***Общая теория относительности.***

|  |  |
| --- | --- |
| *Общая теория относительности: распространение принципа относительности на неинерциальные системы отсчета.* | О́бщая тео́рия относи́тельности (ОТО; нем. *allgemeine Relativitätstheorie*) — геометрическая теория тяготения, развивающая специальную теорию относительности (СТО), опубликованная Альбертом Эйнштейном в 1915—1916 годах. В рамках общей теории относительности, как и в других метрических теориях, постулируется, что гравитационные эффекты обусловлены не силовым взаимодействием тел и полей, находящихся в пространстве-времени, а деформацией самого пространства-времени, которая связана, в частности, с присутствием массы-энергии. Общая теория относительности отличается от других метрических теорий тяготения использованием уравнений Эйнштейна для связи кривизны пространства-времени с присутствующей в нём материей.  ОТО в настоящее время — самая успешная теория, хорошо подтверждённая наблюдениями. Первый успех общей теории относительности состоял в объяснении аномальной прецессии перигелия Меркурия. Затем, в 1919 году, Артур Эддингтон сообщил о наблюдении отклонения света вблизи Солнца в момент полного затмения, что качественно и количественно подтвердило предсказания общей теории относительности. С тех пор многие другие наблюдения и эксперименты подтвердили значительное количество предсказаний теории, включая гравитационное замедление времени, гравитационное красное смещение, задержку сигнала в гравитационном поле и, пока лишь косвенно, гравитационное излучениеhttp://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%89%D0%B0%D1%8F\_%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F\_%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8 - cite\_note-Will\_2006-3. Кроме того, многочисленные наблюдения интерпретируются как подтверждения одного из самых таинственных и экзотических предсказаний общей теории относительности — существования чёрных дыр.  Несмотря на ошеломляющий успех общей теории относительности, в научном сообществе существует дискомфорт, связанный, во-первых, с тем, что её не удаётся переформулировать как классический предел квантовой теории, а во-вторых, с тем, что сама теория указывает границы своей применимости, так как предсказывает появление неустранимых физических расходимостей при рассмотрении чёрных дыр и вообще сингулярностей пространства-времени. Для решения этих проблем был предложен ряд альтернативных теорий, некоторые из которых также являются квантовыми. Современные экспериментальные данные, однако, указывают, что любого типа отклонения от ОТО должны быть очень малыми, если они вообще существуют. |
| *Принцип эквивалентности: ускоренное движение неотличимо никакими* *измерениями от покоя в гравитационном поле.* | В отличие от любых неинерциальных систем гравитационное поле обладает уникальным свойством: все движущиеся объекты отклоняются в нем к одному центру. Если запустить два луча между двумя идеальными параллельными зеркалами перпендикулярно к зеркалам, то в инерциальной системе они будут бесконечно двигаться параллельно друг другу. Аналогичная ситуация будет при ускорении в неинерциальной системе, если зеркала ориентированы перпендикулярно направлению ускорения. Напротив, в гравитационном поле при аналогичной ориентации зеркал лучи начнут сближаться. И уж если какой-то эффект будет измерен за время наблюдения, то, вследствие большой величины скорости света, наличие именно гравитационного поля (а не неинерциальность) также может быть идентифицировано. Очевидно, что учитывать искривление зеркал не следует, так как кроме гравитационных сил существуют другие силы, которые могут удерживать взаимную конфигурацию зеркал. Отличие сферической симметрии от плоской может быть установлено и для слабых гравитационных полей. Вывод ОТО о возможности исключения гравитационного поля для некоторой инерциальной системы в течение всего времени наблюдения в общем случае неверен.  Принцип эквивалентности гравитации и ускорения может иметь отношение только к одной точке пространства, то есть нереален: это, например, уже приводило к неверному вычислению отклонения луча света в поле тяготения (только потом Эйнштейн подправил коэффициент в два раза). Принцип эквивалентности инертной и тяжелой масс в ОТО может быть строго сформулирован тоже только для одного отдельного тела (так как ОТО включает взаимосвязь пространства-времени и всех тел, то он нереален в ОТО). Поэтому физически ОТО не может иметь предельного перехода ни к одной нерелятивистской теории (а лишь формально математически). Все линейные преобразования СТО и ОТО относятся к пустому пространству, так как реальные тела (даже в качестве реперных точек) вносят нелинейности в свойства пространства. Поэтому различие явлений при переходе в другую систему отсчета должно изучаться строго в одной точке пространства и времени. Но как в одну точку поместить двух разных наблюдателей? Следовательно, все задачи СТО и ОТО могут носить только приближенный модельный характер (без глобализма). Когда говорят, что форма уравнений зависит от свойств пространства-времени, то в этом есть некоторая спекуляция. Создается впечатление, что мы как-то можем изменить это самое пространство-время для проверки данной зависимости. На самом деле мы имеем Вселенную в единственном числе. Попытка ОТО усложнить любое частное (локальное) явление добавлением сложности всей Вселенной не является позитивной для науки. Другое дело выбор локальных координат для математического описания локального явления (в этом случае конкретные симметрии явления упрощают описание), и глобализм опять ни при чем. Использование неинерциальных систем в ОТО внутренне противоречиво. Действительно, во вращающейся системе достаточно удаленные объекты будут двигаться со скоростью, большей скорости света, а ведь СТО и ОТО утверждают, что видимые скорости должны быть меньше . Однако, экспериментальный факт: фотография неба с вращающейся Земли показывает, что наблюдается видимое твердотельное вращение (классическое). Использование вращающейся системы (например, Земли) не противоречит классической физике при любом расстоянии объекта от центра, в то время как в ОТО величина компоненты становится отрицательной, а это недопустимо в данной теории. |
| *Взаимосвязь материи и пространства-времени: материальные тела изменяют геометрию пространства-времени, которая определяет характер движения материальных тел.* | Поскольку пространство и время неотделимы от материи, правильнее было бы говорить о пространственно-временных свойствах и отношениях материальных систем. Но при позна­нии пространства и времени ученые часто абстрагируются от их материального содержания, рассматривая их как самостоя­тельные формы бытия.  *Из всеобщих свойств пространства и времени прежде всего отметить:*  1. Их объективность и независимость от человеческого соз­нания и сознания всех других разумных существ в мире (если такие есть).  2. Их абсолютность - они являются универсальными фор­мами бытия материи, проявляющимися на всех структурных уровнях ее существования.  3. Неразрывную связь друг с другом и с движущейся материей.  4. Единство прерывности и непрерывности в их структуре -наличие отдельных тел, фиксированных в пространстве при от­сутствии каких-либо «разрывов» в самом пространстве.  5. Количественную и качественную бесконечность, неотдели­мую от структурной бесконечности материи - невозможность найти место, где отсутствовали бы пространство и время, а также неисчерпаемость их свойств.  Всюду, где есть любое взаимодействие и движение материи, сосуществование и связь ее элементов, обязательно наличест­вует пространство и время; всюду, где имеется сохранение ма­терии, длительность ее бытия и последовательность смены со­стояний, будет и время, включающее в свое содержание все эти  процессы.  Метрические свойства проявляются в протяженно­сти и характере связи элементов тел. Метрика может быть различной - евклидовой и неевклидовой, причем возможно много разновидностей неевклидовых пространств с различ­ными значениями кривизны. Топологические свойства харак­теризуют связность, трехмерность, непрерывность, неодно­родность, бесконечность пространства, его единство со вре­менем и движением.  *К пространственным свойствам относятся:*  1. Конкретные пространственные формы тел, их положение в пространстве по отношению друг к другу, скорость про­странственного перемещения, размеры тел.  2. Наличие у них внутренней симметрии или асимметрии. Различные виды симметрии (речь о них пойдет ниже) свойст­венны как макромиру, так и микромиру, являясь фундаменталь­ным свойством неживой природы. Живому веществу присуще свойство пространственной асимметрии, которым обладает молекула живого вещества.  3. Изотропность и неоднородность пространства. Изо­тропность означает отсутствие выделенных направлений (верха, низа и других), независимость свойств тел, движущихся по инерции, от направления их движения. Полная изотроп­ность присуща лишь вакууму, а в структуре вещественных тел проявляется анизотропия в распределении сил связи. Они рас­щепляются в одних направлениях лучше, чем в других. Точно так же полная однородность свойственна лишь абстрактному евклидовому пространству и является идеализацией. Реальное пространство материальных систем неоднородно, различается метрикой и значениями кривизны в зависимости от распреде­ления тяготеющих масс.  *По отношению ко времени специфическими являются такие свойства:*  1. Конкретная длительность существования материальных систем от их возникновения до распада, ритмы процессов в них, соотношение между циклами изменений.  2. Скорость протекания процессов, темпы развития и соот­ношение между ними на разных этапах эволюции. С увеличе­нием скорости движения тел и в мощных полях тяготения про­исходит относительное замедление всех процессов в телах, их собственное время как бы сокращается по отношению ко вре­мени внешних систем. Конечность скорости распространения взаимодействий обусловливает относительность одновремен­ности в различных системах. События, одновременные в одной системе, могут быть неодновременными по отношению к дру­гой системе, движущейся относительно первой. Все это приво­дит к тому, что во Вселенной отсутствует единое время, как и одно единое пространство. Но каждая относительно меньшая материальная система существует и движется в пространстве и во времени большей системы, и между ними существует дву­сторонняя взаимосвязь. |
| *Соответствие ОТО и классической механики: их предсказания совпадают в слабых гравитационных полях.* | Гравитации подвержены все материальные тела. По современным представлениям, является универсальным взаимодействием материи с пространственно-временным континуумом, и, в отличие от других фундаментальных взаимодействий, всем без исключения телам, независимо от их массы и внутренней структуры, в одной и той же точке пространства и времени придаёт одинаковое ускорение относительно локально-инерциальной системы отсчёта — принцип эквивалентности Эйнштейна. Главным образом, определяющее влияние гравитация оказывает на материю в космических масштабах. Наиболее успешной современной физической теорией в классической физике, описывающей гравитацию, является общая теория относительности. Гравитация — слабейшее взаимодействие. Однако, поскольку оно действует на любых расстояниях и все массы положительны, это тем не менее очень важная сила во Вселенной. Для сравнения: полный электрический заряд этих тел ноль, так как вещество в целом электрически нейтрально.Также гравитация, в отличие от других взаимодействий, универсальна в действии на всю материю и энергию. Не обнаружены объекты, у которых вообще отсутствовало бы гравитационное взаимодействие.Из-за глобального характера гравитация ответственна и за такие крупномасштабные эффекты, как структура галактик, черные дыры и расширение Вселенной, и за элементарные астрономические явления — орбиты планет, и за простое притяжение к поверхности Земли и падения тел. |
| *Эмпирические доказательства ОТО:* |  |
| 1. *Отклонение световых лучей вблизи Солнца* | Опыт по проверке этого явления осуществил А. Эддингтон в 1919г. А объяснение этому явлению очень простое. Свет от любой звезды есть «+» заряд. Солнце, как звезда, тоже имеет «+» заряд.  Для наблюдателя на Земле звезда по рисунку еще заслонена Солнцем. Но свет от звезды, как «+» заряд, проходя мимо Солнца, имеющего тоже «+» заряд, отклоняется от Солнца, что позволяет наблюдателю на Земле уже видеть свет звезды. |
| 1. *Замедление времени в гравитацион- ном поле* | Общая теория относительности предсказывает замедление хода часов в гравитационных полях и изменение частоты фотонов в гравитационном поле. Пусть часы движутся с ускорением *g*, тогда их скорость, после того как они прошли расстояние *x*, равна: .  С точки зрения неподвижного наблюдателя промежутки времени  d*t*  в неподвижной и  d*t*0  в подвижной системах отсчета связаны соотношением:  где  d*t*  – промежуток времени в пространстве без поля.          Поскольку  φ = *gx*  – гравитационный потенциал, то имеем в слабых гравитационных полях ( φ << *c*2 ): ,    время течет тем медленнее, чем больше абсолютная величина гравитационного потенциала.          Этот эффект был подтвержден прямым экспериментом. В 1976 г. на высоту 104 км на ракете были подняты водородные часы, точность хода которых составляет 10-15 с. На Земле оставили точно такие же часы, предварительно синхронизировав с улетевшими часами. Через два года часы вернули и сравнили показания, разность 4,5·10-10 с  совпала с расчетной по ОТО, с точностью 0,02%. |
| 1. *Смещение перигелиев планетных орбит.* | Первый эффект ОТО заключался в том, что перигелии всех планетных орбит будут прецессировать, поскольку гравитационный потенциал Ньютона будет иметь малую релятивистскую добавку, приводящую к формированию незамкнутых орбит. Это предсказание было первым подтверждением ОТО, поскольку величина прецессии, выведенная Эйнштейном в 1916 году, полностью совпала с аномальной прецессией перигелия Меркурия. Таким образом была решена известная в то время проблема небесной механики.  Позже релятивистская прецессия перигелия наблюдалась также у Венеры, Земли, астероида Икар и как более сильный эффект в системах двойных пульсаров. За открытие и исследования первого двойного пульсара PSR B1913+16 в 1974 году Р. Халс и Д. Тейлор получили Нобелевскую премию в 1993 году. |