

РЕЛЯТИВИСТСКИЕ ЭФФЕКТЫ — ОСНОВА КОСМОНАВТИКИ БУДУЩЕГО



Виктор Саверченко,
научный сотрудник
Института тепло-
и массообмена имени
А.В. Лыкова, кандидат
физико-математических
наук

Решение проблемы самодвижения – «мечта» всей мировой космонавтики. Сегодня этот процесс считается неосуществимым, однако если он когда-либо будет реализован, польза от него для космонавтики будет огромной. К сожалению, настоящая работа не дает абсолютного доказательства возможности самодвижения, она лишь наглядно и доступно показывает, как данное явление следует из законов релятивистской механики.

Считается, что закон сохранения импульса выступает следствием однородности пространства [1]. По этой причине в классической механике закон сохранения импульса выполняется всегда. Поэтому невозможно построить изолированную систему, которая могла бы менять положение в пространстве и импульс без взаимодействия с окружающими объектами.

В теории относительности [2–4] утверждается, что пространство может быть искри-

влено, например, гравитацией. В связи с этим не стоит ожидать выполнения классического закона сохранения импульса в релятивистской механике, которая построена на принципах теории относительности. Важно отметить, что, несмотря на большое число расхождений и парадоксов [5], теория относительности достаточно совершенна и хорошо согласуется с реальными экспериментами.

Но допущение о нарушении однородности пространства в общем случае не дает ответа на вопрос, возможно ли в релятивистской механике самодви-

жение, и если возможно, то как. Под самодвижением понимается изменение изолированной системой своего положения или импульса без взаимодействия с окружающими телами. Поэтому цель работы – наглядно объяснить, как можно теоретически реализовать самодвижение системы, внутри которой происходят релятивистские процессы. К сожалению, нынешнего уровня развития технологий недостаточно для практической реализации рассмотренных эффектов, поскольку до релятивистских скоростей удалось разогнать лишь элементарные частицы [6].

Изменение импульса системы без взаимодействия с другими телами

Главным законом релятивистской механики, который открывает возможность самодвижения, является связь массы и энергии $E=mc^2$. Согласно данному закону, любая энергия обладает собственной массой. Последнее означает, что в сжатом состоянии пружина имеет большую массу, чем в расслабленном, заряженный конденсатор массивнее, чем разряженный, нагретое тело массивнее, чем холодное. Если бы это было не так, то изолированная система смогла бы изменять свою массу, ускоряя что-либо внутри себя по кругу до релятивистских скоростей с использованием энергии внутреннего источника, например конденсатора. Ведь из законов релятивистской механики известно, что масса движущегося с релятивистской скоростью тела в покоящейся системе

отсчета больше массы того же тела, когда последнее неподвижно. При этом стоит понимать, что энергетическая емкость всех существующих пружин, конденсаторов и калориметров настолько мала, что изменение их массы невозможно зафиксировать даже на самом точном оборудовании. В то же время масса нуклонов при попадании в потенциальное поле ядра атома уменьшается весьма существенно.

Чтобы понять, как закон взаимосвязи массы и энергии позволяет изолированной системе приобрести импульс без взаимодействия с другими телами, рассмотрим гипотетическую систему, изображенную на рис. 1. Данная система включает пушку, установленную на тележке, и ядро.

В системе присутствуют две одинаковые пружины, одна – внутри пушки – сжата, вторая – внутри ядра – расслаблена. Пушка стреляет ядром, внутри которого находится расслабленная пружина. Когда веревка натягивается, она сжимает пружину внутри ядра, тем самым останавливая его. При этом вся кинетическая энергия ядра превращается в потенциальную энергию сжатой пружины. Далее мы притягиваем ядро

к пушке с классической скоростью, меняем местами пружины, заряжаем ядро в пушку, а затем повторяем весь цикл еще раз.

Сжатая пружина имеет большую массу, чем расслабленная. Во время разгона ядра пружина в нем всегда расслаблена. Во время торможения ядра пружина в нем сначала расслаблена, а под конец процесса торможения – полностью сжата. Получается, что средняя масса пружины в процессе торможения больше, чем в процессе разгона. Поэтому импульс, полученный тележкой от ядра при торможении, больше импульса, переданного ядру от тележки при разгоне. Получается, что после каждого выстрела с последующим торможением вся система приобретает дополнительный импульс без взаимодействия с окружающими телами.

Важно отметить, что гипотетические тележка, пружины и веревка были выбраны лишь для большей наглядности мысленного эксперимента. Так, например, вместо пушки можно было бы изобразить электромагнитный ускоритель, берущий энергию от покоящегося конденсатора и находящийся в левой части космического корабля. Внутри ядра можно было бы поместить электромагнитный

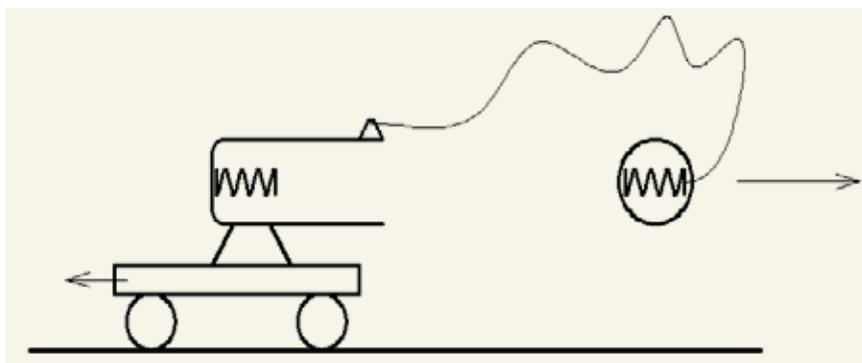


Рис. 1. Гипотетическая тележка с пушкой

тормоз-рекуператор, заряжающий конденсатор, также помещенный внутрь ядра. В правой части космического корабля можно было бы неподвижно закрепить гребенку из постоянных магнитов, необходимую для торможения ядра посредством установленного внутри него тормоза-рекуператора. Данная система работала бы абсолютно аналогично системе, изображенной на *рис. 1*. Однако если релятивистские пружинки и веревки невозможно изготовить, то электромагнитные ускорители и электромагнитные тормоза-рекуператоры существуют [6] и отлично работают на релятивистских скоростях, хотя пока что могут ускорять только элементарные частицы.

Чтобы численно оценить дополнительный импульс, сравним процесс разгона и торможения. Для удобства вместо разгона рассмотрим процесс торможения, в котором пружина остается расслабленной, мысленно привязав веревку за пружину в казенной части пушки и за корпус ядра. Пусть в первой системе пружина остается расслабленной, а во второй – сжимается. Предположим, что в расслабленном состоянии пружина имеет нулевую массу покоя, а в полностью сжатом состоянии – 9 кг. Предположим, что ядро без пружины имеет массу покоя 1 кг. Тогда ядро с расслабленной пружиной внутри имеет массу покоя $m_0=1$ кг, релятивистскую массу во время полета $m=10$ кг и скорость полета $V_{max}=2.9828 \cdot 10^8$ м/с. Предположим, что в обеих системах торможение происходит равномерно за время $T=10$ с.

Для анализа процессов торможения воспользуемся

формулой (1) для релятивистского ускорения [2]:

$$F = m_0 a \left(1 - \frac{V^2}{c^2} \right)^{-\frac{3}{2}}. \quad (1)$$

При равномерном замедлении величина замедления равна $a=V_{max}/T$. Тогда в первой системе масса покоя ядра остается неизменной и равной $m_0=1$ кг. Во второй системе масса покоя ядра увеличивается ровно на столько, на сколько уменьшается его кинетическая энергия, поскольку данная энергия превращается в массу покоя по закону $E=mc^2$. Зависимость массы покоя ядра во второй системе в нашем случае можно описать выражением (2):

$$m_0(t) = \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{V_{max}}{c} - \frac{V_{max} \cdot t}{ct} \right)^2}}{\sqrt{1 - \frac{V_{max}^2}{c^2}}}. \quad (2)$$

Чтобы вообразить наглядно, как меняются параметры систем, ниже представлена *таблица*.

Данные таблицы свидетельствуют о том, что при замедлении ядра в первой системе остается неизменной масса его покоя, а во второй – релятивистская масса. Однако чтобы понять, какой импульс будет передан тележке при торможении ядра, необходимо рассчитать на основе таблицы силу, с которой замедляющееся ядро тянет за веревку в каждый момент времени по формуле (1) с учетом выражения (2) для второй системы. Результаты расчета приведены на графике (*рис. 2*).

Из графика видно, что в любой момент времени сила натяжения веревки во второй системе больше, чем в первой.

Интегрирование зависимости, изображенной на *рис. 2*, по времени от 0 до t показывает, что полный импульс, сообщенный нитью тележке при торможении ядра во второй системе, на 16% больше, чем в первой. При этом понятно, что импульсы, переданные ядрам при торможении в первой системе и при выстреле во второй системе, равны. Получается, что после торможения во второй системе центр масс системы должен приобрести импульс, равный 16% импульса летевшего ядра. Следовательно, после каждого выстрела скорость центра масс второй системы будет становиться все больше и больше.

Изменение положения системы без взаимодействия с другими телами

Рассмотрев гипотетическую систему из тележки с пушкой, мы понимаем, что в ближайшее время такое самодвижение вряд ли будет реализовано на практике, поскольку оно требует разгона массивной конструкции до релятивистской скорости. Однако хотелось бы предложить такую систему, которую можно было бы технически осуществить хотя бы в лабораторных условиях. Поэтому далее мы проанализируем упрощенный вид самодвижения – самосмещение, а именно изменение изолированной системой своего положения в пространстве без взаимодействия с окружающими телами.

Однако прежде обратимся к неизолзированной системе, состоящей из тележки и груза на ней (*рис. 3*). Предположим, что груз может некоторым

образом менять свою массу, не влияя при этом на импульс системы. Например, это может быть кастрюля, в которую мы сверху заливаем воду, а затем сливаем ее вертикально вниз.

Если мы будем поочередно переключать груз с левого края тележки на правый, когда он тяжелый, и с правого на левый, когда легкий, то тележка постоянно будет смещаться влево. Это связано с тем, что при каждом изменении массы груза центр тяжести системы отклоняется влево. Известно, что в классической механике рассмотренная система не может быть изолированной, поскольку, согласно закону сохранения массы, последняя не бывает разной у одного и того же тела.

Однако в релятивистской механике подобное возможно, поскольку масса тела, движущегося с релятивистской скоростью, больше массы того же тела, перемещаемого с классической. Так, например, груз с массой покоя $m_0=1$ кг и скоростью $V=2,9828 \cdot 10^8$ м/с, имеет релятивистскую массу $m=10$ кг. Стоит отметить, что релятивистский импульс груза $p=mV$ имеет тот же вид, что и классический $p=m_0V$. Поэтому если мы будем перемещать груз вправо с релятивистской скоростью, а влево с классической, получим эффект, изображенный на рис. 3, только уже для изолированной системы. Важно, чтобы энергия на разгон груза приходила с направления, перпендикулярного движению тележки, чтобы не влиять на ее положение и импульс. Это связано с тем, что, как уже упоминалось, в релятивистской механике любая энергия всегда обладает массой согласно закону $E=mc^2$.

t, c	$V, m/c$	Первая система (пружина расслаблена)		Вторая система (пружина сжимается)	
		$m_0, кг$	$m, кг$	$m_0, кг$	$m, кг$
0	298289729	1	10	1	10
0,011854	297936140	1	9	1,111111	10
0,02845	297441108	1	8	1,25	10
0,052705	296717582	1	7	1,428571	10
0,090193	295599350	1	6	1,666667	10
0,152681	293735420	1	5	2	10
0,268763	290272799	1	4	2,5	10
0,524413	282647040	1	3	3,333333	10
1,296117	259627884	1	2	5	10
10	0	1	1	10	10

Таблица. Изменение параметров двух систем при торможении ядра

На рис. 4 изображены релятивистские системы, в которых тела движутся в одном направлении с релятивистской скоростью, а в обратном – классической.

Слева изображен гипотетический трубопровод, который вращается вокруг своего центра масс. Скорость такова, что самые удаленные от оси

вращения участки трубопровода, по которым жидкость течет вниз, движутся с релятивистской скоростью, а наиболее близкие к оси с жидкостью, текущей вверх, – с классической. Насос обозначен кругом со стрелкой, указывающей вверх. Таким образом, в покоящейся системе отсчета масса молекулы жидкости,

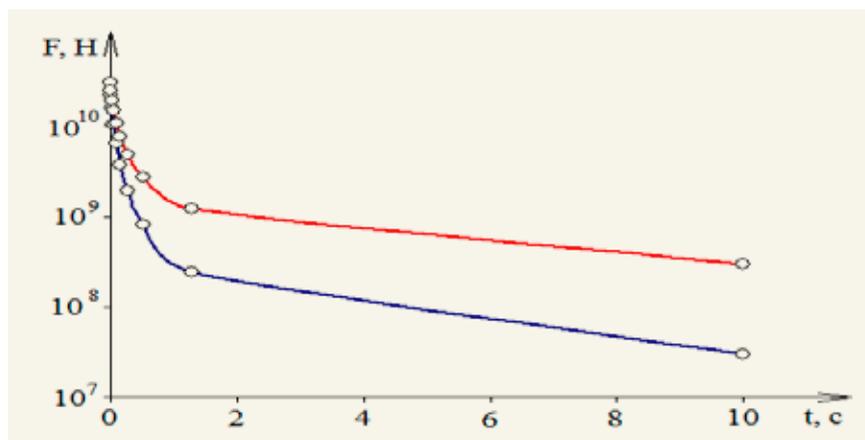


Рис. 2. Зависимость силы натяжения нити от времени

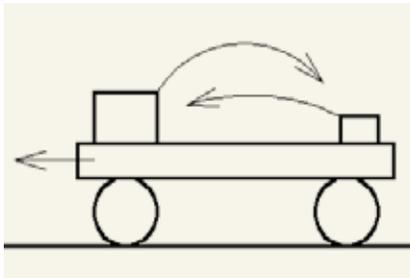


Рис. 3. Тележка с грузом

направляющейся вниз, больше массы той же молекулы при ее движении вверх. Следовательно, когда включается насос, система начинает двигаться вверх со скоростью, пропорциональной расходу жидкости, проходящей через него. Энергия на ее разгон поступает с направления, перпендикулярного направлению движения жидкости. Вертикальные участки трубопровода не передают энергии снизу вверх, поскольку гипотетические деформации, вызванные силой Кориолиса, являются статическими.

Система, изображенная на рис. 4 справа, представляет собой вторичную обмотку трансформатора с индуктором в центре. Вместо обмотки нарисован один виток, часть которого заменена на вакуумную разрядную трубку. Получается, что электроны в одну сторону движутся по проводнику с классической скоростью, а в дру-

гую, в вакууме, с релятивистской. Подвод и отвод энергии в систему осуществляется за счет изменяющегося магнитного поля в индукторе. Обмотка может быть выполнена как из проводника, так и из сверхпроводника. Энергия для разгона электронов подводится магнитным полем, которое перпендикулярно движению электронов. Поэтому данная энергия не может влиять на импульс системы.

Для ускорения электронов до релятивистской скорости достаточно всего лишь подать на электроды напряжение ~ 1 МВ. Необходимо, чтобы последние находились в достаточно сильном вакууме [7], где длина свободного пробега молекулы существенно больше расстояния между электродами. Обеспечить обратное движение электронов с классической скоростью – тоже осуществимая задача. Известно, что скорость направленного движения электронов в проводниках составляет $\sim 0,1$ мм/с [8], в сверхпроводниках $\sim 10^5$ м/с [9], что намного меньше скорости света. Существуют линейные ускорители [6], позволяющие рекуперировать кинетическую энергию движения электронов при их торможении, превращая ее в электрическую. Это говорит о том, что замедлить электроны

путем рекуперации можно даже при релятивистских скоростях.

Важно отметить, что в обеих системах, изображенных на рис. 4, энергия передается перпендикулярно движению ее носителей. Чтобы наглядно понять, почему это важно, рассмотрим три гипотетические системы на рис. 5.

На рис. 5 сверху изображена система, состоящая из гидронасоса (слева) и гидромотора (справа), которые соединены прямым и обратным гидравлическими патрубками. В первом (нижнем) гидравлическая жидкость течет под давлением от гидронасоса к гидромотору, передавая последнему энергию, во втором движется без давления (расширительный бачок не нарисован). Предположим, что жидкость упруго сжимаема. Тогда получается, что один моль гидравлической жидкости в нижнем канале имеет большую массу, чем один моль той же жидкости в верхнем (обратном) канале. Это обусловлено тем, что сжатая жидкость обладает дополнительной потенциальной энергией, которая может быть превращена в работу при расширении жидкости. Следовательно, массовый расход жидкости слева направо больше, чем справа налево, поскольку молярные расходы одинаковы. Это означает, что, передавая энергию слева направо, мы непременно передаем туда и массу.

На рис. 5 по центру изображена гипотетическая система, в которой энергия передается тоже слева направо, но посредством вала. Он деформируемый, однако его части не движутся в заданном направлении – они просто вращаются вокруг своей оси. Поэтому,

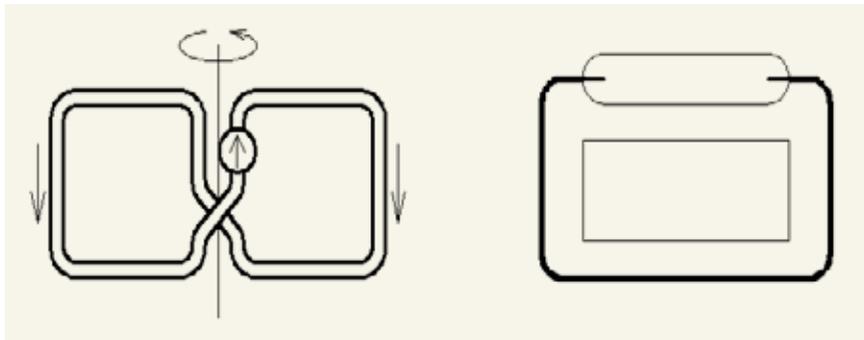


Рис. 4. Релятивистские самодвижущие системы

по-видимому, мы передаем энергию, не передавая массы.

На рис. 5 снизу изображена гипотетическая система, в которой энергия распространяется слева направо посредством троса и блоков. Поскольку трос растяжимый, то масса передается справа налево.

Наконец, можно представить гипотетическую систему, в которой слева мы заряжаем конденсаторы, перемещаем их вправо, затем разряжаем их справа и относим влево для последующей зарядки. В данном случае мы переносим энергию слева направо, перенося при этом и массу. Причем она точно равна сообщаемой при этом энергии по формуле $E=mc^2$.

Даже если представить, что в системе с валом масса все-таки передается вместе с энергией каким-либо непонятным способом, то, при передаче энергии в прямом направлении тросом, а в обратном гидравликой получается постоянное смещение центра масс системы.

Заключение

Из проведенного теоретического анализа систем, внутри которых происходят релятивистские процессы, следует вывод о возможности самодвижения. Если внутри системы попеременно двигать тело в прямом направлении с релятивистской скоростью, а в обратном – с классической, то такая система сможет сама изменять свое положение в пространстве. При этом важно, чтобы энергия на разгон тела до релятивистской скорости поступала перпендикулярно направлению движения тела. Самодвижение системы теоретически возможно, если переда-

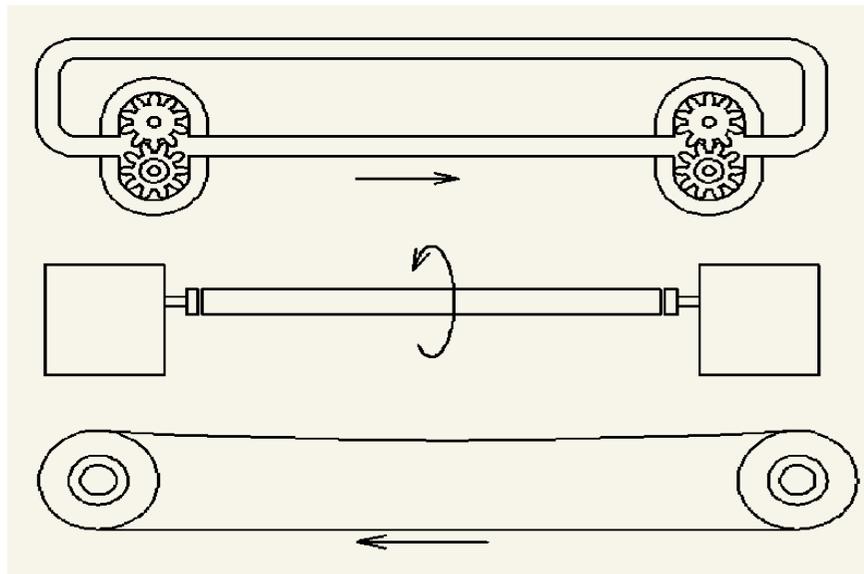


Рис. 5. Передача энергии из одной точки пространства в другую различными способами

вать энергию с одного края системы в другой и обратно различными способами. Если же внутри системы брать энергию на разгон тела с покоящегося источника, а при торможении тела рекуперировать ее внутрь этого тела, то система получит дополнительный импульс, который будет сохраняться после прекращения всех процессов внутри нее.

Хотя полученные выводы достаточно спорны, поскольку сделаны на основании слабо проверенной теории, игнорировать их не стоит. Это связано с тем, что, несмотря на свою противоречивость, специальная

теория относительности является общепринятой в современной науке и хорошо согласуется со многими экспериментами.

Важно также понимать потенциальную пользу от реализации самодвижения. С его помощью можно сделать существенный прорыв в космонавтике, удешевив в десятки или сотни раз космические полеты, без труда защитить Землю даже от очень крупных опасных астероидов, добывать ресурсы из удаленных космических тел и хоронить радиоактивные и токсичные отходы на них. В связи с этим вопрос о самодвижении должен оставаться открытым. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ландау Л.Д. Теоретическая физика. Механика. Том 1 / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М., 2007.
2. Chang Y. Special relativity and its experimental foundation / Y. Chang. – Singapore, 1997.
3. Straumann N. General Relativity / N. Straumann. – Zurich, 2012.
4. Hayashi K. New General Relativity / K. Hayashi, T. Shirafugi // Physical Review. 1979. Vol. 19, №12. P. 3524–3553.
5. Smarandache F. New Relativistic Paradoxes and Open Questions / F. Smarandache. – Baletistity, 1983.
6. Humpries S. Principles of Charged Particle Accelerators / S. Humpries. – New Mexico, 1999.
7. Raizer Y.P. Gas Discharge Physics / Y.P. Raizer. – Berlin, 1991.
8. Jackson J.D. Classical Electrodynamics / J.D. Jackson. – New Jersey, 1999.
9. Bennemann K.H. The Physics of Superconductors / K.H. Bennemann, J.B. Ketterson. – Berlin: Springer, 2003.