

ТАХИОНЫ

Вводные замечания

Согласно общепринятой традиции, гипотетические частицы, движущиеся со скоростью, большей скорости света в вакууме, называются тахионами. Хорошо известно, что гипотеза тахионов не противоречит основным принципам СТО. Здесь сразу стоит обратить внимание на тот факт, что известный постулат теории гласит о **постоянстве** скорости света, а не ее максимальной. Тем не менее, гипотеза тахионов отвергается большинством физиков, подчас весьма агрессивно. В основном это связано с возможным нарушением принципа причинности. На мой взгляд, здесь стоит задуматься над содержанием принципа причинности как такового. Это явно метафизический принцип, содержание которого выходит за рамки непосредственно наблюдаемого. В то время как наблюдаемые явления физического мира удовлетворяют *принципу непротиворечивости* — утверждению более слабому, нежели принцип причинности. Однако и принцип причинности, похоже, не нарушается в ряде явлений, пониманию которых могла бы способствовать гипотеза тахионов. Так, к примеру, непонятно, к какому нарушению принципа причинности может привести объяснение наличие спина электрона, его вращением вокруг собственной оси, со сверхсветовой скоростью? Или мгновенный обмен информацией между элементарными частицами, находящимися в спутанном состоянии. Ведь и в том, и в другом случае, пока не предложено даже возможности использовать эти явления для сверхсветовой передачи сигнала в макромире.

Несмотря на такую, в целом, негативную тенденцию, некоторые авторы используют поля тахионов в теоретических построениях, например, для объяснения процессов ранней стадии

развития Вселенной. Так что, похоже, гипотезу тахионов хоронить пока рано. А, значит, имеет смысл исследовать ее повнимательней. В любом случае приведенные ниже задачи могли бы способствовать более глубокому пониманию СТО по части ее ограничительной составляющей, да и самих границ ее применимости. Вполне допускаю, что некоторые из них имеют не единственное решение.

Задача 1

Предложить, обратимые преобразования перехода в систему отсчета, связанную с тахионом. Для удобства воспользоваться естественными мировыми координатами.

Решение

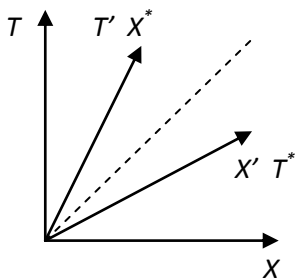


Рис.1

Как известно, в естественных мировых координатах преобразования Лоренца имеют вид:

$$X' = \frac{X - UT}{\sqrt{1 - U^2}} \quad (1.1)$$

$$T' = \frac{T - UX}{\sqrt{1 - U^2}}, \quad (1.2)$$

где U — скорость подвижной системы отсчета (СО). По мере приближение скорости СО к скорости света, то есть при $U \rightarrow 1$, оси ее мировых координат будут сходиться к линии светового сигнала (на рис. 1 изображена

пунктиром). С другой стороны, мировая линия тахиона проходит ниже линии света, совпадая с пространственной линией подвижной СО, при некотором значении U : ось T^* совпадает с X' . Тогда вполне естественно предположить, что пространственная линия тахиона совпадает с мировой линией этого же брадиона, назовем его сопряженным. Таким образом, при «переходе» светового барьера мировые координаты частицы начнут вновь расходиться, поменявшись местами, друг с другом.

Исходя из этого, напрашивается предположение, что координата $T^*=X'$, а $X^*=T'$. Тогда, поскольку скорости сопряженных наблюдателей обратны друг другу, искомые преобразования (назовем их *гиперлоренцевыми*) имеют вид:

$$X^* = \frac{T - \tilde{V}X}{\sqrt{1 - \tilde{V}^2}} \quad (1.3)$$

$$T^* = \frac{X - \tilde{V}T}{\sqrt{1 - \tilde{V}^2}} \quad (1.4)$$

Здесь $\tilde{V} = U = \frac{1}{v}$ — величина, обратная скорости тахионной СО (ТСО) смеха ради, назовем ее медленностью. Можно получить и V -форму гиперлоренцевых преобразований, сделав соответствующую замену:

$$X^* = \frac{VT - X}{\sqrt{V^2 - 1}} \quad (1.5)$$

$$T^* = \frac{VX - T}{\sqrt{V^2 - 1}} \quad (1.6)$$

Удовлетворение гиперлоренцевых преобразований принципу обратимости следует из того, что ему удовлетворяют сопряженные

им преобразования Лоренца, хотя в этом можно убедиться и непосредственно. Очевидно, обратные преобразования имеют вид

$$X = \frac{VT^* + X^*}{\sqrt{V^2 - 1}} \quad (1.7)$$

$$T = \frac{VX^* + T^*}{\sqrt{V^2 - 1}} \quad (1.8)$$

Задача 2

Используя ПВД, показать, что, для любого тахиона всегда найдется такая брадионная СО, в которой его скорость обращается в бесконечность (достаточное условие существования трансцендентного тахиона).

Решение

Скорость тахиона обращается в бесконечность в СО сопряженного ему брадиона.

Задача 3

Используя ПВД, показать, что с помощью тахионов, в принципе, возможно, послать сигнал в собственное прошлое. К каким логическим противоречиям может привести такая возможность?

Придумать «закон природы» (принцип), который устранял бы возникающее противоречие.

Решение

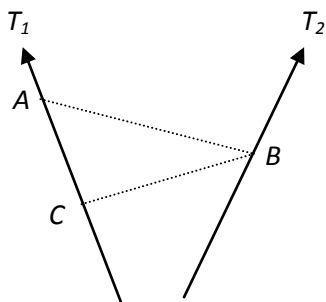


Рис.2

Мировые линии, с помощью которых можно осуществить подобную трансляцию, изображены на рис 2. Наблюдатель 1 посылает трансцендентный тахион из точки A в точку B , где его ловит наблюдатель 2, который тут же посылает трансцендент обратно к наблюдателю 1. Обратный сигнал придет в точку C , относящуюся к более раннему моменту, по часам

наблюдателя 1, чем точка A . Такое положение дел явно нарушает принцип причинности. Все бы ничего, но сигнал пришедший в точку C , вполне может быть сигналом на уничтожение наблюдателя 1. Но, будучи уничтоженным, он уже не сможет послать сигнал в B , а значит останется жив! Получается петля времени с противоречием, многократно обыгранная многочисленными фантастами.

В качестве закона, запрещающего подобные противоречия, можно предложить следующее утверждение: между 2-мя наблюдателями возможны только такие сигналы, которые для их обоих направлены из прошлого в будущее или, в крайнем случае, мгновенны. Такой запрет, в принципе, ничем не хуже, чем, скажем принцип запрета Паули, или все тот же постулат о постоянстве скорости света, который, если вдуматься, очень жесткий запрет —

запрет свету распространяться в вакууме, в брадионной СО, со скоростью, отличной от известной фундаментальной константы.

Задача 4

Предложите способ, как обойти запрет, сформулированный в конце решения предыдущей задачи, и сформулируйте менее уязвимый ограничительный принцип.

Решение

В качестве способа такого обхода можно предложить схему на рис.

3. Хотя в моменты посылов трансцендентов условие, сформулированное в конце предыдущей задачи, выполняется, тем не менее, благодаря изменению направления движения, удастся послать сигнал из точки A в точку D , которая снова соответствует более раннему моменту времени по часам наблюдателя 1.

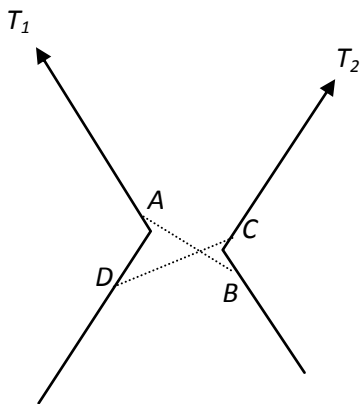


Рис. 3

Ограничительный принцип, который нельзя обойти указанным выше путем, мог бы выглядеть следующим образом

Для любой системы, допускающей детерминистическое описание, невозможен посыл сигнала из ее будущего в прошлое, если это приводит к логическим противоречиям.

Если система не является детерминистической, то ни о какой петле времени говорить не приходится. Таковыми могут быть либо системы, поведение которых в достаточной степени случайно, чтобы отсутствие или наличие сигнала из будущего никак не могло сказаться на нем самом. Либо это... сознание. Сознание может выбирать. Но, тогда, получив сигнал из будущего мы, окажемся лишенными возможности что-либо изменить, или же... Вселенная все-таки многовариантна, но об этом судить крайне сложно. Здесь можно высказать замечание по поводу того, почему тахионы до сих пор так и не нашли: может быть не там искали...

Задача 5

Удовлетворяют ли преобразования гиперлоренца постулату постоянства скорости света?

Решение

Действуем аналогично выводу релятивистского закона сложения скоростей.

$$v_{x^*} = \frac{dx^*}{dT^*} = \frac{dx^*/dT}{dT^*/dT}$$

$$v_{Y^*} = \frac{dY^*}{dT^*} = \frac{dY^*/dT}{dT^*/dT}$$

Дифференцируя (1.5) и (1.6) соответственным образом, получаем искомый закон преобразования скорости при переходе в тахионную систему отсчета (ТСО):

$$v_{X^*} = \frac{V - v_X}{Vv_X - 1} = \frac{v_X - V}{1 - Vv_X} \quad (5.1)$$

$$v_{Y^*} = \frac{v_Y \sqrt{V^2 - 1}}{Vv_X - 1} \quad (5.2)$$

Обратное преобразование скорости можно получить из обратных преобразований гиперлоренца или непосредственно из(5.1)и (5.2):

$$v_X = \frac{v_{X^*} + V}{1 + v_{X^*}V} \quad (5.3)$$

$$v_Y = \frac{v_{Y^*} \sqrt{V^2 - 1}}{Vv_{X^*} + 1} \quad (5.4)$$

Чтобы выяснить, будет ли скорость света оставаться постоянной при переходе в тахионную СО, рассмотрим 2 предельных случая.

1) Скорость света направлена вдоль оси X. Легко видеть, что при $v_X = 1, v_Y = 0$ получаем $v_{X^*} = 1, a v_{Y^*} = 0$. Таким образом, в случае продольного движения скорость света не меняется при переходе в ТСО. Также можно заметить, что при $V = v_X, v_{X^*} = 0$. Таким образом, тахионы вполне могут быть друг для друга

брадионами! То есть части ракеты, летящей со сверхсветовой скоростью, не разлетятся друг от друга с такими же скоростями. Помнится, мне часто приходилось слышать обратное.

2) Скорость света направлена перпендикулярно оси X. Подставляя в (5.1) и (5.2) значения $v_Y = 1, v_X = 0$, получим

$$\begin{aligned}v_{X^*} &= -V, \\v_{Y^*} &= \sqrt{V^2 - 1}\end{aligned}$$

Тогда

$$v^{*2} = v_{X^*}^2 + v_{Y^*}^2 = 2V^2 - 1 > 1 \quad (5.5)$$

Как видим $v^* = 1$ только в предельном случае, когда $V = 1$. Таким образом, при переходе в ТСО скорость света, вообще говоря, меняется, точнее люксон становится тахионом. Однако это не противоречит постулату постоянства скорости света СТО, поскольку он был сформулирован только для брадионных систем отсчета.

Задача 6

Выполненные последовательно, преобразования Лоренца, затем гиперлоренца дают преобразование гиперлоренца. Тот же результат получится, если выполнить преобразования в обратной последовательности. А вот два последовательно выполненные гиперлоренцевы преобразования дают преобразование Лоренца. Доказать эти утверждения. Чему равна скорость движения второй СО, относительно лабораторной? Согласуется ли полученный результат с законом сложения скоростей?

Решение

Пусть, брадионная CO' движется со скоростью U относительно лабораторной CO , а тахионная CO^* — со скоростью $V = 1/\tilde{V}$ относительно брадионной. Тогда преобразование $CO \rightarrow CO'$ имеют вид (1.1), (1.2) а переход $CO' \rightarrow CO^*$ выглядит так:

$$X^* = \frac{T' - \tilde{V}X'}{\sqrt{1 - \tilde{V}^2}} \quad (6.1)$$

$$T^* = \frac{X' - \tilde{V}T'}{\sqrt{1 - \tilde{V}^2}} \quad (6.2)$$

Подставляя (1.1) и (1.2) в (6.1), получаем:

$$X^* = \frac{T - UX - \tilde{V}X + \tilde{V}UT}{\sqrt{(1 - \tilde{V}^2)(1 - U^2)}} = \frac{T - X \frac{\tilde{V} + U}{1 + \tilde{V}U}}{\sqrt{\frac{(1 - \tilde{V}^2)(1 - U^2)}{(1 + \tilde{V}U)^2}}}$$

В свою очередь, легко убедиться, что

$$(1 - \tilde{V}^2)(1 - U^2) = (1 + \tilde{V}U)^2 - (\tilde{V} + U)^2$$

Стало быть, преобразование $CO \rightarrow CO^*$, для пространственной координаты имеет вид:

$$X^* = \frac{T - \tilde{W}_{\text{ЛГ}}X}{\sqrt{1 - \tilde{W}_{\text{ЛГ}}^2}} \quad (6.3)$$

где

$$\tilde{W}_{\text{ЛГ}} = \frac{\tilde{V} + U}{1 + \tilde{V}U} \quad (6.3')$$

Аналогично

$$T^* = \frac{X - \tilde{W}_{\text{ЛГ}}T}{\sqrt{1 - \tilde{W}_{\text{ЛГ}}^2}} \quad (6.4)$$

Далее

$$\tilde{W}_{\text{ЛГ}} = \frac{\frac{1 + VU}{V}}{\frac{V + U}{V}} = \frac{1 + VU}{V + U}$$

Следовательно

$$W_{\text{ЛГ}} = \frac{V + U}{1 + VU} \quad (6.3'')$$

что находится в полном соответствии с законом сложения скоростей, который, таким образом, остается справедливым для любых скоростей в любой СО. Собственно говоря, этот результат уже был получен (см. (5.1), (5.3)). Случай обратного порядка преобразований предлагаем рассмотреть читателям.

Для двух последовательных гиперлоренцевых преобразований имеем:

$$X^{**} = \frac{X - W_{\Gamma\Gamma}T}{\sqrt{1 - W_{\Gamma\Gamma}^2}} \quad (6.5)$$

$$T^{**} = \frac{T - W_{\Gamma\Gamma}X}{\sqrt{1 - W_{\Gamma\Gamma}^2}} \quad (6.6)$$

где

$$W_{\Gamma\Gamma} = \frac{\tilde{U} + \tilde{V}}{1 + \tilde{U}\tilde{V}} = \frac{U + V}{1 + UV} \quad (6.6')$$

Таким образом, два последовательно выполненных преобразования гиперлоренца дают преобразование Лоренца!

Тем самым обнаруживается формально-качественное соответствие между преобразованиями Лоренца, гиперлоренца с одной стороны и положительными, отрицательными числами с другой.

Задача 7

Является ли интервал инвариантом преобразования гиперлоренца?

Решение

$$\begin{aligned}(ds^*)^2 &= (dX^*)^2 - (dT^*)^2 = \\ &= \frac{V^2(dT)^2 - 2VdTdX + (dX)^2 - V^2(dX)^2 + 2VdTdX - (dT)^2}{V^2 - 1} = \\ &= (dT)^2 - (dX)^2 = -ds^2\end{aligned}$$

Таким образом, при переходе в ТСО интервал меняет знак, но это относится только к его составляющей, содержащей время и пространственную координату, вдоль которой происходит движение. В общем гиперрелятивистском случае интервал не будет даже антиинвариантом.

Задача 8

Получить закон изменения длины предмета и хода часов, движущихся со сверхсветовой скоростью, по сравнению с их собственными значениями.

Решение

Длина. Действуем так же, как и в релятивистском случае

$$X_1^* = \frac{VT - X_1}{\sqrt{V^2 - 1}}$$

$$X_2^* = \frac{VT - X_2}{\sqrt{V^2 - 1}}$$

Напомним, что положения концов стержня в лабораторной СО измеряются в один и тот же момент времени. Таким образом,

$$\Delta X = -\Delta X^* \sqrt{V^2 - 1} \quad (8.1)$$

Следовательно, несобственная длина стержня связана с его собственной длиной соотношением

$$L = L_0 \sqrt{V^2 - 1} \quad (8.2)$$

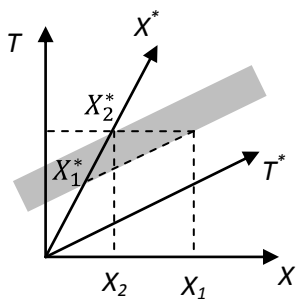


Рис. 4

Здесь обращают на себя внимание два момента:

- 1) При переходе светового барьера, двигаясь в направлении оси OX , концы стержня меняются местами. Это легко проиллюстрировать на диаграмме (рис. 4). При движении против оси OX никакой смены мест

концов стержня не происходит, в этом также можно убедиться с помощью диаграммы.

2) После преодоления светового барьера длина стержня начинает расти и, при стремлении скорости к бесконечности, также неограниченно возрастает.

Время. Поскольку время движущихся часов — собственное в ТСО, нужно выполнить обратное преобразования гиперлоренца для 2-х моментов времени:

$$T_1 = \frac{VX^* + T_1^*}{\sqrt{V^2 - 1}}$$

$$T_2 = \frac{VX^* + T_2^*}{\sqrt{V^2 - 1}}$$

Откуда

$$\Delta T = \frac{\Delta T^*}{\sqrt{V^2 - 1}} \quad (8.3)$$

Как видим, при движении в положительном направлении оси X , последовательность событий сохраняется, и это тоже легко показать на диаграмме. Также можно показать, что при движении против оси X , события будут происходить в ТСО в обратной последовательности.

Задача 9

Показать что при переходе в ТСО модуль 4-объема сохраняется, а знак — меняется на противоположный.

Решение

Следует из (8.1) и (8.3).

Задача 10

Рассмотреть парадокс близнецов для космонавта, совершающего перелет со сверхсветовой скоростью.

Решение

Вначале напомним, как связаны времена полета для землян и космонавтов в релятивистском парадоксе близнецов. В случае упрощенной модели, когда разгон и торможение ракеты практически мгновенны, между ними имеет место соотношение:

$$T = \frac{T'}{\sqrt{1 - V^2}} \quad (10.1)$$

С другой стороны

$$T = \frac{L}{V}, \quad (10.2)$$

где L — расстояние до пункта назначения. Стало быть

$$T' = \frac{L\sqrt{1 - V^2}}{V} \quad (10.3)$$

Таким образом, при $V \approx 1$, $T' \approx 0$, то есть для космонавтов полет будет практически мгновенным.

Перейдем теперь к гиперрелятивистскому случаю. Будем придерживаться той же упрощенной модели, что и в релятивистском случае. С точки зрения землян время полета, согласно (8.2) равно

$$T = \frac{T^*}{\sqrt{V^2 - 1}} \quad (10.4)$$

Тогда, в силу (10.2),

$$T^* = L \sqrt{1 - 1/V^2}. \quad (10.5)$$

Очевидно, что при $V \gg 1$

$$T^* = L$$

В системе единиц СИ будем иметь

$$t^* = \frac{L}{c} \quad (10.6)$$

То есть **при преодолении межзвездного расстояния со скоростью, значительно превышающей световую, по часам космонавтов на путешествие уйдет то же время, за которое свет проходит данное расстояние, по часам землян, а для землян полет ракеты, естественно, будет практически мгновенным.** Таким образом, в предельном гиперрелятивистском случае, ситуация обратна той, что складывалась в релятивистском: сильнее состарятся космонавты, а не земляне. С другой стороны, если лететь со скоростью $V = \sqrt{2}$, то время полета для землян и для космонавтов будет одинаковым! Но такая скорость годится лишь для не очень

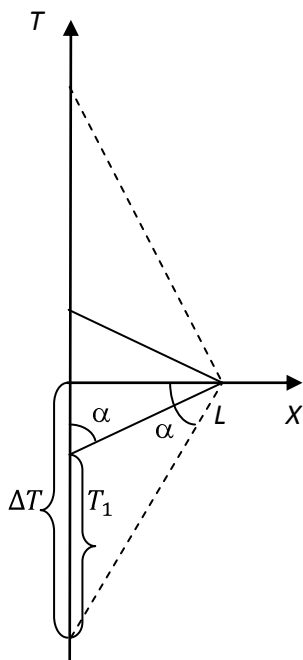


Рис. 5

больших расстояний, для осуществления дальних полетов придется вспомнить старые добрые анабиозные камеры.

Чтобы разрешить парадокс, как и в релятивистском случае, надо показать, что к тому же выводу о временах полета придут и космонавты. Анализ парадокса аналогичен релятивистскому. Мировые линии ракеты и земли изображены на рис. 5 сплошными, а линии одновременности ракеты — пунктирами. За время полета и до начала торможения, с точки зрения космонавтов, часы землян уйдут назад на собственное время

$$T_1 = T \sqrt{V^2 - 1}$$

Торможение до нерелятивистской скорости добавит время

$$\Delta T = L \operatorname{tg} \alpha = V^2 T$$

Далее

$$T = \Delta T - T_1,$$

откуда снова приходим к (10.4).

Заключительные замечания

Ограничительный принцип, сформулированный в процессе решения задачи 4, по сути, является принципом непротиворечивости. Он явно отдает идеализмом, причем сразу по нескольким причинам. Во-первых, не вскрывается механизм принципа, собственно, такового и не должно быть, коль скоро автор осмелился назвать данное утверждение принципом. Но тогда можно приписать Вселенной некое логическое, даже сознательное начало, то есть наделить ее разумностью, что, по мнению материалистически настроенных ученых — недопустимая ересь. Меня такой идеализм не пугает, поскольку материализм, как мировоззрение, выходит за пределы чистого опыта, а, значит, подобно религии, также является системой верований, стало быть, содержит элемент идеализма в своей основе. Таким образом, материализм внутренне противоречив, я же, наоборот, стараюсь противоречий избежать. Стало быть, поскольку нам, в любом случае, не избежать некоторой доли метафизики и идеализма, имеет смысл объяснить, почему мне так не хочется хоронить тахионную гипотезу.

Первая причина очевидна — это мечта о космических полетах со скоростью, превышающей скорость света. На пути преодоления светового порога лежит бесконечный энергетический барьер. Лично автор не занимался детальными исследованиями, на предмет возможности его туннелирования. Предварительно же можно сказать, что с, точки зрения соотношения неопределенностей, возможно сколь угодно большое возрастание энергии на сколь угодно малое время. Таким образом, возможность преодоления светового барьера, пусть и весьма абстрактная, но существует.

В истории науки есть примеры, обвинений в лженаучной ереси ученых, оказавшихся, в итоге, правыми. Наиболее известны, пожалуй, отрицание существования «камней на небе, поскольку им неоткуда было там взяться» и «невозможность полета объектов тяжелее воздуха, ввиду отсутствия для этого достаточной подъемной силы» В первом случае «прославился» сам Лавуазье, а во втором... не помню кто, да и не важно. И вовсе карикатурным выглядит, сегодня, «опровержение» орбитального движения Земли, выдвинутое Птолемеем.

Если предположить, что Земля движется, то, вследствие огромной величины, она при своем движении должна опережать все тяжелые тела. И, вследствие ее колоссальной скорости, и живые существа, и другие тяжелые тела должны будут остаться далеко позади, без поддержки в воздухе, сама же она, в конце концов, должна будет выскочить из границ неба. Но ничего более смешного, нелепого и бессмысленного нельзя себе представить.

Во всех трех случаях мы имеем дело с примерами, в общем, верных логических построений, содержащих, не всегда осознаваемые авторами, ограничения, которые в действительности можно обойти. Так, в случае полета тел тяжелее воздуха, действительно невозможно решить задачу в статике, в то время как она успешно решается в динамике. Заметим также, что создателями первых летательных аппаратов тяжелее воздуха вряд ли двигала практическая необходимость, скорее всего это была все-таки мечта. Та же мечта движет и мной — мечта летать дальше и быстрее, чем это кажется возможным сегодня.

Ну и последнее соображение, совсем уж метафизического характера. Есть основания предполагать, что Вселенная представляет собой единую целостную систему. Об этом говорит хотя бы факт существования тождественных элементарных частиц, которые словно сходят с конвейера, обладая абсолютно одинаковым зарядом, массой и т. д. Если данное предположение

является верным, то во Вселенной должен существовать и способ дальней связи, для осуществления которого брадионы и даже свет движутся крайне медленно.

...И все-таки пока это не более чем игра ума. Пусть так. Однако даже в процессе такой игры есть шанс преодолеть один серьезный барьер — ограничения собственных ментальных построений, может быть навязанные многочисленными повторениями одного и того же ложного высказывания. Из проведенного в данной статье рассмотрения следует, что утверждение о невозможности движения материи и передачи информации со скоростью, большей скорости света в вакууме вряд ли логически обосновано. В дальнейшем лично мне было бы интересно включить в игру пару пространственных координат Y, Z , которая в данной статье осталась незадействованной.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Б. И. Спасский*. История физики. М. Высшая школа, 1977.
2. *С. Лилли*. Теория относительности для всех. М. Мир, 1984.