

Космические аппараты смогут тормозить магнитным полем и легче переживать возвращение на Землю



Дата публикации: 31.08.2026

Возвращение из космоса остается одним из наиболее суровых этапов любого полета. Аппарат врывается в атмосферу на скорости в несколько километров в секунду, перед ним формируется мощная ударная волна, а окружающий газ нагревается до нескольких тысяч градусов. Воздух частично ионизируется и превращается в плазму. Теперь японские исследователи испытывают необычный способ защиты: вместо того чтобы только выдерживать этот жар, космический аппарат может попытаться оттолкнуть раскаленный слой от своей поверхности с помощью магнитного поля.

Сегодня проблему решают прежде всего теплозащитными материалами. Одни способны выдерживать высокую температуру, другие постепенно разрушаются, унося тепло вместе с испаряющимся веществом. Такая защита доказала надежность, однако имеет цену: теплозащитный экран добавляет массу, подвергается износу и после полета требует проверки, ремонта или замены. Для многоразовых космических аппаратов обслуживание теплозащиты

становится особенно важным фактором стоимости.

Альтернативой может стать магнитогидродинамическое, или МГД, аэродинамическое торможение. Идея основана на том, что электрически заряженные частицы плазмы реагируют на магнитное поле. Если создать достаточно сильное поле возле корпуса летящего аппарата, можно воздействовать на раскаленный ионизированный газ перед ним. Ударный слой расширяется и отодвигается дальше от поверхности, благодаря чему потенциально уменьшается тепловая нагрузка.

Есть и второй эффект, который делает технологию особенно привлекательной. Изменяя движение плазмы, магнитное поле способно увеличивать аэродинамическое сопротивление. Получается своеобразный невидимый тормоз: аппарат теряет скорость интенсивнее, при этом для создания дополнительного сопротивления не требуется выпускать механические поверхности непосредственно в раскаленный гиперзвуковой поток.

Сама концепция известна давно, но экспериментировать с ней непросто. В небольшие испытательные модели обычно помещали постоянные магниты. Это позволяет увидеть эффект, однако инженерам трудно менять напряженность и геометрию поля. Для исследования технологии необходим инструмент, позволяющий буквально настраивать магнитное окружение аппарата и проверять разные режимы в одинаковых условиях.

Команда Токийского столичного университета под руководством Кохей Шимамуры разработала такую экспериментальную платформу. Внутри миниатюрной модели вместо постоянного магнита разместили мощный электромагнит из специально подобранных катушек. Система формирования импульсов на короткое время пропускает через них сильный ток, создавая интенсивное магнитное поле именно тогда, когда оно необходимо.

Время здесь измеряется микросекундами. Модель помещают в гиперзвуковую расширительную трубу, где на нее воздействует ударная волна, распространяющаяся со скоростью более семи километров в секунду. Это примерно 25 тысяч километров в час. Эксперимент длится лишь десятки микросекунд, поэтому включение электромагнита необходимо синхронизировать с приходом волны чрезвычайно точно.

Исследователи решили и эту задачу. Система отслеживает момент появления ударной волны и включает магнитное поле на требуемый промежуток времени. Одновременно высокоскоростная камера регистрирует свечение нагретого газа перед моделью. Таким образом можно увидеть, как меняется структура ударного слоя при включении электромагнита.

Для экспериментов изготовили две модели с различной геометрией и соответствующими конфигурациями катушек. Полученные магнитные поля достигали 1,24 и 1,58 тесла. Последнее значение более чем вдвое превышает поле обычных неодимовых магнитов, использовавшихся в подобных экспериментах. Возможность управлять столь мощным полем и кратковременно включать его в нужный момент значительно расширяет диапазон лабораторных испытаний.

Самое наглядное изменение исследователи увидели перед поверхностью модели. При включении магнитного поля светящийся ударный слой становился более чем на 15% толще. Это важное наблюдение: расширение слоя соответствует физической картине, согласно которой магнитное воздействие изменяет движение ионизированного газа и отодвигает наиболее горячую область от корпуса.

Однако до космического корабля с магнитным щитом еще далеко. Лабораторная модель подтверждает возможность изучать эффект при реалистичных гиперзвуковых скоростях, но полноценной системе придется работать значительно дольше, выдерживать огромные тепловые и механические нагрузки и иметь мощный источник энергии. Электромагниты, проводники и оборудование тоже имеют массу, поэтому выигрыш необходимо сравнивать с весом традиционной теплозащиты.

Вероятнее всего, магнитное торможение первоначально будет рассматриваться не как полная замена теплозащитного экрана, а как его дополнение. Если магнитное поле сможет уменьшить максимальный тепловой поток и одновременно усилить торможение, защитный слой потенциально можно сделать легче или долговечнее. Особенно ценной такая возможность становится для многоразовых аппаратов, где снижение износа между полетами напрямую влияет на стоимость эксплуатации.

Новая установка важна именно как инструмент для ответа на эти вопросы. Теперь инженеры могут менять силу и конфигурацию магнитного поля и наблюдать, как ведет себя плазма при гиперзвуковом обтекании модели. Если дальнейшие эксперименты подтвердят эффективность метода уже в масштабах, близких к реальным аппаратам, у будущих кораблей может появиться необычный дополнительный элемент теплозащиты — невидимый магнитный барьер между корпусом и раскаленной атмосферой.

Ссылка: «Квазистационарное магнитное поле, генерируемое импульсной сетью для магнитогидродинамического аэроторможения» DOI:

10.2514/1.a36635.