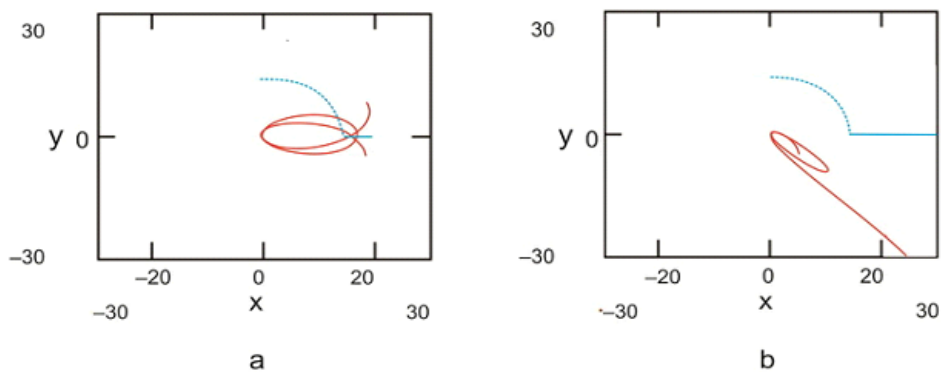


Рис. 3: Траектории тел в координатах (x, y) . Дуга окружности соответствует положению эффективного кругового тока массы; а — витки розетки обходятся против часовой стрелки; б — пробное тело, пребывавшее в окрестности центра, покидает ее и уходит на бесконечность

Траектория, показанная справа, имеет отношение к парадоксу с динамикой шаровых скоплений в нашей галактике, упомянутому в разделе 1 и связанному с нарушением закона Кеплера, и проясняют ситуацию с их поведением: видно, что тело может определенное время двигаться вблизи центра, прежде, чем покинет систему. Таким образом, результаты расчетов первого «классического теста» на галактическом масштабе соответствуют как наблюдениям, которые при этом до сих пор не имели объяснения, так и привычным представлениям.

8.2 Отклонение луча

На рис. 4 приведена иллюстрация расчета отклонения частицы малой массы при прохождении справа налево вблизи обычного Кулоновского центра (а) и вблизи системы ЦПТ с нужной ориентацией (б). Считая, что эти результаты качественно соответствуют отклонению луча света, можно убедиться, что

- отклонение на галактическом масштабе имеет место и может быть рассчитано (аналог второго «классического теста»).
- В случае б) (при учете тока массы) отклонение существенно больше, чем при учете только центрального потенциала, что может объяснить значительные количественные расхождения предсказаний ОТО и непосредственных наблюдений гравитационных линз.

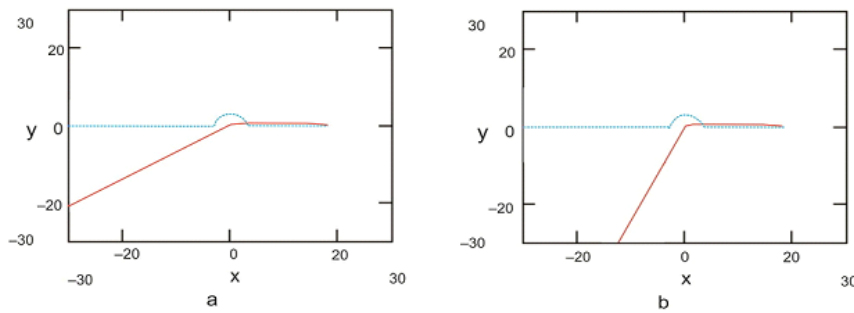


Рис. 4: Траектории тел в координатах (x, y) . Дуга окружности соответствует положению эффективного кругового тока массы, который в случае 4а не учитывается.



Рис. 5: Крест Эйнштейна: изображение квазара (Hubble NASA/ESA); изображение галактики-линзы (http://www.noao.edu/image_gallery/html/im0553.html); аналоги радиуса Хвольсона-Эйнштейна (отмечены стрелками).

В ОТО гравитационная линза обладает центральной симметрией и имеет параметр, называемый радиусом Хвольсона-Эйнштейна¹⁰. В терминах АГД профильная ориентация линзы по отношению к удаленному источнику (квазару) такую симметрию теряет, и можно получить формулу [16], в которой вместо одного значения радиуса имеется два¹¹. Применяя полученные формулы к такому известному объекту, как Крест Эйнштейна, что оправдано в связи с учетом вида и ориентации самой галактики-линзы (рис. 5, центр), можно убедиться, что они не противоречат наблюдениям [30]. Таким образом, наблюдения отклонений в гравитационной линзе, которые при их интерпретации с помощью ОТО требуют введения темной материи, при использовании АГД в ней не нуждаются.

8.3 Гравитационное смещение частоты

Как известно, релятивистская теория (т.е. такая, в которой скорость передачи сигнала имеет конечное значение), предусматривает изменение временного промежутка в соответствии с формулой $dx^0 = \frac{1}{\sqrt{g_{00}}}$, где g_{00} — компонента метрического тензора. Этот результат в настоящее время проверен и подтвержден с чрезвычайно высокой точностью. Поскольку

¹⁰Радиус Хвольсона-Эйнштейна рассчитывается по формуле: $\xi_0 = \sqrt{2r_S \frac{D_d D_{ds}}{D_s}}$, где $r_S = \frac{2GM}{c^2}$ — радиус Шварцшильда, D_s — расстояние между источником и наблюдателем, D_d — расстояние между линзой и наблюдателем, D_{ds} — расстояние между линзой и источником.

¹¹Аналоги радиуса Хвольсона-Эйнштейна в АГД: $\xi_{1or2} = 4\xi_0 \frac{\xi_0}{r_S} \frac{V_{eff}}{c} \left[\pm 1 + \sqrt{1 + \frac{c^2 - r_S D_s}{V_{eff}^2 32 D_{ds} D_d}} \right]$

предлагаемый подход также является геометрическим, это соотношение остается справедливым, но, как было указано в предыдущем разделе, приобретает новые свойства, связанные с анизотропией метрики, т.е. с учетом движения всех тел системы. В частности, для рассматриваемого случая анизотропный потенциал растет, как $(\vec{u}, \vec{v}) \sim \nu^2 \sim r^2$. Это означает, что при наблюдении все более далеких источников, двигающихся перпендикулярно лучу зрения, их измеряемые частоты будут демонстрировать линейное снижение частоты. Таким образом, в этом подходе предсказывается линейный закон, полученный Хабблом из наблюдений.

8.4 Дополнительные проверяемые эффекты

Дальнейшее численное моделирование системы ЦПТ для различных условий и начальных данных, выполняемое в рамках развиваемого подхода, позволяет обнаружить ряд интересных паттернов, весьма сходных с наблюдениями. Это позволяет выдвинуть новые гипотезы образования рукавов и баров (перекладин) у спиральных галактик. Заметим, что происхождение баров, имеющихся примерно у двух третей из них, до сих пор оставалось неясным.

На рис. 6а приведен результат расчета взрыва центрального тела в модели ЦПТ, приводящего к выбросу двух равных масс в противоположных направлениях в плоскости витка. Траектории этих масс весьма напоминают известные наблюдения, (ср. рис. 6а — расчет и рис. 6б — фотография, полученная с помощью телескопа «Хаббл»).

На расчетном графике имеется также центральную деталь, которая всегда присутствует, и поначалу вызывала беспокойство своим возможным искусственным характером. Однако после появления новых результатов наблюдений, полученных космической обсер-

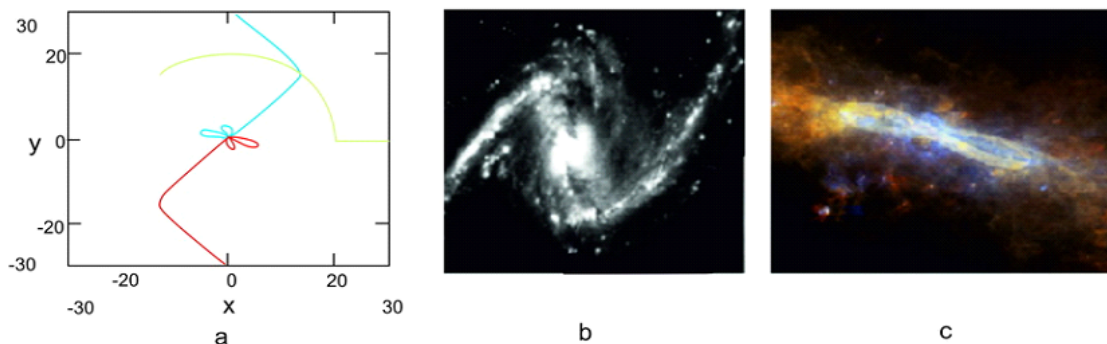


Рис. 6: Детали, обнаруженные орбитальной обсерваторией "Гершель" в центре Млечного пути. а) Численный расчет (точный вид деталей в центре зависит от шага вычислений, но они присутствуют всегда); б) Галактика NGC-1365 (телескоп Хаббла, NASA/ESA); в) Детали открытые орбитальной обсерваторией Хершеля в центре Млечного пути.

ваторией «Гершель» в мае 2011г. при фотографировании облаков холодного газа в центре нашей галактики, рис. 6с, оказалось, что она может быть использована для их интерпретации. Заметим, что центральная часть фотографии на рис.5б также напоминает центральную деталь на рис. 6а [31].

На рис. 7 представлена траектория пробного тела, рассеивающегося на системе ЦПТ в ее плоскости и имеющего два отклонения разного знака, что обусловлено начальным положением, направлением движения тела и направлением тока массы. С точки зрения преломления света это означает, что АГД предсказывает существование наблюдаемых *рассеивающих* гравитационных линз, которые уменьшают угловой размер находящихся за ними объектов. Так что, если подобная линза находится между объектом и наблюдателем

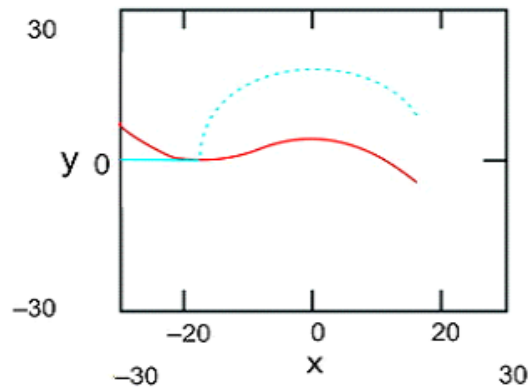


Рис. 7: Дуга окружности соответствует положению эффективного кругового тока массы, тело движется справа налево.

на Земле и ориентирована соответствующим образом, то оценка расстояния до объекта может быть завышенной. Если этот объект — галактика, светимость которой сравнивается со стандартной свечей, то такая ситуация может послужить причиной неправильной интерпретации результатов наблюдений последнего десятилетия, связанных с измерением расстояния до галактик по измерениям наблюдаемой светимости. Предположение о нарушении линейного закона Хаббла было сделано именно в связи с красными смещениями спектров галактик и оценками расстояний до них, выполненных на основании их светимости. Эти наблюдения привели к представлению об ускоренном расширении Вселенной и введению понятия *темная энергия* (отталкивания), которая обеспечивает это ускорение. Не исключено, что интерпретация наблюдений светимости галактик, с учетом возможного существования рассеивающих гравитационных линз, позволит не требовать от Вселенной существования не только темной материи, но и темной энергии. Это, однако, нуждается в более тщательной проверке.

9 Основные результаты

Основными результатами, приведенными в данной работе, можно считать следующие. Предложен подход, в рамках которого модель реального мира не содержит противоречия между существованием дальнедействующих (гравитационных) сил и существованием систем отсчета, двигающихся равномерно и прямолинейно. Это потребовало использования новой геометрии, в которой пространство и его метрика являются анизотропными. Основным постулатом развиваемой теории является обобщенный принцип эквивалентности, не позволяющий различить гравитационную и инертную массу объекта. Предложена модель элементарного источника гравитации, содержащая не только потенциальную, но и соленоидальную часть. С ее помощью на основании расчетов, касающихся динамики спиральных галактик,

- получено объяснение ряда наблюдательных эффектов и явлений, ранее не имевших теоретического обоснования: закон Талли-Фишера; особенности динамики шаровых звездных скоплений в нашей галактике; формирование баров спиральных галактик; формирование центральной детали в центре галактики, зафиксированной «Гершелем».
- некоторые наблюдения на галактическом масштабе получили новые объяснения, не требующие привлечения понятия «темной материи»: плоские кривые вращения спиральных галактик; существенное превышение преломления в гравитационных линзах по сравнению с расчетом, основанным на классической ОТО.

Новый геометрический подход содержит также послылки, имеющие космологический смысл:

- линейный закон Хаббла предсказывается теоретически, причем смещение частоты может носить как кинематический, (присущий ОТО), так и гравитационный характер. Таким образом, это смещение можно объяснить без привлечения расширения Вселенной.
- расчеты, основанные на используемой модели, показали возможность существования рассеивающих гравитационных линз, что ставит вопрос уточнения интерпретации отклонений от линейного закона Хаббла.

10 Обсуждение

Изложенный выше материал не исчерпывает всей проблематики, касающейся нового подхода, а также не содержит целого ряда других результатов, полученных в его рамках [16]. Цель настоящей работы — обратить внимание на принципиальные противоречия, имеющиеся в основах теории в настоящее время, и предложить возможный путь их преодоления, жестко связанный с наблюдениями. Именно это последнее является чертой, отличающей ОТЭ-АГД от других альтернативных теорий. Перечисленные выше результаты, полученные на этом пути, являются свидетельством перспективности данного подхода для дальнейших исследований. Отметим дополнительно следующие обстоятельства.

Предельный переход. Из замечания, сделанного в конце раздела 5, следует, что ОТО входит в АГД в качестве предельного случая. При этом для проверки выполнения условий предельного перехода при наблюдениях следует использовать уравнение (7.14). Наличие предельного перехода к ОТО на масштабах планетных систем, как минимум, сохраняет все прежние достижения, а поправки, связанные с галактическим движением, пренебрежимо мало затрагивают динамику отдельной планетной системы или двойной звезды. Вместе с тем перечисленные результаты, пригодные на галактическом масштабе и выше, могут привести к изменению современных привычных представлений.

Новый фундаментальный параметр. Сто лет назад при переходе к 4-мерному пространству-времени с геометрией Минковского в физических приложениях возник фундаментальный параметр с размерностью скорости. Оказалось, что если положить его равным скорости света c , то получаемые геометрические соотношения приобретут физический смысл, пригодный для интерпретации наблюдений. В настоящее время аналогично: при переходе к 8-мерному фазовому пространству-времени возникает необходимость введения еще одного фундаментального параметра — с размерностью длины. Если положить его равным c/H , где c — скорость света, а H — постоянная Хаббла, то добавка к гравитационной силе, возникающая в АГД на галактических расстояниях, окажется пропорциональна ускорению cH . Это соответствует эмпирической константе, использованной в МОНД с целью подгона к опытным данным, и указывает на то, что близость ее величины к cH является неслучайной. Группа преобразований координат более не будет группой Пуанкаре и станет наиболее общей группой кинематик — группой Де Ситтера с законом преобразования $x'^{\mu} = \frac{L_{\nu}^{\mu} x^{\nu}}{1 + l^{-1} b_{\mu} x^{\mu}}$, который как раз и содержит две требуемые фундаментальные константы.

Перенося эти идеи в микромир, где также отсутствует возможность непосредственных измерений и необходимо пользоваться расчетом, опирающимся на геометрические представления, нельзя исключить, что в качестве фундаментальной длины выступит другая величина, нежели та, которая была использована для мегамира.

Понятие темной материи. Вопрос о существовании темной материи можно теперь решать в том же духе, что и вопрос о существовании эфира сто лет назад. Теория Лоренца, опирающаяся на это понятие, полностью отвечала физическим представлениям своего времени и давала те же количественные результаты, что и СТО. В последней, однако, эфир не требовался. Как оказалось впоследствии, это не только делало СТО более экономичной теорией, но и имело далеко идущие последствия. Использование АГД для интерпретации наблюдений позволяет обойтись без введения понятия темной материи, которое требовалось ранее.

Впервые высказанная Ф.Цвике в начале 30-х годов прошлого века идея о наличии скрытой массы основывалась на наблюдениях дисперсии скоростей и использовании теоремы вириала. Согласно этой теореме для Ньютоновского взаимодействия средняя кинетическая энергия системы тел, движущихся в ограниченной области пространства, равна половине средней потенциальной энергии. Однако в фазовом пространстве-времени АГД потенциал не является однородной функцией пространственных координат, как того требует теорема вириала, а определяется, например, функциями, стоящими под градиентом в выражениях вида (7.3) или (7.4). Взаимодействие при этом Ньютоновским не является, теорема вириала неприменима, но предсказание, получаемое в рамках предлагаемой теории, соответствует наблюдениям.

Между тем, считается, что существование темной материи имеет экспериментальные подтверждения, а само это понятие нашло применение в современных космологических моделях.

Доказательства существования темной материи. Выше уже указывалось противоречие, связанное с введением темной материи для интерпретации кривых вращения. Все известные примеры «доказательств» ее существования (обычно упоминают: кривые вращения; дисперсию скоростей галактик в кластерах; избыточное преломление в гравитационных линзах; микроволновой фон; барионные акустические осцилляции; и, конечно, столкновение в кластере Пули, сфотографированное обсерваторией «Чандра»), *не доказывают* ее существования, а просто *допускают* интерпретацию наблюдений с помощью этого понятия. На том же основании можно было бы считать опыт Майкельсона-Морли доказательством существования эфира, необходимого в теории Лоренца. Все указанные примеры предполагают лишь наличие дополнительного гравитационного потенциала и не требуют существования частиц с экзотическими свойствами.

Поэтому анизотропный потенциал, использованный в подходе АГД и связанный с конкретным учетом *движения всех тел системы*, (к чему призывал Э. Мах), пригоден для интерпретации этих наблюдений на точно таких же основаниях. Заметим, что современное понятие физического вакуума обладает некоторыми свойствами эфира, но не используется в качестве системы отсчета. Так что и в случае обнаружения частиц, обладающих свойствами темной материи, привлечение их для объяснения астрономических наблюдений не обязательно.

Это же относится и к объяснению галактического парадокса, согласно которому на завершающем этапе ранней Вселенной что-то должно было удержать от разлета барионы, впоследствии сформировавшие галактики. Роль этого «чего-то» в настоящее время отводится темной материи. Однако в терминах АГД от разлета их могли удержать и «конвекционные» силы, связанные с их собственным «вихревым» движением.

Место ОТЭ-АГД в теоретических представлениях. Можно по-разному оценивать происходящее в науке на современном этапе. Оптимистическая точка зрения состоит в том, что достигнут значительный прогресс в понимании мироустройства, а нарастание числа всевозможных наблюдений и все более широкомасштабное внедрение математики предо-

ставляет широкий простор для столь же всевозможных их интерпретаций. Это сближает науку с художественным творчеством и способствует самореализации человеческой личности. Более сдержанная точка зрения состоит в том, что в науке имеется растерянность, что выражается в самоизоляции приверженцев различных направлений и нежелании или неспособности конструктивно объединить усилия. Крайним выражением этой растерянности является ощущение кризиса, состоящего в утрате интуитивной наглядности теоретического базиса, используемого для описания физической реальности, а также в осознании противоречий, лежащих в основе современных фундаментальных представлений. От таких противоречий, обычно определявших границы применимости того или иного подхода и именно поэтому позволявших получать вполне работоспособные теории, наука не была свободна никогда. Однако в настоящее время, с одной стороны, естественное стремление утвердить единые позиции для описания разнородных и разномасштабных эффектов стало гипертрофированным, а с другой стороны, существенно возросли роль и вклад «архитектурных излишеств», опирающихся на фундамент, предназначенный для другого «строения». Первое на предыдущем этапе преследовалось Эйнштейном, Вейлем, Калуцей, Клейном и другими исследователями, а второе содержит обширный зоопарк частиц и несколько десятков свободных параметров Стандартной модели. Некоторые красивые теории (струны и браны) никак не увязаны с экспериментом, другие глубокие идеи (суперсимметрия) подтверждены недостаточно, тем не менее, все новые детали и тех, и других относят к естествознанию и настойчиво изучают, не обращая внимания на имеющиеся противоречия.

На этом фоне подход ОТЭ-АГД, не создающий новое, но отсекающий лишнее, позволяющий интерпретировать наблюдаемые эффекты не за счет привлечения новых сущностей, а за счет выбора иного математического *аппарата*, преодолевающего противоречия предшествующего подхода, обладает привлекательностью простоты.

Литература

- [1] Aguirre A., Burgess C.P., Friedland A., Nolte D. Astrophysical Constraints on Modifying Gravity at Large Distances // *CQG*, 18, 2001, R223.
- [2] DeWitt B.S. Relativity, Groups and Topology. C. DeWitt and B. S. DeWitt, Eds. Gordon and Breach New York 1964.
- [3] Brans C., Dicke R.H. Mach's Principle and a Relativistic Theory of Gravitation // *Phys. Rev.*, 124, 1961, 925.
- [4] Kaluza Th. Zum Unitatsproblem in der Physik // *Sitzungsber. d. Berl. Akad.*, 1921, p.966.
- [5] Маршаков А.В. Теория струн или теория поля? // *УФН*, 172, 2002, с. 977.
- [6] Randall L., Sundrum R. An Alternative to Compactification // *Phys. Rev. Lett.*, 83, 1999, 4690.
- [7] Weil H. Gravitation und Elektrizitat // *Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss.*, 1918, 465.
- [8] Mannheim P.D., Kazanas D. Newtonian limit of conformal gravity and the lack of necessity of the second order Poisson equation // *Gen. Rel. Gravit.*, 26, 1994, 337.
- [9] Kursunoglu B.N. A New Cosmological Parameter Spanning the Microcosm and Macrocosm // *Jour. Phys. Essays*, 4, 1991, 439.
- [10] Moffat J.W. Nonsymmetric Gravitational Theory // *Phys. Lett. B*, 355, 1995, 447.
- [11] Milgrom M. A modification of the Newtonian dynamics – implications for galaxy systems // *Astrophys. J.*, 270, 1983, 384.
- [12] Bekenstein J.D., Milgrom M. Does the missing mass problem signal the breakdown of Newtonian gravity // *Astrophys. J.*, 286, 1984, 7.

- [13] Сипаров С. Современные проблемы ОТО – физика и геометрия. Сб. «Логос», №5, Ярославль, 2010, с. 123–209.
- [14] Silagadze Z. Relativity without tears // *Acta Phys.Pol.*, 39, 2008, p. 812.
- [15] Вакру Н., Levy-Leblond J.-M. Possible Kinematics // *J. Math. Phys.*, 9, 1968, p. 1605.
- [16] Siparov S. Introduction to the Anisotropic Geometrodynamics. 2011, World Scientific, London-New Jersey-Singapore, 315 p.
- [17] Сипаров С.В. Закон гравитации и модель источника в анизотропной геометродинамике // *Гиперкомплексные числа в геометрии и физике*, 2(12), т. 6, с. 140–160, 2009. (arXiv: [gen-ph] 1001.1501, (2010)).
- [18] Siparov S. Anisotropic geometrodynamics: observations and cosmological consequences. In: «Astrophysics and Cosmology after Gamow». Proc.4-th Int. Conf. Odessa-2009. Eds. S.K.Chakrabarti, G.S.Bisnovatyii-Kogan, A.I.Zhuk, p.97-112, AIP Conf. Proc., Melville, New York, V.1206.
- [19] Siparov S. Anisotropic geometrodynamics in cosmological problems. In: «Mathematics and Astronomy: a joint long journey». Proc.Int.Conf. Eds. M.De Leon, D.M.De Diegi, R.M.Ros, pp.222-231 Madrid, Spain, 2009, AIP Conf.Proc.1283, (Melville, New York), 2010
- [20] Siparov S. On the interpretation of the classical GRT tests and cosmological constant in anisotropic geometrodynamics. arXiv: 0910.3408, (2009).
- [21] Siparov S. Anisotropic metric for the gravitation theory: new ways to interpret the classical GRT tests. In: Proc. Int. Conf. DGDS-2009, BSG proc. V.17. Eds. K.Udriste, V.Balan. p.190-202. Geom.Balkan Press 2010.
- [22] Сипаров С.В. О гравитации движущихся тел. // *Вестник МГТУ им. Баумана*, 2011, с.206-218.
- [23] Balan V., Bogoslovsky G.Yu., Kokarev S.S., Pavlov D.G., Siparov S., Voicu N. Geometrical Models of the Locally Anisotropic Space-Time // *J. Mod. Phys.*, Vol. 3, No. 29, 2012, pp. 1314–1335. doi: 10.4236/jmp.2012.329170 , (arXiv:[gr-qc, astro-ph] 1111.4346).
- [24] Bao D., Chern S.S., Shen Z. An Introduction to Riemann-Finsler Geometry (Graduate Texts in Mathematics), Springer Verlag, 2000.
- [25] Рунд Г. Дифференциальная геометрия Финслеровых пространств. Москва, Наука, 1981.
- [26] Voicu N. In: «Mathematics and Astronomy: a joint long journey». Proc.Int.Conf. Eds. M.De Leon, D.M.De Diegi, R.M.Ros, p.249 Madrid, Spain, 2009, AIP Conf.Proc.1283 (Melville, New York), 2010.
- [27] Einstein A. Die Grundlage der allgemeinen Relativitatstheorie // *Ann.d.Phys.* 49, 1916, p.769.
- [28] Lense J., Thirring H. On the effect of rotating distant masses in Einstein's theory of gravitation // *Phys.Z.* 19, 1918, p.156.
- [29] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.Наука
- [30] Сипаров С. Гравитационные линзы в анизотропной геометродинамике. Труды 10-й Гамовской конференции, с. 71, Одесса, 2010.
- [31] Сипаров С. Теория эквивалентности и ее первые результаты // *Пространство, время и фундаментальные взаимодействия*, №1, с. 99, 2012.

ON THE FOUNDATIONS OF THE GENERALIZED
EQUIVALENCE THEORY
(ANISOTROPIC GEOMETRODYNAMICS)

S.V. Siparov

Civil Aviation State University, Saint-Petersburg, Russia

sergey.siparov@gmail.com

The principal features of the generalized equivalence theory (anisotropic geometrodynamics) are discussed. The motivation that led to this approach on the base of the analysis of some inconsistencies present in the foundations of the classical mechanics is given. The results of the use of this approach for the interpretation of some observations on the galactic scale that had no explanations before and for the interpretation of observations without the use of the notion of dark matter are presented.

Key Words: gravitation, long-range interaction, geometry, anisotropy, observations, galaxy.