

Модель «Парадокс близнецов»

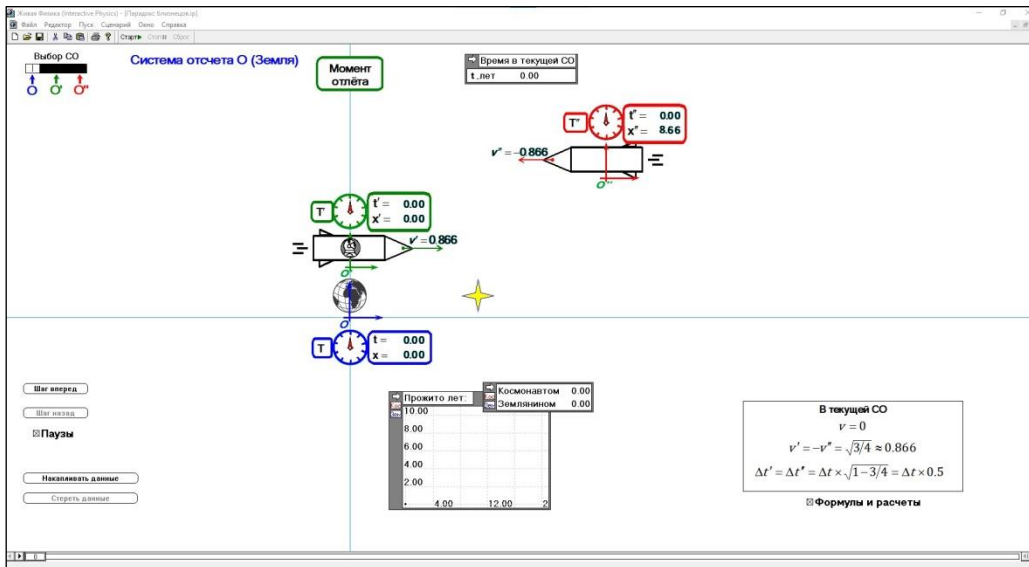


Рис. 1 Вид модели в СО О (Земля)

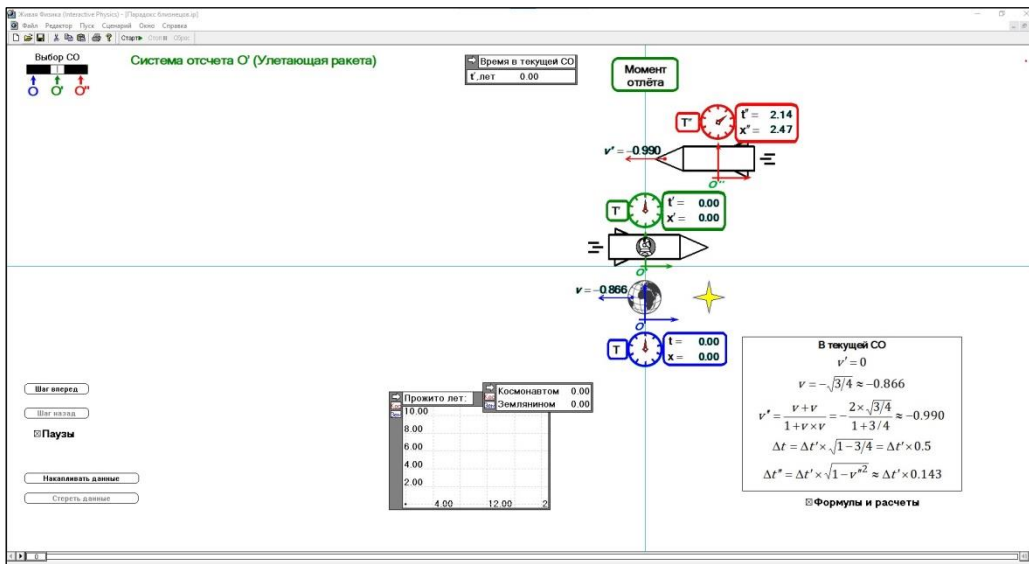


Рис. 2 Вид модели в СО О' (Улетающая ракета)

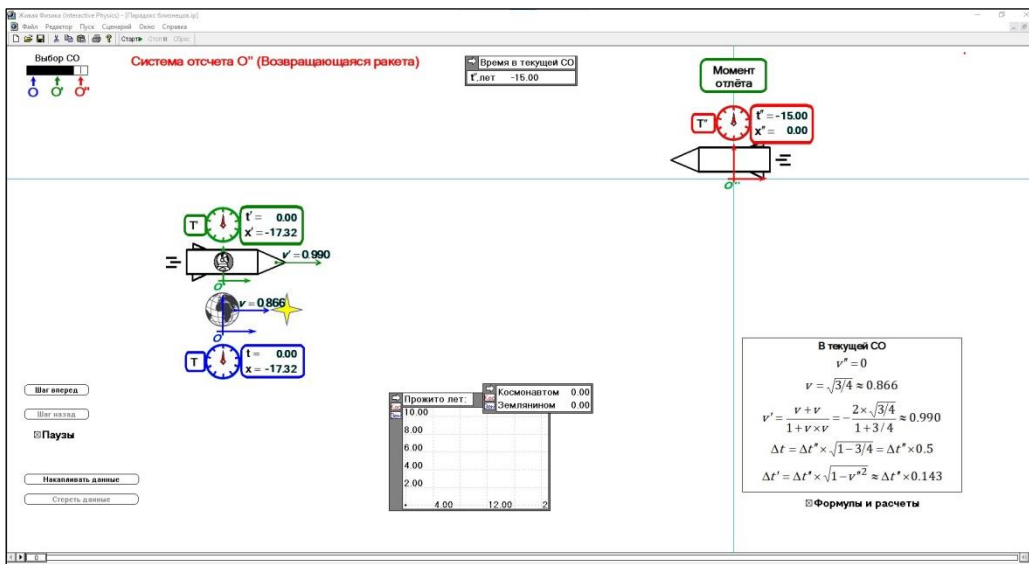


Рис. 3 Вид модели в СО О'' (Возвращающаяся ракета)

Назначение

Модель предназначена для объяснения «Парадокса близнецов», самого известного и самого трудно принимаемого «парадокса» СТО. Наш здравый смысл, основанный на опыте движений со скоростями много меньшими скорости света, протестует против вывода о том, что из двух братьев-близнецов, исходно – ровесников, отправившийся в космическое путешествие брат окажется, после возвращения на Землю, моложе брата-домоседа. Также, на первый взгляд, представляется непонятным, почему ситуация несимметрична, ведь если для брата, оставшегося на Земле, часы брата-космонавта идут медленнее, то и с точки зрения брата-космонавта медленнее идут часы брата, оставшегося на Земле.

Для модели, объясняющей этот, кажущийся парадоксальным, вывод выбран подход, опирающийся на три инерциальных системы отсчета. Он подробно описан в книге [1]. Этот подход вкратце сводится к тому, что мы можем считать, что близнец-космонавт улетает от Земли на ракете, движущейся с постоянной скоростью, а у звезды «мгновенно» пересаживается на ракету, опять же с постоянной скоростью возвращающуюся к Земле. Ускорения (пусть и достаточно большие) считаем занимающими столь малое время, что ими можно пренебречь.

Технические комментарии

Поскольку движение близнеца, отправившегося к далекой звезде, а затем вернувшегося на Землю, мы собираемся рассматривать с точки зрения трех СО, и при этом в каждой из них требуется показать довольно много объектов, подход предыдущих моделей, связанный с разбиением экрана на части, оказался неудобен. Вместо него выбран подход, когда в модели (левом верхнем углу экрана) помещен переключатель, позволяющий выбрать нужную СО. На рисунках выше показаны три скриншота модели (в момент старта близнеца-космонавта с Земли) для случаев, когда мы рассматриваем происходящее в СО O , связанной с Землей (Рис.1), в СО O' , связанной с улетающей от Земли ракетой (Рис.2) и с СО O'' , связанной с ракетой, на которой космонавт возвращается от звезды на Землю (Рис. 3). Переключаться между СО можно только в нулевом кадре эксперимента. Название выбранной СО отображается в верхней части экрана. Справа от него размещен измеритель времени текущей СО.

В модели видны следующие объекты: Земля, звезда (до которой летит космонавт), две ракеты (улетающая и возвращающаяся), начала координат и оси их СО, часы каждой из СО (T , T' и T''). Часы расположены в точках начала координат соответствующих СО и представлены как стрелочными циферблатами, так цифровыми индикаторами, на которых выводится время по этим часам и показываются координаты часов по оси x в текущей системе отсчета. Часы СО O , O' и O'' настроены таким образом, что в момент отлета космонавта часы T и T' показывают 0, а в момент пересадки космонавта на возвращающуюся ракету часы T' и T'' показывают 2,5 года. Чекбокс «Паузы» включает приостановку работы модели в момент разворота.

Моменты отлета, разворота и возвращения отмечаются появлением на экране окошек с соответствующим текстом. Профиль человека в скафандре, видимый через иллюминатор ракеты, показывает, в какой из ракет находится космонавт.

В модели также размещен измеритель количества лет, прожитых с момента старта близнецом-космонавтом и близнецом-землянином. Кнопки «Накапливать данные» и «Стереть данные» позволяют сохранить график, полученный в одной СО, после перехода в другую, что может быть полезно для объяснения того, сколько прожил каждый из двух близнецов.

Кнопки «Шаг назад» и «Шаг вперед» позволяют точно настроить модель на нужный момент времени. Их же удобно использовать сразу после открытия модели, чтобы начальные условия оказались вычисленными в нулевом кадре.

Чекбокс «Формулы и расчеты» позволяет показать формулы, необходимые для вычисления замедления времени в каждой из движущихся (относительно выбранной) СО и результаты расчетов по ним.

Рекомендации по использованию

Первый запуск модели рекомендуется проводить в СО О, при включенном чекбоксе «Паузы». Обсудить с учащимися скорость хода часов в летящей к звезде и в возвращающейся к Земле ракете. По показаниям измерителя выяснить, что для близнеца, оставшегося на Земле, к моменту возвращения брата-космонавта прошло 10 лет, а для космонавта – вдвое меньше.

Затем можно обсудить, что произойдет в СО, связанной с улетающей с Земли ракетой. И, используя модель, продемонстрировать, что в этой СО первые 2,5 года космонавт проживет вдвое больше (те самые 2,5 года), чем землянин (1,25 года). Но затем космонавт пересядет на ракету, возвращающуюся к Земле. Ее скорость в данной СО можно найти, используя релятивистский закон сложения скоростей. И она настолько велика, что теперь космонавт будет стареть намного (в 3,5 раз) медленнее землянина. И к моменту, когда его ракета поравняется с Землей, он проживет еще 2,5 года, в то время как землянин – 8,75 лет. В текущей СО от момента старта до момента возвращения пройдет 20 лет. Землянин, как и должно быть, состарится на 10 лет, а космонавт – на 5.

При переходе в СО возвращающейся ракеты ситуация будет обратной. Землянин снова будет равномерно стареть (вдвое медленнее, чем идут часы в выбранной СО), а космонавт – сперва стареть в 3,5 раза медленнее, чем землянин, а последние 2,5 года – со скоростью вдвое большей.

На основании обсуждения работы модели подвести учащихся к выводу, что после возвращения на Землю моложе оказывается тот из братьев, который менял направление движения.

Чекбокс «Формулы и расчеты» можно включать в любой момент демонстрации, для напоминания нужных формул и/или проверки результатов расчетов.

Литература

1. [Гольденблат, И. И. «Парадоксы времени» в релятивистской механике – Москва: Наука, 1972. – 80 с.](#)