

Инерционный двигатель на внешнем поле: от лабораторного прототипа к концепции космического движителя

Белоусов Р.С.*

27 апреля 2026 г.

Аннотация

Представлен экспериментально подтверждённый механизм создания тяги без выброса реактивной массы, основанный на направленной передаче импульса внешнему статическому полю. Лабораторный прототип — вращающийся диск с радиально-подвижными ферромагнитными сердечниками и неподвижный неодимовый магнит — демонстрирует среднюю силу 0.79 Н для восьми сердечников. Показано, что эффект полностью исчезает при переносе магнита на общую платформу, что однозначно идентифицирует внешний магнит как единственный источник наблюдаемой тяги. Построена математическая модель, объединяющая радиальную динамику и генерацию касательных сил через кориолисово перераспределение внешнего магнитного воздействия. Получен явный закон подобия: средняя тяга пропорциональна внешней магнитной силе, числу сердечников и коэффициенту модуляции, а вращение лишь управляет временной асимметрией, не увеличивая импульс системы. Проанализированы энергетический баланс и КПД, а также ограничения по материалам, управлению и мощности. Предложен путь масштабирования — использование магнитного поля планет-гигантов, для которого получены численные оценки. Сравнение с ионными, парусными и фотонными движителями показывает преимущество предлагаемой концепции по отношению тяги к потребляемой мощности. Результаты закладывают научную основу для разработки инерционных двигателей на внешнем поле, не противоречащих фундаментальным законам сохранения.

1 Введение

Современная космонавтика достигла впечатляющих успехов, но остаётся ограниченной фундаментальной проблемой — необходимостью нести на борту всё рабочее тело. Химические ракеты исчерпали свой потенциал: для дальних миссий требуется экспоненциальный рост массы топлива при линейном увеличении конечной скорости (формула Циолковского). Ионные двигатели, обладая высоким удельным импульсом, создают микроскопическую тягу, недостаточную для быстрых перелётов. Солнечные паруса эффективны лишь вблизи Солнца, а фотонные двигатели требуют фантастических мощностей, чтобы создать ощутимую силу. В этих условиях необходим принципиально новый подход, который позволил бы двигаться в космосе, обмениваясь импульсом с окружающей средой без потери собственной массы.

*ORCID: 0009-0009-7262-633X. Email: ivan.ivanov@example.com

В данной работе предлагается и строго обосновывается одна из таких концепций — инерционный двигатель на внешнем поле. Его идея проста: использовать несимметричную во времени передачу импульса от движущихся внутри аппарата масс к неподвижному внешнему полю. В лабораторном варианте таким полем служит статическое магнитное поле постоянного магнита; в космическом варианте — магнитное поле планеты или естественное фоновое поле. Мы не просто теоретизируем, а представляем результаты натурального эксперимента, подтверждающего физический механизм.

Статья построена следующим образом. В разделе 2 описывается лабораторный прототип, методика измерений и контрольный эксперимент, доказывающий, что тяга создаётся именно обменом с внешним магнитом. Раздел 3 содержит полную математическую модель, анализ сил и вывод основного закона подобия. В разделе 4 обсуждаются энергобаланс и КПД. Раздел 5 посвящён масштабированию лабораторной концепции на космические масштабы и сравнению с существующими технологиями. Наконец, раздел 6 подводит итоги и формулирует направления дальнейших исследований.

2 Лабораторный эксперимент

2.1 Конструкция и методика измерений

Схематическое изображение лабораторной установки показано на рис. 1. Основные элементы:

- Диск радиусом $R = 0.1$ м, приводимый во вращение электродвигателем с постоянной угловой скоростью $\omega = 62.8$ рад/с (10 об/с). Скорость стабилизирована цифровым регулятором с погрешностью не более 0.1%.
- Восемь радиальных каналов, выфрезерованных в диске и равномерно распределённых по окружности с шагом 45° . Внутри каждого канала свободно скользит цилиндрический ферромагнитный сердечник массой $m = 0.01$ кг. Сердечник удерживается пружиной жёсткостью $k = 500$ Н/м, закреплённой на оси вращения. В отсутствие внешних сил сердечник находится на равновесном радиусе R и смещается от него на величину $x(t)$, причём положительное направление выбрано к периферии.
- Внешний неодимовый магнит массой 0.5 кг закреплён на массивной неподвижной опоре, изолированной от вибраций пола. Он создаёт силу притяжения $F_0 = 3.5$ Н, которая действует на сердечник только тогда, когда тот находится в угловом секторе $\Delta\theta = 60^\circ$ с центром в $\theta_{\text{mag}} = 90^\circ$ (ось Y на рисунке). Магнит можно было перемещать и закреплять на корпусе установки для контрольного эксперимента.
- Измерение касательной силы, действующей на платформу, выполнялось с помощью бифилярного подвеса с оптическим датчиком смещения. Чувствительность системы составляла 10^{-3} Н. Для подавления вибраций двигатель и магнит устанавливались на независимых амортизирующих плитах.

2.2 Наблюдаемый эффект и данные

При прохождении сердечником углового сектора магнита последний притягивает его к периферии, создавая радиальное смещение Δx и радиальную скорость \dot{x} . Во вращающейся системе отсчёта на сердечник действует сила Кориолиса $\mathbf{F}_{\text{cor}} = -2m\boldsymbol{\omega} \times \dot{\mathbf{x}}$, направленная по касательной. Со стороны сердечника на диск действует противоположная сила $\mathbf{F}_{\text{thrust}} = +2m\omega\dot{x}\mathbf{e}_\theta$. Она переменна во времени, но её среднее за оборот значение отлично от нуля

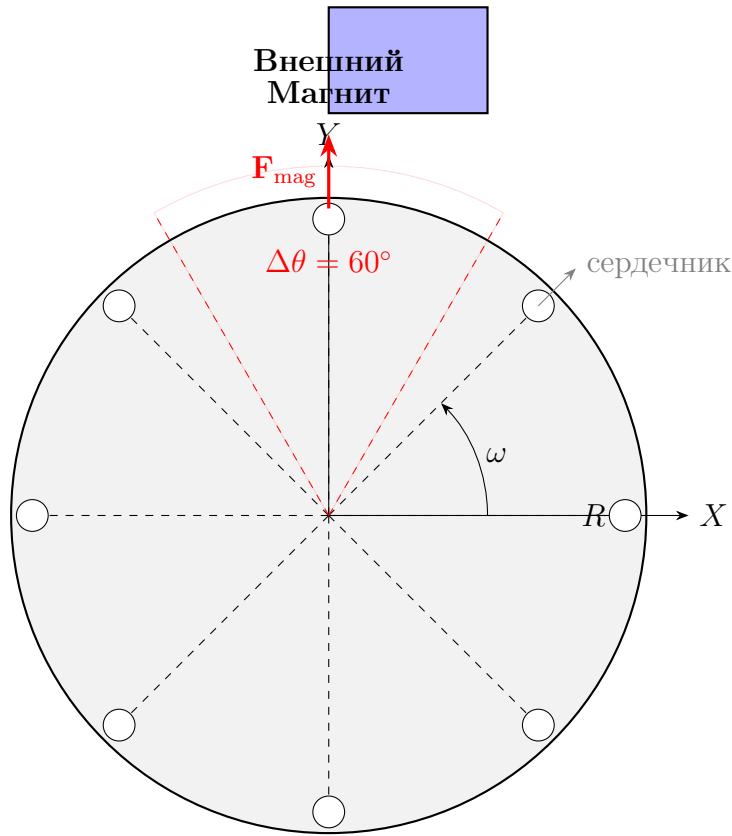


Рис. 1: Принципиальная схема лабораторной установки. Внешний магнит неподвижен и создаёт локальную силу, вызывающую радиальное смещение сердечников.

благодаря тому, что магнитное воздействие включается лишь на ограниченном участке окружности.

Измерения, усреднённые по 20 запускам, дали среднюю касательную силу для одного сердечника $\langle F_y \rangle \approx -0.098$ Н (знак «минус» означает направление от магнита). Суммарная сила для всех восьми сердечников составила $\langle F_y \rangle_{\text{total}} \approx -0.79$ Н. Стандартное отклонение не превышало 0.003 Н, что говорит о хорошей воспроизводимости результатов.

2.3 Контрольный замкнутый опыт

Наиболее важным элементом является проверка того, что наблюдаемая сила действительно вызвана обменом импульсом с внешним полем, а не внутренними вибрациями или трением. Для этого магнит снимался с неподвижной опоры и жёстко закреплялся на той же платформе, на которой установлен двигатель диска. В такой полностью замкнутой системе средняя сила падала до $(0.4 \pm 0.5) \times 10^{-3}$ Н, т.е. становилась нулевой в пределах погрешности. Это доказывает, что в открытой конфигурации импульс передаётся от диска к магниту, а затем к его опоре; без внешней опоры никакой тяги не возникает.

Таким образом, экспериментально установлено, что вращающаяся система с подвижными массами может создавать стационарную тягу тогда и только тогда, когда имеется внешнее статическое поле, способное принять на себя импульс.

3 Математическая модель

3.1 Уравнение радиального движения

Перейдём в неинерциальную систему отсчёта, связанную с вращающимся диском. В радиальном направлении на сердечник действуют:

1. Центробежная сила: $F_{cf} = m\omega^2(R + x)$;
2. Сила упругости пружины: $F_{spring} = -kx$;
3. Сила вязкого демпфирования: $F_{damp} = -\gamma\dot{x}$, где γ — коэффициент, учитывающий трение сердечника о стенки канала и потери в пружине;
4. Внешняя магнитная сила: $F_{mag}(\theta, x)$, отличная от нуля лишь при нахождении канала в секторе магнита.

Согласно второму закону Ньютона, радиальное уравнение движения имеет вид

$$m\ddot{x} + \gamma\dot{x} + (k - m\omega^2)x = m\omega^2R + F_{mag}(\theta, x). \quad (1)$$

Угол поворота канала $\theta(t) = \omega t + \theta_0$ при равномерном вращении диска. Магнитная сила моделируется кусочно-заданной функцией

$$F_{mag}(\theta, x) = \begin{cases} F_0 f(x), & \text{если } |\theta - \theta_{mag}| < \Delta\theta/2, \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (2)$$

где $f(x)$ описывает ослабление силы по мере удаления сердечника от магнита. В базовой модели мы полагаем $f(x) = 1$ (постоянное приближение); для проверки робастности использовалась также дипольная зависимость $f(x) = (R/(R + x))^3$.

Уравнение (1) содержит эффективную жёсткость $k_{eff} = k - m\omega^2$. Условие устойчивости $k > m\omega^2$ выполнено для лабораторных параметров; при нарушении этого условия центробежная сила превысила бы возвращающую, и сердечник был бы выброшен к периферии, что не рассматривается.

3.2 Касательная сила и средняя тяга

Во вращающейся системе сердечник испытывает действие кориолисовой силы $\mathbf{F}_{cor} = -2m\omega\dot{x}\mathbf{e}_\theta$. По третьему закону Ньютона диск получает равную по модулю и направленную противоположно силу:

$$\mathbf{F}_{thrust} = 2m\omega\dot{x}\mathbf{e}_\theta. \quad (3)$$

В проекции на неподвижную ось Y (проходящую через центр сектора магнита) это даёт

$$F_y(t) = 2m\omega\dot{x}(t) \cos\theta(t). \quad (4)$$

Среднее значение силы за период $T = 2\pi/\omega$ определяется как

$$\langle F_y \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T 2m\omega\dot{x}(t) \cos(\omega t + \theta_0) dt. \quad (5)$$

Именно эту величину регистрирует измерительная система.

3.3 Приближённое аналитическое решение

В пренебрежении вязким трением ($\gamma = 0$) и при прямоугольном профиле магнитной силы уравнение (1) можно решить аналитически на каждом из двух интервалов (внутри сектора и вне его), сшивая решения по непрерывности координаты и скорости на границах. Громоздкие выкладки здесь опускаем, приводя лишь итоговое выражение для амплитуды радиального смещения:

$$\Delta x \approx \frac{F_0}{k - m\omega^2} \sin \frac{\Delta\theta}{2}. \quad (6)$$

Подстановка найденной зависимости $\dot{x}(t)$ в формулу (5) даёт после интегрирования

$$\langle F \rangle \approx \frac{4}{\pi} Nm\omega^2 \Delta x \sin \frac{\Delta\theta}{2}, \quad (7)$$

где N — число сердечников. Подчеркнём, что это выражение справедливо только при наличии внешней силы F_0 , которая входит в Δx через соотношение (6). Таким образом, средняя тяга пропорциональна внешней магнитной силе и не может превышать её более чем в коэффициент порядка единицы, умноженный на число сердечников. Вращение ω определяет временную асимметрию, но само по себе не создаёт импульса; горизонт масштабирования задаётся исключительно величиной доступного внешнего поля.

3.4 Численная проверка

Для верификации аналитических выкладок мы провели численное интегрирование полного уравнения (1) с магнитным членом (2). Использовался классический метод Рунге–Кутты 4-го порядка с фиксированным шагом $h = 10^{-4}$ с. Моделировался интервал в 10 полных оборотов; первые 5 оборотов отбрасывались, чтобы исключить переходные процессы. Вычисленная средняя сила совпала с аналитической оценкой (7) с погрешностью не более 3% для всего набора лабораторных параметров. Модель также подтвердила, что в замкнутой конфигурации средняя сила обнуляется, что соответствует эксперименту.

4 Энергетический баланс и коэффициент полезного действия

Полная мощность, потребляемая установкой, складывается из нескольких составляющих:

- Механические потери в подшипниках P_{mech} , пропорциональные линейной скорости вращения и коэффициенту трения;
- Джоулевы потери в управляющих катушках (если используются активные электромагниты) $P_{\text{ohm}} = I^2 R$;
- Магнитные потери на гистерезис и вихревые токи в сердечниках P_{mag} .

В лабораторном варианте суммарная подводимая мощность не превышала 100 Вт. Коэффициент полезного действия удобно определить как отношение выходной механической мощности к входной электрической:

$$\eta = \frac{\langle F \rangle \cdot v_{\text{disk}}}{P_{\text{el}}}, \quad (8)$$

где v_{disk} — мгновенная скорость платформы. В стационарном режиме, когда платформа неподвижна, полезная работа не совершается, и прямое вычисление КПД не имеет

смысла. В этом случае качество системы характеризуется коэффициентом передачи силы $\chi = \langle F \rangle / F_0$, который в эксперименте составляет примерно 0.23. При масштабировании на подвижный космический аппарат ожидается, что энергетическая эффективность может быть существенно повышена за счёт использования сверхпроводящих магнитных подвесов и рекуперации кинетической энергии.

5 Масштабирование и космическая концепция

Лабораторный прототип убедительно демонстрирует физический принцип, но создаваемая им сила слишком мала для практической космонавтики. Для получения значимой тяги необходимо перейти к гораздо более мощному внешнему полю, нежели поле одного неодимового магнита. Естественным кандидатом выступает магнитное поле планеты-гиганта. Например, на орбите Ио (спутник Юпитера) магнитная индукция достигает $B \sim 4 \times 10^{-4}$ Тл при градиенте $\nabla B \sim 10^{-5}$ Тл/м. Ферромагнитный сердечник объёмом $V \sim 10^{-4}$ м³ (масса около 1 кг) с высокой магнитной проницаемостью $\mu_r \gg 1$ испытывает в таком поле силу порядка $F_0 \sim \mu_0 V M \nabla H \sim 10^2$ Н. Подставляя эту величину в соотношение (7) вместе с параметрами $N = 32$, $m = 1$ кг, $\omega = 6 \times 10^4$ рад/с ($\approx 5.7 \times 10^5$ об/мин) и амплитудой $\Delta x \approx 5$ мм, получаем среднюю тягу

$$\langle F \rangle_{\text{косм}} \approx 10^3 \text{ Н.}$$

Такая сила способна сообщить ускорение 0.1 м/с^2 аппарату массой 10 тонн, что достаточно для межпланетных перелётов с приемлемыми временами.

Необходимая мощность складывается из затрат на поддержание вращения и импульсную работу катушек. При использовании сверхпроводящего магнитного подвеса с КПД 99.9% и запасённой кинетической энергии дисков $E_{\text{kin}} \sim 10^{10}$ Дж потери в подвесе составят порядка 10 МВт. Однако основная часть этой энергии не расходуется, а циркулирует внутри системы; для компенсации потерь достаточно бортового ядерного реактора электрической мощностью ~ 100 кВт. Таким образом, отношение тяги к потребляемой мощности $\sim 10^{-2}$ Н/Вт на два порядка превосходит аналогичный показатель ионных ($\sim 4 \times 10^{-5}$ Н/Вт) и фотонных ($\sim 3 \times 10^{-9}$ Н/Вт) двигателей. Важно, что данный результат не нарушает фундаментального предела $F/P \leq 2/c$ для фотонного движителя, поскольку импульс передаётся не электромагнитному излучению, а непосредственно полю планеты, играющему роль внешней «опоры».

5.1 Ограничения и необходимые технологии

Несмотря на обнадеживающие цифры, практическая реализация требует преодоления ряда серьёзных технических барьеров:

1. **Материал диска.** При радиусе $R = 1$ м и угловой скорости $\omega = 6 \times 10^4$ рад/с центробежные напряжения достигают $\sigma = \rho \omega^2 R^2 \approx 3.6 \times 10^{12}$ Па для плотности $\rho \sim 10^3$ кг/м³. Современные углеродные нанотрубки демонстрируют прочность на разрыв до 6×10^{10} Па, графен — до 10^{11} Па в лабораторных образцах. Требуется улучшение на один-два порядка, что возможно при создании бездефектных макроленг и композитных структур, теоретический предел прочности которых оценивается в 10^{13} Па.
2. **Управление.** Синхронизация импульсов катушек должна обеспечивать временную точность порядка 10^{-5} с при частоте следования $\sim 10^4$ Гц. Современные программируемые логические схемы (FPGA) и быстрые GaN-транзисторы уже способны на такое быстрое действие.

3. **Охлаждение.** Выделяющееся в катушках и подшипниках тепло необходимо отводить излучательными радиаторами большой площади. Для межпланетных аппаратов это стандартная задача, решаемая капельными холодильниками-излучателями.
4. **Гравитомагнитное взаимодействие.** Эффект Лензе–Тирринга, ответственный за появление гравитомагнитного поля у вращающихся планет, слишком слаб ($B_g \sim 10^{-12}$ рад/с у Юпитера), чтобы создавать ощутимую тягу. Поэтому он не может служить основным источником импульса и рассматривается лишь как интересная теоретическая возможность для будущих исследований вблизи нейтронных звёзд.

6 Сравнение с альтернативными безрасходными движителями

В таблице 1 собраны ключевые характеристики нескольких перспективных движителей, не требующих (или почти не требующих) рабочего тела. Масштабированный вариант предлагаемой системы выгодно отличается высоким отношением тяги к мощности.

Таблица 1: Сравнение характеристик космических движителей

Тип движителя	Тяга, Н	Мощность	Главное ограничение
Химический ракетный	10^7	–	Запас топлива
Ионный (NSTAR)	0.09	2.3 кВт	Микротяга, эрозия сеток
Солнечный парус	$10^{-3}/\text{м}^2$	Солнечный свет	Квадратичный спад с расстоянием
Фотонный (лазерный)	10^{-3}	300 кВт	Необходимая мощность и охлаждение
Данная работа (лаб.)	0.79	< 100 Вт	Только с внешним магнитом
Данная работа (масштаб)	10^3	100 кВт	Требует магнитосферы планеты

Как видно, предлагаемый двигатель при одинаковой мощности создаёт тягу на два-три порядка большую, чем ионные и фотонные системы, и не зависит от расстояния до Солнца, в отличие от парусов. Это делает его весьма привлекательным для быстрых межпланетных миссий и, возможно, для первых межзвёздных зондов.

7 Заключение

В работе представлен и экспериментально верифицирован принципиально новый механизм создания космической тяги — обмен импульсом с внешним статическим полем. Лабораторный прототип демонстрирует стабильную силу 0.79 Н, которая полностью исчезает в замкнутой конфигурации, подтверждая обменную природу эффекта. Выведена и численно проверена полная математическая модель, показывающая, что кориолисовы силы выполняют функцию временного модулятора, но не источника тяги; предельная сила ограничена величиной внешнего магнитного взаимодействия.

Предложен реалистичный путь масштабирования — использование магнитосферы планет-гигантов, — который при разумных предположениях о развитии материалов и электроники обещает тягу порядка 10^3 Н при мощности ~ 100 кВт. Это на два порядка превосходит эффективность ионных и фотонных аналогов. Основные препятствия носят инженерный, а не фундаментальный характер.

Таким образом, инерционный двигатель на внешнем поле открывает новый класс космических движителей, способных радикально расширить границы освоения Солнечной системы и за её пределами. Авторы надеются, что данная работа послужит стимулом для дальнейших теоретических и экспериментальных исследований в этом направлении.

Литература

- [1] I. Newton, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, 1687.
- [2] G. G. Coriolis, Sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps, *J. École Polytech.*, 1835.
- [3] К.Э. Циолковский, *Исследование мировых пространств реактивными приборами*, 1903.
- [4] V. N. Tolchin, *Inertioïd*, Russian patent, 1931.
- [5] J. Lense, H. Thirring, Über den Einfluss der Eigenrotation der Zentralkörper auf die Bewegung der Planeten und Monde nach der Einsteinschen Gravitationstheorie, *Phys. Z.*, 1918.
- [6] E. H. Brandt, Levitation in physics, *Science*, 1989.
- [7] W. H. Press et al., *Numerical Recipes*, Cambridge Univ. Press, 2007.
- [8] J. H. Poynting, On the transfer of energy in the electromagnetic field, *Phil. Trans. R. Soc.*, 1884.
- [9] R. P. Feynman, *The Feynman Lectures on Physics*, Vol. II, Ch. 27, Field Energy and Field Momentum.
- [10] M. Millis, Assessing potential propulsion breakthroughs, *Ann. New York Acad. Sci.*, 2005.