

АВИАЦИОННАЯ И КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА  
AEROSPACE ENGINEERING

DOI 10.22363/2312-8143-2019-20-4-267-275

УДК 629.76

Научная статья

## О движении тел на основе изменения кинетического момента

Ю.Н. Разумный, С.А. Купреев

Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

*История статьи:*

Поступила в редакцию: 01 ноября 2019

Доработана: 15 ноября 2019

Принята к публикации: 22 ноября 2019

*Ключевые слова:*

движение без расхода массы, гравитационное поле, гравитация, движение без перегрузки

Рассматривается управляемое движение тела в центральном гравитационном поле без расхода массы. Показана возможность перемещения тела в радиальном направлении от центра притяжения за счет изменения кинетического момента относительно центра масс тела. Предложена схема перемещения тела с использованием системы маховиков, расположенных в одной плоскости на околокруговых орбитах с разными высотами. В качестве маховиков рассматривается использование спина элементарных частиц. Доказано, что использование спина элементарных частиц с комптоновской длиной волны, превышающей расстояние до притягивающего центра, энергетически более выгодно, чем использование импульса этих частиц для перемещения тела. Приведен расчет движения с использованием гипотетических частиц (гравитонов). Выдвинута гипотеза об излучении тел при ускоренном движении, которая находит косвенные подтверждения в звездной динамике и эксперименте с падением двух тел в вакууме. Полученные результаты могут быть использованы в экспериментах для поиска элементарных частиц с низкой энергией, объяснения космических феноменов и разработки транспортных объектов на новых физических принципах.

**Введение**

Идеи управляемого движения тела в центральном гравитационном поле без расхода массы выдвигались специалистами в области динамики орбитальных тросовых систем [1–10]. В.В. Бе-

лецкий в работах [1; 2] предложил способ и модель космического аппарата в виде гантели, способного совершать космические перелеты между компланарными орбитами без расходования рабочего тела. Крупногабаритная гантель располагается в пространстве по бинормали к орбите так, что центр масс ее движется по орбите, в плоскости которой находится притягивающий центр, а концевые массы находятся по разную сторону от этой плоскости. Показано, что, изменяя длину штанги гантели, можно увеличить эксцентриситет орбиты.

А.В. Пироженко в работах [3; 4] приводит схемы управления элементами орбиты за счет различной ориентации гантели с изменяемой дли-

*Разумный Юрий Николаевич*, директор департамента механики и мехатроники Инженерной академии РУДН, директор Инженерной академии РУДН, доктор технических наук, профессор, академик Российской академии космонавтики имени К.Э. Циолковского, академик Международной академии астронавтики; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1337-5672>, eLIBRARY SPIN-код: 7704-4720.

*Купреев Сергей Алексеевич*, профессор департамента механики и мехатроники Инженерной академии РУДН, заместитель директора по научной работе Инженерной академии РУДН, доктор технических наук, доцент; [kupreev-sa@rudn.ru](mailto:kupreev-sa@rudn.ru); ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8657-2282>, eLIBRARY SPIN-код: 2287-2902.

© Разумный Ю.Н., Купреев С.А., 2019

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ной штанги, в том числе рассматривается применение маховиков для удержания гантели в заданном положении. Предложена идея использования вращающейся орбитальной тросовой системы с изменяемой длиной связи, которая заключается в том, что за счет внутренних сил изменяется расстояние между концевыми телами и тем самым регулируется угловая скорость вращения системы таким образом, чтобы в нужной ориентации система находилась дольше, чем в положении, дающем обратный эффект управления. Эта идея также рассматривается В.И. Щербаковым [5].

В работе [6] управление элементами орбит реализуется тросовой системой с периодически изменяемой длиной за счет учета неоднородности поля тяготения.

А.С. Поповым в работе [7] рассматривается модельная задача изменения параметров орбиты космического аппарата, представляющего собой систему из двух масс, расталкиваемых и сближаемых периодически формируемой связью в плоскости орбиты.

В монографиях [8–10] приводятся схемы управляемого движения космического аппарата за счет применения орбитальных тросовых систем с разрывом связи.

Целью данной работы является доказательство возможности и энергетической целесообразности реализации принципа движения, основанного на изменении кинетического момента. Доказательство основано на двух фактах. Во-первых, обсуждается связь между вращательным движением и радиальным движением в центральном поле тяготения. Затем рассматривается применение спина элементарных частиц и анализируются затраты энергии на движение тела. Представленный пример с низкоэнергетическими элементарными частицами приводит к гипотезе излучения телами при ускоренном движении. Косвенными подтверждениями выдвинутой гипотезы служат феномены из звездной динамики и эксперимент с падением двух тел в вакууме.

### 1. Взаимосвязь вращательного и радиального движения

В центральном поле силы тяготения существует взаимосвязь вращательного движения относительно центра масс и радиального движения центра.

Рассмотрим движение твердой гантели в центральном гравитационном поле. Будем полагать,

что две концевые точные массы гантели соединены невесомым жестким стержнем. На гантель действуют две внешние силы притяжения  $\mathbf{G}_1$  и  $\mathbf{G}_2$  (рис. 1).

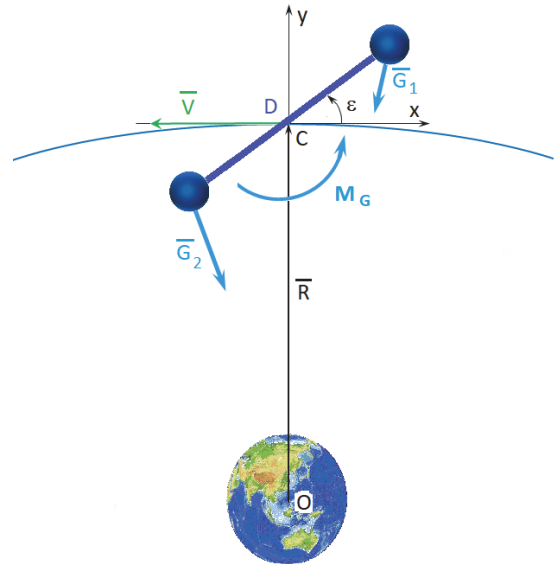


Рис. 1. Движение гантели в центральном гравитационном поле  
[Figure 1. The movement of the dumbbell in the central gravitational field]

Изменение кинетического момента гантели  $\mathbf{K}$  относительно центра  $O$  равно главному моменту внешних сил  $\mathbf{M}_e$  (теорема об изменении кинетического момента):

$$\frac{d\mathbf{K}}{dt} = \mathbf{M}_e. \quad (1)$$

Моменты сил притяжения  $\mathbf{G}_1$  и  $\mathbf{G}_2$  относительно центра  $O$  равны нулю, следовательно

$$\mathbf{M}_e = 0, \quad (2)$$

а кинетический момент гантели  $\mathbf{K}$  – величина постоянная.

$$\mathbf{K} = \mathbf{K}_e + \mathbf{K}_i, \quad (3)$$

где  $\mathbf{K}_e$  – вектор кинетического момента центра масс гантели  $C$ , в котором сосредоточена вся масса гантели, относительно центра  $O$ ;  $\mathbf{K}_i$  – вектор кинетического момента вращения гантели относительно центра масс  $C$ .

$$\mathbf{K}_e = m \mathbf{R} \times \mathbf{V}, \quad (4)$$

где  $m$  – масса гантели;  $\mathbf{R}$  – радиус-вектор центра масс гантели до притягивающего центра  $O$ ;  $\mathbf{V}$  – вектор скорости центра масс  $C$  гантели.

$$K_i = J_D \Omega, \quad (5)$$

где  $J_D$  – момент инерции гантели в плоскости движения относительно центра  $C$ , центральный осевой (бинормальный) момент инерции;  $\Omega$  – абсолютная угловая скорость вращения гантели.

При отклонении гантели от местной вертикали, относительно центра  $C$  возникает момент сил  $G_1$  и  $G_2$ , стремящийся вернуть гантель в положение вдоль местной вертикали:

$$M_G = 3\mu_0 \frac{J_D}{R^3} \sin 2\varepsilon, \quad (6)$$

где  $\varepsilon$  – угол между осью  $S_x$  орбитальной системы координат  $S_{xyz}$  и линией, соединяющей концевые элементы гантели;  $\mu_0 = 3,986 \cdot 10^{14} \text{ м}^3/\text{с}^2$  – геоцентрическая гравитационная постоянная Земли.

Максимальное значение  $M_G$  при  $\varepsilon = \pi/4$ . Для сохранения заданного положения гантели под углом  $\varepsilon$  требуется уравнивающий момент  $M_J$  ( $M_G = M_J$ ), который можно создать с использованием маховика.

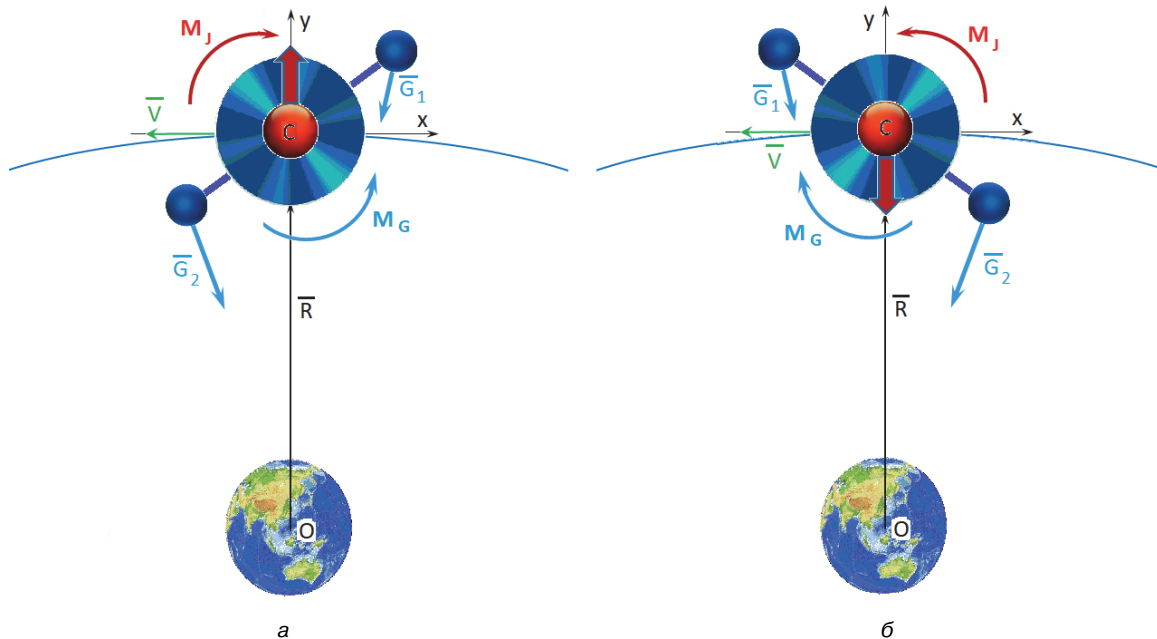
$$M_J = J\dot{\omega}; \quad (7)$$

где  $J$  – момент инерции маховика;  $\dot{\omega}$  – угловое ускорение вращения маховика.

В итоге, раскручивая маховик до некоторой угловой скорости  $\omega$ , можно изменить кинетический момент  $K_i$ , а следовательно, и кинетический момент  $K_e$  центра масс гантели  $C$ . Ограничение на максимальное изменение  $K_e$  обусловлено предельной угловой скоростью вращения маховика.

На рис. 2 представлена схема радиального перемещения центра масс гантели  $C$ . Путем изменения направления вращения маховиков движение системы возможно осуществлять вверх (рис. 2, а) и вниз (рис. 2, б). Предел перемещения ограничен максимальной угловой скоростью вращения маховика. Имея группировку маховиков с разными высотами орбит в одной плоскости, возможно реализовать схему передвижения встречных грузопотоков без расхода топлива. Для раскрутки маховиков достаточно электроэнергии от источников питания (например, солнечных батарей). Однако техническая реализация и эффективность орбитальных маневров данной схемы [3; 4] уступает маневрам по обмену кинетической энергией с применением технологий тросовых систем [9–13].

Факт взаимосвязи вращательного движения вокруг центра масс и радиального движения наблюдается в природе. Ежегодно Луна удаляется от Земли на 3,8 см, при этом Земля замедляет свою угловую скорость вращения [14].



**Рис. 2.** Схема перемещения в радиальном направлении  
**[Figure 2.** The pattern of movement in the radial direction]

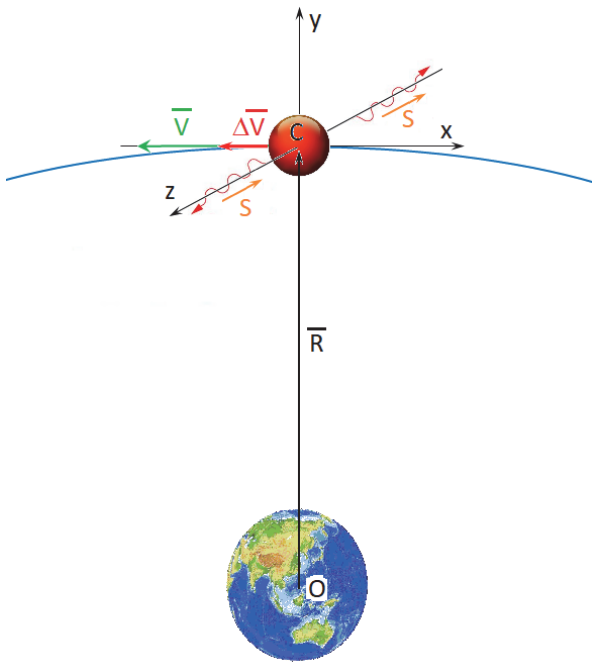
## 2. Применение спина элементарных частиц

Элементарные частицы обладают спином (собственным моментом импульса), который имеет квантовую природу и не связан с перемещением частицы как целого.

Используем в качестве маховиков элементарные частицы (рис. 3).

$$m \mathbf{R} \times \Delta \mathbf{V}_K = n s \frac{h}{2\pi}, \quad (8)$$

где  $\Delta \mathbf{V}_K$  – вектор изменения скорости объекта массой  $m$  в случае изменения его кинетического момента  $\mathbf{K}$  за счет излучения  $n$  элементарных частиц;  $s$  – вектор спина элементарной частицы;  $h$  – постоянная Планка ( $h = 6,626070040 \cdot 10^{-34}$  Дж · с).



**Рис. 3.** Движение на основе использования спина элементарных частиц  
 [Figure 3. Movement based on the use of the spin of elementary particles]

Полагая изменение направления скорости  $\Delta \mathbf{V}_K \perp \mathbf{R}$ , в скалярном виде

$$m R \Delta V_K = n \frac{s h}{2\pi} \quad (9)$$

или

$$m \Delta V_K = n \frac{s h}{2\pi R}. \quad (10)$$

Проанализируем последнее выражение с точки зрения энергетических затрат при движении на

основе применения изменения кинетического момента и импульса (реактивного движения). Для оценки энергетических затрат на основе применения реактивного движения рассмотрим фотонный двигатель, который может развить максимально возможную для реактивного двигателя тягу в пересчете на затраченную массу перемещаемого объекта.

$$m \Delta V_J = n \frac{h}{\lambda}, \quad (11)$$

где  $\Delta V_J$  – вектор изменения скорости объекта массой  $m$  в случае реактивного движения за счет излучения  $n$  фотонов с длиной волны  $\lambda$ . В этом случае затраты энергии для движения

$$\Delta E_J = n \frac{h c}{\lambda}, \quad (12)$$

где  $c$  – скорость света.

Импульс тех же  $n$  фотонов с использованием их спина для движения объекта определяется выражением (10), а энергетические затраты на перемещение объекта массой  $m$ :

$$\Delta E_K = n \frac{s h c}{2\pi R}. \quad (13)$$

Из выражений (12) и (13) можно сделать вывод, что при  $\lambda > 2\pi R/s$  для изменения скорости объекта в центральном поле на расстоянии  $R$  от центра притяжения энергетически более выгодно использовать кинетический момент элементарной частицы по сравнению с ее импульсом (реактивное движение). При этом излучение низкоэнергетических частиц следует проводить в направлении, перпендикулярном плоскости движения (рис. 3). Полученные результаты возможно использовать в экспериментах для поиска низкоэнергетических элементарных частиц и для разработки транспортных объектов на новых физических принципах.

## 3. Случай применения гравитонов

Комптоновская длина волны гравитона  $\lambda_g > 1 \cdot 10^{16}$  м [15], что гораздо больше радиуса Земли (6 371 000 м) и расстояния от Земли до Солнца (149 600 000 000 м). Таким образом, если для движения применять гравитоны, то использование их спина (кинетического момента) в  $10^9$  раз выгоднее использования их в реактивном движении у поверхности Земли. Вектор спина  $s$  (направление излучения) направлен перпендикулярно плоскости движения объекта.

Оценим ускорение, которое получает объект:

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{s h}{2\pi R m \Delta t} \quad (14)$$

Доказана возможность контроля квантовых процессов с точностью до трех аттосекунд ( $\Delta t = 3 \cdot 10^{-18}$  с) [16]. Спин гравитона  $s = 2$ . Масса нейтрона (протона)  $1,675 \cdot 10^{-27}$  кг ( $m = 1,675 \cdot 10^{-27}$  кг),  $R = 6,371 \cdot 10^6$  м. Тогда на каждый нейтрон (протон) будет действовать ускорение  $a = 6\,600$  м/с<sup>2</sup>.

Для движения макрообъектов с такими ускорениями без внутренней деформации необходимо, чтобы все атомы объекта одновременно испускали низкоэнергетические частицы. Таким образом, мы получаем движение без перегрузки.

#### 4. Дискуссия

Пример с гравитонами и схема перемещения объекта в радиальном направлении (рис. 2) дают основание для выдвижения гипотезы о наличии излучения/поглощения элементарных частиц, обладающих спином. Движение в радиальном направлении гантели с маховиком относительно центра притяжения (рис. 2, а) можно трактовать следующим образом:

$$K_{e1} = K_{e0} + K_r, \quad (15)$$

где  $K_{e0}$ ,  $K_{e1}$  – начальный (в момент времени  $t_0$ ) и конечный (в момент времени  $t_1$ ) векторы кинетического момента центра масс гантели  $C$ ;  $K_r$  – вектор кинетического момента излучения (или поглощения) элементарных частиц за время  $\Delta t = t_1 - t_0$  по причине ускоренного вращения маховика.

Выражение (15) для кинетического момента тела позволяет более глубоко объяснить феномен радиального перемещения центра масс  $C$  в центральном гравитационном поле. При этом также происходит изменение внутреннего кинетического момента системы:

$$K_{i1} = K_{i0} - K_r. \quad (16)$$

Данная гипотеза не противоречит закону сохранения кинетического момента (3):

$$K = K_{i1} + K_{e1} = K_{i0} - K_r + K_{e0} + K_r. \quad (17)$$

На закон сохранения кинетического момента следует смотреть шире. В случае неупругого столкновения объектов их кинетический момент переходит в кинетический момент и спин элементарных частиц, то есть не компенсируется, как в настоящее время принято в механике.

$$K_1 - K_0 \pm K_r = 0. \quad (18)$$

Таким образом, ускоренное движение тел сопровождается излучением (поглощением) с кинетическим моментом  $K_r$ .

Косвенным подтверждением выдвинутой гипотезы могут служить явления, наблюдаемые в звездной динамике. Полярное струйное течение (джет), когда по причине динамического взаимодействия внутри аккреционного диска космического объекта из него вдоль его оси вращения выбрасываются потоки вещества (рис. 4), имеет схожую картину с предполагаемым излучением вследствие изменения кинетического момента (рис. 3).



Рис. 4. Выброс потоков вещества вдоль оси вращения космического объекта  
[Figure 4. The flow ejection of matter along the axis of a space object rotation]

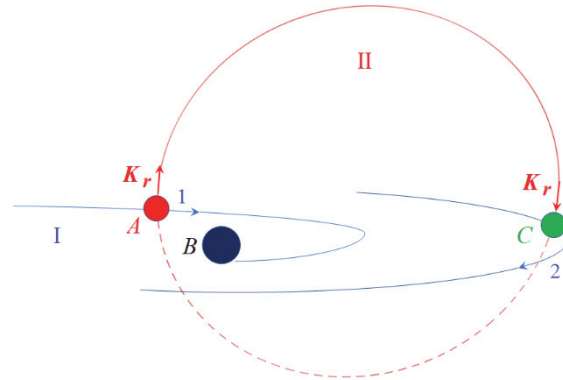
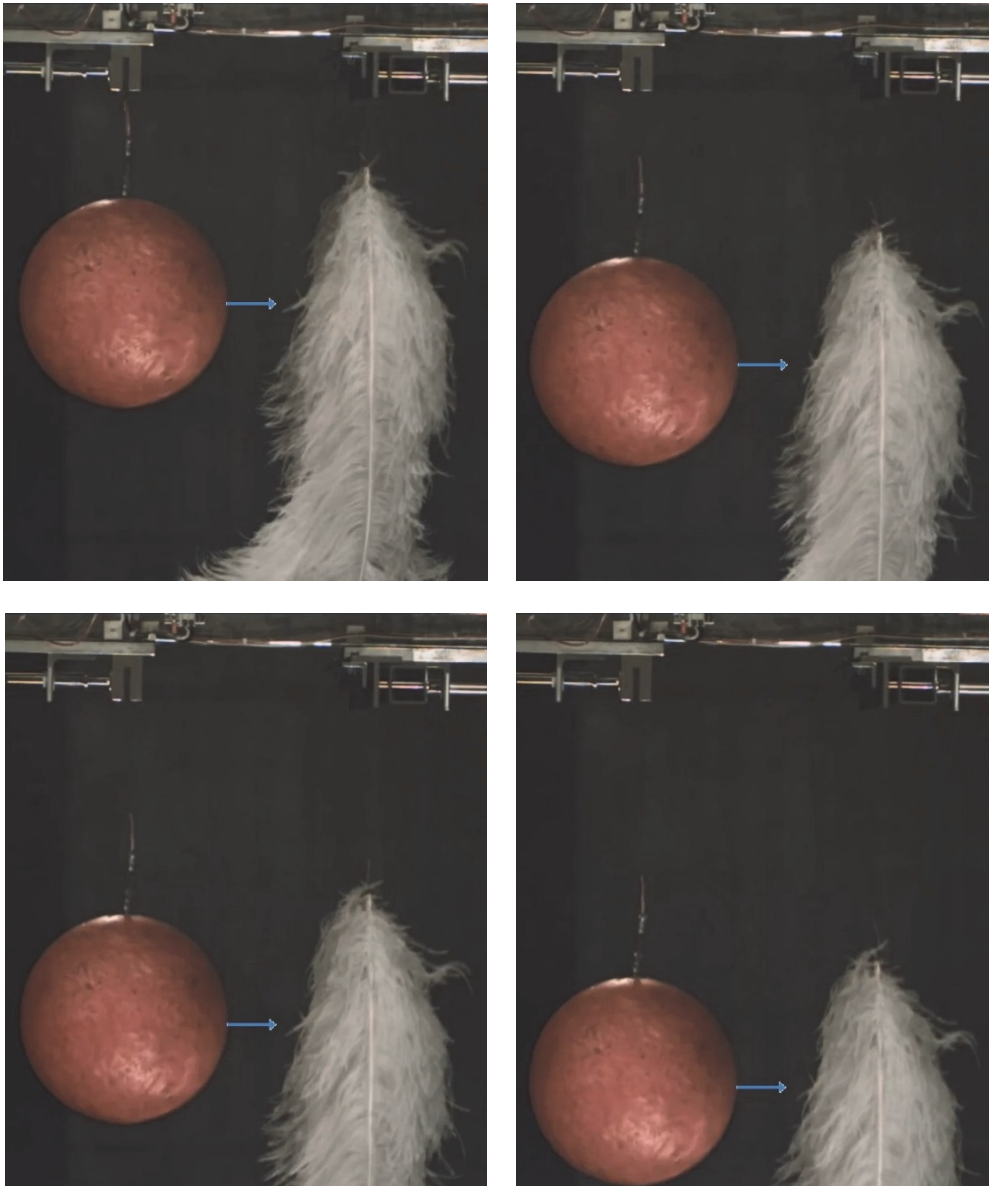


Рис. 5. Схема излучения элементарных частиц со спином у центра галактики и их поглощение на окраине галактики  
[Figure 5. The radiation pattern of elementary particles with a spin in central galaxies and their absorption in the outskirts of the galaxy]

Проблема несоответствия между наблюдаемыми скоростями вращения материи в дисковых частях спиральных галактик и предсказаниями

кеплеровской динамики, учитывающими только видимую массу. В настоящий момент считается, что это несоответствие выдает присутствие темной материи, которая пронизывает галактику и простирается до галактического гало. Звезды вращаются вокруг центра галактики с постоянной скоростью в большом диапазоне расстояний от цен-

тра галактики. Таким образом, звезды вращаются гораздо быстрее, чем ожидалось, если бы они находились в свободном потенциале Ньютона. В случае наличия излучения элементарных частиц телами, движущимися с ускорениями у центра галактики, имеет место поглощение этого излучения на окраинах галактики.



**Рис. 6.** Кадры падения свинцового шара и пера в вакууме  
**[Figure 6.** Drop frames of a lead ball and pen in a vacuum]

На рис. 5 представлена схема такого процесса: тело  $A$  движется у центра галактики  $B$  в направлении  $1$ . Тело  $C$  находится на окраине галактики и движется в направлении  $2$ . Движение этих трех тел происходит в плоскости галактики  $I$ . Теряя

кинетический момент, тело  $A$  излучает в направлении, перпендикулярном плоскости движения  $I$ , поток элементарных частиц с кинетическим моментом  $K_r$ . Этот поток частиц движется по эллиптической орбите вокруг центра галактики  $B$  из пери-

центра  $A$  в апоцентр  $C$  в плоскости  $II$ . Тело  $C$  поглощает излучение с кинетическим моментом  $K_r$  и получает дополнительную скорость в направлении движения 2. Двигаясь в направлении 1 тело  $A$  излучает поток элементарных частиц, который движется по эллиптическим орбитам. Попадая в этот поток, тела галактики совершают движение отличное от кеплеровского.

Пример с гравитонами также приводит к дискуссии о причинах квантовой неопределенности и спиновой релаксации наблюдаемых частиц: происходит постоянное их взаимодействие со спином низкоэнергетических частиц, излучаемых/поглощаемых телами при ускоренном движении.

Наличие излучения/поглощения низкоэнергетических частиц со спином (рис. 3) может быть применено для обоснования тяги EmDrive [17; 18]. В случае должного подтверждения выдвинутой гипотезы целесообразно построение строгой теории, основанной на постулате полного сохранения кинетического момента.

## 5. Эксперимент с падением двух тел в вакууме

Известно, что любые два предмета в вакууме будут падать с одинаковой скоростью. Популярный эксперимент с гравитацией провел физик Брайан Кокс в большой вакуумной камере Space Power Facility НАСА в американском штате Огайо [19]. Рассмотрим одновременное падение свинцового шара и пера в вакууме, представленное на четырех кадрах (рис. 6). Обращает на себя внимание факт движения ворсинок пера напротив центра шара.

После одновременного освобождения от крепления шара и пера в первые мгновения падения на видеосъемке эксперимента [19] наблюдается движение ворсинок пера, обусловленное их упругими свойствами при переходе от подвешенного состояния пера к невесомости (свободному падению). В последующие мгновения движение ворсинок пера, обращенных к центру шара, отличается от общего движения остальных ворсинок, что может быть вызвано наличием излучения низкоэнергетических частиц при ускоренном движении шара в плоскости перпендикулярной его движению.

## Заключение

При  $\lambda > 2\pi R/s$  для изменения скорости объекта в центральном поле на расстоянии  $R$  от центра

притяжения энергетически более выгодно использовать кинетический момент элементарной частицы по сравнению с ее импульсом (реактивное движение).

Полученные результаты могут быть использованы в экспериментах для поиска низкоэнергетических элементарных частиц и для разработки транспортных объектов на новых физических принципах.

Требуются разработка теории (или обзор с доработкой существующих) на постулате полного сохранения кинетического момента и экспериментальная ее апробация.

## Список литературы

1. Белецкий В.В., Левин Е.М. Динамика космических тросовых систем. М.: Наука, 1990. 336 с.
2. Белецкий В.В. Очерки о движении космических тел. 3-е изд. М.: Изд-во ЛКИ, 2009. 432 с.
3. Алтатов А.П. и др. Динамика космических систем с тросовыми и шарнирными соединениями. Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2007. 559 с.
4. Пироженко А.В. Управляемое движение связки двух тел в ньютоновском поле сил изменением длины связи // Космические исследования. 1990. Т. 30. № 4. С. 473–482.
5. Щербаков В.И. Орбитальные маневры космической тросовой системы. СПб.: Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, 2010. 185 с.
6. Breakwell J.V., Gearhart J.W. Pumping a Tethered Configuration to Boost its Orbit Around an Oblate Planet // NASA, AIAA, and PSN, International Conference on Tethers in Space, Arlington, VA, Sept. 17–19, 1986. 23 p.
7. Попов А.С. Анализ возможности использования расталкиваемой двухмассовой космической системы с периодически формируемой связью для межорбитальных перелетов // Вестник МАИ. 2017. Т. 24. № 3. С. 72–77.
8. Aslanov V.S., Ledkov A.S., Dynamics of the Tethered Satellite Systems. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2012. 331 p.
9. Иванов В.А., Купреев С.А., Ручинский В.С. Космические тросовые системы: учебное пособие. М.: Альфа-М, 2014. 208 с.
10. Иванов В.А., Купреев С.А., Либерзон М.Р. Сближение в космосе с использованием тросовых систем: монография. М.: Хоружевский, 2010. 360 с.
11. Isaacs J.D., Vine A.C., Bradner H., Bachus G.E. Satellite elongation into a true “sky-hook” // Science. 1966. Vol. 151. No. 3711. Pp. 682–683. doi:10.1126/science.151.3711.682.
12. Ариутанов Ю.Н. В космос без ракет: новая идея космического старта // Знание – сила. 1969. № 7. С. 25.

13. Pearson J. The Orbital Tower: A Spacecraft Launcher Using the Earth's Rotational Energy // *Acta Astronautica*. 1975. No. 2 (9–10). Pp. 785–799.

14. Murray C.D., Dermott S.F. *Solar System Dynamics*. Cambridge University Press, 1999. P. 184.

15. Abbott B.P. et al. GW170104: Observation of a 50-Solar-Mass Binary Black Hole Coalescence at Redshift 0.2 // *Physical Review Letters*. 2017, 1 June. Vol. 118. 221101 / LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration. doi:10.1103/PhysRevLett.118.221101.

16. Prince K.C. et al. Coherent control with a short-wavelength free-electron laser // *Nature Photonics*. 2016. Vol. 10. Pp. 176–179.

17. Sawyer R.A. Theory of Microwave Propulsion for Spacecraft. Theory paper v. 9.3 // *New Scientist*. 2006. URL: <http://www.emdrive.com/>

18. NASA Team Claims 'Impossible' Space Engine Works – Get the Facts // *National Geographic*. 2016, 21 November. URL: <https://news.nationalgeographic.com/2016/11/nasa-impossible-emdrive-physics-peer-review-space-science/> (дата обращения: 21.10.2019).

19. Watch a Feather and Bowling Ball Fall at the Same Speed. URL: <https://www.discovermagazine.com/the-sciences/watch-a-feather-and-bowling-ball-fall-at-the-same-speed> (дата обращения: 21.10.2019).

#### Для цитирования

Разумный Ю.Н., Купреев С.А. О движении тел на основе изменения кинетического момента // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования*. 2019. Т. 20. № 4. С. 267–275. <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2019-20-4-267-275>

#### Research paper

## On the motion of bodies based on changes in the kinetic moment

Yury N. Razoumny, Sergei A. Kupreev

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117198, Russian Federation

#### Article history:

Received: November 01, 2019

Revised: November 15, 2019

Accepted: November 22, 2019

#### Keywords:

movement without mass flow, gravitational field, graviton, motion without overload, EmDrive

The controlled motion of a body in a central gravitational field without mass flow is considered. The possibility of moving the body in the radial direction from the center of attraction due to changes in the kinetic moment relative to the center of mass of the body is shown. A scheme for moving the body using a system of flywheels located in the same plane in near-circular orbits with different heights is proposed. The use of the spin of elementary particles is considered as flywheels. It is proved that using the spin of elementary particles with a Compton wavelength exceeding the distance to the attracting center is energetically more profitable than using the momentum of these particles to move the body. The calculation of motion using hypothetical particles (gravitons) is presented. A hypothesis has been put forward about the radiation of bodies during accelerated motion, which finds indirect confirmation in stellar dynamics and in an experiment with the fall of two bodies in a vacuum. The results can be used in experiments to search for elementary particles with low energy, explain cosmic phenomena and to develop transport objects on new physical principles.

#### References

1. Beletskii VV, Levin EM. *Dinamika kosmicheskikh trosovykh sistem [Dynamics of space tether systems]*. Moscow: Nauka Publ.; 1990.

2. Beletskii VV. *Ocherki o dvizhenii kosmicheskikh tel [Essays on the motion of space bodies]*. Moscow: LKI Publ.; 2009.

3. Alpatov AP, Beletskii VV, Dranovskii VI, Zakrzhevskii AE, Pirozhenko AV, Troger G, Khoroshilov VS. *Dinamika kosmicheskikh sistem s trosovyimi i sharnirnyimi soedineniyami [Dynamics of space systems with cable and pivot connection]*. Izhevsk: Institut komp'yuternykh issledovaniy; 2007.

4. Pirozhenko AV. Two tethered bodies motion control in the gravitational field by the length variation. *Cosmic Research*. 1990;(4):473–482.

5. Shcherbakov VI. *Orbital'nye manevry kosmicheskoi trosovoi sistemy [Orbital maneuvers of the space*

Yury N. Razoumny, Director of Department of Mechanics and Mechatronics of Academy of Engineering of RUDN University, Director of Academy of Engineering of RUDN University, Doctor of Sciences (Techn.), Professor, full member of Russian Academy of Cosmonautics, full member of International Academy of Astronautics; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1337-5672>, e-LIBRARY SPIN-code: 7704-4720.

Sergei A. Kupreev, Professor of Department of Mechanics and Mechatronics of Institute of Space Technologies, Deputy Director of Academy of Engineering of RUDN University, Doctor of Sciences (Techn.), Docent; [kupreev-sa@rudn.ru](mailto:kupreev-sa@rudn.ru); ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8657-2282>, e-LIBRARY SPIN-code: 2287-2902.



*tethered system*]. Saint Petersburg: A.F. Mozhaysky Military-Space Academy; 2010.

6. Breakwell JV, Gearhart JW. Pumping a Tethered Configuration to Boost its Orbit Around an Oblate Planet. *NASA, AIAA, and PSN, International Conference on Tethers in Space, Arlington, VA, Sept. 17–19, 1986*.

7. Popov AS. Analysis of the capacity to use a repulsive two-mass space system with periodically formed coupling to perform interorbital flights. *Aerospace MAI Journal*. 2017;24(3):72–77.

8. Aslanov VS, Ledkov AS. *Dynamics of the Tethered Satellite Systems*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited; 2012.

9. Ivanov VA, Kupreev SA, Ruchinskii VS. *Kosmicheskie trosovye sistemy* [Space tether systems]: Training manual. Moscow: Al'fa-M Publ.; 2014.

10. Ivanov VA, Kupreev SA, Liberzon MR. Sblizhenie v kosmose s ispol'zovaniem trosovykh system [The convergence in space with the using of tethered systems]: monograph. Moscow: Khoruzhevskii Publ.; 2010.

11. Isaacs JD, Vine AC, Bradner H, Bachus GE. Satellite elongation into a true “sky-hook”. *Science*. 1996;151(3711):682–683. doi:10.1126/science.151.3711.682.

12. Arcutanov JN. V kosmos bez raket: novaja ideja kosmicheskogo starta [Into space without rockets: a new idea for a space launch]. *Znanije – Sila* [Knowledge is Power]. 1969;(7):25. (In Russ.)

13. Pearson J. The Orbital Tower: A Spacecraft Launcher Using the Earth's Rotational Energy. *Acta Astronautica*. 1975;2(9–10):785–799.

14. Murray CD, Dermott SF. *Solar System Dynamics*. Cambridge University Press; 1999. p. 184.

15. Abbott BP, et al. GW170104: Observation of a 50-Solar-Mass Binary Black Hole Coalescence at Redshift 0.2. *Physical Review Letters*. 2017;118:221101. doi:10.1103/PhysRevLett.118.221101.

16. Prince KC, et al. Coherent control with a short-wavelength free-electron laser. *Nature Photonics*. 2016;10:176–179.

17. Shawyer R. A Theory of Microwave Propulsion for Spacecraft. Theory paper v. 9.3. *New Scientist*. 2006. Available from: <http://www.emdrive.com/>

18. NASA Team Claims 'Impossible' Space Engine Works – Get the Facts. *National Geographic*. 2016, 21 November. Available from: <https://news.nationalgeographic.com/2016/11/nasa-impossible-emdrive-physics-peer-review-space-science/> (accessed: 21.10.2019).

19. *Watch a Feather and Bowling Ball Fall at the Same Speed: An experiment with the fall of two different bodies in a vacuum*. Available from: <https://www.discovermagazine.com/the-sciences/watch-a-feather-and-bowling-ball-fall-at-the-same-speed> (accessed: 21.10.2019).

#### For citation

Razoumny YN, Kupreev SA. On the motion of bodies based on changes in the kinetic moment. *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2019;20(4):267–275. <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2019-20-4-267-275>. (In Russ.)