

Ван Цзэюй, Ма Цзиньвэнь, И Ваньнин (Китай)

Цзилиньский Университет, г. Чанчунь

Научный руководитель: Слабухо Олеся Анатольевна

К ВОПРОСУ О ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Люди давно интересуются, как время и пространство взаимосвязаны. От навигационных систем, которыми мы пользуемся каждый день, до необъятной и таинственной Вселенной, от фантазии о машине времени до открытия гравитационных волн. Все проистекает из исследований теории относительности Эйнштейна.

С тех пор как Эйнштейн основал общую и специальную теории относительности, они являются основанием изучения в космологии, астрономии и т.д. Теория относительности основана на четырехмерном дифференциальном многообразии, которое называется пространством-временем. Пространственно-временной конфигурацией специальной теории относительности является четырехмерное гладкое дифференциальное многообразие с минковской метрикой. Общая теория относительности основана на произвольном пространстве-времени, где пространство-время является четырехмерным гладким многообразием с метрикой Лоренца [1, с. 15].

Специальная теория относительности – это теория выравненных пространства и времени. Современная физика стала целостной благодаря этой теории. Отправной точкой этой теории являются два основных положения: принцип специальной теории относительности и принцип постоянной скорости света. Центральным уравнением теории является преобразование Лоренца. Специальная теория относительности Эйнштейна является расширением теории пространства-времени Исаака Ньютона. Чтобы понять специальную теорию относительности, нужно понимать четырехмерное пространство-время, а ее математическая формула является геометрическим пространством Минковского.

Из уравнений Максвелла и принципа относительности можно сделать вывод, что скорость света постоянна в любой системе отсчета, что противоречит формуле преобразования скорости, полученной из преобразования Галилея. На основании этого Эйнштейн предположил проблему одновременности ударов молнии в поезда. В то же время он ввел формулу преобразования Лоренца:

$$\gamma \equiv \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

Пока преобразование Галилея заменено преобразованием Лоренца, теория Максвелла и принцип относительности могут полностью сосуществовать в гармонии [2; с. 7, с.9].

В специальной теории относительности есть несколько интересных кинематических эффектов, наиболее распространенными из которых являются эффект укорочения линейки, парадокс гаража, эффект замедления хода часов и парадокс близнецов. Хотя все эти эффекты могут быть доказаны непосредственно с помощью преобразования Лоренца, существует более простое, ясное и гораздо более глубокое доказательство, основанное на языке геометрии пространства-времени.

Введение элементов линии Минковского и геометрии Минковского может лучше объяснить специальную теорию относительности. Элемент линии Минковского:

$$ds^2 = -dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2$$

На рисунке ниже показаны три типа кривых в пространстве Минковского, которые помогают понять геометрию Минковского.

L_1 : Это кривая с $ds^2 > 0$. Она называется пространственноподобной кривой.

L_2 : Это времениподобная кривая с $ds^2 < 0$.

L_3 : Это кривая с $ds^2 = 0$, которая называется светоподобной. [2, с. 16, с.17].

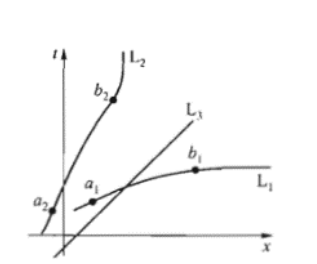


Рис. 1 Три кривые

Основываясь на геометрии Минковского, можно объяснить многие интересные кинематические эффекты, например, эффект укорочения линейки. По мере перемещения линейки относительно длины линейки наблюдатель будет измерять её укорачивание. Предполагая, что выбрана инерциальная система отсчета К, имеется ряд одновременных поверхностей, и одновременные поверхности при $t=0$ берутся, как показано на рисунке 2.

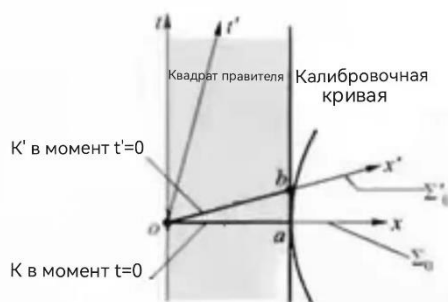


Рис. 2 Эффект укорочения линейки

В тоже время отрезок пересекающейся линии oa поверхности и мировой поверхности линейки представляет собой одномерную линейку в момент $t=0$, рассматриваемую системой K , поэтому длина линии l_{oa} есть статическая длина линейки, измеренная системой K в этот момент. Однако из-за относительности одновременности одновременная поверхность совпадает с одновременной поверхностью в момент $t = 0$ (см. рис. 2), а ее пересекающий отрезок ab с мировой гранью линейки отличается от oa , а отрезок ob представляет линейку в момент $t'=0$, рассматриваемую системой K' , поэтому l_{ob} длина линейки, измерена системой K' . Поскольку система K' считает, что линейка движется, l_{ob} —это длина движущейся линейки: $l_{oa} = \frac{l_{ob}}{\gamma}$.

Концепция частиц все ещё существует в теории относительности, но частицы (в инерциальной системе отсчета) могут двигаться только с субсветовой скоростью. Частицы, которые всегда двигаются со скоростью света в инерциальной системе отсчета, называются фотонами. Частицы и фотоны вместе называются частицами. История частицы состоит из одного события за другим. Поскольку каждое событие – это точка в пространстве-времени, вся их история – это кривая в пространстве-времени. В более широком смысле вся история любой частицы представляет собой кривую в пространстве-времени, называемую мировой линией частицы. Мировая линия частицы – это времениподобная кривая, и наоборот, мировая линия фотона – светоподобная кривая, пространственноподобная кривая не может действовать как мировая линия. Если линейка бесконечно тонкая, стационарная на Земле, вся история каждой точки представляет собой вертикальную линию на пространственно-временной диаграмме (основанной на наземной системе), поэтому вся история линейки представлена плоскостью, называемой мировой линейкой [2; с. 22, с. 26].

Пространство-время, изученное в специальной теории относительности, является прямым, но если существует масса, то пространство-время, которое мы изучаем, искривлено, и такая специальная теория относительности не сможет хорошо описать движения объектов. Поэтому

нужна новая теория, которая может описать движения объектов в искривленном пространстве-времени.

Эта новая теория является общей теорией относительности. Масса стимулирует гравитацию, а сила гравитации в общей теории относительности является искривлением пространства-времени, так что общая теория относительности также является теорией гравитации.

Общая теория относительности изучает объекты в четырехмерном пространстве-времени на одно измерение больше, чем обычно. Это позволяет более точно и удобно описать движения объектов в сложной космической среде, или даже природу самого пространства-времени.

Поскольку пространство-время является четырехмерным, каждая физическая величина должна быть такой же, как и четырехмерная физическая величина, и она может быть разложена на "3+1". Например, четырехмерная скорость, его проекция в трехмерном пространстве – это трехмерный вектор скорости, а проекция во временной линии – это скорость потока времени [1, с. 155, с.159, с.162].

Объекты, подвергшиеся только гравитации, в искривленном пространстве-времени – это свободные объекты, которые двигаются по «прямой линии». Вообще-то, они двигаются по геодезической линии. Если объект подвергся воздействию других внешних сил, то получается четырехмерное ускорение, и мировая линия не является геотермальной.

Таким образом, общая теория относительности утверждает, что все физические явления являются лишь эволюцией физических объектов в каком-то искривленном пространственно-временном контексте [1, с. 192]. Поэтому очень важно изучить искривление пространства-времени, которое вызвано массой. Эти отношения описываются уравнениями гравитационного поля Эйнштейна по формуле: $R_{ab} - \frac{1}{2}g_{ab}R = 8\pi T_{ab}$. Где R_{ab} – это тензор Риччи, R – это скалярная кривизна, g_{ab} – это метрический тензор. T_{ab} – это тензор энергии – количество движения. Слева в уравнении – четырехмерная геометрия, описывающая искривление пространства-времени. Справа в уравнении – влияние распределения массы материи и движения.

Теория относительности имеет большое практическое значение. Она не только может быть применима к реальной жизни, например, корректировка GPS-локации, но и является важной теоретической основой современных космологических и астрономических исследований. Она предсказала присутствие гравитационных волн, которые были недавно подтверждены экспериментально. С помощью теории относительности можно спекулировать историей Вселенной, описывая ход галактик, и это великая теория.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Лиань Цаньпиин, Чжоу Пинь. Введение дифференциальной геометрии и общая теория относительности». Пекин: Издательство науки, 2006 – 424 с.
2. Лиань Цаньпиин, Цао Чжоузиан. Изучение теории относительности с нуля. Пекин: Издательство высшего образования, 2013 – 246 с.

Ван Янсинь (Китай)

Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана, г. Москва

Научный руководитель: Корянов Всеволод Владимирович,
канд.техн.наук, доцент

ИЗУЧЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ИГРЫ ПОГОНИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Введение

Один космический аппарат (активный КА, англ. Pursuer, P) намеревается приблизиться к другому космическому аппарату (пассивному КА, англ. Evader, E) с целью осмотра и возможной стыковки. Пассивный аппарат может иметь специальную систему управления, благодаря которой может маневрировать при приближении активного КА. Цель преследователя - сближение за минимальное время, а цель пассивного КА – максимальное время. Так как это непрерывная система, в этом процессе на орбите происходит дифференциальная игра погони двух космических аппаратов.

Описание математической модели

Предположим, что проблема описана в рамках задачи двух тел, пренебрегающая орбитальными возмущениями. Установим динамику каждого космического аппарата в рамках абсолютной геоцентрической экваториальной системы координат.

Параметры состояния каждого космического аппарата включают **положение $\mathbf{r}$, скорость $\mathbf{v}$** и его **собственную массу m** . Предположим, что тяга T , приложенная к космическому аппарату, постоянна по размеру и переменна по направлению. Дифференциальное уравнение движения активного ($i = P$) и пассивного КА ($i = E$):