

В космос на невесомости

Развязка с гравитационным полем вместо подъёмной силы: кинематические следствия, широтная сигнатура и транспортный предел

Лемешко Андрей Викторович

PhD, доцент кафедры инженерии программного обеспечения и кибербезопасности

Государственный торгово-экономический университет, Киев, Украина

ORCID: 0000-0001-8003-3168

a.lemeshko@knute.edu.ua

Версия 1.0 · сентябрь 2026

Аннотация

Работа посвящена вопросу, который в моделях управляемого гравитационного отклика обычно проскакивают: что физически произойдёт с телом, у которого сцепление с гравитационным полем обращается в нуль. Показано, что распространённая формулировка «тело всплывает» неверна и внутренне противоречива: при коэффициенте отклика $\chi_\tau \rightarrow 0$ ускорение обращается в нуль, а не меняет знак, поэтому предельным состоянием является *развязка* тела с полем, а не подъёмная сила. Соответствующее равновесие нейтрально, а не устойчиво, что предъявляет к аппарату требование активной стабилизации. Основной результат состоит в том, что развязка тем не менее обладает *собственной кинематической подписью*, порождаемой вращением Земли и не содержащей ни одного подгоночного параметра. Развязанное тело обнаруживает одновременно три эффекта с тремя различными зависимостями от широты: вертикальный подъём $\propto \cos^2 \varphi$, горизонтальный дрейф к экватору $\propto \sin 2\varphi$ и кориолисово отклонение к западу, растущее как t^3 . Численно на экваторе подъём составляет 0,0339 м/с², то есть 61 м за минуту. Ни один известный артефакт лабораторного происхождения не воспроизводит три различных широтных закона одновременно, что делает совокупность признаков практически неподделываемой. Даны условия наблюдаемости, оценка мешающих сил и транспортный предел эффекта: снятие условия тяговооружённости повышает долю полезной нагрузки при выведении на орбиту с 6,5 до 77 %, тогда как орбитальная скорость по-прежнему требуется полностью, поскольку инерция не затрагивается.

Ключевые слова: невесомость; развязка с гравитационным полем; темпоральная восприимчивость; вращающаяся система отсчёта; кориолисово ускорение; широтная зависимость; нейтральное равновесие; уравнение Циолковского.

1. Постановка вопроса

В моделях управляемого гравитационного отклика вводится безразмерный коэффициент χ_τ , определяющий силу сцепления тела с внешним градиентом темпа времени, так что ускорение записывается как

$$\mathbf{a} = -\chi_\tau c^2 \nabla \ln \tau, \quad (1)$$

а эффективный вес — как $W_{\text{eff}} = mg\chi_\tau$. В пассивном пределе $\chi_\tau = 1$ и воспроизводится ньютоновская динамика, то есть ньютоновский предел общей теории относительности [1, 3]. Феноменологическое обоснование самой модели и протокол её проверки изложены отдельно [6]. Вопрос о том, при каких условиях χ_τ может отклоняться от единицы, рассматривается отдельно и здесь не обсуждается. Настоящая работа принимает предельный режим $\chi_\tau \rightarrow 0$ как *данное* и исследует единственный вопрос: что при этом физически происходит с телом.

Вопрос кажется тривиальным, но именно на нём в литературе систематически допускается ошибка, и ошибка эта не редакционная, а содержательная: предельное состояние описывают как «всплытие», «вытеснение телом гравитационного поля», «уменьшение темпоральной плотности ниже плотности среды». Все три формулировки предполагают наличие выталкивающей силы, которой в (1) нет.

2. Развязка, а не подъём

2.1. Отсутствие подъёмной силы

Утверждение 1 (Знак эффекта). Пусть тело находится в статическом поле с ускорением $g > 0$, направленным вниз, и обладает откликом $\chi_\tau(t) \geq 0$. Тогда за любой промежуток времени

$$\Delta v = -g \int \chi_\tau(t) dt \leq 0, \quad (2)$$

причём равенство достигается тогда и только тогда, когда $\chi_\tau \equiv 0$.

Доказательство. Непосредственно из $\dot{v} = -g\chi_\tau$ и неотрицательности χ_τ . □

Утверждение 1 исчерпывает вопрос. Модуляция отклика способна лишь уменьшать ускорение свободного падения вплоть до нуля; знак его она не меняет ни при каких значениях параметра. Подъёмной силы не возникает.

Неотрицательность χ_τ не является дополнительным предположением. Если восприимчивость выражается через параметр порядка как $\chi_\tau = 1 - |\Psi_\tau|^2$, то унитарность даёт $|\Psi_\tau|^2 \in [0, 1]$ и, следовательно,

$$0 \leq \chi_\tau \leq 1, \quad (3)$$

так что отрицательные значения — отталкивание, антигравитация — исключены алгебраически. Равновесные отклонения χ_τ от единицы для обычного вещества, помимо этого, жёстко ограничены проверками слабого принципа эквивалентности [4].

2.2. Почему архимедова аналогия неприменима

Метафора поплавка предполагает существование среды, градиент давления которой действует на поверхность тела. Выталкивающая сила Архимеда есть результат интегрирования давления по поверхности и пропорциональна вытесненному объёму. В (1) нет ни давления, ни поверхностного интеграла, ни объёма: ускорение определяется локальным значением градиента и безразмерным коэффициентом отклика, и обращение коэффициента в нуль убирает взаимодействие, а не обращает его.

Корректной остаётся иная аналогия. Радиопрозрачный материал не выталкивается электромагнитным полем; он просто перестаёт с ним взаимодействовать, оставаясь там, где был. Именно это описывает предельный режим.

Принцип 1 (Развязка). Предельным достижимым состоянием является не подъём, а прекращение участия тела в гравитационном движении. Вес исчезает, инерция сохраняется, тело сохраняет то состояние движения, которым обладало в момент развязки.

2.3. Нейтральность равновесия

Второе следствие (1) при $\chi_\tau \rightarrow 0$ имеет прямое инженерное значение и обычно не оговаривается. Равновесие развязанного тела *нейтрально*: возвращающей силы нет, так как нет вообще никакой силы. Зависание вертолётa поддерживается активно — отклонение компенсируется тягой; зависание развязанного тела не поддерживается ничем.

Практически это означает, что любое остаточное воздействие смещает тело безвозвратно. Оценки приведены в разделе 4.2; здесь достаточно сказать, что аппарат в таком состоянии требует отдельной системы пространственной стабилизации, и её массу и энергопотребление следует закладывать в проект наравне с системой, обеспечивающей саму развязку.

3. Кинематика развязанного тела

Существенно, что развязка не означает отсутствия наблюдаемого движения. Земля вращается, и именно гравитационное сцепление удерживает покоящееся на её поверхности тело на окружности. Уберите сцепление — и в инерциальной системе тело продолжит движение по прямой, тогда как точка поверхности под ним будет уходить по дуге.

3.1. Уравнение движения

Во вращающейся системе отсчёта, связанной с поверхностью, уравнение движения тела с откликом χ_τ имеет стандартный вид [2, §39]

$$\mathbf{a}_{\text{отн}} = -\chi_\tau g \hat{\mathbf{u}} + \omega^2 \mathbf{R}_\perp - 2 \omega \times \mathbf{v}_{\text{отн}}, \quad (4)$$

где $\hat{\mathbf{u}}$ — локальная вертикаль, $\mathbf{R}_\perp$ — вектор от оси вращения до тела, $\omega = 7,29212 \times 10^{-5}$ рад/с. При $\chi_\tau \rightarrow 0$ первый член исчезает, и остаются два кинематических, целиком определяемых вращением:

$$\mathbf{a}_{\text{отн}} = \omega^2 \mathbf{R}_\perp - 2 \omega \times \mathbf{v}_{\text{отн}}. \quad (5)$$

Ключевое обстоятельство: в (5) *нет ни одного свободного параметра*. Величины ω и $R_\oplus$ известны с точностью девяти значащих цифр [5], и всё последующее предсказывается однозначно.

3.2. Три сигнатуры

Центробежный член $\omega^2 \mathbf{R}_\perp$ направлен от оси вращения и лежит в плоскости меридиана. Его разложение по локальным осям даёт два независимых эффекта, а кориолисов член — третий.

(1) Вертикальный подъём. Проекция центробежного члена на локальную вертикаль:

$$a_{\text{верт}} = \omega^2 R_{\oplus} \cos^2 \varphi. \quad (6)$$

На экваторе это $0,0339 \text{ м/с}^2$, то есть $0,35\%$ от g ; за 10 с тело поднимается на 1,7 м, за минуту — на 61 м.

(2) Горизонтальный дрейф к экватору. Проекция того же члена на локальную горизонталь направлена в сторону экватора:

$$a_{\text{гор}} = \omega^2 R_{\oplus} \cos \varphi \sin \varphi = \frac{1}{2} \omega^2 R_{\oplus} \sin 2\varphi. \quad (7)$$

Этот эффект обращается в нуль и на экваторе, и на полюсе, а максимума достигает на широте 45° , где составляет $0,0170 \text{ м/с}^2$. Его широтный закон принципиально иной, чем у (6).

(3) Кориолисово отклонение к западу. Поднимающееся тело обладает вертикальной скоростью, и кориолисов член отклоняет его. Для $\mathbf{v} = v\hat{\mathbf{u}}$ получаем $-2\omega \times \mathbf{v} = -2\omega v \cos \varphi \hat{\mathbf{e}}$, то есть отклонение направлено *на запад*. Это противоположно классическому восточному отклонению падающего тела, и по понятной причине: знак вертикальной скорости обратный. Подставляя $v(t) = a_{\text{верт}} t$ и интегрируя дважды,

$$x_{\text{зап}}(t) = \frac{1}{3} \omega a_{\text{верт}} \cos \varphi t^3. \quad (8)$$

Кубическая зависимость от времени отличает этот признак от обоих предыдущих, квадратичных.

3.3. Численные значения

Таблица 1: Кинематическая подпись развязки. Все величины следуют из (6)–(8) без подгонных параметров.

Широта	$a_{\text{верт}}, \text{ м/с}^2$	$a_{\text{гор}}, \text{ м/с}^2$	подъём за 60 с, м	$x_{\text{зап}}$ за 60 с, м
0° (экватор)	0,0339	0	61,0	0,178
15°	0,0316	0,0085	57,0	0,161
30°	0,0254	0,0147	45,8	0,116
45°	0,0170	0,0170	30,5	0,063
$50,45^\circ$ (Киев)	0,0137	0,0167	24,8	0,046
60°	0,0085	0,0147	15,3	0,023
75°	0,0023	0,0085	4,1	0,003
90° (полюс)	0	0	0	0

4. Широтная сигнатура как метрологический инструмент

4.1. Почему совокупность признаков практически неподделываема

Ценность результата не в величине эффекта, а в его структуре. Три признака обладают тремя различными зависимостями от широты:

$$a_{\text{верт}} \propto \cos^2 \varphi, \quad a_{\text{гор}} \propto \sin 2\varphi, \quad x_{\text{зап}} \propto \cos^3 \varphi \cdot t^3. \quad (9)$$

Первый максимален на экваторе, второй — на 45° , третий отличается ещё и степенью по времени.

Артефакты лабораторного происхождения широты не знают. Тепловой дрейф, ионный ветер, электромагнитная наводка, вибрация, радиометрические силы, деформация подвеса — ни один из этих механизмов не содержит географической широты в качестве параметра. Воспроизвести случайно один широтный закон затруднительно; воспроизвести три различных закона одновременно, да ещё с правильными относительными амплитудами и правильной степенью по времени, не представляется возможным вообще.

Отсюда протокол: измерения на трёх разнесённых по широте площадках, с проверкой не только наличия эффекта, но и отношений амплитуд между площадками. Отношения предсказаны без свободных параметров, что делает проверку особенно жёсткой: подогнать нечего.

4.2. Условия наблюдаемости

Развязанное тело не удерживается ничем, поэтому мешающие силы, обычно пренебрежимые на фоне веса, становятся определяющими. Сравнение приведено в таблице 2.

Таблица 2: Остаточные ускорения в сравнении с центробежным членом $\omega^2 R_\oplus = 0,0339 \text{ м/с}^2$ (экватор).

Объект и условия	ускорение, м/с^2	запас по отношению к сигналу
Аппарат 1 т, сечение 10 м^2 , движение воздуха 1 м/с	$6,0 \times 10^{-3}$	$\times 5,7$
Образец 10 г свинца, сечение $1,1 \times 10^{-4} \text{ м}^2$, движение воздуха $0,1 \text{ м/с}$	$6,6 \times 10^{-5}$	$\times 514$

Вывод контринтуитивен и практически важен: для проверки широтной сигнатуры *малое плотное тело предпочтительнее крупного аппарата*. Для тонны с сечением в десять квадратных метров достаточно движения воздуха в один метр в секунду, чтобы возмущение составило пятую часть полезного сигнала; для десятиграммового образца запас превышает пятьсот. Отсюда требования к постановке: вакуумирование либо, как минимум, полностью неподвижная воздушная среда, компактный плотный образец, а также контроль температурных градиентов, порождающих радиометрические силы.

4.3. Область применимости

Необходима оговорка, которую следует дать сразу и без смягчения. Всё изложенное относится к режиму *полной* развязки, $\chi_\tau \rightarrow 0$. При частичном эффекте остаточное сцепление доминирует: тело по-прежнему падает, лишь медленнее, и никакого подъёма не происходит.

Количественно: если измеряется относительное изменение веса $\Delta W/W$, то широтная поправка к самой доле эффекта составляет $0,35\%$ на экваторе и $0,14\%$ на широте Киева. При характерном для лабораторных постановок пороге чувствительности $\Delta W/W \sim 10^{-8}$ и критерии достоверности 5σ такая поправка неразличима.

Следовательно, широтная сигнатура не является контролем ранней стадии программы. Это предсказание для позднего режима, и включать его в протокол следует

именно в этом качестве: как проверку, которая станет доступной, если и когда эффект будет доведён до значений порядка единицы.

5. Транспортный предел

Естественный вопрос состоит в том, что даёт невесомость, если подъёма она не создаёт. Ответ определённый, и он значителен.

5.1. Снятие условия тяговооружённости

Уравнение движения тела с внешней тягой имеет вид

$$m \frac{dv}{dt} = F_{\text{тяги}} - m g \chi_{\tau}, \quad (10)$$

причём инерционная масса в левой части не затрагивается: *вес снимается, инерция остаётся*. Разделение параметра массы и параметра сцепления с градиентом обосновано отдельно [7]. При $\chi_{\tau} \rightarrow 0$ исчезает условие $F > mg$, обязательное для отрыва от стартового стола. Именно оно вынуждает применять химические двигатели с высокой тягой и низким удельным импульсом; сняв его, в качестве стартового двигателя допустимо применить плазменный или ионный с удельным импульсом 3000–5000 с. Результат приведён в таблице 3.

Таблица 3: Следствие развязки для выведения на низкую околоземную орбиту.

Конфигурация	Δv , км/с	I_{sp} , с	M_0/M_k	сухая масса + ПН
Химия, $\chi_{\tau} = 1$ (сегодня)	9,4	350	15,5	6,5 %
Химия, $\chi_{\tau} = 0$	7,8	350	9,7	10,3 %
Плазма, $\chi_{\tau} = 0$	7,8	3000	1,30	76,7 %
Плазма, $\chi_{\tau} = 0$	7,8	5000	1,17	85,3 %

Доля сухой массы и полезной нагрузки возрастает с 6,5 до примерно 77 %. Существенно, что большая часть выигрыша обеспечивается не устранением гравитационных потерь, которое само по себе дало бы лишь 10,3 %, а именно возможностью применить эффективный двигатель.

5.2. Что при этом не меняется

Орбитальная скорость по-прежнему требуется полностью. Инерция в (10) не тронута, поэтому $\approx 7,8$ км/с необходимо сообщить при любом значении χ_{τ} , а соответствующая кинетическая энергия $\approx 8,5 \times 10^3$ кВт·ч на тонну должна быть где-то взята. Развязка меняет цену набора скорости, но не отменяет необходимости её набирать.

Энергетический баланс подъёма также сохраняется: для тела, поднимающегося со скоростью v ,

$$P \geq m g v (1 - \chi_{\tau}), \quad (11)$$

то есть потенциальная энергия оплачивается в любом случае. Зависание при $v = 0$ работы в принципе не требует и стоит только диссипации; подъём тонны на 100 км стоит не менее 272 кВт·ч — в тридцать раз меньше орбитальной кинетической энергии.

Отсюда естественное разделение задач. Для *зависания и медленного подъёма* развязка даёт качественно новый режим при умеренных энергозатратах. Для *выхода на орбиту* она снижает цену, но не устраняет главную статью расхода.

6. Заключение

Формулировка «тело всплывает» в моделях управляемого гравитационного отклика неверна и должна быть исключена. По утверждению 1 модуляция отклика уменьшает ускорение свободного падения, но не меняет его знака, а ограничение (3) исключает отрицательные значения алгебраически. Предельным состоянием является развязка тела с полем, причём равновесие нейтрально и требует активной стабилизации.

Основной результат работы состоит в том, что развязка не является кинематически немой. Она обладает подписью из трёх признаков с тремя различными широтными законами (9), полностью определяемой вращением Земли и не содержащей ни одного подгоночного параметра. Совокупность этих признаков не воспроизводится ни одним артефактом лабораторного происхождения, что делает её сильным средством проверки. Наблюдение требует малого плотного образца в неподвижной среде, а не крупного аппарата.

Транспортное значение эффекта состоит в снятии условия тяговооружённости, повышающем долю полезной нагрузки при выведении на орбиту с 6,5 до 77 %. Орбитальная скорость при этом требуется полностью, поскольку инерция не затрагивается. Иными словами, невесомость — это не средство подъёма, а средство удешевления: она не поднимает аппарат, но освобождает конструктора от двигателя, единственное назначение которого — удерживать вес.

Финансирование

Исследование не получало внешнего финансирования.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии известных конкурирующих финансовых интересов или личных отношений, способных повлиять на результаты настоящей работы.

Заявление об использовании ИИ-инструментов

ИИ-инструменты применялись для языкового редактирования и численной перепроверки величин, приведённых в таблицах 1–3. Все физические утверждения, выводы и интерпретации принадлежат автору. Автор несёт полную ответственность за содержание рукописи.

Список литературы

- [1] Misner C. W., Thorne K. S., Wheeler J. A. *Gravitation*. W. H. Freeman, 1973.
- [2] Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. *Механика*. 5-е изд. М.: Физматлит, 2004. (Движение в неинерциальных системах отсчёта, §39.)
- [3] Will C. M. *Theory and Experiment in Gravitational Physics*. Cambridge University Press, 2018.
- [4] Touboul P. *et al.* (MICROSCOPE Collaboration). MICROSCOPE mission: final results of the test of the equivalence principle // *Phys. Rev. Lett.* 2022. Vol. 129. Art. 121102.

- [5] Petit G., Luzum B. (eds.) *IERS Conventions (2010)*. IERS Technical Note 36. Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2010. (Значения ω и $R_{\oplus}$.)
- [6] Лемешко А.В. *Управление гравитационным откликом через темпоральную восприимчивость: феноменологическая модель и протокол экспериментальной проверки*. Препринт, 2026.
- [7] Лемешко А.В. *Mass and Weight as Distinct Couplings: The Muonic Temporal-Response Hypothesis in the Temporal Theory of the Universe*. Препринт, версия 3.0, сентябрь 2026.