Системы отсчёта в области с гравитацией

Е.К.Грибановский

18 июня 2003 г.

Целью работы является дать классификацию систем отсчёта, возможных в статической центральносимметричной области с гравитацией. Получение основных результатов стало итогом последовательного применения принципа эквивалентности А.Эйнштейна, приводящего к концепции динамичной метрики.

ОТО описывает гравитацию в терминах метрики в точке, поэтому сопоставление результатов, полученных в двух удалённых точках, затруднено, так же как и результаты для одной точки, полученные в разных системах координат. Например, Шмутцер Э. прямо пишет: *"Поскольку наше реальное пространство обладает кривизной... и обращаться к координатам Галилея как к решающей инстанции при проверке истинности высказываний относительно длины и времени, вообще говоря, невозможно, сравнение физических результатов, полученных в различных системах координат, оказывается делом чрезвычайно трудным. Нередко доказательство тождественности двух решений поля Эйнштейна, полученных в различных системах координат, само по себе становится темой важного научного исследования".* [1-125]. И далее: *"...несмотря на то, что точных математических решений более чем достаточно, лишь немногие из них получили убедительное физическое истолкование... Число нетривиальных точных решений, вполне понятных с точки зрения физики, весьма невелико".* [1-140]. С ним соглашается Владимиров Ю.: *"В настоящее время известно большое число точных решений уравнений Эйнштейна, однако лишь некоторые из них получили ясное физическое истолкование..."* [2-113].

В области действия гравитации можно отметить несколько выделенных систем отсчёта.

Первая - мировая система координат. Именно относительно этой системы приводятся результаты вычислений движения планет в солнечной системе или спутников вокруг Земли при рассмотрении земного тяготения. Относительно этой системы даны и результаты в ОТО - например, решение Шварцшильда или Керра. Вслед за Эйнштейном будем называть эту систему галилеевой.

Вторая выделенная система - это обычная традиционная система на поверхности небесных тел, то есть точки в ней неподвижны относительно центра тяготения, например , на Земле - относительно галилеевой системы они также неподвижны. Решением Гравитации для этого случая - центрально-симметричного тяготения - является решение Шварцшильда. Главная его особенность - неизменность расстояния до центра, а проявления гравитации объясняются "искривлением" метрики пространства-времени.

Именно неочевидность физического механизма "искривления" метрики привела к следующей, - **третьей** - выделенной системе координат, развиваемой автором. Это падающая, или Эйнштейновская, система координат. Первое упоминание о такой возможности имеется у Эйнштейна: **"Однако... Леви-Чивитта правильно указал на то, что элементом теории, позволяющим устранять инерциальную систему, является, собственно говоря, поле бесконечно малых смещений..."** [3-стр855]. И далее: **"Этот недостаток исправляется введением поля бесконечно малых смещений. Оно заменяет инерциальную систему постольку, поскольку позволяет проводить сравнение векторов в бесконечно близких точках".** [3-856]. Как оказывается, эти "бесконечно малые смещения" составляют на поверхности Земли величину 11,2 км/с.

К сожалению, понятие "поле смещений" не получило дальнейшего развития.

Всё пространство вокруг источника гравитации можно расслоить на концентрические сферы, которые через время dt сменяют друг друга, устремляясь к центру. Любой физический процесс, происходящий между этими сферами (или на них), будет неотличим от такого же процесса вне действия гравитации, если местная система координат этого физического процесса будет привязана к движению этих падающих концентрических сфер.

Вообще говоря, принципу эквивалентности Эйнштейна будут удовлетворять любые скорости согласованного движения этих концентрических сфер, но лишь один набор скоростей будет удовлетворять граничному условию - равенство нулю на бесконечности, а именно в соответствии с формулой второй космической скорости.

$$V = \sqrt{\frac{2mk}{r}} \tag{1}$$

Рассмотрим связь падающей системы координат с шварцшильдовской.

Приведём формулу решения Шварцшильда в форме [4-(100.14)].

$$ds^2 = (1 - \frac{r_g}{r})c^2dt^2 - r^2(sin^2\Theta d\varphi^2 + d\Theta^2) - \frac{dr^2}{1 - \frac{r_g}{r}} \tag{2}$$

где

$$r_g = \frac{2km}{c^2}$$

если $dr = d\Theta = d\varphi = 0$ то

$$ds^2 = (1 - \frac{r_g}{r})c^2dt^2 \tag{3}$$

раскроем скобки и подставим значение для r_g

$$ds^2 = c^2dt^2 - \frac{2km}{rc^2}c^2dt^2 \tag{4}$$

или

$$ds^2 = (cdt)^2 - (\sqrt{\frac{2km}{r}}dt)^2 \tag{5}$$

Вспоминая определение интервала, видим, что ds является суммой двух ортогональных величин, первая из которых интервал времени, а вторая - смещение пространства за тот же интервал времени, определяемое второй космической скоростью (1). Первое слагаемое в формуле (5) показывает, что темп времени в падающей и галилеевой системах совпадают между собой. В то же время точки в шварцшильдовской системе имеют скорость относительно падающей системы, и испытывают банальное замедление времени по формуле преобразования Лоренца [4-(3.1)].

$$dt` = dt\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}$$

Поэтому замедление времени в области с гравитацией находит более простое объяснение в подвижной метрике по сравнению с традиционно вводимым "гравитационным замедлением времени".

Если принять $dt = d\Theta = d\varphi = 0$ то это будет вычислением соотношения расстояний в шварцшильдовской системе и падающей. Тогда

$$ds^2 = \frac{dr^2}{1 - \frac{r_g}{r}} \tag{6}$$

подставив выражение для r_g получим

$$ds^2 = \frac{dr^2}{1 - \frac{2km}{c^2 r}} \tag{7}$$

или

$$ds = \frac{dr}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \tag{8}$$

где V равна второй космической скорости (1). Вновь действует формула преобразований Лоренца [4-(4.5)].

Найденная связь решения Шварцшильда с преобразованиями Лоренца через значение второй космической скорости делают излишними понятия "гравитационного замедления времени" и "гравитационного сокращения", как, впрочем, и для "гравитационного сдвига частоты". Для понимания и вычисления указанных эффектов достаточно концепции динамичной метрики и формул преобразований Лоренца, хорошо известных из СТО.

И ещё одна, - **четвёртая** - система координат, представляющая наибольший интерес в прикладных задачах. Это задача движения по инерции в области с гравитацией, например, движение планет вокруг Солнца, движение естественного и искусственных спутников в сфере действия тяготения Земли, или просто траектория брошенного камня с её поверхности. Главное - отсутствие влияния любых сил на тела.

Традиционный путь решения подобной задачи движения не удовлетворяет этому требованию: изменения в движении рассматриваемого тела объясняются с привлечением виртуального "гравитационного поля". Концепция "динамичной метрики" позволяет действительно осуществить геометризацию тяготения: расчёт траектории осуществляется без привлечения понятий "поле" и "потенциал", равно как и без понятия "сила притяжения", а именно:

Траектория этого движения, относительно галилеевой системы, складывается из двух величин: собственного движения тела в падающей системе и смещения падающей системы в рассматриваемой точке относительно галилеевой.

Скорость тела относительно падающей системы определить достаточно просто: по известному местоположению тела - (точка **0** на рис.1) определяется по формуле (1) смещение **0A** падающей системы - оно имеет направление к центру гравитации. Измеряется направление и скорость тела **0C** относительно шварцшильдовской системы (то есть относительно поверхности Земли, например) или, что то же самое, относительно галилеевой системы. По формуле (1) определяем смещение **CA‘** падающей системы в точке **C**. Так как движение тела складывается из передвижения тела в подвижной системе и смещения самой подвижной системы **0C=0B+CA‘** то **0B=0C-CA‘**. Из полученных значений определяется направление и скорость **0B** тела относительно падающей системы. Обращаю внимание: векторы **0A и CA‘** пересекаются в центре гравитации.

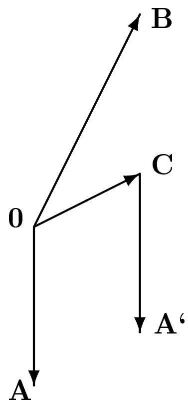

Рис 1

Дальнейшая траектория тела определяется следующим образом: От точки **0** рис 2. тело переместится за единицу времени в соответствии со своей скоростью в падающей системе в точку **B**. За это время все точки в падающей системе сместятся к центру тяготения в соответствии с формулой (1), при этом точка **B** сместится в точку **C**, а точка **0** сместится в точку **A**. Ещё раз напомню, что **0A** и **BC** пересекаются в центре тяготения.

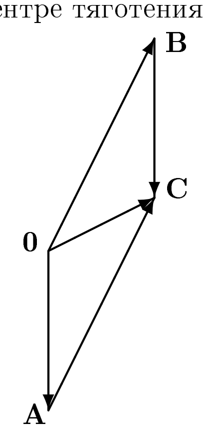

Рис 2

Поскольку смещения подвижной системы **0A** и **BC** имеют разную величину и направление, то скорость тела **AC** относительно подвижной системы также изменится по величине и направлению. Видимым перемещением тела в шварцшильдовской (и галилеевой) системе будет **0C**.

В соответствии с вышеизложенным алгоритмом определения траектории тела в области тяготения Панфёровым Е.Е. sad@pisem.net была разработана компьютерная программа ftp://rabbit.spider.ru/pub/articlel/ekg2.pas нахождения траектории луча света, проходящего по касательной к Солнцу. Рассчитанное программой отклонение составило 1,75“.

Концепция динамичной метрики показывает, что ускоренное движение пространства является формой существования гравитации.

Приведённая классификация систем отсчёта в области с гравитацией, основанная на концепции динамичной метрики, даёт основу для восприятия гравитации в целом и вносит ясность и физическое содержание в понятие "искривление геометрии".

.

Список литературы

.

1. Шмутцер Э. Теория относительности.(М.: Мир, 1981г.)

2. Ю.С.Владимиров, Н.В.Мицкевич, Я.Хорски Пространство, время, гравитация. (М., Наука, 1984г).

3. А.Эйнштейн Собрание научных трудов Т. 2 (1921-1955) (М., Наука, 1984г.)

4. Ландау Л.Д. Лившиц Е.М. Теоретическая физика Т II Теория поля. (М.: Наука. 1988г.)