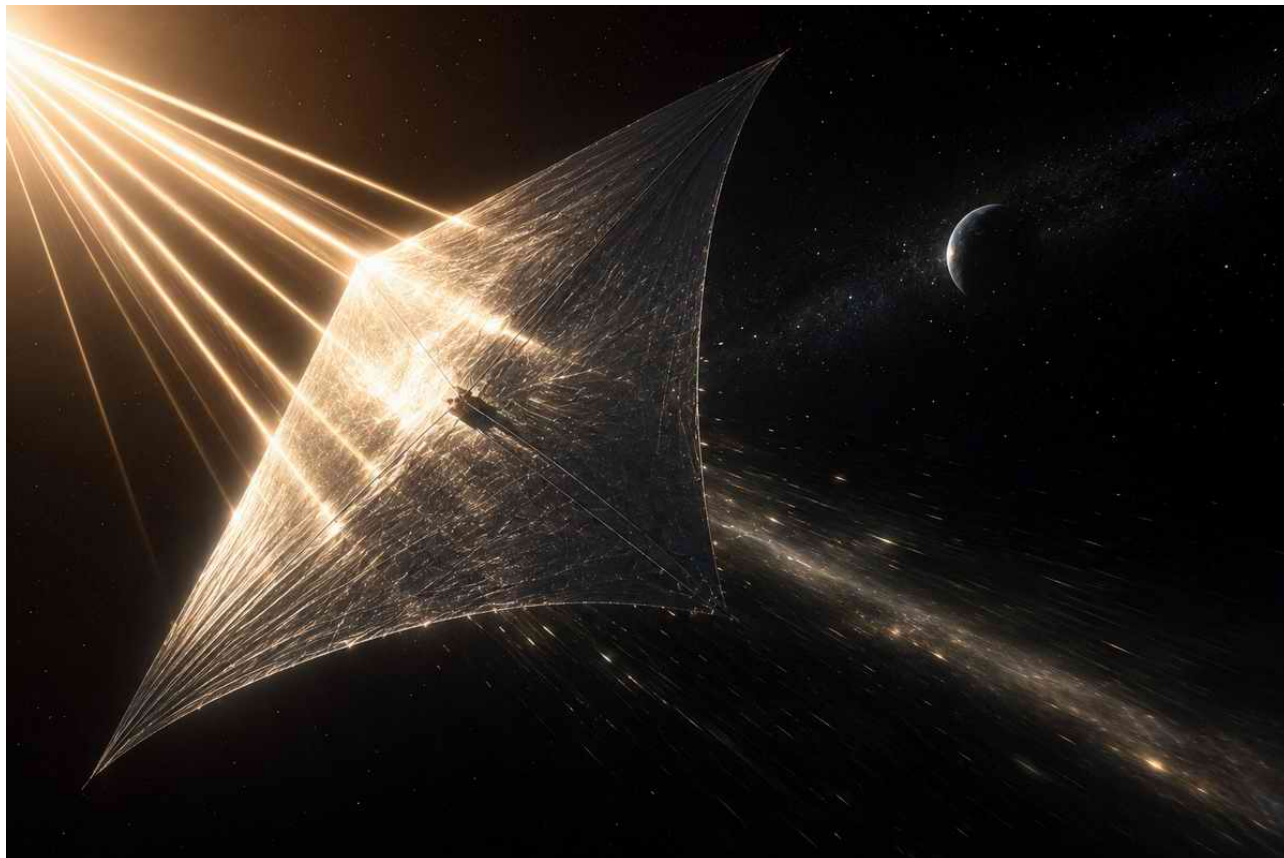


Неожиданное препятствие на пути к звездам: физики обнаружили новый эффект, замедляющий световые паруса



Дата публикации: 15.06.2026

Межзвездные путешествия остаются одной из самых амбициозных целей современной космонавтики. Однако расстояния между звездами настолько огромны, что традиционные химические ракеты оказываются практически бесполезными для подобных задач. Даже самые быстрые космические аппараты, созданные человечеством, потратили бы десятки тысяч лет на путешествие к ближайшим звездным системам. Именно поэтому ученые активно ищут альтернативные способы разгона космических аппаратов до скоростей, составляющих значительную долю скорости света.

Одной из наиболее перспективных технологий считаются световые паруса. В отличие от обычных двигателей, они не несут запас топлива на борту. Вместо этого движение обеспечивается за счет давления света. Фотоны, несмотря на отсутствие массы покоя, обладают импульсом и способны передавать его поверхности, на которую падают. Если создать достаточно большой и легкий парус и направить на него мощный лазерный луч, аппарат сможет непрерывно

ускоряться в течение длительного времени.

Именно на этой идее основаны многие проекты межзвездных миссий будущего, включая концепции миниатюрных зондов, способных достичь соседних звездных систем всего за несколько десятилетий. Однако новое исследование китайских ученых показывает, что даже такой, казалось бы, идеальный способ движения скрывает серьезные физические ограничения.

В своей работе исследователи из Харбинского технологического института проанализировали поведение светового паруса при скоростях, близких к скорости света. Их расчеты показали, что по мере ускорения аппарата сам свет постепенно начинает создавать эффект, напоминающий сопротивление движению.

На первый взгляд это кажется парадоксальным. Ведь именно свет разгоняет парус вперед. Однако в релятивистском режиме начинают проявляться эффекты специальной теории относительности, которые меняют характер взаимодействия между фотонами и движущимся аппаратом.

Авторы исследования выделили три основных механизма передачи импульса от света к парусу. Первый связан с прямым попаданием фотонов на поверхность. Второй возникает при зеркальном отражении света, когда фотоны отскакивают от паруса и передают ему дополнительный импульс. Третий механизм связан с диффузным рассеянием — частью света, которая поглощается материалом, а затем переизлучается в различных направлениях.

При небольших скоростях все три процесса работают на ускорение аппарата. Но по мере роста скорости начинают действовать эффекты Доплера. Для быстро удаляющегося паруса частота падающего света постепенно уменьшается. Энергия фотонов становится ниже, а вместе с ней снижается и создаваемая ими тяга.

Этот эффект известен астрономам уже давно, однако новое исследование показывает, что на очень высоких скоростях возникает дополнительная проблема. Когда скорость аппарата достигает примерно 75 процентов скорости света, начинает доминировать явление релятивистской абберации света.

В обычных условиях направление распространения света воспринимается одинаково всеми наблюдателями. Но при движении с околосветовыми скоростями картина меняется. Световые лучи визуально смещаются в направлении движения объекта. В результате даже хаотично переизлученные фотоны начинают преимущественно направляться вперед относительно паруса.

С точки зрения механики это означает возникновение обратной реакции.

Если фотоны излучаются преимущественно вперед, аппарат получает импульс в противоположном направлении. Таким образом, диффузное рассеяние начинает работать не как источник тяги, а как своеобразный тормозящий фактор.

Хотя общая сила от лазерного луча остается положительной и парус продолжает ускоряться, эффективность разгона заметно снижается. Особенно важно учитывать этот эффект при проектировании миссий, рассчитанных на достижение скоростей в десятки процентов от скорости света.

Исследование также подчеркивает, насколько сложной становится физика движения на релятивистских скоростях. В привычной инженерной практике многие процессы можно считать независимыми друг от друга, однако в околосветовом режиме начинают взаимодействовать механика, электродинамика, квантовая физика и теория относительности.

Авторы отмечают, что их работа рассматривает лишь радиационные эффекты взаимодействия света с парусом. В реальном межзвездном полете появятся и другие источники потерь энергии. Среди них столкновения с межзвездным газом, воздействие микроскопических частиц пыли, космическое излучение, нагрев материала под действием мощных лазеров и возможные деформации конструкции.

Отдельный интерес представляет вопрос материаловедения. В исследовании световой парус рассматривался как идеальное зеркало, однако реальные конструкции будут значительно сложнее. Сегодня инженеры изучают метаматериалы и фотонные кристаллы, способные управлять распространением света на микро- и наноуровне. Такие материалы могут не только повысить эффективность отражения лазерного излучения, но и использовать релятивистские эффекты для автоматической стабилизации положения паруса внутри луча.

Некоторые специалисты предполагают, что будущие световые паруса смогут самостоятельно корректировать свое положение без двигателей ориентации, используя исключительно взаимодействие со светом. Это позволит уменьшить массу аппарата и повысить надежность межзвездных миссий.

Несмотря на выявленные ограничения, световые паруса по-прежнему остаются одной из самых реалистичных технологий для первых межзвездных экспедиций. Современная физика не знает других методов разгона небольших космических аппаратов до скоростей в десятки процентов от скорости света без необходимости перевозить огромное количество топлива.

Новая работа не ставит под сомнение перспективность световых парусов, а наоборот, помогает лучше понять реальные условия их эксплуатации. Чем

точнее ученые смогут описать все силы, действующие на аппарат в межзвездном пространстве, тем надежнее будут будущие проекты полетов к другим звездам.

Каждое подобное исследование приближает момент, когда человечество сможет отправить первый искусственный объект за пределы Солнечной системы не просто для исследования окраин межзвездного пространства, а с конкретной целью достичь другой звезды. И для реализации такой задачи потребуются учитывать даже самые неожиданные физические эффекты, включая случаи, когда главным препятствием для движения становится сам свет, который изначально должен был обеспечить полет.

Ссылка: «Релятивистская динамика движения с помощью светового паруса»
[DOI: 10.48550/arxiv.2606.04052](https://doi.org/10.48550/arxiv.2606.04052).