

УДК 550.3

И.И. РОКИТЯНСКИЙ¹, А.В. ТЕРЕШИН¹, Г.А. ФРОЛОВ², О.А. ЧЕРНАЯ¹

¹ Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины
просп. Акад. Палладина, 32, г. Киев, 03680, Украина

² НИИ Геодезии и картографии
Киев, Украина

СЕВЕРО-ЮЖНАЯ АСИММЕТРИЯ ФИГУРЫ ЗЕМЛИ, МАРСА И ЮПИТЕРА

Северо-южная (С—Ю) асимметрия фигуры Земли хорошо видна на ее поверхности: на широтах 75—90 градусов Северному Ледовитому океану соответствует Антарктический континент, на широтах 50—70 градусов преобладанию континентов в Северном полушарии соответствует простираение сплошного океана в Южном полушарии. Такая приуроченность асимметрии к географическим координатам, т. е. осесимметричность явления, наталкивает на предположение, что С—Ю асимметрия фигуры Земли связана с вращением планеты и, возможно, обусловлена им. С—Ю асимметрию вращающихся тел объяснил Н.А. Козырев в работе «Причинная или несимметричная механика». Он постулировал направленность времени, связал с ним направленность пространственных вращений и ввел новое физическое понятие — «время», способное переносить энергию и момент вращения, но не несущее поступательного импульса. Последнее означает, что в быстровращающихся (приэкваториальных) частях планеты появляется сила одного направления, а в медленно вращающихся (по линейной скорости, угловая скорость может быть одинаковой) приполюсных частях — противоположного направления; сумма сил равна нулю.

Цель настоящей статьи — исследование возможности подобной асимметрии на других планетах. На Марсе С—Ю асимметрия оказалась в несколько раз более интенсивной, чем на Земле, и другого знака. На обеих планетах выделены значительные плотностные неоднородности, которые могут создавать значительный вклад в С—Ю асимметрию. На Юпитере наблюдается асимметрия атмосферных вихревых систем в северной и южной полярных шапках, асимметрия гравитационного поля невелика и, как предполагается, отражает динамику атмосферных потоков до глубины 4000 км.

Ключевые слова: фигура планет, асимметрия планет, гравитационный потенциал, асимметричная механика Козырева.

Введение. Северо-южная (С—Ю) асимметрия фигуры Земли хорошо видна на ее поверхности: на широтах 75—90 градусов Северному Ледовитому океану соответствует Антарктический континент, на широтах 50—70 градусов преобладанию континентов в Северном полушарии соответствует простираение сплошного океана в Южном полушарии. В качестве количественной характеристики С—Ю асимметрии можно рассмотреть высоту/глубину залегания поверхности литосферы, которая совпадает с поверхностью суши и с дном океана. Широтное распределение литосферы, осредненное по долготе (для исключения долготных неоднородностей), показано на рис. 1.

Возникновение асимметрий и масштабных аномалий фигуры планет обычно объясняют наличием крупных плотностных неоднородностей, образующихся в мантии при подъеме плюмов и движении континентов или унаследованных от

падения крупных небесных тел разной плотности. Однако для четко антиподной приполярной асимметрии Ледовитого океана и Антарктиды такое объяснение представляется маловероятным. Можно предположить, что указанная асимметрия является следствием осевого вращения. Современная физика, насколько известно, не дает подобного объяснения. В то же время одна непризнанная малоизвестная теория (правильнее ее называть гипотезой) предлагает желаемое объяснение. Это теория времени с физическими свойствами, описанная в «Причинной или несимметричной механике» Николая Александровича Козырева [Козырев, 1958, 1991].

Асимметричная механика Козырева. Изложение темы очень краткое, подробнее см. в работах [6, 7, 9—11].

В начале 1930-х годов Н.А. Козырев, объединив тонкие астрономические наблюдения с глубоким физико-математическим анализом, разра-

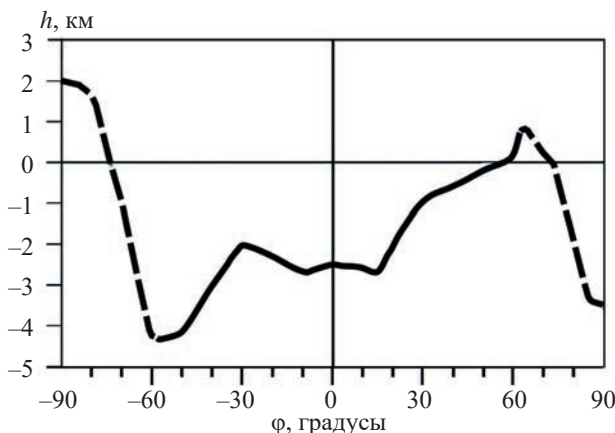


Рис. 1. Высота (h) земной литосферы над уровнем моря в зависимости от широты (φ) [2]

Fig. 1. Height (h) of the terrestrial lithosphere above sea level depending on latitude (φ) [2]

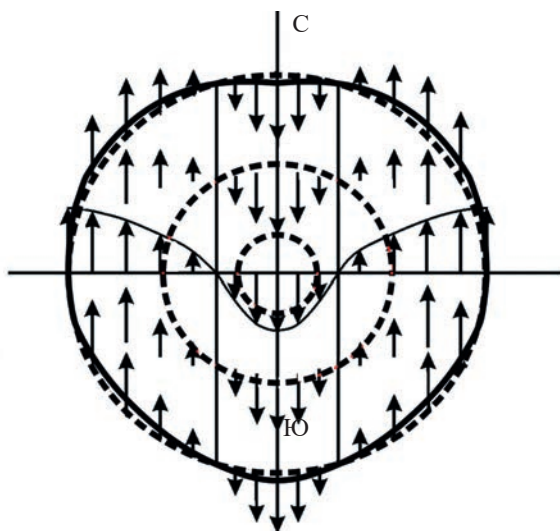


Рис. 2. Асимметричные силы Козырева. Штриховыми линиями показаны внешние границы твердого ядра, жидкого ядра и поверхности Земли в форме сфероида вращения. Сплошная линия — форма осевого сечения Земли с учетом асимметричной силы Козырева. Стрелками показаны величина и направление этой силы, величина в максимуме (на экваторе и полюсах) оценивается как $5 \cdot 10^{-5}$ от силы гравитации

Fig. 2. Kozyrev's asymmetric forces. The dotted line shows the outer boundaries: the solid core, the liquid core and the Earth's surface in the form of a spheroid of revolution. The solid line is the shape of the axial section of the Earth with the account of the Kozyrev's asymmetric force. The arrows show the magnitude and direction of this force, the magnitude at the maximum (at the equator and poles) is estimated as $5 \cdot 10^{-5}$ of the gravity force

ботал теорию протяженных звездных атмосфер, вошедшую в мировую науку под названием «теория Козырева—Чандрасекара». Исследуя эволюцию звезд, Н.А. Козырев приходит к выводу: современная наука не дает адекватного объяснения

появлению энергии звезд. Он выдвигает проблему поиска универсального переносчика энергии в мире и называет его *временем* с физическими свойствами. Если в некоторой системе происходит диссипативный процесс, растет энтропия и теряется организованность, то эта организованность не пропадает, а переносится временем в другую систему, что способствует её самоорганизации и развитию. Такой подход преодолевает проблему «тепловой смерти», следующей из второго начала термодинамики.

Стремясь наполнить эту полуфилософскую концепцию конкретным физическим содержанием, Н.А. Козырев формулирует постулаты причинной или несимметричной механики и ставит задачу проверить данные постулаты путем выполнения серии специальных экспериментов с вращающимися объектами. Такие эксперименты никогда не входили в планы исследований обсерваторий, где работал Н.А. Козырев, и не финансировались. Необходимую аппаратуру Козырев проектировал и изготовлял сам, наблюдения проводил в непригодных помещениях без тщательной изоляции от помех. Одним из важнейших результатов Н.А. Козырев признавал следующий вывод, полученный в лабораторных опытах с гироскопами: время не несет поступательного импульса, но переносит энергию и момент импульса, которые могут создавать асимметричные силы во вращающихся телах. Эти силы действуют на каждый элемент объема вращающегося тела: они пропорциональны линейной скорости вращения данного элемента и направлены вдоль оси его вращения. Однако из требования отсутствия у времени поступательного импульса следует, что сумма всех асимметричных сил, действующих на тело, должна равняться нулю, т. е. если в удаленных от оси вращения частях тела силы направлены в одну сторону (на Земле — вдоль оси вращения на север), то в приосевых частях они должны быть направлены в противоположную сторону, чтобы их полная сумма равнялась нулю. Применение этих результатов к Земле дало распределение сил, изображенное на рис. 2. Широта смены направления асимметричной силы равна $\pm 73^\circ$, как это было измерено Н.А. Козыревым в апреле 1959 г. в ходе высокоширотной экспедиции, достигшей $84^\circ 15'$ с. ш. на дрейфующих льдах. Сопоставление широтного распределения поверхности литосферы с распределением асимметричной силы Козырева (рис. 1, 2) показывает их хорошее соответствие. Действительно, в низких и средних широтах асимметричная сила направлена на север и

стягивает литосферу с юга («обнажая» место для океанических глубин) на север («выпячиваясь» континентами). В приполярных областях асимметричная сила направлена с севера на юг (вниз в Арктике, вверх в Антарктике), что объясняет существование впадины Северного Ледовитого океана и выступа Антарктиды.

Приведенное объяснение выглядит красиво, но его действительность необходимо доказать количественными расчетами. В статье [10] были попытки выполнения количественных оценок, но они не были доведены до конца. Ныне мы приходим к пониманию, что это было невозможно на основе имевшихся данных. В асимметричной механике не все постулаты подкреплены экспериментами, есть малопонятные результаты экспериментов, сами эксперименты выполнены с погрешностями, которые трудно оценить, и, наконец, эксперименты описаны очень кратко, в частности, не указаны время суток и год их проведения, что не позволяет сделать выбор из альтернативных космологических интерпретаций. Главный шаг на пути подтверждения и усовершенствования асимметричной механики является повторение экспериментов Н.А. Козырева на современном техническом уровне (см. статью [11]).

Исследование фигуры планет. Известны три основных метода изучения фигуры планет: геометрический, гравиметрический и астрономический и их различные комбинации [3, 4, 8].

Геометрический метод. С—Ю асимметрию Земли иллюстрирует рис. 2. Распределение типично асимметричное. Коэффициент геометрической асимметрии определим следующим образом:

$$\begin{aligned} &= (R_N - R_S) / 2R_{Eq} = (h_N - h_S) / R_{Eq} = \\ &= (-3,5 \quad -2) / 2 \cdot 6378,1 = -43 \cdot 10^{-5}. \end{aligned} \quad (1)$$

Спутниковые миссии к Марсу, особенно Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA)-эксперимент в конце 1990-х годов, позволили получить высокоточные данные о рельефе и гравитационном поле Марса. Самым впечатляющим результатом было обнаружение С—Ю асимметрии фигуры Марса: «южный полюс лежит на 6 км выше, чем северный» [17, 19], причем большая часть этой высотной асимметрии обусловлена не локальной топографией, а формой планеты: «центр масс планеты смещен на 3 км к северу от ее геометрического центра» [19]. По этим данным коэффициент геометрической С—Ю асимметрии для Марса составляет:

$$\begin{aligned} &= (R_N - R_S) / 2R_{Eq} = (3376,2 \quad - \\ &- 3382,6) / 2 \times 3389,5 = -94 \times 10^{-5}. \end{aligned}$$

Наибольшую С—Ю асимметрию асимметричная механика предсказывает для больших быстровращающихся планет *Сатурна* и *Юпитера*. Н.А. Козырев анализировал фотоснимки этих планет, полученные в середине XX в. с поверхности Земли, и определил С—Ю асимметрию на уровне погрешности: примерно 0,007 для Сатурна и 0,004 для Юпитера [5]. Несмотря на прошедшие 70 лет и выполнение научных миссий к планетам-гигантам, мы не нашли в литературе других указаний на их видимую (геометрическую) С—Ю асимметрию. Возможно, мощная динамичная непрозрачная атмосфера этих планет препятствует наблюдению.

Гравиметрический метод. Наиболее удобно изучать С—Ю асимметрию по гравитационному потенциалу $U(r, \varphi, \lambda)$, представленному в виде разложения по сферическим функциям [1, 3, 4, 12]:

$$\begin{aligned} U = \frac{GM}{r} \left(1 - \sum_{n=2}^{\infty} J_n \left(\frac{a}{r} \right)^n Y_n(\sin \varphi) + \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r} \right)^n \times \right. \\ \left. \times \sum_{k=1}^n (C_{nk} \cos k\lambda + S_{nk} \sin k\lambda) Y_{nk}(\sin \varphi) \right), \end{aligned} \quad (2)$$

где $G = (6,6742 \pm 0,0016) 10^{-11} \text{ (м}^3 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1})$ — гравитационная постоянная; M — масса планеты; a — экваториальный радиус планеты; r, φ, λ — радиус; широта, долгота — сферические координаты; r — выше поверхности планеты; Y_{nk} — присоединенные функции Лежандра (при $k > 0$); Y_n — полиномы Лежандра (при $k = 0$); C_{nk}, S_{nk} — коэффициенты тессеральных гармоник разложения потенциала; C_{nm}, S_{nm} — коэффициенты секторальных гармоник разложения потенциала; C_{n0}, J_n — коэффициенты зональных гармоник разложения потенциала.

Опишем физический смысл различных слагаемых разложения (2) гравитационного потенциала в ряд по сферическим функциям. Первый член представляет собой потенциал шара со сферическим распределением плотности, а все остальные слагаемые характеризуют отличие планеты от тела сферической структуры. Вторая зональная гармоника определяет сплюснутость планеты у полюсов — результат действия центробежных сил при вращении планеты. Эта гармоника вносит самый весомый вклад в разложение геопотенциала (табл. 1, приложение 1). Другие гармоники характеризуют более мелкие детали: тессеральные и секторальные гармоники — отличие планеты от тела, симметричного относительно оси вращения, а зональные гармоники нечетного порядка и тессеральные гармоники, для которых $(n - k)$ нечетное, определяют асимметрию планеты

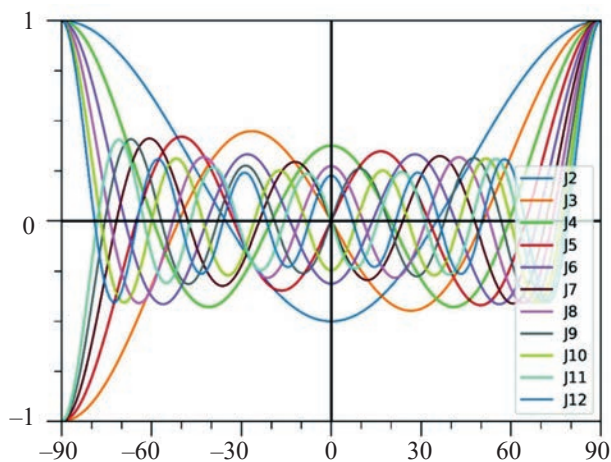


Рис. 3. Полиномы Лежандра $Y_n(\varphi)$ в зависимости от широты

Fig. 3. Legendre polynomials $Y_n(\varphi)$ depending on latitude

относительно плоскости экватора, т. е. С—Ю асимметрию [1].

Для зональных гармоник

$$U_n = -\frac{GM}{r} \left(\frac{a}{r}\right)^n J_n Y_n. \quad (3)$$

При вычислении $(ar^{-1})^n$ в качестве r мы брали R_M — средний по объему радиус (Volumetric mean radius), т. е. радиус шара, объем которого равен объему, ограниченному «геоидом» планеты (табл. 1). При этом полагаем его наиболее представительным.

Полиномы Лежандра $Y_n(\varphi)$ определяют распределение каждой зональной гармоники в зависимости от широты (рис. 3) для степеней n от 2 до 12. Они рассчитаны по формуле Родрига [4, с. 174]. Четные гармоники симметричны относительно экватора, они изменяются от +1 на полюсах до $\geq -0,5$ на экваторе и в средних широтах. Нечетные гармоники, которые описывают и количественно определяют С—Ю асимметрию, на южном полюсе равны -1 , на экваторе проходят через нуль, на северном полюсе равны $+1$. Коэффициенты J_n (а также C_{nk} , S_{nk}), определенные по наблюдениям (большой частью спутниковым), являются составной частью гравитационных моделей соответствующей планеты.

Выбор моделей. Земля. Из списка 176 моделей Международного центра глобальных моделей Земли (International Centre for Global Earth Models (ICGEM)) в Потсдаме мы выбрали модель EGM2008 [18]. Для Марса выбрана модель Mars reconnaissance orbiter [20]. Поскольку для Юпитера измерены и рассчитаны только 12 зональных гармоник, в основном тексте мы ограничились этим количеством и для планет земной

группы. В приложении 2 приведены все гармоники до 12-го порядка: полностью нормированные зональные $C_{n0} = C_n$, тессеральные C_{nk} , S_{nk} и секторальные C_{mn} , S_{mn} . Формула перехода от полностью нормированных «гармоник» C_n (табл. П1 в приложении) к J_n имеет вид

$$J_n = -\sqrt{(2n+1)} C_n. \quad (4)$$

Она была применена к данным Земли и Марса. Результат представлен в нижней части табл. 1.

Измерения гравитационного поля Юпитера начались только в 2016 г. после выхода космического корабля «Juno» на сильно вытянутую полярную орбиту вокруг планеты. Первая опубликованная работа с результатами обработки первых четырёх витков появилась в 2018 г. [14], из которой взяты следующие данные:

J_2 (E – 6)	$14,696,572 \pm 0,014$
C_{21} (E – 6)	$-0,013 \pm 0,015$
S_{21} (E – 6)	$-0,003 \pm 0,026$
C_{22} (E – 6)	$0,000 \pm 0,008$
S_{22} (E – 6)	$0,000 \pm 0,011$
J_3 (E – 6)	$-0,042 \pm 0,010$
J_4 (E – 6)	$-586,609 \pm 0,004$
J_5 (E – 6)	$-0,069 \pm 0,008$
J_6 (E – 6)	$34,198 \pm 0,009$
J_7 (E – 6)	$0,124 \pm 0,017$
J_8 (E – 6)	$-2,426 \pm 0,025$
J_9 (E – 6)	$-0,106 \pm 0,044$
J_{10} (E – 6)	$0,172 \pm 0,069$
J_{11} (E – 6)	$0,033 \pm 0,112$
J_{12} (E – 6)	$0,047 \pm 0,178$

Для Юпитера приведены погрешности по оценке авторов статьи [14]. Они весьма велики, что не всегда обеспечивает вторую значимую цифру в приведенных данных. Поэтому результаты анализа поля Юпитера следует рассматривать как предварительные.

Определение С—Ю асимметричной части гравитационного потенциала по пяти нечетным зональным гармоникам. Согласно формуле (3), амплитуда гравитационного потенциала нечетных зональных гармоник может быть представлена как произведение двух членов:

$$U_n = -\left(R_{Eq} / R_M\right)^n \cdot \frac{GM}{R_M} J_n. \quad (3, a)$$

Приведем подробный расчет для пяти гармоник трех планет. Все данные взяты из табл. 1,

размерность $\frac{GM}{R_M} J_n$ — $\text{км}^2/\text{с}^2$, $a = R_{Eq}$

В табл. 1 не учтен множитель 10^{-6} у J_n . После перемножения соседних столбцов каждой планеты получаем данные для табл. 3. В ней учтен знак «минус» в формуле (3), для удобства все цифры табл. 3 уменьшены в 10 раз, а общий множитель увеличен до 10^{-5} . По данным табл. 3 построен рис. 4.

По аналогии с геометрическим методом коэффициент С—Ю асимметрии по гравитационному потенциалу определим следующим образом:

$$\eta_U = [U(\varphi = +90^\circ) - U(\varphi = -90^\circ)] / 2U(\varphi = 0). \quad (5)$$

Значения гравитационного потенциала можно снять из рис. 4 или более точно из табл. 4 для отдельных гармоник и их суммы.

Ускорение свободного падения. Далее можно вычислить силу тяжести исходя из формулы (3):

$$U_n = -\frac{GM}{r} \left(\frac{a}{r}\right)^n J_n Y_n.$$

Поскольку мы рассматриваем зональные гармоники, можно ограничиться только вертикальной компонентой градиента потенциала

Таблица 1. Основные параметры

Table 1. Main parameters

Величина	Символ	Единица измерения	Земля (EGM2008)	Марс (JPLMRO120F)	Юпитер [3]
Гравитационный параметр	$\mu = GM$	км ³ /с ²	398 600,442 [4]	42828,3748574 [2]	126686533,0 [3]
Экваториальный радиус	$a = R_{Eq}$	км	6378,137 [4]	3396,0 [2]	71 492,0 [3]
Гравитационный потенциал однородной планеты	GM/R_{Eq}	км ² /с ²	62,494806	12,611417	1772,0378
Полярный радиус	R_P	км	6356,752 [4]	3376,2 [2]	66 854,0 [3]
Северный полярный радиус	R_{PN}	км	6356,767	3376,2 [5]	—
Южный полярный радиус	R_{PS}	км	6356,723	3382,6 [5]	—
Средний радиус по объему	R_M	км	6371,0 [4]	3389,5	69911,0
Средняя угловая скорость	$\omega \cdot 10^{-5}$	рад/с	7,292115 [4]	7,088218 [6]	17,6 [1]
Период обращения вокруг оси (звездное время)	—	час, мин, с	23 ч 56 мин 04 с [1]	24 ч 37 мин 22,5 с [6]	9 ч 55 мин 30 с [1]
Период обращения вокруг Солнца	—	земные сутки	365,256 [1]	686,98 [6]	4332,589 [1]
Гравитационное ускорение на экваторе	$g(\varphi = 0)$	м/с ² = 10 ⁵ мГал	9,7803 [4]	3,7052 [2]	23,12 [1]
широтное	$g(\varphi = \pm 45^\circ)$	м/с ²	9,8061 [4]	3,7214 [2]	24,79 [1]
меридиан	$g(\varphi = \pm 90^\circ)$	м/с ²	9,8322 [4]	3,7376 [2]	—
Гармоники	$J_n \cdot 10^6$		[4]	[2]	[3]
	$J_2 \cdot 10^6$	—	1082,62617385	1956,60863353	14 696,572
	$J_3 \cdot 10^6$	—	-2,53241052 [4]	31,4761194 [2]	-0,042 [3]
	$J_4 \cdot 10^6$	—	-1,6198976	-15,38764517	-586,609
	$J_5 \cdot 10^6$	—	-0,22775359	5,72703993	-0,069
	$J_6 \cdot 10^6$	—	0,54066658	-4,85480822	34,198
	$J_7 \cdot 10^6$	—	-0,3505518	-4,10508434	0,124
	$J_8 \cdot 10^6$	—	-0,20399313	-0,59558525	-2,426
	$J_9 \cdot 10^6$	—	-0,12212796	1,25214024	-0,106
	$J_{10} \cdot 10^6$	—	-0,24439077	-3,33017824	0,172
	$J_{11} \cdot 10^6$	—	0,24347659	1,27621385	0,033
	$J_{12} \cdot 10^6$	—	-0,18218096	-1,30114282	0,047

$$g_n = \frac{dU_n}{dr} = - \left[\frac{d}{dr} \left(\frac{GM}{r} \right) \times \left(\frac{a}{r} \right)^n + \frac{GM}{r} \times \frac{d}{dr} \left(\frac{a}{r} \right)^n \right] J_n Y_n. \quad (6)$$

После дифференцирования имеем

$$g_n = + \frac{GM}{r^2} \left[\left(\frac{a}{r} \right)^n + n \left(\frac{a}{r} \right)^{n-1} \right] J_n Y_n. \quad (6, a)$$

После вычислений получаем результирующую табл. 4 и рис. 5. Коэффициент асимметрии по ускорению силы тяжести:

$$g = [g(\varphi = +90) - g(\varphi = -90)] / 2g(\varphi = 0). \quad (7)$$

Превышения «геоида» над эллипсоидом. Для двух моделей, хранящихся в Международном центре глобальных моделей Земли (<http://icgem.gfz-potsdam.de>), EGM2008 — для Земли, и ggm1025a — для Марса, были получе-

ны аномалии высот h (height_anomaly_ell) вдоль меридианов от Южного полюса до Северного. На рис. 6 представлены результаты для 18 меридианов, проведенных через 20 градусов долготы. В средней кривой долготные эффекты практически устранены, размах кривой $[h(\varphi = +90) - h(\varphi = -90)]$ позволяет непосредственно вычислить коэффициент С—Ю асимметрии:

$$h = [h(\varphi = +90) - h(\varphi = -90)] / 2g(\varphi = 0), \quad (8)$$

представленный в табл. 5.

Коэффициенты С—Ю асимметрии по имеющимся данным. По данным отдельных гармоник вычислены коэффициенты С—Ю асимметрии, по сумме пяти гармоник — по данным гравитационного потенциала, затем по ускорению силы тяжести, по аномалии высот геоида, по данным геометрического метода (табл. 5).

Таблица 2. Расчет для пяти гармоник планет

Table 2. Calculation for the five harmonics of the planets

n	Земля		Марс		Юпитер	
	$(a/r)^n = (a/R_M)^n$	$\frac{GM}{R_M} J_n$	$(a/r)^n = (a/R_M)^n$	$\frac{GM}{R_M} J_n$	$(a/r)^n = (a/R_M)^n$	$\frac{GM}{R_M} J_n$
1	1,001120		1,001918		1,022614	
$(R_{Eq}/R_M)^3$	1,003364	-158,439798	1,005764	397,719734	1,069389	-76,108687
$(R_{Eq}/R_M)^5$	1,005614	-14,249361	1,009625	72,364600	1,118303	-125,03570
$(R_{Eq}/R_M)^7$	1,007868	-21,932209	1,013501	-51,870214	1,169455	224,701837
$(R_{Eq}/R_M)^9$	1,010127	-7,640913	1,017392	15,821546	1,222946	-192,08383
$(R_{Eq}/R_M)^{11}$	1,012392	15,233068	1,021298	16,125731	1,278884	59,799682

Таблица 3. Гравитационный потенциал нечетных гармоник

$$U_n = - \frac{GM}{r} \left(\frac{a}{r} \right)^n J_n \quad (\times 10^{-5} \text{ км}^2/\text{с}^2)$$

Table 3. Gravitational potential $U_n = - \frac{GM}{r} \left(\frac{a}{r} \right)^n J_n$ ($\times 10^{-5} \text{ км}^2/\text{с}^2$) of odd harmonics

n	Земля	Марс	Юпитер
3	+15,8972862	-40,0012230	+8,1389808
5	+1,4329353	-7,3061129	+13,9827853
7	+2,2104772	+5,2570528	-26,2778693
9	+0,7718295	-1,6096717	+23,4908209
11	-1,5421833	-1,6469176	-7,6476874
Σ	+18,770330	-45,306857	+11,68704

Таблица 4. Вклад ($\times 10^5$) пяти зональных гармоник и их суммы в ускорение свободного падения (мГал) на полюсах трех планет

Table 4. Contribution ($\times 10^5$) of the five zonal harmonics and their sum to the gravity acceleration (mGal) at the poles of the three planets

g_n *	Земля	Марс	Юпитер
3	9,972654	-47,138280	0,457679
5	1,348233	-12,912452	1,177934
7	2,772956	12,387074	-2,948822
9	1,210253	-4,740813	3,293227
11	-2,901776	-5,820427	-1,286090
Σ	12,402320	-58,224900	0,693928

* g_n , 1 мГал = $10^{-5} \text{ м}/\text{с}^2$.

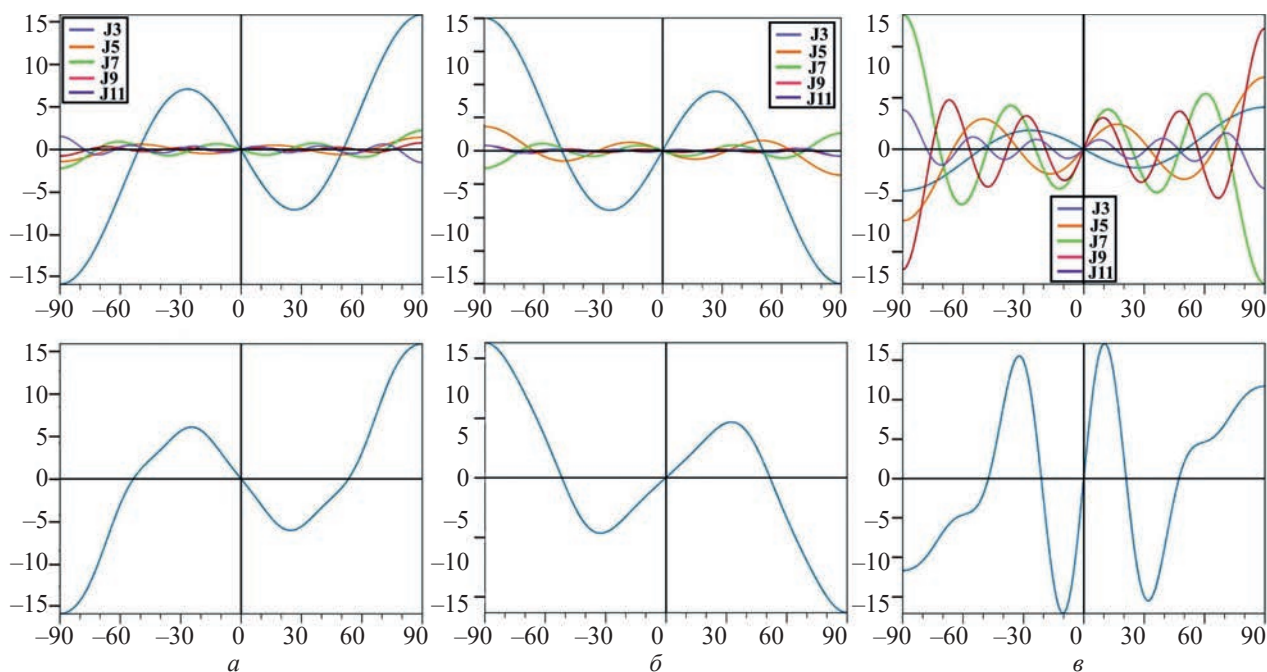


Рис. 4. Пространственное распределение пяти нечетных зональных гармоник гравитационного потенциала трех планет: *a* — Земли, *б* — Марса, *в* — Юпитера. В верхнем ряду каждая гармоника дана отдельно, в нижнем — дана сумма пяти гармоник. На оси абсцисс отложена широта, градусы, на оси ординат — амплитуда гармоник, в единицах $\text{км}^2/\text{с}^2$, умноженных на 10^5

Fig. 4. Spatial distribution of five odd zonal harmonics of the gravitational potential for three planets: *a* — Earth, *б* — Mars, *в* — Jupiter. In the top row each harmonic is given separately, in the bottom row the sum of the five harmonics is given. Latitude is plotted on the abscissa, the harmonic amplitude in units of km^2/s^2 multiplied by 10^5 on the ordinate

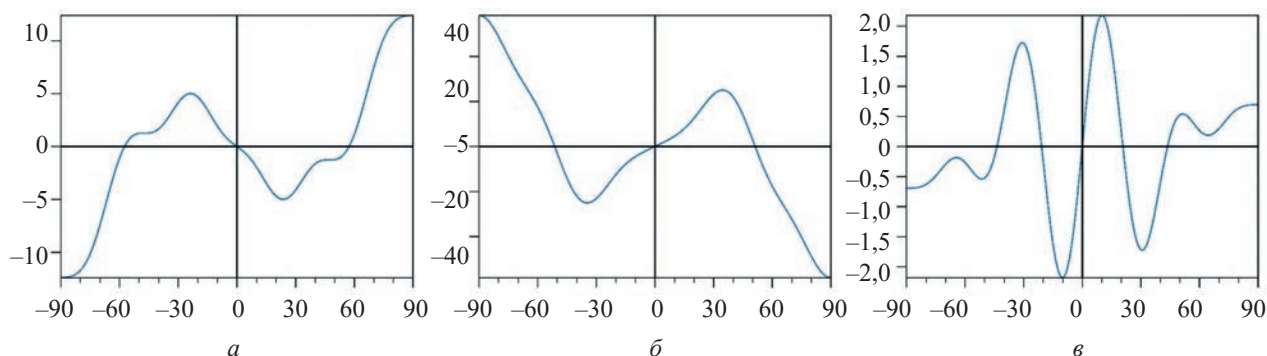


Рис. 5. Широтное распределение ускорения силы тяжести (в мГалах) от суммы пяти зональных нечетных сферических гармоник для Земли (*a*), Марса (*б*) и Юпитера (*в*)

Fig. 5. Latitudinal distribution of gravity acceleration (in mGals) from the sum of five zonal odd spherical harmonics for the Earth (*a*), Mars (*б*) and Jupiter (*в*)

Обсуждение. В табл. 5 приведен вклад в асимметрию каждой из пяти рассмотренных зональных гармоник. Практически для полной характеристики С—Ю асимметрии необходим учет всех гармоник.

Земля и Марс. В табл. П2 (см. приложения) даны результаты вычисления асимметричной части гравитационного потенциала до 119 степени (максимальная степень разложений поля Марса). Согласно ее данным, асимметрия гравитационного поля с повышением числа использованных

гармоник для Земли стабилизируется на уровне $+21 \cdot 10^{-5}$, а для Марса при $n = 27$ достигает экстремума $-47 \cdot 10^{-5}$, при $n = 41$ подходит к уровню $-44 \cdot 10^{-5}$ и остается на нем до $n = 99$, а далее начинается медленное сползание до $-42 \cdot 10^{-5}$ на последней имеющейся гармонике $n = 119$.

На Земле и на Марсе существенно преобладает первая нечетная гармоника $n=3$, что, по-видимому, указывает на глобальный характер С—Ю асимметрии. Земля и Марс имеют разные знаки асимметрии. Получается, что знак асимме-

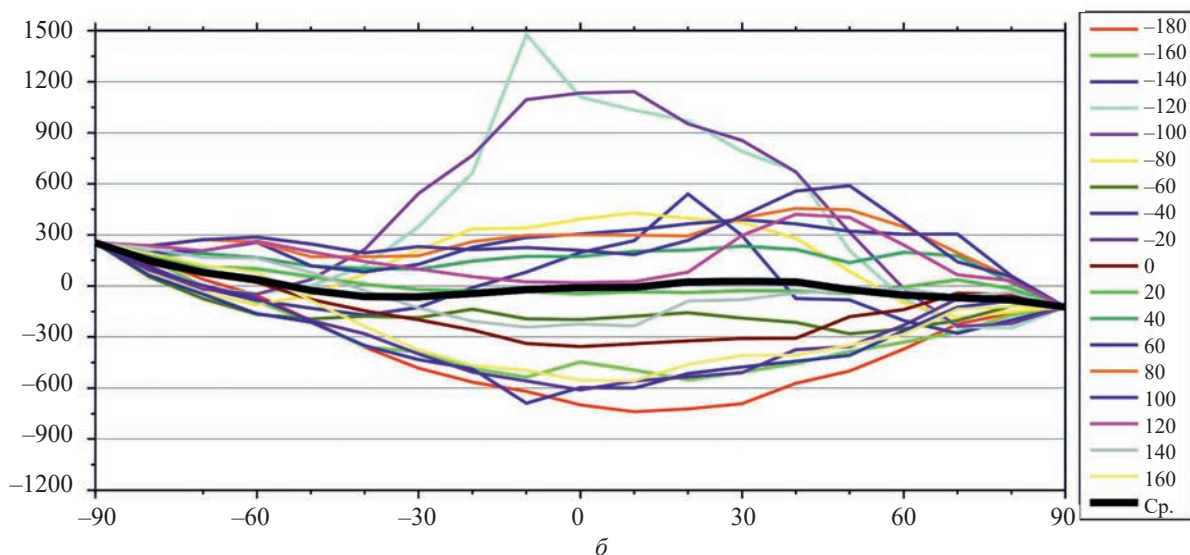
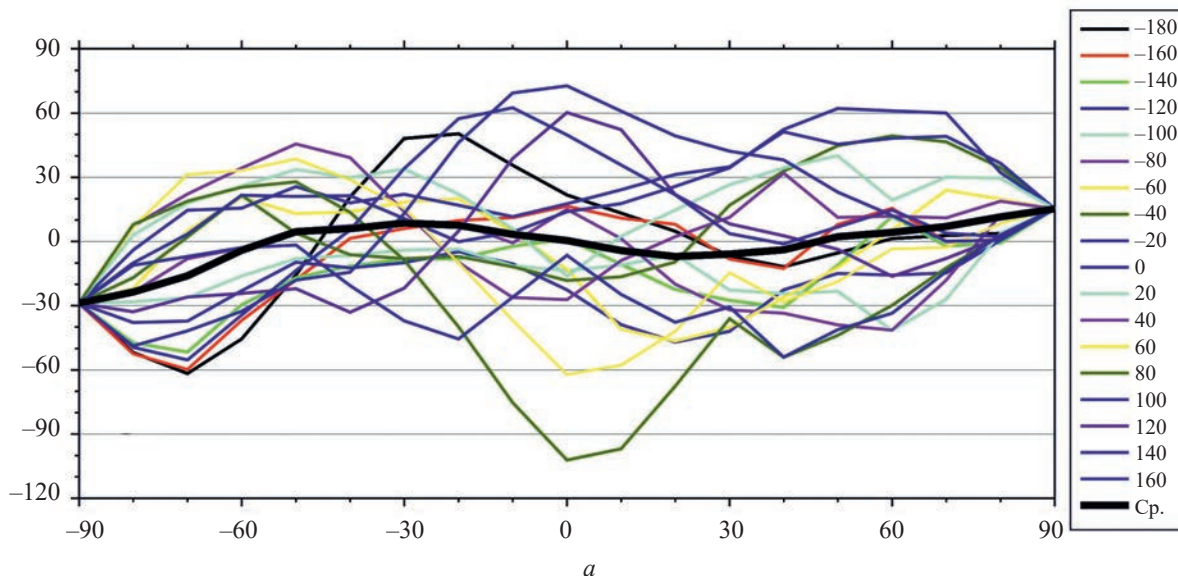


Рис. 6. Изменение аномалии высот «геоида» с широтой вдоль 18 равномерно распределенных (через 20°) меридианов для Земли (а) и Марса (б). Жирной линией показана средняя кривая $h(\varphi)$

Fig. 6. Changes in the «geoid» altitude anomaly with latitude along 18 evenly distributed (every 20°) meridians for Earth (a) and Mars (b). The bold line shows the average $h(\varphi)$ curve

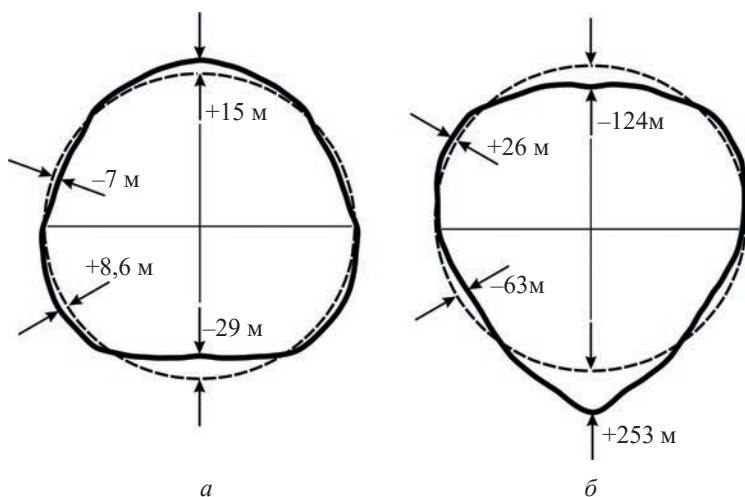


Рис. 7. С—Ю асимметрия фигуры Земли (а) и Марса (б). Сплошной линией даны отклонения «геоида» от эллипсоида (штриховая линия), осредненные при вращении вокруг оси планеты. Отклонения увеличены в $1,6 \cdot 10^4$ раз для Земли и в $0,32 \cdot 10^4$ раз для Марса

Fig. 7. N — S asymmetry of the Earth figure (a) and Mars (b). The solid line shows the deviations of the «geoid» from the ellipsoid (dotted line), averaged during rotation around the axis of the planet. The deviations are increased $1,6 \cdot 10^4$ times for Earth and $0,32 \cdot 10^4$ times for Mars

трии не зависит от направления вращения! Для Земли наблюдается различие знаков, полученных гравиметрическим и геометрическим методами. Это можно объяснить тем, что в геометрическом определении высоты литосферы брали на полюсах. Возможна альтернативная интерпретация. Впадина Северного Ледовитого океана и поднятие Антарктиды занимают относительно небольшую площадь по сравнению с прилегающими к ним поднятиями литосферы на материках Северного полушария и ее погружением под воды Южного океана. Если характеризовать полушария этими более крупномасштабными объектами и пренебречь приполярными (на рис. 1 они даны штриховыми линиями), то геометрический метод даст знак «+» (последняя строка табл. 5).

Коэффициенты η_U , η_g и η_h показывают С—Ю асимметрию одинакового знака для каждой из

планет, но различной величины. По-видимому, так оно и должно быть. Если бы было однозначное соответствие между этими коэффициентами, то можно было бы ограничиться одним коэффициентом для описания асимметрии, но пока такого соответствия мы не знаем.

Полагаем, что на данном этапе для оптимальной характеристики С—Ю асимметрии следует выбрать коэффициент η_h , поскольку в методе его определения учитываются все гармоники, как зональные, так и тессеральные.

Юпитер. Согласно современным представлениям [13—16], Юпитер считается газо-жидкой планетой (предполагается, но еще не доказана возможность существования небольшого твердого ядра), в которой не следует ожидать плотностных неоднородностей и связанных с ними нечетных сферических гармоник. В глобальных

Таблица 5. Коэффициенты С—Ю асимметрии по всем рассмотренным данным. Результаты по сумме пяти гармоник выделены жирным шрифтом

Table 5. N-S asymmetry coefficients for all considered data. Results for the sum of the five harmonics are given in bold

n		Земля	Марс	Юпитер
<i>По гравитационному потенциалу U</i>				
3	η_U	+15,8972862 · 10 ⁻⁵	- 40,0012230 · 10 ⁻⁵	+8,139 · 10 ⁻⁵
5	η_U	+1,4329353 · 10 ⁻⁵	- 7,3061129 · 10 ⁻⁵	+13,982 · 10 ⁻⁵
7	η_U	+2,2104772 · 10 ⁻⁵	+5,2570528 · 10 ⁻⁵	- 26,277 · 10 ⁻⁵
9	η_U	+0,7718295 · 10 ⁻⁵	- 1,6096717 · 10 ⁻⁵	+23,490 · 10 ⁻⁵
11	η_U	-1,5421833 · 10 ⁻⁵	- 1,6469176 · 10 ⁻⁵	- 7,647 · 10 ⁻⁵
Σ 3–11	η_U	+18,5 · 10⁻⁵	- 42,5 · 10⁻⁵	+10,7 · 10⁻⁵
<i>По ускорению силы тяжести g</i>				
$n = 3$	η_g	+1,01966 · 10 ⁻⁵	-12,722 · 10 ⁻⁵	+0,01980 · 10 ⁻⁵
5	η_g	+0,13788 · 10 ⁻⁵	-3,4849 · 10 ⁻⁵	+0,05094 · 10 ⁻⁵
7	η_g	+0,28397 · 10 ⁻⁵	+3,3431 · 10 ⁻⁵	-0,12754 · 10 ⁻⁵
9	η_g	+0,12374 · 10 ⁻⁵	-1,2795 · 10 ⁻⁵	+0,14244 · 10 ⁻⁵
11	η_g	-0,29670 · 10 ⁻⁵	-1,5708 · 10 ⁻⁵	-0,05562 · 10 ⁻⁵
Σ 3–11	η_g	+1,26809 · 10⁻⁵	-15,7143 · 10⁻⁵	+0,03001 · 10⁻⁵
<i>По превышению высот геоида h</i>				
$\Sigma\Sigma$	η_h	0,34492 · 10⁻⁵	-5,55 · 10⁻⁵	
Геометрический метод		- 43 · 10 ⁻⁵	-94 · 10 ⁻⁵	+400 · 10 ⁻⁵
Геометрический метод без полярных широт		+42 · 10 ⁻⁵		

масштабах таковые не обнаружены, но выявлены неоднородности, связанные с динамикой атмосферных потоков. Поэтому на Юпитере С—Ю асимметрия носит совсем иной характер по сравнению с асимметрией твердотельных планет земной группы (рис. 4, 5, табл. 4, 5).

Нечетная гармоника самого низкого порядка J_3 не доминирует, как на Земле и Марсе, наоборот, три следующие гармоники значительно больше неё. Данные о Юпитере начали поступать только в 2016 г. после выхода космического корабля «Juno» на сильно вытянутую полярную орбиту вокруг планеты. Первые результаты обработки были опубликованы в трех статьях [13, 14, 16], подписанных коллективом из более 25 ученых из 13 организаций пяти стран (США — 7, Италии — 3, Франции, Швейцарии и Израиля). Авторы полагают, что нечетные гармоники несут информацию только о динамике мощных зональных ветров в атмосфере Юпитера, имеющей толщину более 4000 км; ветры составляют порядка 1 % массы планеты (земная атмосфера — всего 10^{-6} часть общей массы планеты). Тессеральные C_{21} , S_{21} и секторальные C_{22} , S_{22} гармоники приведены для Юпитера только для второй гармоники. Они оказались очень малыми, ниже погрешности измерения. Авторы считают, что это указывает на газоидное подвижное однородное состояние недр планеты.

Детальные фотосъемки Юпитера обнаружили асимметрию атмосферных вихревых систем в северной и южной полярных шапках. Над северным полюсом расположен циклон диаметром 4000 км, окруженный восемью регулярно расположенными циклонами на 10 % большего диаметра. Циклон над южным полюсом окружен всего пятью циклонами размерами от 5600 до 7000 км с менее регулярным расположением. Каких-либо данных о смещении центра масс и центра фигуры Юпитера мы не обнаружили, поэтому новые данные о возможной геометрической С—Ю асимметрии формы Юпитера не приведены.

Выводы.

1. С—Ю асимметрия фигуры Земли и Марса имеет противоположный знак, хотя осевое и орбитальное вращения планет близки по величине и направлению. Это означает, что С—Ю асимметрия обусловлена прежде всего асимметричным распределением плотности внутри планет, а возможные эффекты их вращения менее существенны.

2. С—Ю асимметрия Земли и Марса имеет сходную структуру: преобладает первая нечетная

зональная гармоника J_3 третьей степени; гармоники более высокой степени значительно меньше по амплитуде.

3. Анализ превышений высот «геоида» над эллипсоидом вдоль меридиональных профилей показывает наличие интенсивных неосесимметричных аномалий, видимо, преимущественно мантийного залегания как на Земле, так и на Марсе.

4. Структура нечетных зональных гармоник на Юпитере существенно отличается от таковой планет земной группы: амплитуды 7-й и 9-й гармоник в 2—3 раза больше амплитуды 5-й и 3-й гармоник, более высокие степени еще не определены.

5. Предположение Н.А. Козырева о четкой причинной связи С—Ю асимметрии со скоростью и направлением вращения планет не подтверждено, однако делать вывод об отсутствии асимметричных сил Козырева нет оснований. В планетах существуют крупномасштабные плотностные неоднородности, которые вносят С—Ю асимметрию, по-видимому, превышающую эффекты сил Козырева. Для уточнения величины асимметричных сил Козырева необходимы дополнительные эксперименты.

Авторы выражают признательность профессору Национального авиационного университета О.А. Железняку и профессору Главной астрономической обсерватории НАН Украины А.П. Видмаченко за полезные конструктивные обсуждения рукописи, а также профессору Института космических исследований А.В. Захарову и ведущему научному сотруднику Института прикладной математики В.А. Степаньянцу за помощь в подборе научных материалов.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Требования к новому поколению аппаратуры для измерения асимметричной силы Козырева

1. Автономность. Человек не ведет наблюдений. Аппаратура работает по разработанной программе (комплекс программ). Сама включает взвешивание без вибраций, затем взвешивание при росте частоты вибраций и после выключения вибраций. Частота вибраций определяется дополнительным устройством. Специальная программа сразу строит зависимость измеренного веса от времени и частоты вибраций.

Если в установку вставлен гироскоп, то затем проводятся измерения при правом и левом вращениях по той же методике (без вибраций, затем с вибрациями увеличивающейся частоты). И снова измерения без вращений гироскопа. На этом цикл заканчивается. Автомат может приступать к следующему циклу измерений. Чем короче цикл, тем лучше, так как это позволит получить кривую изменения асимметричной силы с большим временным разрешением и изучать возможные

корреляции с более широким спектром космопланетарных воздействий.

Длительность цикла без вращения гироскопа можно довести до 10—20 мин, с вращениями гироскопа — до 30—60 мин. При вращении гироскопа обязательно вакуумирование (до величины порядка 10^{-4} атм, которое может быть двухступенчатым); без вращения гироскопа вакуумирование желательно, но возможно и без него результаты будут удовлетворительные, — необходимы исследования.

2. Взвешивание позволяет определить только вертикальную компоненту асимметричной силы. Горизонтальную компоненту Н.А. Козырев измерял с помощью отвеса. Эти измерения также весьма желательны. Отвес следует поместить в трубу с глубоким вакуумом ($\geq 10^{-4}$), трубу хорошо термостатировать. Управление и съем информации производить автоматически, как описано выше для взвешивания.

3. Установка должна быть изолирована от тривиальных воздействий: температуры, сотрясений, потоков воздуха, перемещения ферромагнетиков (транспорта), вносящих изменения магнитного поля, и других возможных воздействий, включая мысленные воздействия человека. Таким требованиям отвечает глубокий подвал на территории, огороженной от транспорта. Настройку аппаратуры и стационарное измерение асимметричной силы целесообразно организовать на геофизической или астрономической обсерватории, а может быть (лучше всего), на глубинной обсерватории космических лучей.

4. Желательны (но не ясно, возможны ли) модернизации: взвешивание на рычажных весах дублировать/заменить компенсацией изменений веса электромагнитными силами (как у Хайасака). Но возникает вопрос: «Как в случае замены вводить вибрации? Заменить их воздействием от необратимого процесса?» Однако такое не определено количественно, как определена частота вибраций.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица III. Зональные, тессеральные и секторальные (полностью нормированные) гармоники гравитационного потенциала степени 2—11 Земли и Марса (все значения умножены на 10^6). Используются модели: Земля — EGM2008; Марс — JPLMRO120F https://pds-geosciences.wustl.edu/mro/mro-m-rss-5-sdp-v1/mrors_1xxx/data/shadr/

Table III. Zonal, tesseral and sectoral (fully normalized) harmonics of the gravitational potential of degree 2—11 for the Earth and Mars (all values are multiplied by 10^6). Used models are: Earth — EGM2008; Mars — JPLMRO120F https://pds-geosciences.wustl.edu/mro/mro-m-rss-5-sdp-v1/mrors_1xxx/data/shadr/

n, k	C_{nk}		S_{nk}	
	Земля	Марс	Земля	Марс
0				
1, 0				
1, 1				
2, 0	-484,165144	-875,021981	0	0

Продолжение табл. III

n, k	C_{nk}		S_{nk}	
	Земля	Марс	Земля	Марс
2, 1	-0,000207	0,000375	0,001384	0,0000220
2, 2	2,439384	-84,632835	-1,400274	48,939759
3, 0	0,957161	-11,896854	0	0
3, 1	2,030462	3,805070	0,248200	25,177104
3, 2	0,904788	-15,947386	-0,619005	8,362451
3, 3	0,721322	35,056446	1,414349	25,571127
4, 0	0,539966	5,129215	0	0
4, 1	-0,536157	4,216416	-0,473567	3,763251
4, 2	0,350502	-0,953111	0,662480	-8,980789
4, 3	0,990857	6,456844	-0,200957	-0,193806
4, 4	-0,188520	0,308148	0,308804	-12,873060
5, 0	0,068670	-1,726767	0	0
5, 1	-0,062921	0,483840	-0,094370	2,123133
5, 2	0,652078	-4,298186	-0,323353	-1,165672
5, 3	-0,451847	3,312671	-0,214955	0,271424
5, 4	-0,295329	-4,640784	0,049807	-3,381516
5, 5	0,174812	-4,449228	-0,669380	3,780527
6, 0	-0,149954	1,346481	0	0
6, 1	-0,075921	1,802359	0,026512	-1,518503
6, 2	0,048649	0,861718	-0,373789	1,469102
6, 3	0,057245	0,955677	0,008952	0,332928
6, 4	-0,086024	1,008776	-0,471426	2,638641
6, 5	-0,267166	1,657904	-0,536493	1,622658
6, 6	0,009471	2,762240	-0,237382	0,821324
7, 0	0,090512	1,059928	0	0
7, 1	0,280888	1,374996	0,095126	-0,227373
7, 2	0,330408	2,813976	0,092997	-0,629690
7, 3	0,250458	0,880498	-0,217118	-0,396982
7, 4	-0,274994	2,468983	-0,124058	-0,422479
7, 5	0,001648	-0,191695	0,017928	-1,358526
7, 6	-0,358798	-0,559624	0,151798	-1,901363
7, 7	0,001507	0,440368	0,024107	-1,775677
8, 0	0,049476	0,144450	0	0
8, 1	0,023161	-0,132544	0,058897	0,750526
8, 2	0,080014	1,810438	0,065281	0,507062
8, 3	-0,019375	-1,207016	-0,085964	-1,341290
8, 4	-0,244360	1,588280	0,069807	0,148108
8, 5	-0,025701	-2,791768	0,089203	-1,629758
8, 6	-0,065965	-0,914435	0,308947	-1,789927
8, 7	0,067257	-0,473626	0,074869	1,644709
8, 8	-0,124023	-0,310657	0,120552	-0,250278
9, 0	0,028018	-0,287260	0	0
9, 1	0,142151	0,420971	0,021400	-0,490213
9, 2	0,021414	1,138728	-0,031698	0,382195
9, 3	-0,160612	-0,993669	-0,074266	-1,007616
9, 4	-0,009365	0,294989	0,019903	1,623581
9, 5	-0,016313	-2,271902	-0,054039	-1,549284

Окончание табл. П1

n, k	C _{nk}		S _{nk}	
	Земля	Марс	Земля	Марс
9, 6	0,062788	0,808616	0,222962	0,577717
9, 7	-0,117984	-0,617939	-0,096922	0,868927
9, 8	0,188136	1,208066	-0,003005	-0,146469
9, 9	-0,047557	-1,171921	0,096880	-0,657766
10, 0	0,053330	0,726704	0	0
10, 1	0,083762	0,923993	-0,131092	0,223214
10, 2	-0,093989	0,007004	-0,051275	-1,115787
10, 3	-0,007007	-0,299036	-0,154140	0,443555
10, 4	-0,084472	-1,213944	-0,079026	-0,069697
10, 5	-0,049289	0,421399	-0,050614	-1,062936
10, 6	-0,037585	0,669612	-0,079769	1,117115
10, 7	0,008262	0,317857	-0,003049	-0,620238
10, 8	0,040598	0,540612	-0,091714	0,820568
10, 9	0,125377	-1,457559	-0,037944	-1,463532
10, 10	0,100436	-0,274757	-0,023860	0,753284
11, 0	-0,050768	-0,266108	0	0
11, 1	0,015613	-0,816880	-0,027124	-0,221321
11, 2	0,020114	-0,313585	-0,099000	-0,994023
11, 3	-0,030577	-1,303020	-0,148835	0,765302
11, 4	-0,037950	-1,574122	-0,063767	-0,644470
11, 5	0,037419	1,356500	0,049591	0,899078
11, 6	-0,001564	-0,244760	0,034274	0,020644
11, 7	0,004655	0,660447	-0,089825	-0,864986
11, 8	-0,006302	-1,182050	0,024545	0,767062
11, 9	-0,031073	-0,415203	0,042068	-0,419441
11, 10	-0,052244	0,333337	-0,018422	1,966662
11, 11	0,046234	-0,044955	-0,069671	-0,323454
12, 0	0,036436	0,260228	0	0

Таблица П2. С—Ю асимметрия гравитационного потенциала Земли и Марса при последовательном добавлении нечетных зональных гармоник до 119 степени включительно

Table П2. N-S asymmetry of the gravitational potential of the Earth and Mars with the successive addition of odd zonal harmonics up to the 119th degree

n	Земля	Марс
3	+15,897282 · 10 ⁻⁵	-40,001222 · 10 ⁻⁵
+5	+17,330214 · 10 ⁻⁵	-47,307334 · 10 ⁻⁵
+7	+19,540686 · 10 ⁻⁵	-42,050281 · 10 ⁻⁵
+9	+20,312510 · 10 ⁻⁵	-43,659953 · 10 ⁻⁵
+11	+18,770330 · 10 ⁻⁵	-45,306869 · 10 ⁻⁵
+13	+20,146819 · 10 ⁻⁵	-48,609568 · 10 ⁻⁵
+15	+20,224472 · 10 ⁻⁵	-45,026148 · 10 ⁻⁵
+17	+20,948324 · 10 ⁻⁵	-45,441699 · 10 ⁻⁵
+19	+20,816490 · 10 ⁻⁵	-45,381360 · 10 ⁻⁵
+21	+21,078993 · 10 ⁻⁵	-44,289382 · 10 ⁻⁵
+23	+20,099343 · 10 ⁻⁵	-43,851837 · 10 ⁻⁵

Окончание табл. П2

n	Земля	Марс
+25	+20,246651 · 10 ⁻⁵	-45,203699 · 10 ⁻⁵
+27	+20,419465 · 10 ⁻⁵	-47,420401 · 10 ⁻⁵
+29	+20,157482 · 10 ⁻⁵	-46,412590 · 10 ⁻⁵
+31	+20,505010 · 10 ⁻⁵	-45,141923 · 10 ⁻⁵
+33	+20,311887 · 10 ⁻⁵	-46,255369 · 10 ⁻⁵
+35	+20,737680 · 10 ⁻⁵	-45,944068 · 10 ⁻⁵
+37	+20,415310 · 10 ⁻⁵	-46,685550 · 10 ⁻⁵
+39	+20,490510 · 10 ⁻⁵	-45,920167 · 10 ⁻⁵
+41	+20,297136 · 10 ⁻⁵	-44,938495 · 10 ⁻⁵
+43	+20,692832 · 10 ⁻⁵	-44,519186 · 10 ⁻⁵
+45	+20,488688 · 10 ⁻⁵	-44,543691 · 10 ⁻⁵
+47	+20,548869 · 10 ⁻⁵	-44,185033 · 10 ⁻⁵
+49	+20,562359 · 10 ⁻⁵	-44,446238 · 10 ⁻⁵
+51	+20,262531 · 10 ⁻⁵	-44,208333 · 10 ⁻⁵
+53	+20,802226 · 10 ⁻⁵	-44,734083 · 10 ⁻⁵
+55	+20,872165 · 10 ⁻⁵	-44,772653 · 10 ⁻⁵
+57	+20,679171 · 10 ⁻⁵	-44,125357 · 10 ⁻⁵
+59	+20,937597 · 10 ⁻⁵	-44,645952 · 10 ⁻⁵
+61	+21,196060 · 10 ⁻⁵	-44,062866 · 10 ⁻⁵
+63	+21,096871 · 10 ⁻⁵	-44,586952 · 10 ⁻⁵
+65	+21,149934 · 10 ⁻⁵	-44,079522 · 10 ⁻⁵
+67	+21,187295 · 10 ⁻⁵	-44,565589 · 10 ⁻⁵
+69	+21,236548 · 10 ⁻⁵	-44,475291 · 10 ⁻⁵
+71	+21,022194 · 10 ⁻⁵	-44,826300 · 10 ⁻⁵
+73	+20,993129 · 10 ⁻⁵	-44,704667 · 10 ⁻⁵
+75	+20,955139 · 10 ⁻⁵	-44,752619 · 10 ⁻⁵
+77	+21,177771 · 10 ⁻⁵	-44,930256 · 10 ⁻⁵
+79	+21,091991 · 10 ⁻⁵	-44,872675 · 10 ⁻⁵
+81	+21,169764 · 10 ⁻⁵	-44,848427 · 10 ⁻⁵
+83	+21,224614 · 10 ⁻⁵	-44,598180 · 10 ⁻⁵
+85	+21,091278 · 10 ⁻⁵	-44,916953 · 10 ⁻⁵
+87	+21,249706 · 10 ⁻⁵	-44,823033 · 10 ⁻⁵
+89	+21,184263 · 10 ⁻⁵	-44,727635 · 10 ⁻⁵
+91	+21,136761 · 10 ⁻⁵	-44,749572 · 10 ⁻⁵
+93	+21,190695 · 10 ⁻⁵	-44,341961 · 10 ⁻⁵
+95	+21,242265 · 10 ⁻⁵	-44,571538 · 10 ⁻⁵
+97	+21,187706 · 10 ⁻⁵	-44,653407 · 10 ⁻⁵
+99	+21,409319 · 10 ⁻⁵	-44,542572 · 10 ⁻⁵
+101	+21,513939 · 10 ⁻⁵	-43,881908 · 10 ⁻⁵
+103	+21,212083 · 10 ⁻⁵	-43,683893 · 10 ⁻⁵
+105	+21,401272 · 10 ⁻⁵	-43,417244 · 10 ⁻⁵
+107	+21,409361 · 10 ⁻⁵	-43,396830 · 10 ⁻⁵
+109	+21,222928 · 10 ⁻⁵	-43,233871 · 10 ⁻⁵
+111	+21,114636 · 10 ⁻⁵	-42,875564 · 10 ⁻⁵
+113	+21,217072 · 10 ⁻⁵	-42,737399 · 10 ⁻⁵
+115	+21,228280 · 10 ⁻⁵	-42,620604 · 10 ⁻⁵
+117	+21,308973 · 10 ⁻⁵	-42,356617 · 10 ⁻⁵
+119	+21,275491 · 10 ⁻⁵	-42,089370 · 10 ⁻⁵

СПИСОК БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ССЫЛОК

1. Аксенов Е.П. Теория движения искусственных спутников Земли. Москва: Наука, 1977. 360 с.
2. Атлас мира. Москва: Главное управление геодезии и картографии, 1967. 250 с.
3. Гофман-Велленгоф Б., Мориц Г. Физическая геодезия. Москва: МИИГАиК, 2007. 410 с.
4. Грушинский Н.П. Теория фигуры Земли. Москва: Наука, 1976. 512 с.
5. Козырев Н.А. Возможная асимметрия в фигурах планет. *Доклады АН СССР*. 1950. Т. 70, № 3. С. 389—392.
6. Козырев Н.А. Причинная или несимметричная механика в линейном приближении. Пулково: ГАО, 1958. 90 с.
7. Козырев Н.А. Избранные труды. Ленинград: Изд-во Ленингр. ун-та, 1991. 445 с.
8. Молоденский М.С. Гравитационное поле, фигура и внутреннее строение Земли. Москва: Наука, 2001. 569 с.
9. Рокитянский И.И. Абсолютное движение как источник возникновения причинных сил. *Доклады НАН Украины*. 1995. № 10. С. 76—80.
10. Рокитянский И.И. Причинная механика Козырева и её геофизические следствия. *Геофизический журнал*. 2008. Т. 30, № 6. С. 51—75.
11. Рокитянский И.И. Несимметричная механика Козырева. *Проблемы исследования Вселенной*. 2020. Т. 39(3). С. 318—329.
12. Barthelmes F. Definition of Functionals of the Geopotential and Their Calculation from Spherical Harmonic Models. *Scientific Technical Report STR09/02*, 2013. Helmholtz Centre Potsdam. DOI: 10.2312/GFZ.b103-0902-26
13. Guillot T. et al. A suppression of differential rotation in Jupiter's deep interior. *Nature*. 2018. Vol. 555. <https://doi.org/10.1038/nature25775>.
14. Iess L., Folkner W.M. et al. (2018) Measurement of Jupiter's asymmetric gravity field. *Nature*, 555, <https://doi.org/10.1038/nature25776> (2018).
15. Kaspi Y. Inferring the depth of the zonal jets on Jupiter and Saturn from odd gravity harmonics. *Geophysical Research Letter*. 2013. Vol. 40. P. 676—680. doi: 10.1029/2012GL053873.
16. Kaspi Y. et al. Jupiter's atmospheric jet streams extend thousands of kilometres deep. *Nature*. 2018. Vol. 555. <https://doi.org/10.1038/nature25793>
17. Ladbury R. Rediscovering Mars. *Physics Today*. 1999. Vol. 52(10). P. 33—35.
18. Pavlis N.K., Holmes S.A., Kenyon S.C., Factor J.K. The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2012. Vol. 117, B04406. <https://doi.org/10.1029/2011JB008916>
19. Smith D.E., Zuber M.T. et al. The global topography of Mars and implications for surface evolution. *Science*. 1999. Vol. 284. P. 1495—1503.
20. JPLMRO120F — https://pds-geosciences.wustl.edu/mro/mro-m-rss-5-sdp-v1/mrors_1xxx/data/shadr/
21. Jupiter facts datasheet — <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/jupiterfact.html>

Поступила в редакцию 08.09.2021

REFERENCES

1. Aksenov E.P. The theory of artificial earth satellites motion. Moscow: Nauka, 1977. 360 p. (in Russian).
2. World atlas. Moscow: Главное управление геодезии и картографии, 1967. 250 p. (in Russian).
3. Hofman-Vellenhof B., Morits H. Physical Geodesy. Moscow: MIIGA&K, 2007. 410 p. (in Russian).
4. Grushinsky N.P. Earth figure theory. Moscow: Nauka, 1976. 512 p. (in Russian).
5. Kozyrev N.A. Possible asymmetry in the planets figures. *Doklady AN SSSR*. 1950. Vol. 70, № 3. P. 389—392 (in Russian).
6. Kozyrev N.A. Causal or asymmetric mechanics in the linear approximation. Pulkovo: GAO, 1958. 90 p. (in Russian).
7. Kozyrev N.A. Selected Works. Leningrad: Izdatelstvo Leningr. univ., 1991. 445 p. (in Russian).
8. Molodensky M.S. Gravitational field, figure and internal structure of the Earth. Moscow: Nauka, 2001. 569 p. (in Russian).
9. Rokityansky I.I. Absolute motion as a source of causal forces. *Doklady NAN Ukrainy*. 1995. № 10. P. 76—80 (in Russian).
10. Rokityansky I.I. Kozyrev's Causal mechanics and its geophysical consequences. *Geophysical Journal*. 2008. Vol. 30, № . P. 51—75 (in Russian).
11. Rokityansky I.I. Asymmetric Kozyrev's mechanics. *Problemy Issledovania Vselennoi*. 2020. Vol. 39(3). 318—329 (in Russian).
12. Barthelmes F. Definition of Functionals of the Geopotential and Their Calculation from Spherical Harmonic Models. *Scientific Technical Report STR09/02*, 2013. Helmholtz Centre Potsdam. DOI: 10.2312/GFZ.b103-0902-26
13. Guillot T. et al. A suppression of differential rotation in Jupiter's deep interior. *Nature*. 2018. Vol. 555. <https://doi.org/10.1038/nature25775>.
14. Iess L., Folkner W.M. et al. (2018) Measurement of Jupiter's asymmetric gravity field. *Nature*, 555, <https://doi.org/10.1038/nature25776> (2018).
15. Kaspi Y. Inferring the depth of the zonal jets on Jupiter and Saturn from odd gravity harmonics. *Geophysical Research Letter*. 2013. Vol. 40. P. 676—680. doi: 10.1029/2012GL053873.
16. Kaspi Y. et al. Jupiter's atmospheric jet streams extend thousands of kilometres deep. *Nature*. 2018. Vol. 555. <https://doi.org/10.1038/nature25793>
17. Ladbury R. Rediscovering Mars. *Physics Today*. 1999. Vol. 52(10). P. 33—35.

18. Pavlis N.K., Holmes S.A., Kenyon S.C., Factor J.K. The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2012. Vol. 117, B04406. <https://doi.org/10.1029/2011JB008916>
19. Smith D.E., Zuber M.T. et al. The global topography of Mars and implications for surface evolution. *Science*. 1999. Vol. 284. P. 1495—1503.
20. JPLMRO120F — https://pds-geosciences.wustl.edu/mro/mro-m-rss-5-sdp-v1/mrors_1xxx/data/shadr/
21. Jupiter facts datasheet — <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/jupiterfact.html>

Receive 08.09.2021

И.И. Рокитянский¹, А.В. Терешин¹, Г.А. Фролов², О.А. Черная¹,

¹ Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України
Київ, Україна

² НДІ геодезії і картографії,
Київ, Україна

ПІВНІЧНО-ПІВДЕННА АСИМЕТРІЯ ФІГУРИ ЗЕМЛІ, МАРСА І ЮПІТЕРА

Північно-південну асиметрію (Пн—Пд) фігури Землі можна побачити на її поверхні: на широтах 75 — 90 градусів Північному Льодовитому океану відповідає Антарктичний континент, на широтах 50—70 градусів переважання континентів у Північній півкулі відповідає наявність суцільного океану у Південній півкулі. Така приуроченість асиметрії до географічних координат, тобто осесиметричність явища, наштотує на припущення, що Пн—Пд асиметрія фігури Землі пов'язана з обертанням планети та, можливо, обумовлена їм. Пояснення Пн—Пд асиметрії обертових тіл викладено у публікації «Причинная или несимметричная механика» М.О. Козирева. Він постулював спрямованість часу, пов'язав з ним спрямованість просторових обертань і ввів нове фізичне поняття «час», що здатний переносити енергію і момент обертання, але не несе поступального імпульсу. Останнє означає, що в приєкваторіальних частинах планети, що швидко обертаються, з'являється сила одного напрямку, а у повільно обертових (за лінійною швидкістю, кутова швидкість може бути однаковою) привісських частинах сила спрямована у протилежному напрямку; сума сил дорівнює нулю. Мета цієї статті — дослідження існування подібної асиметрії на інших планетах. На Марсі асиметрія виявилась у кілька разів інтенсивнішою, ніж на Землі, та іншого знака. На обох планетах виділено значні густинні неоднорідності, які можуть робити значний внесок в Пн—Пд асиметрію. На Юпітері спостерігається асиметрія атмосферних вихрових систем у північній і південній полярних шапках, асиметрія гравітаційного поля невелика і, як передбачається, відображає динаміку атмосферних потоків до глибини 4000 км.

Ключові слова: фігура планет, асиметрія планет, гравітаційний потенціал, асиметрична механіка Козирева.

И.И. Rokityansky¹, A.V. Tereshyn¹, G.O. Frolov², O.A. Chornaya¹

¹ S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Kiev, Ukraine

² Research Institute of Geodesy and Cartography
Kiev, Ukraine

NORTH-SOUTH ASYMMETRY OF THE EARTH, MARS AND JUPITER FIGURE

Purpose. The North-South (N—S) asymmetry of the Earth is obvious: at latitudes 75 — 90 degrees, the Arctic Ocean corresponds to the Antarctic continent, at latitudes 50-70 degrees, the dominance of the uplifted continents in the northern hemisphere corresponds to a continuous deepened ocean in the southern hemisphere; hence the difference in climate, air flows, ocean currents. Such confinement of asymmetry to geographical coordinates suggests that the N—S asymmetry of the Earth's figure is associated with the rotation of the planet, possibly conditioned by it.

The purpose of this work was to investigate whether asymmetry similar to the N—S asymmetry of the Earth is observed on other planets.

Design/methodology/approach. An explanation of the N—S asymmetry of rotating bodies was proposed in "Causal or asymmetric mechanics" by N.A. Kozyrev. He postulated the directionality of time associated with it the directionality of spatial rotations and introduced a new physical concept — «time», capable to transfer energy and angular momentum, but not carrying a translational impulse. The latter means that in the rapidly rotating (near-equatorial) parts of the planet, an asymmetric force of one direction appears, and in the slowly (according to linear velocity, the angular velocity can be the same) rotating near-axial parts, the force is directed in the opposite direction; and the sum of the forces equal to zero.

The study of the figure of the planets was carried out by geometric and gravimetric methods. Satellite missions provide high-precision data on the relief and gravitational field on planets. It is most convenient to study the N—S asymmetry by the gravitational potential $U(r, \varphi, \lambda)$, represented as an expansion in spherical functions.

Findings. The north-south asymmetry of the Earth and Mars has the opposite sign, although their axial and orbital rotations are close in magnitude and direction. This means that the N—S asymmetry is primarily due to the asymmetric

density distribution within the planets, and the possible effects of planetary rotation are less significant. N—S asymmetry of the Earth and Mars has a similar structure: the first odd zonal harmonic J_3 of the third degree prevails; higher harmonics are much smaller in amplitude.

Analysis of the excess of the "geoid" elevations over the ellipsoid along the meridional profiles shows the presence of intense nonaxisymmetric anomalies, apparently, predominantly mantle occurrence, both on Earth and on Mars.

The structure of odd zonal harmonics on Jupiter differs significantly from that of the terrestrial planets: the amplitude of the 7th and 9th harmonics is 2-3 times greater than the amplitude of the 5th and 3rd harmonics, higher degrees have not yet been determined.

Kozyrev's hypothesis about a clear causal relationship of the N—S asymmetry with the speed and direction of rotation of the planets has not been confirmed, but there is no reason to conclude that there are no asymmetric Kozyrev forces. In the planets, there are large-scale density inhomogeneities, introducing N—S asymmetry, apparently exceeding the effects of Kozyrev's forces. Additional experiments are needed to clarify the magnitude of Kozyrev's asymmetric forces.

The practical significance and conclusions. The results of the conducted research allow us to assert that the N—S asymmetry of the gravitational fields of the Earth, Mars and Jupiter is significantly different and does not correspond to the predictions of the Kozyrev's hypothesis on the similar formation of the north-south asymmetry. It is also recommended to determine the coefficient of N—S anisotropy of planets by the excess of the "geoid" heights above the ellipsoid, averaged over longitude.

On Mars, the asymmetry turned out to be several times more intense than on Earth, and of the opposite sign. On both planets, significant density inhomogeneities have been identified, which can create a significant contribution to the N—S asymmetry. On Jupiter, there is an asymmetry of atmospheric vortex systems in the northern and southern polar caps, the asymmetry of the gravitational field is not great and, as it is assumed, reflects the dynamics of atmospheric flows down to a depth of 4000 km.

Keywords: *figure of planets, asymmetry of planets, gravitational potential, asymmetric mechanics of Kozyrev.*