

ISSN 0069-267X

РУССКАЯ МЫСЛЬ



№ 1-12

Москва

«ОБЩЕСТВЕННАЯ ПОЛЬЗА»

2018

ГИРОСКОП И ГРАВИТАЦИЯ

Гужеля Ю.А.

«Все эти явления не содержат ничего большего, чем комбинации законов Ньютона, однако, временами просто трудно поверить, что всё это произошло из $F = m \cdot a!$ »

Ричард Фейнман

Аннотация

В данной статье выведены новые формулы, связывающие действующий момент сил и скорость прецессии гироскопа (формулы эти характеризуют 2-ое основное свойство гироскопа).

Показано, что экспериментальное обоснование 1-го основного свойства гироскопа является не достаточным и пока не позволяет сделать выбор между Мировой системой отсчёта и привилегированными системами отсчёта, связанными с Солнцем и Луной.

Обращено внимание на то, что теория гирокомпаса – этого важнейшего, с практической точки зрения, гироскопического прибора нуждается в существенных поправках.

Предложены эксперименты с гирокомпасом, позволяющие уточнить физическую сущность 1-го основного свойства гироскопа и рассчитать анизотропный коэффициент для новой полуэмпирической формулы, характеризующей 2-е основное свойство гироскопа.

Сделан вывод о том, что дальнейшее развитие теории гироскопа и, в частности, развитие теории нутационных процессов, - невозможно без дальнейшего развития фундаментальной науки, – механики.

Оглавление

1. Введение
 2. Второе свойство гироскопа (вывод новой формулы)
 3. Первое основное свойство гироскопа (новая формулировка)
 4. Область применения формулы $\bar{M} = J_y \cdot \bar{\omega} \times \bar{\Omega}$
 5. Устройство и работа гирокомпаса
 6. Физический процесс гирокомпасирования
 7. Аналитическое определение поправки гирокомпаса δ
 8. Экспериментальный метод, способный подтвердить влияние Луны и Солнца на гироскопические процессы
 9. Определение величин компенсирующего момента и анизотропного коэффициента (вывод формул)
 10. Направление дальнейших исследований
 11. Общие выводы
- Список использованной литературы

1. Введение

Спустя столетие после демонстрации **Леонам Фуко** первых опытов с гироскопом, **Ричард Фейнман**, приступая в своих лекциях к изложению динамики твёрдого тела, не может сдержать своего восхищения перед удивительными свойствами гироскопа, см. эпиграф. И эти чувства с Фейнманом, безусловно, разделяют многие. Замечательно здесь также и то, что удивительное поведение гироскопа описывается всего двумя его основными свойствами:

Первое свойство гироскопа говорит о том, что *гироскоп стремится сохранить своё положение относительно Мирового пространства*. Это утверждение сделано на основании опытных наблюдений за поведением свободного гироскопа. Однако погрешность этих опытов до сих пор не определена. Первое свойство гироскопа, по умолчанию, считается абсолютно точным. И, похоже, никто не задумывается над тем, какими же средствами Мировое пространство заставляет гироскоп сохранять относительно себя неизменное положение и, в то же время, заставляет гироскоп изменять своё положение (прецессировать) относительно земной поверхности? Ведь, очевидно, что для того чтобы гироскоп прецессировал ему надо сообщить вполне определённую величину энергии.

Второе свойство гироскопа представляет собой формулу, по которой можно определить направление прецессии гироскопа под действием момента сил, приложенного к оси вращения, и можно определить скорость прецессии. Формулу эту действительно можно вывести с помощью законов Ньютона, но не только с их помощью.

В векторной форме эту формулу принято записывать в следующем виде:

$$\bar{M} = J \cdot \bar{\omega} \times \bar{\Omega} \quad (1)$$

Где: \bar{M} - момент сил, приложенный к главной оси гироскопа;
 J – главный момент инерции (момент инерции относительно оси собственного вращения гироскопа);

$\bar{\omega}$ - угловая скорость прецессии;

$\bar{\Omega}$ - угловая скорость собственного вращения гироскопа.

Формула эта в учебниках физики выводится без детального рассмотрения физического процесса, происходящего при трёхмерном вращении твёрдого тела.

Попробовав самостоятельно, независимым путём, вывести эту же формулу, я неожиданно получил другой результат, а именно:

$$\bar{M} = J_y \cdot \bar{\omega} \times \bar{\Omega}; \quad (2)$$

Где, J_y - момент инерции относительно оси, перпендикулярной оси собственного вращения гироскопа.

Вывод этого соотношения изложен ниже.

2. Второе свойство гироскопа (вывод новой формулы)

Прежде чем переходить к анализу трёхмерного вращения твёрдого тела, уточним смысл соотношения $F = m \cdot a$, с учётом выводов, сделанных в [1].

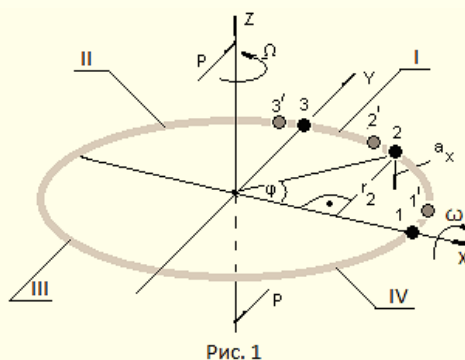
Поскольку сила инерции является самой настоящей реальной силой, равной по величине произведению $m \cdot a$, то правая часть формулы основного закона механики – это выражение силы инерции (силы сопротивления), а левая часть – это действующая (активная) сила.

То есть, при движении тела с ускорением, действующая сила равна силе инерции, направленной противоположно ускорению.

По существу мы вспомнили «Принцип Даламбера», значение которого в настоящее время принижается. Этот принцип принято считать просто математическим приёмом, облегчающим вычисления. Между тем, «Принцип Даламбера» правильно отображает реальный физический процесс и, по сути, является физическим законом, а сила инерции является реальной силой.

Теперь мы можем приступить к анализу поведения гироскопа под действием момента сил M , приложенного к главной оси вращения.

Для упрощения вычислений возьмём самую простую конструкцию 3-х степенного гироскопа, центр масс которого совпадает с центром подвеса. Вся масса этого гироскопа сосредоточена в линии окружности, см. рис.1



Элементы крепления оси к линии окружности на рисунке не показаны. I, II, III, IV – первая, вторая, третья, четвёртая четверти окружности.

Гироскоп вращается вокруг оси Z со скоростью Ω . Радиус окружности равен R . К главной оси гироскопа приложен момент сил M , равный произведению силы P на плечо относительно оси X , разворачивающий гироскоп вокруг оси X . Дадим возможность моменту M повернуть гироскоп вокруг оси X на небольшой угол α , с угловой скоростью ω и посмотрим, что будет дальше.

Выберем в первой четверти окружности три мгновенных положения материальных точек: 1, 2, 3.

Точка 1 находится на пересечении окружности с осью X . Радиус-вектор, проведённый из центра вращения в точку 2, составляет с осью X угол φ . Точка 3 находится на пересечении с осью Y .

Точка 2 за бесконечно малый промежуток времени Δt переместится из положения 2 в положение 2'. При этом, окружную скорость точки относительно главной оси, на отрезке 2-2', можно считать направленной по касательной к окружности в точке 2 и, соответственно, перпендикулярной радиус-вектору, проведённому в точку 2. Величина этой скорости равна

$$v_z = R \cdot \Omega$$

Длина отрезка дуги 2-2', которую можно считать отрезком касательной, равна произведению скорости v_z на отрезок времени Δt

$$2 - 2' = v_z \cdot \Delta t = R \cdot \Omega \cdot \Delta t$$

Одновременно с вращением вокруг главной оси Z , точка 2 вращается и вокруг оси X , с угловой скоростью ω . При этом, её окружная скорость v_x , при движении из положения 2 в положение 2', увеличивается за счёт увеличения радиуса вращения r относительно оси X .

Поскольку $v_{x_2} = r_2 \cdot \omega$; а $v_{x_{2'}} = r_{2'} \cdot \omega$, то $\Delta v_{x_2} = (r_{2'} - r_2) \cdot \omega$.

Но из рисунка 1 видно, что $r_{2'} - r_2 = v_z \cdot \Delta t \cdot \cos \varphi_2$

И, следовательно: $\Delta v_{x_2} = R \cdot \Omega \cdot \Delta t \cdot \omega \cdot \cos \varphi_2$

И тогда, величина ускорения точки в направлении перпендикулярном плоскости окружности найдётся из выражения:

$$a_{x_2} = \frac{\Delta v_{x_2}}{\Delta t} \quad a_{x_2} = R \cdot \Omega \cdot \omega \cdot \cos \varphi_2 \quad (3)$$

Нетрудно увидеть, что полученное уравнение справедливо для любой точки окружности, поэтому индекс 2 можно опустить и заменить его индексом i .

$$a_{x_i} = R \cdot \Omega \cdot \omega \cdot \cos \varphi_i \quad (4)$$

Для точки 1, $\varphi_1 = 0$; $\cos \varphi_1 = 1$; поэтому $a_{x_1} = R \cdot \Omega \cdot \omega$; (ускорение имеет максимальное значение).

В точке 3, $\varphi_3 = 90^\circ$; $\cos \varphi_3 = 0$; $a_{x_3} = 0$.

Величины: R , Ω , ω - постоянны; поэтому закон изменения ускорения точек окружности относительно оси X представляет собой косинусоиду.

Таким же образом проанализировав перемещение точек принадлежащих другим четвертям окружности, можно сделать вывод, что в 1-й и 4-й четвертях нормальное ускорение точек направлено вниз, а во второй и третьей четвертях – вверх. Соответственно, сила инерции, действующая на каждую материальную точку окружности, в 1-й и 4-й четвертях направлена вверх, а во 2-й и 3-й четвертях – вниз, см. рис. 2

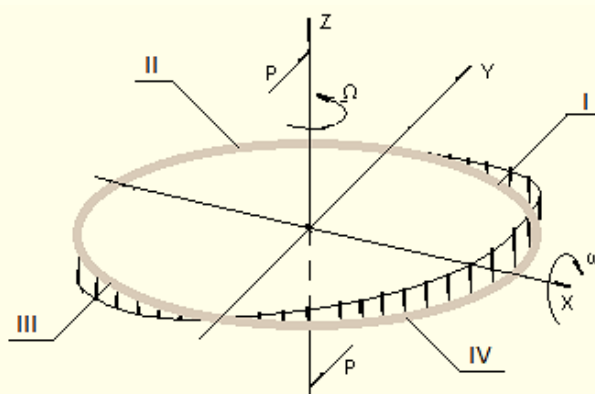


Рис. 2

В сумме распределённые силы инерции создадут момент сил равный моменту, создаваемому силами P , но в перпендикулярной плоскости.

Что приведёт к вращению гироскопа с угловой скоростью ω вокруг оси Y , см. рис. 3

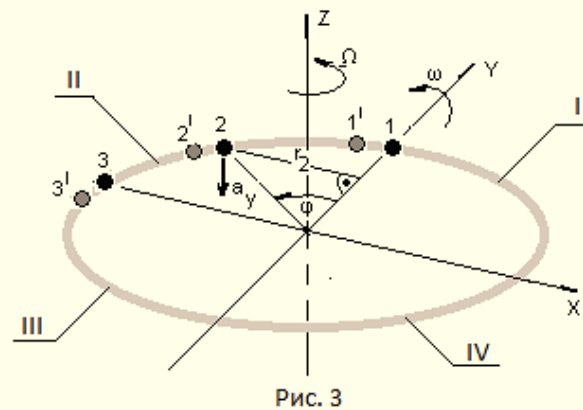


Рис. 3

При вращении плоскости гироскопа вокруг оси Y , выберем на окружности три мгновенных положения материальных точек 1, 2, 3, но, на этот раз, во второй четверти.

По аналогии с разобранным выше примером, для точки 2 и для любой произвольной точки i можно записать:

$$a_{y_2} = R \cdot \Omega \cdot \omega \cdot \cos \varphi_2 \quad (5)$$

$$a_{y_i} = R \cdot \Omega \cdot \omega \cdot \cos \varphi_i \quad (6)$$

На каждую материальную точку окружности, со стороны гравитационного поля будет действовать сила инерции направленная противоположно ускорению и равная по величине произведению массы точечного элемента m_i на его ускорение a_{y_i}

Из рисунка 3 видно, что нормальное ускорение в 1-й и 2-й четвертях направлено вниз, а 3-й и 4-й четвертях – вверх.

Соответственно сила инерции в 1-й и 2-й четвертях направлена вверх, см. рис.4., а 3-й и 4-й четвертях – вниз.

Распределённые силы инерции, приложенные к каждой материальной точке окружности, в сумме создают момент инерции M_i равный по величине действующему моменту M , и противоположно направленный, см рис. 4

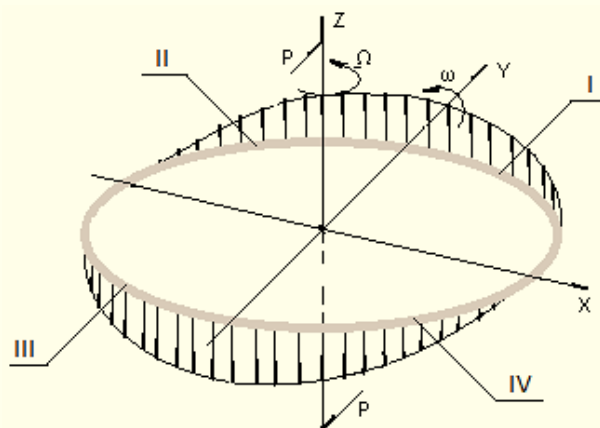


Рис. 4

$$M = M_i \quad (7)$$

Определим величину M_i , проинтегрировав все распределённые по массе окружности моменты сил инерции.

Для удобства вычислений, проинтегрируем моменты сил инерции только для первой четверти окружности, при изменении φ от 0 до $\pi/2$

Момент создаваемый силой инерции приложенной к точечной массе m_i равен произведению: $m_i \cdot a_{y_i} \cdot R \cdot \cos \varphi_i$, а момент, приложенный к элементу $d\varphi$, будет равен: $m_i \cdot d\varphi \cdot a_{y_i} \cdot R \cdot \cos \varphi_i$

Поскольку масса по дуге окружности распределена равномерно, заменим точечную массу m_i , распределённой массой $m_1 / \frac{\pi}{2}$

Где, m_1 - масса дуги окружности 1-й четверти.

Подставляя значения m_1 и a_{y_i} , запишем:

$$M_{i_1} = \int_0^{\pi/2} \frac{m_1}{\pi/2} \cdot d\varphi \cdot R \cdot \Omega \cdot \omega \cdot \cos \varphi \cdot R \cdot \cos \varphi$$

Где, M_{i_1} - момент сил инерции первой четверти окружности

Вынося постоянные величины за знак интеграла, получим:

$$M_{i_1} = \frac{m_1}{\pi/2} \cdot R^2 \cdot \Omega \cdot \omega \int_0^{\pi/2} \cos^2 \varphi \cdot d\varphi, \text{ или}$$

$$M_{i_1} = \frac{m_1}{\pi/2} \cdot R^2 \cdot \Omega \cdot \omega \int_0^{\pi/2} \frac{(1 + \cos 2\varphi) d\varphi}{2}$$

Возьмём интеграл: $\int_0^{\pi/2} \frac{(1 + \cos 2\varphi) \cdot d\varphi}{2} = \frac{1}{2} \int_0^{\pi/2} d\varphi + \frac{1}{2} \int_0^{\pi/2} \cos 2\varphi \cdot d\varphi = \frac{\pi}{4}$.

После подстановки полученного значения в выражение момента, получим:

$$M_{i_1} = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot R^2 \cdot \Omega \cdot \omega$$

Но $m_1 \cdot R^2$ - это момент инерции 1-й четверти окружности относительно оси Z, то есть, главный момент инерции 1-й четверти, поэтому:

$$M_{i_1} = 0,5 \cdot J_1 \cdot \Omega \cdot \omega$$

Очевидно, что для всей окружности выражение для определения момента сил инерции запишется так:

$$M_i = 0,5 \cdot J \cdot \Omega \cdot \omega \quad (8)$$

Где, J - главный момент инерции всей окружности (момент инерции относительно оси собственного вращения гироскопа);

M_i - момент сил инерции действующий на всю окружность.

Обратим внимание на то, что выражение $0,5J$ – это не что иное, как момент инерции окружности относительно оси Y, то есть, момент инерции относительно оси, перпендикулярной оси собственного вращения гироскопа.

Поскольку $M = M_i$, окончательно запишем:

$$M_x = J_y \cdot \Omega \cdot \omega \quad (9)$$

Где, M_x - момент сил относительно оси X;

J_y - момент инерции относительно оси, перпендикулярной оси собственного вращения гироскопа.

В векторной форме выражение (9) запишется так:

$$\bar{M} = J_y \cdot \bar{\omega} \times \bar{\Omega} \quad (2)$$

Где, \bar{M} , $\bar{\omega}$, $\bar{\Omega}$ - векторы; J_y - скалярная величина.

Как видно, полученное соотношение между приложенным моментом сил и скоростью прецессии не соответствует общепринятому соотношению, выведенному ещё **Анри Резалем**:

$$\bar{M} = J \cdot \bar{\omega} \times \bar{\Omega} \quad (1)$$

Где, J – главный момент инерции относительно оси собственного вращения гироскопа.

И следует признать, что общепринятое (до сих пор) соотношение неверно. Каким образом эта ошибка стала возможной? Очевидно, из-за недостаточно подробного рассмотрения физического процесса при трёхмерном вращении твёрдого тела и преувеличения возможностей общих математических подходов.

Из вышесказанного можно заключить, что прецессия гироскопа является следствием действия на ось гироскопа силы (момента сил). Отсюда следует, что если на гироскоп не действует сила, то он должен сохранять своё положение. Но относительно чего? Ну, конечно же, относительно гравитационного поля, ведь именно от поворота оси гироскопа относительно поля и возникают силы инерции, вызывающие прецессию. Однако сложность состоит в том, что для оценки поведения гироскопа вблизи поверхности Земли необходимо учитывать взаимодействие с гравитационными полями, по крайней мере, трёх небесных тел: Земли, Луны и Солнца.

Гравитационное поле Земли, вблизи её поверхности, безусловно, самое сильное. И, поскольку оно перемещается и вращается в пространстве вместе с Землёй, то следовало бы ожидать, что свободный 3-х степенной гироскоп не должен изменять своё положение относительно Земли, то есть, не должен чувствовать вращение Земли (не должен прецессировать). Но все мы знаем (и знаем на основании опытов), что это не так.

3. Первое основное свойство гироскопа (новая формулировка)

Опыты показывают, что свободный (разарретированный) гироскоп изменяет своё положение относительно земной поверхности (прецессирует). Считается, что при этом гироскоп сохраняет своё положение относительно Мирового пространства (относительно далёких «неподвижных» звёзд). Но это заблуждение. Мировое пространство не обладает своим характерным и постоянным гравитационным полем. Гравитационное поле в любой точке Мирового пространства (и в любой точке Солнечной системы) складывается из гравитационных полей небесных тел. Если гироскоп находится вблизи поверхности Земли, то гравитационное поле складывается, прежде всего, из гравитационных полей Земли, Луны и Солнца. Эти небесные тела постоянно меняют своё относительное расположение – следовательно, постоянно меняется и суммарное гравитационное поле, действующее на гироскоп. Эти изменения (возмущения) возникают в гравитационном поле Земли вследствие вращение Земли относительно, возмущающих её поле, небесных тел, то есть, относительно Луны и Солнца. Логично предположить, что прецессия свободного гироскопа вызывается возмущениями этих реальных небесных тел, а не вымышленной Мировой системой отсчёта.

Сложность восприятия этой версии заключается в том, что гравитационные поля Солнца и Луны у поверхности Земли очень слабы, в сравнении с гравитационным полем Земли. Например, напряжённость гравитационного поля Солнца у поверхности Земли в 1663 раза меньше напряжённости земного поля, а напряжённость лунного поля в 292000 раз меньше земного. И, поэтому, не сразу удаётся понять: за счёт чего слабые поля Луны и Солнца заставляют гироскоп прецессировать относительно сильного гравитационного поля Земли? Но это парадоксальное поведение гироскопа можно объяснить различной структурой гравитационных полей Луны, Солнца и Земли, у её поверхности.

Гравитационное поле Земли вблизи её поверхности обладает изотропными свойствами вследствие того, что любое пробное тело вблизи поверхности большой гравитирующей массы облучается со всех сторон в области нижней полусферы [1] [2].

В случае с гироскопом, изотропность земного гравитационного поля проявляется в том, что на раскручивание гироскопа до заданной скорости Ω , при любой его ориентации относительно земной поверхности, затрачивается одно и то же количество работы. То есть, кинетическая энергия гироскопа не зависит от его ориентации.

Гравитационные поля Луны и Солнца у поверхности Земли анизотропны вследствие того, что Земли достигают только параллельные, или слабо расходящиеся, лучи этих небесных тел. И если главная ось гироскопа направлена, скажем, на Солнце, то все материальные точки гироскопа, вращаясь, движутся всё время перпендикулярно силовым линиям гравитационного поля Солнца, см. рис. 5

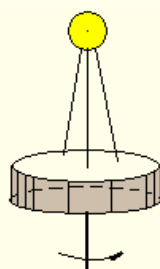


Рис. 5

В этом случае, на раскрутку гироскопа до угловой скорости Ω , надо затратить работу W_1 . Если же главная ось гироскопа направлена перпендикулярно к силовым линиям гравитационного поля, то каждая материальная точка постоянно меняет своё направление относительно силовых линий гравитационного поля Солнца, см. рис. 6

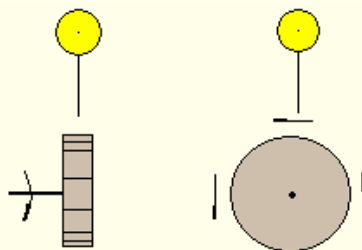


Рис. 6

И для раскрутки гироскопа до той же скорости необходимо выполнить работу W_2 . То есть, величина кинетической энергии гироскопа в анизотропном гравитационном поле зависит от ориентации оси гироскопа относительно силовых линий поля. И поэтому, для того чтобы повернуть ось раскрученного гироскопа на угол $\Delta\alpha$, из положения α_1 в положение α_2 , надо затратить работу

$$\Delta W = W_2 - W_1 \quad (10)$$

Для чего придётся приложить момент сил (M) равный

$$M = \frac{\Delta W}{\Delta\alpha} \quad (11)$$

В изотропном же поле, раскрученный гироскоп можно развернуть на угол $\Delta\alpha$, с бесконечно малой скоростью, практически без усилия и без затрат энергии. В изотропном поле сила требуется только для поворота оси с определённой скоростью ω . Очевидно, что в анизотропном поле, для поворота оси гироскопа со скоростью ω потребуется во много раз большая сила.

Таким образом, если свободный гироскоп находится под действием двух качественно различных полей: изотропного (земного) и анизотропного поля (Солнца и Луны), то поведение его можно представить следующим образом.

После раскрутки и разарретирования, гироскоп стремится сохранить своё положение относительно каждого из этих полей. Но это невозможно, так как поля поворачиваются относительно друг друга. И гироскоп начинает разворачиваться относительно этих полей, но с разными скоростями.

Скорость разворота относительно анизотропного поля минимальна, так как это поле оказывает большое сопротивление. А скорость разворота относительно земного (изотропного) поля значительно больше угловой скорости прецессии относительно анизотропного поля.

В этом случае, прецессию гироскопа относительно солнечной или лунной систем отсчёта можно и не зафиксировать. Или отнести эту прецессию на счёт погрешности опытов. А величина прецессии относительно земной системы отсчёта будет определяться скоростью вращения Земли относительно анизотропного гравитационного поля ω и географической широтой места установки гироскопа.

Подкрепим эту мысль простейшими расчётами. Напряжённости гравитационных полей Луны и Солнца у поверхности Земли (рассчитанные по теории Ньютона) составляют, соответственно: $3,36 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$ и $5,9 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}^2$. Суммарная напряжённость Солнечно-Лунного поля равна $5,93 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}^2$.

Рассмотрим гироскоп с параметрами близкими к параметрам, реально применяемым на практике.

Масса ротора, $m=1 \text{ кг}$;

Радиус инерции, $R=0,05 \text{ м}$;

Собственная скорость вращения ротора гироскопа, $\Omega=2000 \text{ с}^{-1}$.

Такой гироскоп в раскрученном состоянии имеет запас кинетической энергии равный:

$$W = J \cdot \frac{\Omega^2}{2}; \text{ или } W = m \cdot R^2 \cdot \frac{\Omega^2}{2}; \text{ Подставляя значения, получим}$$

$$W = 1 \cdot 0,05^2 \frac{2000^2}{2} = 5 \cdot 10^3 \text{ Дж.}$$

Эта энергия является продуктом взаимодействия массы ротора гироскопа с гравитационными полями Земли, Солнца и Луны. Очевидно, что на солнечно-лунное гравитационное поле приходится количество энергии, примерно, пропорциональное напряжённости этого поля, т.е. можно записать:

$$W_{S+L} = \frac{E_{S+L}}{E_E + E_{S+L}} \cdot W \quad (12)$$

Где, W_{S+L} - кинетическая энергия гироскопа, связанная с солнечно-лунным полем;

E_{S+L} - напряжённость солнечно-лунного поля;

E_E - напряжённость земного поля.

Подставляя значения, получим:

$$W_{S+L} = \frac{5,93 \cdot 10^{-3}}{9,81 + 5,93 \cdot 10^{-3}} \cdot 5 \cdot 10^3 = 3,0206 \text{ Дж.}$$

$$W_{S+L} = 3,0206 \text{ Дж.}$$

Гироскоп (если он установлен на полюсе) будет прецессировать относительно Земли со скоростью примерно равной ω , где ω - угловая скорость вращения Земли относительно Солнца ($0,727 \cdot 10^{-4}$ рад/с). Определим кинетическую энергию прецессии W_ω

$$W_\omega = J_y \cdot \frac{\omega^2}{2} \quad (13)$$

Подставляя значения, получим

$$W_\omega = 0,5 \cdot m \cdot R^2 \cdot \frac{\omega^2}{2} = 0,5 \cdot 1 \cdot 0,05^2 \frac{(0,727 \cdot 10^{-4})^2}{2} = 3,303 \cdot 10^{-12} \text{ Дж.}$$

$$W_\omega = 3,303 \cdot 10^{-12} \text{ Дж.}$$

Сравним величины энергий W_{C+L} и W_ω

$$3,0206 \text{ и } 3,303 \cdot 10^{-12} \text{ Дж.}$$

Результат удивительный. Со слабым солнечно-лунным полем связана кинетическая энергия гироскопа на 12 порядков превосходящая энергию прецессионного вращения свободного гироскопа в сильном гравитационном поле Земли.

И, следовательно, если это слабое солнечно-лунное поле действительно обладает анизотропными свойствами, то ему не составит особого труда заставить свободный гироскоп прецессировать относительно земной поверхности со скоростью ω , затратив на это $3,303 \cdot 10^{-12}$ Джоулей энергии (то есть, всего лишь $1 \cdot 10^{-12}$ своей энергии).

Если, например, разность энергий W_1 и W_2 этого слабого анизотропного поля (для диаметрально противоположных направлений ротора гироскопа) составляет 10%. То есть, $W_1 - W_2 = 0,1W_{S+L} = 0,302$ Дж. То, в этом случае, гироскоп получит необходимое количество энергии для прецессионного движения W_ω , развернувшись относительно солнечно-лунного гравитационного поля на угол $\Delta\alpha$, величина которого определится из пропорции:

$$\frac{\pi}{2} \sim 0,1W_{S+L}$$

$$\Delta\alpha \sim W_\omega$$

Откуда получим:

$$\Delta\alpha = \frac{W_\omega \cdot \pi/2}{0,1W_{S+L}} = \frac{3,303 \cdot 10^{-12} \cdot \pi/2}{0,302} = 1,72 \cdot 10^{-11} \text{ рад.} \approx 1 \cdot 10^{-9} \text{ }^\circ$$

$$\Delta\alpha \approx 1 \cdot 10^{-9} \text{ }^\circ$$

Понятно, что на практике заметить разворот оси гироскопа относительно Мировой, или Солнечно-Лунной систем отсчёта, на такой малый угол, трудно даже при желании. А желания такого, пока что, и не было.

Конечно, 10% от величины W_{S+L} нами взяты произвольно. В действительности эта величина может быть другой. Прояснить этот вопрос сможет только эксперимент.

Тем не менее, с физической сущностью первого основного свойства гироскопа мы разобрались, и первое основное свойство гироскопа можно сформулировать следующим образом:

Гироскоп стремится сохранить своё положение не относительно Мировой системы отсчёта, а относительно анизотропного гравитационного поля, ближайших наиболее массивных небесных тел.

4. Область определения формулы $\bar{M} = J_y \cdot \bar{\omega} \times \bar{\Omega}$ (2)

При выводе этой формулы не учитывались существенные различия свойств изотропного и анизотропного гравитационных полей.

Поэтому, для практического применения можно предложить следующее соотношение, основой которого является формула (2)

$$\bar{M} = K_i \cdot J_y \cdot \bar{\omega}_i \times \bar{\Omega} + K_A \cdot J_y \cdot \bar{\omega}_A \times \bar{\Omega} \quad (13)$$

Где, \bar{M} - момент сил, вызывающий прецессию;

K_i - коэффициент изотропный, учитывающий сопротивление изотропного поля, определяется эмпирическим путём;

J_y - момент инерции относительно оси собственного вращения гироскопа;

$\bar{\omega}_i$ - угловая скорость прецессии относительно изотропного поля (в рассматриваемом случае это гравитационное поле Земли, вблизи её поверхности)

$\bar{\Omega}$ - собственная угловая скорость вращения гироскопа;

K_A - коэффициент анизотропный, учитывающий сопротивление анизотропного поля, определяется эмпирическим путём;

$\bar{\omega}_A$ - угловая скорость прецессии относительно анизотропного поля (в рассматриваемом примере это солнечно-лунное гравитационное поле).

Если в выражении (13) положить равной нулю угловую скорость прецессии относительно анизотропного поля $\bar{\omega}_A$, то мы получим формулу для определения момента, вызывающего прецессию относительно изотропного (земного) гравитационного поля. То есть, если прецессия свободного гироскопа происходит только вследствие вращения Земли, то для этого случая формула (13) запишется в виде:

$$\bar{M}_i = K_i \cdot J_y \cdot \bar{\omega}_i \times \bar{\Omega} \quad (13')$$

Где, \bar{M}_i - момент сил вызывающий прецессию гироскопа относительно изотропного поля Земли;

K_i - коэффициент изотропный, учитывающий сопротивление изотропного поля, определяется эмпирическим путём;

$\bar{\omega}_i$ - угловая скорость прецессии гироскопа относительно изотропного (земного) гравитационного поля.

При этом, гироскоп, повернувшись на какой-то очень малый угол $\Delta\alpha$, относительно солнечно-лунного анизотропного гравитационного поля, в дальнейшем будет сохранять свою ориентацию относительно силовых линий этого поля. Следовательно, гироскоп будет прецессировать со скоростью $\bar{\omega}_i$ относительно земного изотропного гравитационного поля.

В первом приближении величину K_i можно принять равной единице. В этом случае, при условии: $\bar{\omega}_i = \omega$ по абсолютной величине, формула (13') сводится к формуле (2). То есть

формула (2) справедлива только в случае прецессии гироскопа относительно изотропного гравитационного поля Земли, со скоростью $\bar{\omega}$, равной скорости вращения Земли относительно солнечно-лунного анизотропного поля.

Приложим к оси гироскопа компенсирующий момент \bar{M}_K , который остановит прецессию гироскопа относительно земной поверхности и, тем самым, заставит ось гироскопа вращаться относительно солнечно-лунного анизотропного гравитационного поля со скоростью $\bar{\omega}_A$, противоположно направленной, но по абсолютной величине равной скорости $\bar{\omega}_i$.

На первый взгляд, кажется, что компенсирующий момент должен быть равен по величине моменту \bar{M}_i , вызывающему прецессию относительно Земли. Но это не так, ведь анизотропное поле оказывает значительно большее сопротивление прецессии гироскопа, чем изотропное поле Земли. Если бы не это, то свободный гироскоп не смог бы сохранять своё положение относительно анизотропного гравитационного поля. Следовательно, \bar{M}_K должен быть больше \bar{M}_i и, с другой стороны, он должен быть равен моменту, создающему прецессию гироскопа относительно анизотропного (солнечно-лунного) гравитационного поля. То есть: $\bar{M}_K = \bar{M}_A$.

Если в выражении (13) угловую скорость прецессии относительно изотропного гравитационного поля $\bar{\omega}_i$ положить равной нулю, то мы получим формулу для определения момента, создающего прецессию относительно анизотропного (солнечно-лунного) гравитационного поля.

$$\bar{M}_A = K_A \cdot J_y \cdot \bar{\omega}_A \times \bar{\Omega} \quad (13'')$$

Где, \bar{M}_A - момент сил вызывающий прецессию гироскопа относительно анизотропного (солнечно-лунного) гравитационного поля

K_A - коэффициент анизотропный, учитывающий сопротивление анизотропного поля, определяется эмпирическим путём;

$\bar{\omega}_A$ - угловая скорость прецессии относительно анизотропного (солнечно-лунного) гравитационного поля.

Следует ожидать, что величина коэффициента K_A в несколько раз больше единицы. И тому есть косвенные подтверждения, например: в [5] упоминается о том, что применение гироскопов на морских судах, в качестве успокоителей качки, не оправдало себя вследствие разрушения узлов их крепления. Похоже, что моменты действия и противодействия там были рассчитаны неверно (сильно занижены). И, наверное, не по причине арифметических ошибок, а скорее потому, что применявшаяся при расчётах формула (1) не верно отображает реальный физический процесс.

Хотелось бы найти и прямые экспериментальные доказательства наличия анизотропных свойств, гравитационного поля небесных тел (Солнца и Луны). Лучшим доказательством было бы определение моментов: \bar{M}_K и \bar{M}_A и сравнение их с моментом \bar{M} , рассчитанным по формуле (2). Разделив почленно уравнения (13'') и (2), в скалярном виде, при условии, что скорости $\bar{\omega}_A$ и $\bar{\omega}$ по абсолютной величине равны, получим:

$$M_K / M = K_A \text{ или } M_A / M = K_A$$

Величина коэффициента K_A должна быть много больше единицы. Если эксперимент это подтвердит, значит, гравитационные поля небесных тел действительно обладают анизотропными свойствами.

Для определения величины анизотропного коэффициента K_A можно использовать гироскоп. Для того чтобы убедиться в возможности использования гироскопа для этих целей, рассмотрим устройство и работу маятникового гироскопа.

5. Устройство и работа гироскопа

На рисунках 7 и 8 схематично изображён гироскоп маятникового типа, применяемый для геодезических измерений на суше. Этот прибор применяется для определения азимута направления (угла направления отсчитываемого от направления географического меридиана). На рисунке 7 гироскоп изображён в выключенном положении. На рисунке 8 гироскоп показан в рабочем положении.

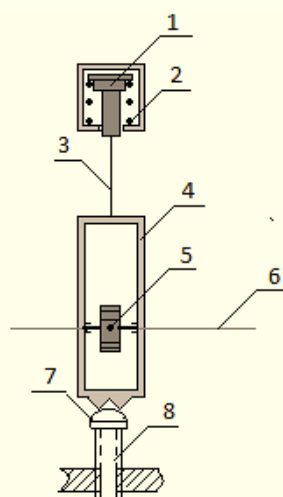


Рис. 7

На рисунке 7 чувствительный элемент заарретирован, гиросмотор выключен.

На рисунке приняты следующие обозначения:

- 1 – втулка подвеса;
- 2 – пружина;
- 3 – торсион;
- 4 – чувствительный элемент, состоящий из защитного корпуса и гиросмотора;
- 5 – Гиросмотор;
- 6 – плоскость горизонта;
- 7 – шаровая опора;
- 8 - арретир

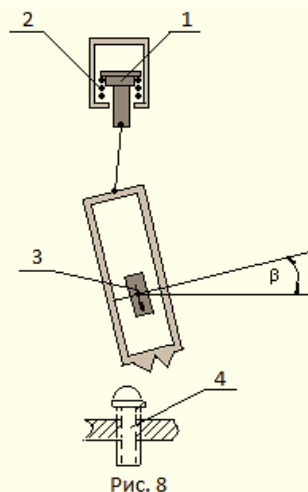


Рис. 8

На рисунке 8 гиromотор раскручен, чувствительный элемент разарретирован

На рисунке приняты следующие обозначения:

- 1 – втулка подвеса, в опущенном положении
- 2 – пружина втулки подвеса, в сжатом состоянии
- 3 – стрелка показывающая направление вращения ротора гиromотора
- 4 – арретир, в опущенном положении
- β - угол отклонения оси ротора гиromотора от горизонтального положения

Прибор этот представляет собой гиromотор на электрической тяге, помещённый в защитный корпус. Корпус вместе с гиromотором называется *чувствительным элементом* (ЧЭ). Чувствительный элемент подвешен на тонкой металлической нити, называемой *торсионом*. В гиromомпасе имеется вспомогательное устройство, так называемый *арретир*, который предназначен для стопорения (*арретирования*) чувствительного элемента. Заарретированный чувствительный элемент не имеет возможности поворачиваться в горизонтальной плоскости. Арретир представляет собой винтовую пару. Головка винта представляет собой шаровую опору. При разарретировании (освобождении) шаровая опора уходит вниз и чувствительный элемент (вместе с гиromотором) получает возможность поворачиваться в горизонтальной плоскости.

Узел подвеса, включающий в себя втулку подвеса и пружину, предназначен для защиты торсиона от разрыва (для смягчения рывка при разарретировании гиromомпаса).

После раскручивания и разарретирования ось ротора гиromотора будет совершать циклические движения. Траектория движения является очень вытянутым эллипсом, см. рис. 9.

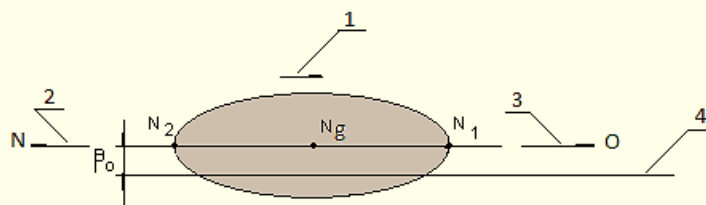


Рис. 9

На рисунке приняты следующие обозначения:

- 1 – стрелка показывает направление движения северного конца оси гиromотора, при направлении северного конца оси гиromотора от нас;
- 2 и 3 – стрелки показывают направление на Север и на Восток;

- 4 – плоскость горизонта;
- N_1 и N_2 - точки реверсии;
- N_g - среднее направление прецессионных колебаний (гироскопический азимут);
- β_0 - среднее отклонение оси ротора гиromотора от горизонтальной плоскости

На рисунке показана траектория движения северного конца оси гиromотора, при направлении оси от нас.

Примечание: если смотреть на Землю со стороны северного полюса, то мы увидим Землю, вращающуюся против часовой стрелки, с угловой скоростью ω . По аналогии, «северной» будем называть полуось гиromотора, с конца которой, мы будем видеть гиromотор, вращающимся против часовой стрелки, с угловой скоростью Ω .

По вертикальной оси эллипса отложены углы наклона оси ротора гиromотора относительно плоскости горизонта, а по горизонтальной – углы отклонения оси ротора гиromотора от гироскопического азимута. Гироскопический азимут это среднее направление прецессионных колебаний чувствительного элемента, определённое расчётным путём по зафиксированным отсчётам в точках реверсии. Среднее направление прецессионных колебаний обычно обозначают, как N_g . Гироскопический азимут N_g отклонён от географического азимута на угол δ , определяемый при эталонировании гироскопа и называемый поправкой гироскопа, см. рис. 10

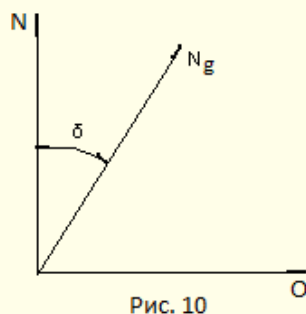


Рис. 10

На рисунке приняты следующие обозначения:

- N - направление на Север (географический азимут);
- O - направление на Восток;
- N_g - гироскопический азимут;
- δ - поправка гироскопа

Угол δ зависит от широты места установки прибора.

При этом большая ось эллипса лежит в плоскости, отклонённой от плоскости горизонта на некоторый угол β_0 , см. рис. 9.

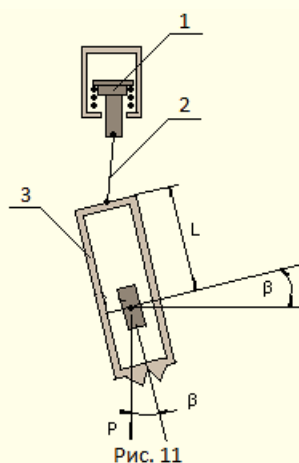
В техническом описании серийного прибора, применяемого для определения азимута направления, это замечательное поведение гироскопа объясняется следующим образом: «Пусть маятниковый гироскоп неподвижным ротором установлен в северном полушарии на поверхности Земли на произвольной широте. Под действием маятникового момента ось ротора гироскопа займёт горизонтальное положение.

Предположим, что ось ротора отклонена от плоскости меридиана к востоку на произвольный угол. Если ротор гироскопа мгновенно привести в быстрое вращение, то при таком расположении ЧЭ момент внешних сил не будет действовать на гироскоп,

так как сила тяжести будет уравниваться реакцией подвеса. Ось гироскопа в этом случае будет сохранять своё положение в Мировом пространстве.

В результате суточного вращения Земли плоскость горизонта непрерывно поворачивается в Мировом пространстве так, что восточная половина плоскости горизонта непрерывно опускается, а западная половина поднимается относительно неподвижной в пространстве оси ротора.

Наблюдатель, также участвующий в суточном вращении Земли, будет видеть, что конец оси гироскопа, располагавшийся вначале в плоскости горизонта, в следующий момент начинает подниматься над ней на угол β (см. рис. 11).



На рисунке приняты следующие обозначения:

1 – втулка подвеса;

2 – торсион;

3 – чувствительный элемент;

L - плечо маятника;

β - угол отклонения оси ротора гироскопа от горизонтальной плоскости;

P - сила тяжести

Но как только ось гироскопа выходит из горизонтального положения, на гироскоп начинает действовать момент M силы тяжести P , равный

$$M = P \cdot L \cdot \sin \beta \quad (14)$$

Где, M - момент силы тяжести;

Момент M в рассматриваемом случае действует так, чтобы опустить вниз конец оси ротора гироскопа.

В соответствии со вторым свойством гироскопа, ось гироскопа под действием момента M начинает прецессионное движение в западном направлении к плоскости меридиана

Так как восточная половина плоскости горизонта непрерывно опускается, то и угол β наклона оси к плоскости горизонта будет увеличиваться, соответственно увеличиваются величина маятникового момента и угловая скорость прецессии, которая достигает максимальной величины в момент прохождения оси гироскопа в плоскости меридиана.

Как только ось гироскопа пройдёт плоскость меридиана, угол её наклона к плоскости горизонта будет уменьшаться, (западная половина плоскости горизонта поднимается), соответственно уменьшается и скорость прецессии оси гироскопа.

В момент, когда ось будет находиться в плоскости горизонта, скорость её прецессионного движения станет равной нулю.

Затем ось будет непрерывно опускаться относительно плоскости горизонта, следовательно, изменится направление момента и направление прецессионного движения оси, которая начинает прецессировать к плоскости меридиана в восточном направлении.

Таким образом, ось гироскопа будет совершать прецессионные колебания относительно плоскости меридиана...»

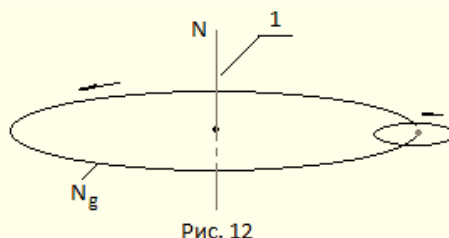
Это общепринятое объяснение не совсем верно. Здесь, по сути, описан частный случай поведения гироскопа на экваторе (при $\varphi = 0$). На других широтах, ось гироскопа будет совершать прецессионные колебания относительно N_g . Направление на N_g существенно отличается от направления географического меридиана. С увеличением широты места установки гироскопа, азимут N_g (т.е. угол между меридианом и направлением N_g) возрастает. И, на высоких широтах N_g направлено, скорее, на Восток, чем на Север. Но уникальность и полезность гироскопа заключается в том, что на постоянной широте, среднее положение оси гироскопа, при всех его многочисленных раскрутках, одинаково направлено, что и позволяет определять направление на Север, зная поправку гироскопа для данной географической широты.

Попробуем найти математическую зависимость поправки гироскопа от широты места установки прибора.

Для чего ещё раз, самостоятельно, рассмотрим процесс гироскопирования.

6. Физический процесс гироскопирования

Прежде всего, заметим, что в приведенном выше общепринятом описании поведения гироскопа, упущен из виду ещё один вид прецессии гироскопа с периодом равным периоду обращения Земли вокруг своей оси. Назовём эту прецессию долгопериодической, или суточной. Эту прецессию совершает среднее положение оси гироскопа, вследствие вращения Земли, относительно внешнего гравитационного поля. Прецессию же вокруг среднего направления оси гироскопа назовём короткопериодической, так как период обращения оси гироскопа вокруг среднего положения в реальных приборах составляет всего несколько минут, что значительно короче суток, см. рис 12



Где: 1 – земная ось

N_g - суточная (долгопериодическая) круговая траектория движения среднего положения северного конца оси гироскопа;

Маленький эллипс представляет собой траекторию движения северного конца оси гиromотора вокруг среднего положения.

Таким образом, в общепринятом понимании процесса гирокомпасирования, по существу, рассматривается только короткопериодическая прецессия, где действующей (активной) силой является сила тяжести чувствительного элемента (ЧЭ), создающая действующий момент, вызывающий прецессию. На возбуждение и поддержание короткопериодической прецессии расходуется потенциальная энергия ЧЭ. Эта потенциальная энергия запасается при арретировании гирокомпаса, когда винт арретира приподнимает ЧЭ над его средним положением, см. рис. 13

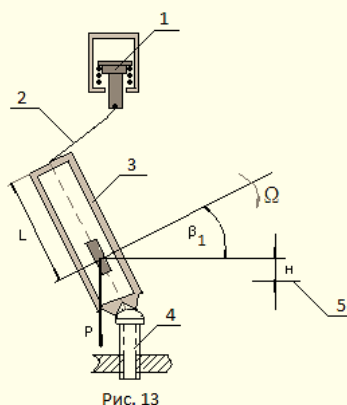


Рис. 13

На рисунке приняты следующие обозначения:

- 1 – втулка подвеса;
- 2 – торсион;
- 3 – чувствительный элемент, состоящий из защитного корпуса и гиromотора; центр тяжести чувствительного элемента совпадает с центром тяжести гиromотора;
- 4 – арретир, в верхнем положении;
- 5 – среднее положение центра тяжести чувствительного элемента;
- L – плечо подвеса;
- P – вес чувствительного элемента;
- β_1 - начальный угол подъёма северной оси гиromотора над горизонтом, после раскрутки гиromотора, но перед его разарретированием;
- H – высота подъёма центра тяжести чувствительного элемента над его средним значением, при арретировании гирокомпаса;
- Ω - угловая скорость вращения ротора гиromотора.

На рисунке показано положение ЧЭ гирокомпаса после арретирования, перед выключением гиromотора. После выключения гиromотора, пружина втулки подвеса, распрямляясь, вытянет торсион и ЧЭ в вертикальное положение (как показано на рис.7). Такое же положение (как на рис. 13) ЧЭ гирокомпаса займёт и после раскрутки гиromотора, перед разарретированием.

При разарретировании потенциальная энергия, равная произведению $P \cdot H$, преобразуется в кинетическую энергию прецессионного движения вокруг N_g . Этому преобразованию способствует наличие вращательного момента, относительно точки подвеса ЧЭ, равного произведению: $P \cdot L \cdot \sin \beta_1$.

Где, P – вес ЧЭ ; L - плечо подвеса; β_1 - угол подъёма северной оси гиromотора над горизонтом, после раскрутки гиromотора, но перед его разарретированием. Величина этого угла зависит от конструктивных параметров гирокомпаса и от широты места установки прибора. Величина β_1 больше β_0 .

Подъём оси гиromотора, после его раскрутки, является следствием действия силы сопротивления со стороны внешнего гравитационного поля угловому вращению оси гиromотора, вместе с Землёй, вокруг земной оси. Этой силе противодействует момент силы веса ЧЭ, относительно точки подвеса ЧЭ. И наоборот, силе сопротивления внешнего гравитационного поля помогает момент силы веса ЧЭ, относительно точки опоры ЧЭ, - поэтому то β_1 и больше β_0 .

Траектория движения северного конца оси гиromотора в процессе разарретирования показана на рис. 14

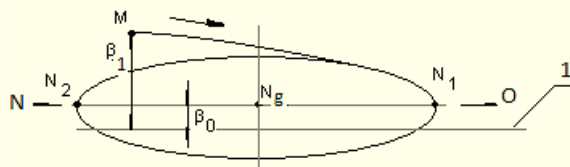


Рис. 14

На рисунке приняты следующие обозначения:

N_1, N_2 - первая и вторая точки инверсии;

N и O - направления на Север и Восток;

N_g - среднее положение оси ротора гиromотора (гироскопический азимут)

M - направление северной оси гиromотора перед разарретированием;

β_1 - угол подъёма северного конца оси гиromотора над горизонтом, после раскрутки гиromотора, перед его разарретированием;

β_0 - угол подъёма над горизонтом среднего положения оси гиromотора;

1 – плоскость горизонта

На рисунке показана траектория северного конца оси гиromотора, направленного от нас.

При долгопериодической (суточной) прецессии движущим (активным) моментом является момент вращения Земли; на возбуждение и поддержание этого прецессионного движения расходуется кинетическая энергия вращательного движения Земли. Противодействующий момент создаёт сила сопротивления внешнего гравитационного поля, приподнимающая над горизонтом северную ось гиromотора на угол β_0 . Эту силу сопротивления, в свою очередь, уравнивает сила тяжести ЧЭ (момент силы тяжести), удерживая ось гиromотора в положении, близком к горизонту.

Исходя из такого понимания процесса, физический смысл величин β_0 и N_g , см. рис. 10 и рис. 14, очевидно, состоит в следующем.

Если гироскоп, раскрутить в направлении на N_g . Затем разарретировать гироскоп так, чтобы он не получил дополнительной энергии на короткопериодическую прецессию, то ось гиromотора «застыла» бы в положении под углом β_0 к горизонту, сохраняя направление на N_g .

То есть, ось гиromотора осталась бы неподвижной относительно поверхности Земли и прецессировала бы относительно солнечно-лунного гравитационного поля, с периодом, примерно, 24 часа. Скорость этой суточной прецессии зависит от широты местности φ . От φ зависит также и поправка гироскопа δ (угол между географическим

меридианом и направлением N_g). Для заданной величины φ существует вполне определённая величина δ , - это опытный факт. Но мы ищем математическую связь, и пока не будем пользоваться опытными фактами.

7. Аналитическое определение поправки гироскопа δ

Поскольку мы рассматриваем поведение маятникового гироскопа, ось ротора гироскопа которого сохраняет практически горизонтальное положение, то нас, прежде всего, должна интересовать прецессия, в плоскости касательной к поверхности Земли.

При направлении оси гироскопа на N_g эта прецессия равна 0. Но надо иметь в виду, что нулевая прецессия - это результат противоборства двух противоположно направленных скоростей и моментов, их вызывающих.

Прецессия северной оси гироскопа относительно поверхности Земли с Севера на Восток возникает как следствие 1-го свойства гироскопа: *гироскоп стремится сохранить своё положение относительно внешнего анизотропного гравитационного поля.*

Если в начальный момент времени на широте φ ось гироскопа направлена строго по меридиану, то, в следующий момент, вследствие вращения Земли с Запада на Восток, северный конец оси гироскопа повернётся к востоку в касательной плоскости. Кроме того, северный конец оси гироскопа попытается подняться над уровнем горизонта, но это не получится, поскольку сила тяжести чувствительного элемента (ЧЭ) гироскопа оставит ось гироскопа в положении, близком к горизонтальному.

То есть, вследствие вращения Земли, северный конец оси гироскопа будет разворачиваться с Севера на Восток, в плоскости касательной к поверхности Земли в точке установки гироскопа. Угловая скорость прецессии с Севера на Восток ω_{N-O} выражается формулой:

$$\omega_{N-O} = \omega \cdot \sin \varphi \quad (15)$$

Где, ω_{N-O} - угловая скорость прецессии оси гироскопа относительно земной поверхности, с Севера на Восток;

ω - угловая скорость вращения Земли;

φ - географическая широта места установки прибора;

Но северная ось гироскопа не сможет повернуться строго на Восток, поскольку этому будет препятствовать противоположно направленный момент сил, создающий противоположно направленную угловую скорость прецессии с Востока на Север.

При отклонении северной оси гироскопа от меридиана к востоку появится момент, противодействующий прецессии гироскопа с Севера на Восток. Величина этого противодействующего момента определится из геометрических соображений, см. рис.15. Угловая скорость прецессии с Востока на Север составит:

$$\omega_{O-N} = \omega \cdot \sin \delta \cdot \cos \varphi \quad (16)$$

Вывод этой формулы изложен ниже.

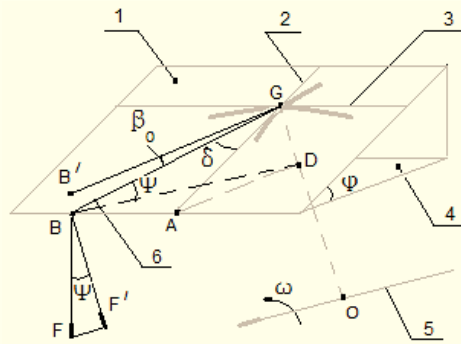


Рис. 15

На рисунке приняты следующие обозначения:

1-Плоскость касательная к поверхности Земли, в точке установки гирокомпаса G;

2-Проекция меридиана на касательную плоскость;

3-Проекция параллели на касательную плоскость;

4-Проекция касательной плоскости, параллельная оси вращения Земли;

5-Ось вращения Земли;

6-Северная полуось гиромотора, длина полуоси равна отрезку GB ;

O - центр Земли;

ω - угловая скорость вращения Земли;

G – точка установки гирокомпаса;

D – точка пересечения радиуса Земли OG с плоскостью параллельной оси вращения Земли;

GB' - северная полуось ротора гиромотора, приподнятая над касательной плоскостью на угол β_0 ;

GB - северная полуось ротора гиромотора, лежащая в касательной плоскости;

BA - перпендикуляр к проекции меридиана на касательную плоскость;

φ - широта места установки гирокомпаса;

ψ - угол между северной полуосью гиромотора и его проекцией на плоскость параллельную земной оси;

δ - поправка гирокомпаса (угол между направлением на N_g и географическим меридианом);

F - сила приложенная к северному концу оси ротора гиромотора, в плоскости перпендикулярной земной оси;

F' - составляющая силы F, перпендикулярная оси ротора гиромотора и перпендикулярная касательной плоскости; F' лежит в плоскости треугольника GBDG .

$$F' = F \cdot \cos\psi .$$

По условиям построения угол BGD - прямой, а угол GAD равен φ .

Из рисунка видно, что касательная плоскость наклонена к оси вращения Земли. Угол между ними равен широте места установки гирокомпаса, т.е. равен φ . Угол между касательной плоскостью и проекцией этой плоскости, параллельной земной оси, также равен φ .

Ось ротора гиромотора может разворачиваться в плоскости, близкой к касательной, приподнимаясь над касательной плоскостью на малый угол β_0 .

Вместе с поверхностью Земли гиромотор вращается вокруг земной оси. На это вращение затрачивается кинетическая энергия вращательного движения Земли и на ротор гиромотора действует вращательный момент сил. Для удобства расчётов условимся

считать, что этот вращательный момент создаётся силой, приложенной к северному концу оси ротора гиromотора.

Вследствие вращения оси ротора гиromотора вокруг земной оси, от действия «набегающего» гравитационного поля появится противоположно направленный момент сил, приподнимающий ось ротора гиromотора над горизонтом на угол β_0 , см. рис. 9, 14 и 15.

В первом приближении будем считать, что угол β_0 равен 0 и ось ротора гиromотора может разворачиваться только в касательной плоскости.

На рисунке 15 показана сила F , приложенная к северному концу оси ротора гиromотора, в точке B . Эта сила не перпендикулярна полуоси GB ротора гиromотора. Сила, направленная перпендикулярно полуоси GB , в плоскости треугольника $GBDG$, равна: $F' = F \cdot \cos\psi$.

Из рисунка видно, что угловая скорость вращения полуоси ротора гиromотора GB , в плоскости перпендикулярной земной оси, равна: $\omega \cdot \sin\delta$. С учётом того, что сила F пропорциональна угловой скорости вращения $\omega \cdot \sin\delta$, вращательный момент в плоскости треугольника $GBDG$ будет пропорционален угловой скорости: $\omega \cdot \sin\delta \cdot \cos\psi$

Этот момент, в соответствии со вторым основным свойством гироскопа, приведёт к появлению момента, действующего в касательной плоскости. В свою очередь, момент сил, действующий в касательной плоскости, создаст прецессию гироскопа в этой плоскости с угловой скоростью: $\omega \cdot \sin\delta \cdot \cos\psi$. Эта прецессия будет направлена с Востока на Север. То есть, угловая скорость прецессии гироскопа с Востока на Север запишется выражением:

$$\omega_{O-N} = \omega \cdot \sin\delta \cdot \cos\psi \quad (16)$$

Где, ω_{O-N} - угловая скорость прецессии оси ротора гиromотора в касательной плоскости, с Востока на Север;

ω - угловая скорость вращения Земли;

δ - поправка гироскопа (угол между меридианом и северной осью гиromотора)

$\cos\psi$ определяется из геометрических соображений по рисунку, см. рис. 15.

$$\cos\psi = \frac{\cos\varphi}{\sqrt{\sin^2\delta \cdot \cos^2\varphi + \cos^2\delta}} \quad (17)$$

При каком-то значении δ , скорость прецессии, в касательной плоскости, с Востока на Север (ω_{O-N}), станет равна скорости прецессии с Севера на Восток (ω_{N-O}). В этом случае ось ротора гиromотора будет сохранять постоянное положение относительно географического меридиана Земли.

Приравнивая противоположно направленные скорости прецессии, получим выражение для определения поправки гироскопа δ .

$$\omega_{N-O} = \omega_{O-N} \quad (18)$$

подставляя в (18) выражения функций (15) и (16), получим:

$$\omega \cdot \sin\varphi = \omega \cdot \sin\delta \cdot \cos\psi \quad (19)$$

Подставляя в формулу (19), выражение (17), получим:

$$\sin\delta = \frac{\sin\varphi}{\sqrt{1 - \sin^2\varphi \cdot \cos^2\delta}} \quad (20)$$

Задавая значениями φ , по формуле (20) рассчитаем значения $\sin\delta$ и значения δ , составим таблицу:

φ (градусы)	10	20	30	40	50	60	70	80
δ (градусы)	10,15	21,17	33,69	47,61	61,66	73,90	82,90	88,2

Насколько достоверный результат мы получили – покажут опыты. Расхождение с опытными данными вполне возможно, поскольку в предложенной выше математической модели процесса гирокомпасирования, сделаны некоторые упрощения.

Например, легко заметить, что в уравнениях: 17, 18, 19, - отсутствует угол подъёма оси ротора гиromотора над плоскостью горизонта, угол β_0 . То есть, в приведенном выше выводе формул (17, 18, 19, 20), величиной угла β_0 пренебрегается.

При выводе уравнения для определения поправки гирокомпаса δ , величиной β_0 действительно можно пренебречь, поскольку угол этот не велик. А, при необходимости, его можно сделать ещё меньше – для этого достаточно лишь увеличить вес чувствительного элемента (ЧЭ) гирокомпаса.

Но в других случаях рассмотрение этого малого угла представляет большой интерес.

8. Экспериментальный метод, способный подтвердить влияние Луны и Солнца на гироскопические процессы

Величина угла β_0 , несомненно, должна зависеть от величины сопротивления внешнего гравитационного поля, которое, в свою очередь, зависит от напряжённости поля. Напряжённость же внешнего гравитационного поля на поверхности Земли меняется.

Действительно, расстояние до Луны изменяется в 1,14 раза, следовательно, напряжённость гравитационного поля Луны у поверхности Земли (если её рассчитывать по теории Ньютона) меняется на 30%. Расстояние до Солнца меняется в 1,034 раза, соответственно напряжённость гравитационного поля Солнца меняется на 7%.

Как видно, изменения напряжённости внешнего гравитационного поля весьма существенны. Следовательно, изменения величины β_0 также должны быть существенными. Поэтому, наблюдая за изменениями величины β_0 в течение длительного времени и затем, проведя гармонический анализ этих изменений, можно выяснить какие конкретные небесные тела стоят за ними. Можно также определить относительную силу влияния гравитационных полей Луны и Солнца и развеять миф о влиянии Мировой системы отсчёта на гироскопические процессы.

Не мешало бы также проанализировать: нет ли связи между изменениями напряжённости внешнего гравитационного поля и величиной погрешности гирокомпаса. Погрешность маятникового гирокомпаса невелика, порядка 20 угловых секунд. Но ведь погрешность прибора всегда хочется уменьшить.

Если эти наблюдения за изменением величины β_0 организовать столь же основательно как наблюдения за морскими приливами, то практические результаты не заставят себя ждать.

9. Определение величин компенсирующего момента и анизотропного коэффициента (вывод формул)

Постоянное направление среднего положения оси ротора гиromотора относительно географического меридиана означает, что к оси ротора гиromотора приложен

компенсирующий момент сил M_K , который останавливает прецессию гироскопа относительно поверхности Земли, в горизонтальной плоскости, со скоростью $\omega \cdot \sin \varphi$, и заставляет его прецессировать в обратном направлении относительно солнечно-лунного анизотропного гравитационного поля в горизонтальной плоскости, с угловой скоростью: $\omega \cdot \sin \varphi$. Как уже было сказано выше, создаётся этот компенсирующий момент за счёт вращения Земли и на прецессию гироскопа относительно солнечно-лунного анизотропного поля затрачивается кинетическая энергия вращения Земли. Разберём этот процесс более детально:

Сила сопротивления со стороны набегающего анизотропного гравитационного поля, приподнимает северный конец оси ротора гироскопа над плоскостью горизонта. Что приводит к подъёму над горизонтом массы чувствительного элемента (ЧЭ) гироскопа. Сила веса ЧЭ препятствует его подъёму и стремится вернуть чувствительный элемент в первоначальное положение. Момент от веса ЧЭ стремится развернуть ось ротора гироскопа с Востока на Север и останавливает прецессию гироскопа с Севера на Восток. При некоторых взаимосвязанных величинах: φ , δ , β_0 , - момент силы сопротивления со стороны набегающего анизотропного гравитационного поля M_A и компенсирующий момент, создаваемый весом чувствительного элемента гироскопа M_P становятся равны по абсолютной величине. И, можно записать:

$$M_A = M_P \quad (21)$$

Где, M_A - момент сопротивления со стороны анизотропного гравитационного поля;

M_P - момент от веса чувствительного элемента гироскопа, стремящийся вернуть ось ротора гироскопа в горизонтальное положение, действующий в вертикальной плоскости.

С учётом новой формулы 2-го основного свойства гироскопа (13') для случая прецессии гироскопа относительно анизотропного гравитационного поля, момент M_A определится из выражений:

$$M_A = K_A \cdot J_y \cdot \Omega \cdot \omega \cdot \sin \delta \cdot \cos \psi \quad (22)$$

$$\text{Или} \quad M_A = K_A \cdot J_y \cdot \Omega \cdot \omega \cdot \sin \varphi \quad (23)$$

Момент M_P равен:

$$M_P = P \cdot L \cdot \sin \beta_0 \quad (24)$$

Где: K_A – коэффициент анизотропный;

J_y - момент инерции гироскопа относительно оси, перпендикулярной оси собственного вращения гироскопа;

Ω - угловая скорость собственного вращения гироскопа;

$\omega \cdot \sin \delta \cdot \cos \psi = \omega \cdot \sin \varphi = \omega_A$ - прецессия гироскопа относительно внешнего анизотропного гравитационного поля;

ω - угловая скорость вращения Земли относительно внешнего гравитационного поля; $\omega = 2\pi/T$; где: T – период обращения Земли относительно внешнего гравитационного поля. Этот период равен, какому то, промежуточному значению между солнечными и лунными сутками. Если основное сопротивление прецессии гироскопа оказывает солнечное гравитационное поле, то этот период будет близок к 24 часам, если же большее сопротивление оказывает лунное поле, то этот период будет примерно на час больше. Разобраться с этим можно только с помощью опытов;

δ - поправка гироскопа (угол между средним положением оси гироскопа и географическим меридианом). Выше этот угол определён расчётным путём, см. таблицу,

но в данном случае необходимо брать его значение, определённое опытным путём, при эталонировании гирокомпаса;

φ - широта места установки гирокомпаса;

P - вес чувствительного элемента гирокомпаса (ЧЭ);

L – плечо подвеса чувствительного элемента гирокомпаса (расстояние от центра тяжести ЧЭ до точки подвеса ЧЭ);

β_0 - угол подъёма среднего положения оси гироскопа над плоскостью горизонта, - определяется экспериментально.

Подставляя выражения (22) и (24) в уравнение (21), получим выражение для определения анизотропного коэффициента K_A .

$$K_A = \frac{P \cdot L \cdot \sin \beta_0}{J_y \cdot \Omega \cdot \omega \cdot \sin \delta \cdot \cos \psi} \quad (25)$$

Подставляя выражения (23) и (24) в уравнение (21), получим ещё одну формулу для определения анизотропного коэффициента K_A .

$$K_A = \frac{P \cdot L \cdot \sin \beta_0}{J_y \cdot \Omega \cdot \omega \cdot \sin \varphi} \quad (26)$$

Формулы (25) и (26) равнозначны.

Гирокомпасы широко применяются на практике, конструкция их непрерывно совершенствуется, технические характеристики проверяются и перепроверяются. Так что значения всех величин входящих в формулы (25) и (26) уже давно известны, и поэтому серьёзных препятствий для определения величины анизотропного коэффициента нет. Сложность состоит только в том, чтобы собрать эти данные вместе, для конкретного прибора. Я такими данными не располагаю, и поэтому точно вычислить анизотропный коэффициент K_A не имею возможности. Но можно оценить порядок величины анизотропного коэффициента K_A , задавшись значениями: P , L , β_0 , J_y , Ω , ω , приблизительно соответствующими значениям, применяемым на практике.

Примем: $m=1\text{кг}$, $R=0,05\text{ м}$. $J_y=0,5 \cdot m \cdot R^2=0,00125\text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Примем: $P=20\text{Н}$, $L=0,2\text{ м}$, $\beta_0=1^\circ$, $\Omega=2000\text{ с}^{-1}$, $\omega=0,727 \cdot 10^{-4}\text{ рад/с}$

Подставляя значения в формулу (26) получим:

$$K_A=384$$

Как и ожидалось, величина анизотропного коэффициента получилась на два порядка больше единицы, что подтверждает анизотропные свойства солнечно-лунного гравитационного поля.

Имея прибор, описанный выше, и зная формулы (25) и (26), можно приступить к более подробному изучению свойств гравитационного поля и свойств гироскопа.

Сделать такой прибор вполне возможно. Это, по сути, стандартный прибор, оборудованный дополнительной шкалой для наблюдения за вертикальным перемещением оси гироскопа.

Предполагается, что регулярные измерения величины β_0 , в течение длительного времени покажут, что величина β_0 изменяется со временем, и что изменения эти носят циклический характер и зависят от взаимного расположения Земли, Солнца и Луны.

10. Направление дальнейших исследований

В предыдущих главах нам удалось вывести:

- формулы прецессии гироскопа в изотропном (земном) гравитационном поле

$$\bar{M} = J_y \cdot \bar{\omega} \times \bar{\Omega} \quad (2)$$

$$\bar{M}_i = K_i \cdot J_y \cdot \bar{\omega}_i \times \bar{\Omega} \quad (13')$$

Где: $K_i=1$, $\omega = \omega_i$

- общую формулу прецессии гироскопа в изотропном и анизотропном гравитационных полях:

$$\bar{M} = K_i \cdot J_y \cdot \bar{\omega}_i \times \bar{\Omega} + K_A \cdot J_y \cdot \bar{\omega}_A \times \bar{\Omega} \quad (13)$$

- формулы для определения анизотропного коэффициента K_A

$$K_A = \frac{P \cdot L \cdot \sin \beta_0}{J_y \cdot \Omega \cdot \omega \cdot \sin \delta \cdot \cos \psi} \quad (25)$$

$$K_A = \frac{P \cdot L \cdot \sin \beta_0}{J_y \cdot \Omega \cdot \omega \cdot \sin \varphi} \quad (26)$$

Но, вопреки утверждениям **Ричарда Фейнмана**, см. эпиграф, для вывода этих формул комбинации законов **Ньютона** оказалось недостаточно.

Пришлось воспользоваться принципом **Даламбера** и тем самым расширить область применения 3-го закона Ньютона (равенства действия и противодействия) и на динамические процессы. Пришлось также признать реальность силы инерции и разделить гравитационные поля на изотропные и анизотропные.

И при этом, мы рассмотрели наиболее простой вид прецессии гироскопа – прецессию с постоянной угловой скоростью, под действием постоянного момента сил. Но ведь в действительности так бывает не всегда.

Например, если действующий момент сил возрастает, то, очевидно, должна возрастать и скорость прецессии. Также очевидно, что в начальный момент времени, под действием момента сил, скорость прецессии также должна возрастать. Но по какому закону она будет возрастать, математически показать невозможно, так как комбинации законов Ньютона, пусть даже усиленных Принципом Даламбера, здесь недостаточно.

Судите сами: при трёхмерном вращении материальной точки в рассмотренном выше примере, см. рис.1, при равномерной прецессии гироскопа со скоростью ω , каждая материальная точка ротора гироскопа движется с ускорением. И мы легко справились с задачей нахождения величины силы, действующей на эту точку, применив 2-й закон Ньютона и Принцип Даламбера.

Если же мы попробуем рассмотреть неравномерную прецессию, например с равномерно возрастающей скоростью: $\omega = \omega_0 + \omega' \cdot t$, то каждая материальная точка ротора гироскопа будет двигаться с возрастающим ускорением. То есть, нам придётся иметь дело не только с величиной « a », но и с величиной « a' » (не только с ускорением, но и с его производной) И, соответственно, придётся иметь дело не только с произведением « $m \cdot a$ », но и с произведением « $m \cdot a'$ ».

Но, если величина отношения между $m \cdot a$ и действующей (a , значит, и противодействующей) силой определена 2-м законом Ньютона, то величина соотношения между силой F и произведением: $m \cdot a'$, - не определена, и определить её могут только опыты, но никак не математика. Наши математические способности здесь также не причём.

Если же мы будем рассматривать прецессию с неравномерно возрастающей скоростью, то нам придётся столкнуться ещё и с величиной « a'' » и с произведением « $m \cdot a''$ ».

Таким образом, мы столкнулись с тем, что для математического описания этого более сложного вида прецессии в нашем распоряжении нет физического закона, связывающего между собой силу, массу, ускорение и производные ускорения.

Закон этот можно представить в следующем виде:

$$F = m(k_1 \cdot a + k_2 \cdot a' + k_3 \cdot a'' + \dots + k_n \cdot a^{n-1}); \quad (27)$$

Где, F – действующая сила;

k_1 – коэффициент при ускорении. На поверхности Земли k_1 принят равным единице;

$k_2; k_3; \dots k_n$ – коэффициенты при первой, второй, $n-1$ производных ускорения. Величины этих коэффициентов необходимо искать опытным путём. При постановке опытов надо не забывать, что все эти коэффициенты зависят от параметров гравитационного поля. И поэтому если эксперименты будут проведены на поверхности Земли, то формулу (27) с этими коэффициентами можно будет применять только на поверхности Земли. На поверхности, скажем, Луны коэффициент k_1 уже не будет равен единице [1], да и величины всех других коэффициентов изменятся.

Это новое соотношение между действующей силой, массой, ускорением и его производными можно назвать *расширенным основным законом механики*. Нетрудно заметить, что 2-й закон Ньютона является частным случаем этого, более общего, соотношения.

11. Общие выводы

1. Теория гироскопа, в основе которой лежат два основных свойства: стремление гироскопа сохранять своё положение относительно Мирового пространства и формула

$\bar{M} = J \cdot \bar{\omega} \times \bar{\Omega}$ (1), связывающая действующий момент сил, приложенный к оси вращения, скорость и направление прецессии, – не верна. Теория эта неверна по следующим причинам:

При выводе формулы (1) допущена математическая ошибка, вследствие не достаточно подробного рассмотрения физического процесса, происходящего при вращении твёрдого тела.

Действующая теория гироскопа не учитывает того обстоятельства, что Мировое пространство не обладает своим характерным и постоянным гравитационным полем. Гравитационное поле в любой точке Мирового пространства (в любой точке Солнечной системы) складывается из гравитационных полей небесных тел. В Солнечной системе влиянием всех других звёзд (кроме Солнца) можно пренебречь. Если гироскоп находится вблизи поверхности Земли, то гравитационное поле складывается, прежде всего, из гравитационных полей Земли, Луны и Солнца. Эти небесные тела постоянно меняют своё относительное расположение – следовательно, постоянно меняется суммарное гравитационное поле, действующее на гироскоп. Эти изменения (возмущения) в гравитационном поле Земли обусловлены вращением Земли относительно возмущающих её поле небесных тел, то есть относительно Луны и Солнца. Прецессия свободного гироскопа относительно поверхности Земли также вызывается возмущениями этих реальных небесных тел, а не влиянием Мировой системой отсчёта.

Возмущающие силы со стороны гравитационных полей Луны и Солнца превосходят силу сопротивления со стороны гравитационного поля Земли, что и заставляет гироскоп прецессировать относительно земной поверхности. Это превосходство

гравитационных полей Луны и Солнца по действию на гироскоп можно объяснить структурой этих полей (Земли достигают почти параллельные лучи). Очевидно, что при различных направлениях движения материальной точки в таком поле, сопротивление поля будет различным. Такое поле является *анизотропным* по отношению к направлению движения материальной точки.

В то время как излучение гравитационного поля Земли, у её поверхности, происходит в различных направлениях [1] и [2]. В этом случае каждая материальная точка гироскопа облучается со всех сторон в области нижней полусферы так, что при любом направлении движения материальной точки она пересекает одинаковое количество силовых линий гравитационного поля и, следовательно, встречает одинаковое сопротивление. Такое поле является *изотропным* по отношению к направлению движения материальной точки.

2. В свете вышеизложенного, первое основное свойство гироскопа надо понимать так, что *гироскоп стремится сохранить своё положение относительно анизотропных гравитационных полей наиболее влиятельных небесных тел.*

Например, если гироскоп находится на поверхности Земли, то для него наиболее влиятельными анизотропными полями являются гравитационные поля Луны и Солнца.

3. Момент сил, действующий на свободный гироскоп со стороны анизотропных гравитационных полей Солнца и Луны, и заставляющий его прецессировать относительно земной поверхности (относительно земного изотропного гравитационного поля) определяется новыми формулами:

$$\bar{M} = J_y \cdot \bar{\omega} \times \bar{\Omega} \quad (2)$$

$$\bar{M}_i = K_i \cdot J_y \cdot \bar{\omega}_i \times \bar{\Omega} \quad (13')$$

Где: K_i - коэффициент изотропный

\bar{M} - момент сил вызывающий прецессию и действующий со стороны внешнего анизотропного гравитационного поля Солнца и Луны;

J_y - момент инерции гироскопа относительно оси, перпендикулярной оси собственного вращения гироскопа;

ω - угловая скорость прецессии гироскопа;

$\bar{\omega}_i$ - угловая скорость прецессии гироскопа относительно земного изотропного поля;

Ω - собственная угловая скорость вращения гироскопа.

При условии: $K_i = 1$, $\omega = \omega_i$, формула (13') сводится к формуле (2)

Формулы: (2) и (13'), – отличаются от общепринятой формулы (1) тем, что вместо главного момента инерции относительно оси собственного вращения гироскопа в них присутствует момент инерции относительно оси, перпендикулярной оси собственного вращения гироскопа;

4. Для описания второго свойства гироскопа в изотропно-анизотропных гравитационных полях предлагается новая общая формула:

$$\bar{M} = K_i \cdot J_y \cdot \bar{\omega}_i \times \bar{\Omega} + K_A \cdot J_y \cdot \bar{\omega}_A \times \bar{\Omega} \quad (13)$$

Где, \bar{M} - момент сил, вызывающий прецессию;

K_i - коэффициент изотропный, учитывающий сопротивление изотропного поля, определяется эмпирическим путём;

J_y - момент инерции относительно оси, перпендикулярной оси собственного вращения гироскопа;

$\bar{\omega}_i$ - угловая скорость прецессии гироскопа относительно изотропного гравитационного поля;

$\bar{\omega}_A$ - угловая скорость прецессии гироскопа относительно анизотропного гравитационного поля;

K_A – коэффициент анизотропный, учитывает сопротивление анизотропного гравитационного поля, зависит от величин: Ω , ω и от напряжённости внешнего гравитационного поля, определяется по формулам:

$$K_A = \frac{P \cdot L \cdot \sin \beta_0}{J_y \cdot \Omega \cdot \omega \cdot \sin \delta \cdot \cos \psi} \quad (25)$$

$$K_A = \frac{P \cdot L \cdot \sin \beta_0}{J_y \cdot \Omega \cdot \omega \cdot \sin \varphi} \quad (26)$$

Где: K_A – коэффициент анизотропный;

J_y - момент инерции гироскопа относительно оси, перпендикулярной оси собственного вращения гироскопа;

Ω - угловая скорость собственного вращения гироскопа;

$\omega \cdot \sin \delta \cdot \cos \psi = \omega \cdot \sin \varphi = \omega_A$ - прецессия гироскопа относительно внешнего анизотропного гравитационного поля;

ω - угловая скорость вращения Земли; $\omega = 2\pi/T$; где: T – период обращения Земли относительно внешнего гравитационного поля.

δ - поправка гироскопа, определяется опытным путём;

ψ - угол между направлением оси ротора гироскопа и его проекцией на плоскость параллельную земной оси, $\cos \psi$ определяется по формуле:

$$\cos \psi = \frac{\cos \varphi}{\sqrt{\sin^2 \delta \cdot \cos^2 \varphi + \cos^2 \delta}} \quad (17)$$

φ - географическая широта места установки гироскопа;

P - вес чувствительного элемента гироскопа;

L – плечо подвеса чувствительного элемента;

β_0 - угол подъёма среднего положения оси гироскопа над плоскостью горизонта, - определяется экспериментально.

5. В частном случае, для определения величины компенсирующего момента M_K , останавливающего прецессию гироскопа относительно поверхности Земли и заставляющего гироскоп прецессировать относительно внешнего анизотропного поля Солнца и Луны, необходимо пользоваться формулами:

$$\bar{M}_A = \bar{M}_K; \quad \bar{M}_K = K_A \cdot J_y \cdot \bar{\omega}_A \times \bar{\Omega} \quad (13'')$$

При условии равенства $\bar{\omega}_A$ и $\bar{\omega}_i$, справедливы следующие соотношения:

$$M_K / M_i = K_A; \quad \text{или} \quad M_K = K_A \cdot M_i$$

То есть компенсирующий момент, заставляющий гироскоп прецессировать относительно внешнего анизотропного поля, в K_A раз больше величины момента, заставляющего гироскоп прецессировать относительно изотропного поля Земли.

Где, K_A – анизотропный коэффициент, показывающий относительную силу анизотропного и изотропного полей, по их воздействию на гироскоп.

В настоящее время наукой и практикой накоплено достаточно данных, для того чтобы определить величину анизотропного коэффициента по формулам (25) и (26). Оценочный расчёт показывает, что величина этого анизотропного коэффициента на 2 порядка больше единицы, что указывает на наличие анизотропных свойств у солнечно-лунного гравитационного поля.

6. Предполагается, что регулярные измерения величины β_o , в течение длительного времени покажут, что величина β_o изменяется со временем, и что изменения эти носят циклический характер и зависят от взаимного расположения Земли, Солнца и Луны. Эти эксперименты позволят выяснить степень влияния Луны и Солнца на поведение гироскопа и использовать полученные данные для более точной настройки различных гироскопических устройств.

7. Для анализа гироскопических процессов с неравномерной скоростью прецессии, необходимо экспериментальным путём найти коэффициенты в уравнении вида:

$$F = m(k_1 \cdot a + k_2 \cdot a' + k_3 \cdot a'' + \dots + k_n \cdot a^{n-1}); \quad (27)$$

Где, F – действующая сила;

k_1 – коэффициент при ускорении. На поверхности Земли k_1 принят равным единице;

$k_2; k_3; \dots k_n$ – коэффициенты при первой, второй, n-1 производных ускорения.

Это соотношение можно назвать *расширенным или уточнённым основным законом механики*.

Второй закон Ньютона является лишь частным случаем расширенного основного закона механики (27).

Таким образом, для решения насущных задач в прикладной механике, необходимо развивать механику фундаментальную.

30.07.2017

Гужеля Юрий Александрович – инженер-механик, действительный член Русского Физического Общества, окончил Московский энергетический институт, факультет энергомашиностроения в 1971 году. Область научных интересов: механика, термодинамика, теория воздушно-реактивных двигателей.

Список использованной литературы

1. Гужеля Ю.А. «Неизвестная механика» (четвёртая редакция) / ЖРФХО, Т. 84, вып. № 5: Доклады Русскому Физическому Обществу, 2012, Часть 3. (Сборник научных работ). - 2012. // Энциклопедия Русской Мысли. Том 16.
2. Гужеля Ю.А. «Неизвестная механика» (вторая редакция) – сайт: <http://new-idea.kulichki.net/pubfiles/080315105243.rar> раздел Физика, публикация от 15.03. 2008
3. Гужеля Ю.А. «Относительность без предрассудков и без прикрас» (вторая редакция) – сайт: new-idea.kulichki.net. 2008 г.
4. А.Ю. Ишлинский, В.И. Борзов, Н.П. Степаненко «Лекции по теории гироскопов», издательство Московского университета, 1983 г
5. А.Ю. Ишлинский «Ориентация, гироскопы и инерциальная навигация». – Москва, «Наука», 1976 г.
6. Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс, «Фейнмановские лекции по физике»

