

Об одном парадоксе ОТО .

Л. Римша

laimontas.rimsa@yahoo.com

В ОТО, согласно принципу эквивалентности (ПЭ), утверждается , что в свободно падающей системе отсчета нет однородного гравитационного поля, и например, наблюдатель, находящийся в свободно падающем лифте , после некоторого промежутка времени свободного падения, при сравнении показаний атомных часов на полу и у потолка лифта, разности хода времени не обнаружит (эксперимент Хафеле-Китинга). Согласно ПЭ - силы гравитации это силы инерции и такой переход в свободно падающую систему отсчета это переход в инерциальную систему отсчета, в которой все синхронизированные и неподвижные относительно друг друга часы идут одинаково. Во всех приведенных рассуждениях предполагается, что приливными эффектами можно пренебречь.

Определение собственного времени для атомных часов в ОТО

$$d\tau = \frac{ds}{c} \quad (1)$$

Собственное (или действительное, истинное, физическое) время – это как раз то время которое и отсчитывают часы. И если в одной системе отсчета для двух часов $ds_1 = ds_2$ то и любой системе отсчета это условие сохранится, так как интервал ds является скалярной величиной и при любых трансформациях координат не меняется.

Многочисленные наблюдательные факты подтверждают правильность формулы в гравитационном поле

$$d\tau \approx (1 - \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} + \frac{\Phi}{c^2}) dt \quad (2)$$

здесь τ - собственное время показываемое часами, v - скорость часов относительно источника гравитационного поля, Φ - ньютонів потенциал гравитационного поля, t - координатное время (собственное время бесконечно удаленного и неподвижного относительно источника гравитационного поля наблюдателя). Важно то что (2) применима как в случае неподвижных , так и при свободном падении часов (часы на спутниках в гравитационном поле Земли) , так как этого достаточно для того чтобы, на хрестоматийном примере с лифтом , показать что ПЭ должен нарушаться .

Часы 1 на полу лифта и часы 2 у потолка лифта неподвижны относительно друг друга (лифт это жестко связанная система). В случае когда лифт неподвижен в однородном поле $\vec{v}_1 = \vec{v}_2 = 0$ и когда $dt_1 = dt_2$ получаем

$$\frac{d\tau_1}{d\tau_2} = (1 - \frac{gl}{c^2}) \quad (3)$$

здесь g - ускорение свободного падения, l - высота лифта. Видно что, в отличии от инерциальной системы отсчета, темп хода неподвижных относительно друг друга часов различен относительно бесконечно удаленного наблюдателя и относительно друг друга (экспериментальные факты это полностью подтверждают). Но если применить (2) к свободно падающему лифту , то опять же получим (3) , так как в этом случае $\vec{v}_1 = \vec{v}_2 = \vec{v}$. ПЭ предполагает, что часы в свободно падающем лифте идут по разному относительно часов, бесконечно удаленных и неподвижных относительно источника гравитационного поля, а вот относительно свободно падающей системы отсчета (системы отсчета лифта) эти же часы в одно и то же время идут одинаково. Но , если пользоваться определением (1), это невозможно так как даже в случае нелинейных трансформаций, при помощи которых можно символы Кристоффеля локально обнулить, ход собственного времени не меняется. Например, пусть T - координатное время в системе отсчета лифта и если ускорение свободного падения лифта в однородном поле выразить при помощи потенциала

$$\vec{g} = -\vec{\nabla}\Phi$$

то нелинейная трансформация которая может локально обнулить символы Кристоффеля (в системе отсчета лифта метрический тензор примет вид метрического тензора пространства Минковского) может быть

$$dT \approx (1 + \frac{1}{c^2}\Phi(\vec{R}) + \frac{1}{c^2}\vec{\nabla}\Phi(\vec{R})\vec{r} - \frac{1}{2}\frac{\vec{v}^2}{c^2})dt \quad (4)$$

здесь \vec{R} - радиус-вектор центра масс лифта

\vec{r} - радиус-вектор часов относительно центра масс лифта

Применив трансформацию (4) к (2) получим для атомных часов неподвижных относительно свободно падающего лифта

$$ds^2 = c^2 d\tau^2 = c^2 dT^2$$

В этом случае координатное время в системе отсчета лифта совпадает с собственным временем неподвижных относительно лифта часов, темп хода этого координатного времени (точнее дифференциал) зависит от локального значения потенциала однородного поля.

И поэтому, хотя как и в СТО, в системе отсчета лифта $g_{00} = 1$, часы на полу и у потолка по прежнему идут по разному (так как сам интервал инвариантная величина то это не удивительно)

$$\frac{d\tau_1}{d\tau_2} = \frac{dT_1}{dT_2} \approx (1 - \frac{gl}{c^2})$$

Получается парадоксальная ситуация - согласно ПЭ, выбором свободно падающей системы можно осуществить переход в в локально инерциальную систему отсчета. В такой системе уравнение геодезической принимает вид уравнения движения тел в инерциальной системе отсчета – символы Кристоффеля в этой системе равны 0 . Так как в ОТО плотность псевдотензора энергии – импульса гравитационного поля пропорциональна символам Кристоффеля то и эта

плотность локально станет нулевой. Если гравитационное поле однородно (или в некоторой области конечных размеров можно пренебречь приливными эффектами) то все это можно проделать и в системах отсчета определенных конечных размеров . Если же в свободно падающей системе отсчета наблюдается влияние однородного поля на темп хода часов, то это ставит под сомнение сам геометрический подход в гравитации – так как если первые производные метрического тензора равны 0, то в этом случае невозможно указать причину такого влияния .

Более общее рассмотрение этого вопроса можно посмотреть в моей с соавтором работе

<http://new-idea.kulichki.net/pubfiles/070916104121.pdf>