Гужеля Ю.А.

Гироскоп и гравитация

«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 не позволяет сделать правильный выбор между Мировой системой отсчёта и привилегированными системами отсчёта, связанными с Землёй, 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
2. Второе свойство гироскопа (вывод новой формулы)…….3
3. Первое основное свойство гироскопа (новая формулировка)……...9
4. Область применения формулы: $\bar{M} = J_y \cdot \bar{\omega} \times \bar{\Omega}$ ……..13
5. Устройство и работа гирокомпаса ……...16
6. Физический процесс гирокомпасирования…….21
7. Аналитическое определение поправки гирокомпаса δ …….24
8. Экспериментальный метод, способный подтвердить влияние Луны и Солнца на гироскопические процессы……28
9. Определение величин компенсирующего момента и анизотропного коэффициента (вывод формул) ……29
10. Направление дальнейших исследований ……31
11. Общие выводы……33

Список использованной литературы……38

1. Введение

Спустя столетие, после демонстрации Леоном Фуко первых опытов с гироскопом, Ричард Фейнман [Л 6], 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:

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

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:

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

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

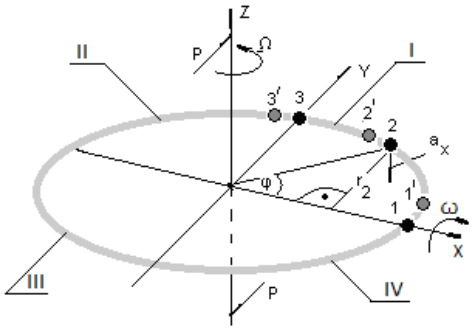


Рис. 1

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.* Момент сил *M* разворачивает 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 $2\text{-}2'$, 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 $2\text{-}2'$, 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:

$$a_{x_2} = \frac{\Delta v_{x_2}}{\Delta t}$$

$$a_{x_2} = R \cdot \Omega \cdot \omega \cdot \cos\varphi_2 \qquad (3)$$

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

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

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

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

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

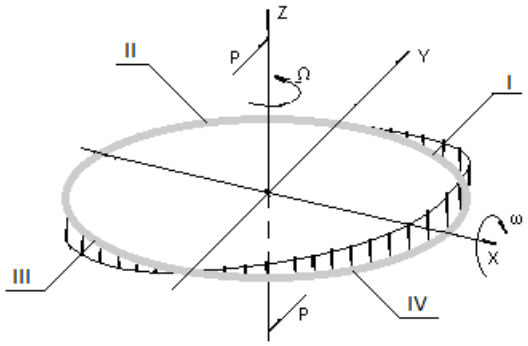


Рис. 2

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

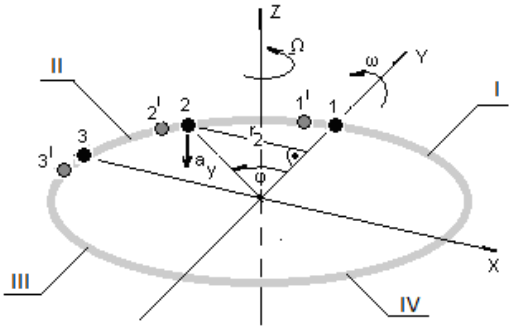


Рис. 3

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:

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

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

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*

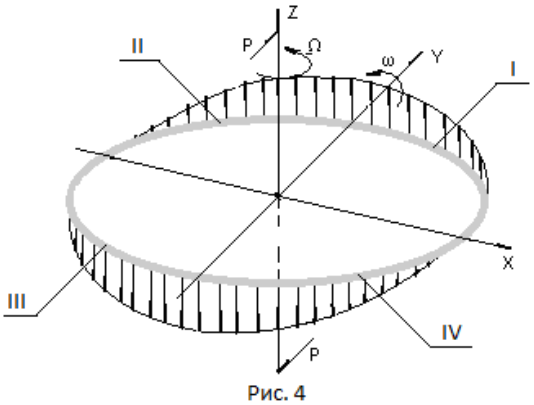


Рис. 4

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

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:

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

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

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:

$$M_i = 0{,}5 \cdot J \cdot \Omega \cdot \omega \qquad (8)$$

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:

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

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:

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

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:

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

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.

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, в близи 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 вращения 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 в общем анизотропно [1] [2]. Но в горизонтальной плоскости земное гравитационное поле является изотропным.

В случае с гироскопом, изотропность земного гравитационного поля в горизонтальной плоскости проявляется в том, что на раскручивание гироскопа до заданной скорости Ω, при любом повороте оси в горизонтальной плоскости, затрачивается одно и тоже 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

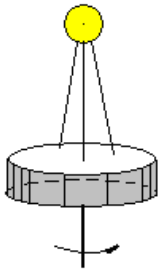


Рис. 5

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

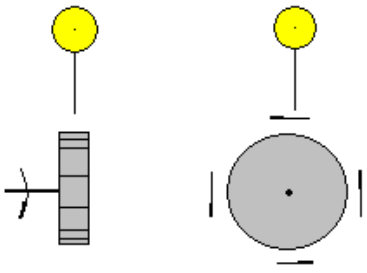


Рис. 6

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_2 в положение α_1, надо затратить работу

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

Для чего придётся приложить момент сил (M) равный

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

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 гироскоп находится под действием двух качественно различных полей: изотропного (земного гравитационного поля в горизонтальной плоскости) 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 постоянно изменяют своё положение 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.

Если прецессия гироскопа относительно Солнечной или Лунной систем отсчёта не превышает погрешности опытов, то она может быть не определена. 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: $3{,}36\cdot10^{-5}\ м/с^2$ и $5{,}9\cdot10^{-3}\ м/с^2$. Суммарная напряжённость Солнечно-Лунного поля равна $5{,}93\cdot10^{-3}\ м/с^2$.

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

Масса ротора, m=1 кг;

Радиус инерции, R=0,05 м;

Собственная скорость вращения ротора гироскопа, Ω=2000 c^{-1}.

Такой гироскоп в раскрученном состоянии имеет запас кинетической энергии равный:

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

$$W = 1\cdot0{,}05^2\,\frac{2000^2}{2} = 5\cdot10^3 \text{ Дж.}$$

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:

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

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 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

$$W_\omega = J_y \cdot \frac{\omega^2}{2}$$ Подставляя значения, получим

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

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

Сравним величины энергий $W_{C+Л}$ и W_ω

3,0206 и $3{,}303 \cdot 10^{-12}$ 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, $W_1 - W_2 = 0{,}1 W_{S+L} = 0{,}302$ 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:

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

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

Откуда получим:

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

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

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 и наиболее влиятельных 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 случая горизонтального положения оси двухстепенного гироскопа можно предложить следующее соотношение, основой которого является формула (2)

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

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 относительно изотропного поля (в рассматриваемом случае это гравитационное поле Земли, вблизи её поверхности)

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

K_A^{S+L} – коэффициент анизотропный солнечно-лунного гравитационного поля, 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 относительного 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 ω, 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 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.

$$\bar{M}_A = K_A^{S+L} \cdot J_y \cdot \bar{\omega}_A \times \bar{\Omega} \qquad (13^{//})$$

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

K_A^{S+L} - коэффициент анизотропный, учитывающий сопротивление анизотропного солнечно-лунного гравитационного поля, определяется эмпирическим путём;

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

Следует ожидать, что величина коэффициента K_A^{S+L} 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 ω_A и ω по абсолютной величине равны, получим:

$$M_K / M = K_A^{S+L} \text{ или } M_A / M = K_A^{S+L}$$

Величина коэффициента K_A^{S+L} 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^{S+L} можно использовать гирокомпас. Для того чтобы убедиться в возможности использования гирокомпаса для этих целей, рассмотрим устройство и работу маятникового гирокомпаса.

5. Устройство и работа гирокомпаса

На рисунках 7 и 8 схематично изображён гирокомпас 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 гирокомпас изображён в выключенном положении. На рисунке 8 гирокомпас показан в рабочем положении.

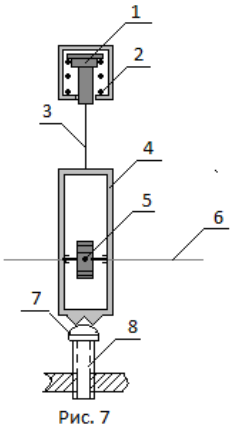


Рис. 7

На рисунке 7 чувствительный элемент заарретирован, гиромотор выключен.

На рисунке приняты следующие обозначения:
1 – втулка подвеса;
2 – пружина;
3 – торсион;
4 – чувствительный элемент, состоящий из защитного корпуса и гиромотора;
5 – гиромотор;
6 – плоскость горизонта;
7 – шаровая опора;
8 - арретир

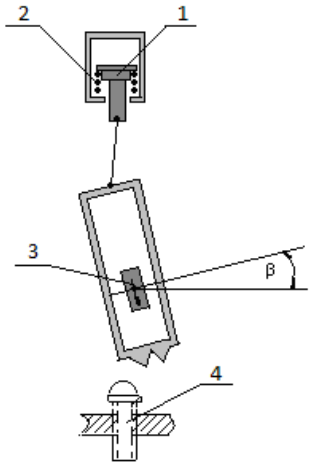


Рис. 8

На рисунке 8 гиромотор 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 гиромотора
4 – арретир, в опущенном положении
β - угол отклонения оси ротора гиромотора от горизонтального положения

Прибор этот представляет собой гиромотор на электрической тяге, помещённый в защитный корпус. Корпус вместе с гиромотором называется *чувствительным элементом* (ЧЭ). Чувствительный элемент подвешен на тонкой металлической нити, называемой *торсионом*. В гирокомпасе 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 гиромотором) 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 гирокомпаса).

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

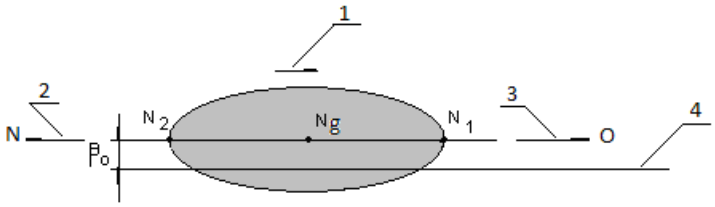


Рис. 9

На рисунке приняты следующие обозначения:

1 – стрелка показывает направление движения северного конца оси гиромотора, при направлении северного конца оси гиромотора 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 гиромотора от горизонтальной плоскости

На рисунке показана траектория движения северного конца оси гиромотора, 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 гиромотора, с конца которой, мы будем видеть гиромотор, вращающимся против часовой стрелки, с угловой скоростью* Ω

По вертикальной оси эллипса отложены углы наклона оси ротора гиромотора относительно плоскости горизонта, а по горизонтальной – углы отклонения оси ротора гиромотора 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 гирокомпаса и называемый поправкой гирокомпаса, см. рис. 10

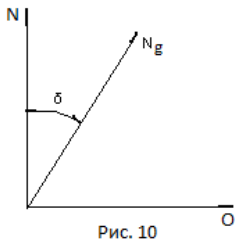


Рис. 10

На рисунке приняты следующие обозначения:

N - направление на Север (географический азимут);

O - направление на Восток;

N_g - гироскопический азимут;

δ - поправка гирокомпаса

Угол δ зависит от широты места установки прибора.

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

В техническом описании серийного прибора, применяемого для определения азимута направления, это замечательное поведение гирокомпаса объясняется следующим образом: *«Пусть маятниковый гироскоп с 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 уравновешиваться 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).

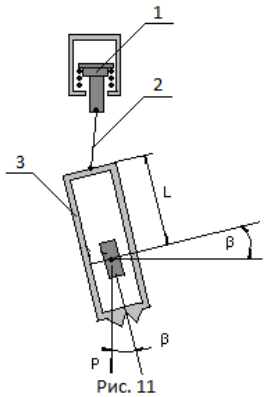


Рис. 11

На рисунке приняты следующие обозначения:

1 – втулка подвеса;

2 – торсион;

3 – чувствительный элемент;

L - плечо маятника;

β - угол отклонения оси ротора гиромотора 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

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

Где, M - момент силы тяжести;

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

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 гирокомпаса на экваторе (при φ = 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 гирокомпаса, 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 гирокомпаса 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 гирокомпаса для данной географической широты.

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

Для чего ещё раз, самостоятельно, рассмотрим процесс гирокомпасирования.

6. Физический процесс гирокомпасирования

Прежде всего, заметим, что в приведенном выше общепринятом описании поведения гирокомпаса, 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

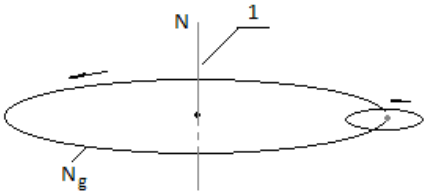


Рис. 12

Где: 1 – земная ось

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

Маленький эллипс представляет собой траекторию движения северного конца оси гиромотора 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

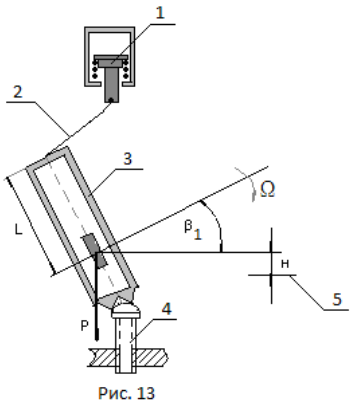


Рис. 13

На рисунке приняты следующие обозначения:

1 – втулка подвеса;

2 – торсион;

3 – чувствительный элемент, состоящий из защитного корпуса и гиромотора; центр тяжести чувствительного элемента совпадает с центром тяжести гиромотора;

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 гиромотора над горизонтом, после раскрутки гиромотора, но перед его разарретированием;

H – высота подъёма центра тяжести чувствительного элемента над его средним значением, при арретировании гирокомпаса;

Ω - угловая скорость вращения ротора гиромотора.

На рисунке показано положение ЧЭ гирокомпаса после арретирования, перед выключением гиромотора. После выключения гиромотора, 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 гиромотора, 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 гиромотора над горизонтом, после раскрутки гиромотора, 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 гиромотора, после его раскрутки, является следствием действия силы сопротивления со стороны внешнего гравитационного поля угловому вращению оси гиромотора, 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 гиромотора в процессе разарретирования показана на рис. 14

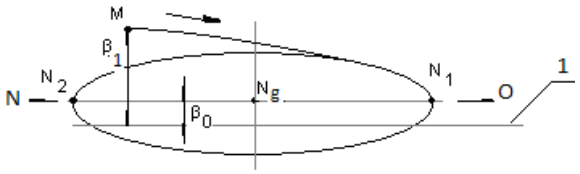


Рис. 14

На рисунке приняты следующие обозначения:

N_1, N_2 - первая и вторая точки реверсии;

N и O - направления на Север и Восток;

N_g - среднее положение оси ротора гиромотора (гироскопический азимут)

M - направление северной оси гиромотора перед разарретированием;

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

β_0 - угол подъёма над горизонтом среднего положения оси гиромотора;

1 – плоскость горизонта

На рисунке показана траектория северного конца оси гиромотора, 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 гиромотора на угол β_0. Эту силу сопротивления, в свою очередь, уравновешивает сила тяжести ЧЭ (момент силы тяжести), удерживая ось гиромотора в положении, близком к горизонту.

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

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

То есть, ось гиромотора 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 широты местности φ зависит также и поправка гирокомпаса 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 гирокомпаса δ

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

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

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

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

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

ω - угловая скорость вращения Земли;

φ - географическая широта места установки прибора;

Но северная ось гиромотора 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 гиромотора 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:

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

Вывод этой формулы изложен ниже.

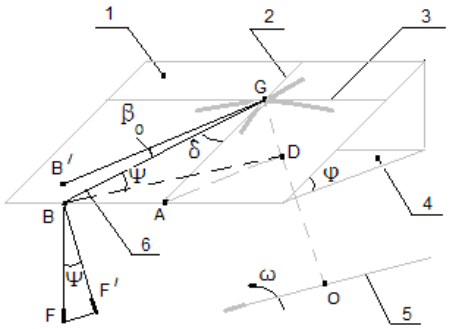


Рис. 15

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, которая параллельна 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_o;

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 гиромотора.

Вследствие вращения оси ротора гиромотора вокруг земной оси, от действия «набегающего» гравитационного поля появится противоположно направленный момент сил, приподнимающий ось ротора гиромотора 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 гиромотора может разворачиваться только в касательной плоскости.

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

Из рисунка видно, что угловая скорость вращения полуоси ротора гиромотора 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 гирокомпаса с Востока на Север запишется выражением:

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

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

ω - угловая скорость вращения Земли;

δ - поправка гирокомпаса (угол между меридианом и северной осью гиромотора)

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

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

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 гиромотора будет сохранять постоянное положение относительно географического меридиана Земли.

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

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

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

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

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

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

Задаваясь 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 гиромотора 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 гиромотора относительно географического меридиана означает, что к оси ротора гиромотора 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 гиромотора над плоскостью горизонта. Что приводит к подъёму над горизонтом массы чувствительного элемента (ЧЭ) гирокомпаса. Сила веса ЧЭ препятствует его подъёму и стремится вернуть чувствительный элемент в первоначальное положение. Момент от веса ЧЭ стремится развернуть ось ротора гиромотора 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 гирокомпаса M_P, становятся равны по абсолютной величине. И, можно записать:

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

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

M_P - момент от веса чувствительного элемента гирокомпаса. Этот момент действует в вертикальной плоскости и стремится возвратить ось ротора гиромотора в горизонтальное положение.

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

$$M_A = K_A^{S+L} \cdot J_y \cdot \Omega \cdot \omega \cdot \sin\delta \cdot \cos\psi \qquad (22)$$

Или $$M_A = K_A^{S+L} \cdot J_y \cdot \Omega \cdot \omega \cdot \sin\varphi \qquad (23)$$

Момент M_P равен:

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

Где: K_A^{S+L} – коэффициент анизотропный солнечно-лунного гравитационного поля;

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 гирокомпаса относительно внешнего солнечно-лунного анизотропного гравитационного поля;

ω- угловая скорость вращения Земли относительно внешнего солнечно-лунного 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. Определиться с этим можно только с помощью опытов;

δ - поправка гирокомпаса (угол между средним положением оси гирокомпаса 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 гиромотора над плоскостью горизонта, - определяется экспериментально.

Подставляя выражения (22) и (24) в уравнение (21), получим выражение для определения анизотропного коэффициента K_A^{S+L}.

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

Подставляя выражения (23) и (24) в уравнение (21), получим ещё одну формулу для определения анизотропного коэффициента K_A^{S+L}.

$$K_A^{S+L} = \frac{P \cdot L \cdot \sin\beta_0}{J_y \cdot \Omega \cdot \omega \cdot \sin\varphi} \qquad (26)$$

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, φ, J_y, Ω, ω, приблизительно соответствующими значениям, применяемым на практике [7].

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

Примем: $P = 20H$, L=0,2 м, $\varphi = 45^o$, Ω=2000 c^{-1}, $\omega = 0{,}727 \cdot 10^{-4}$ рад/с

Значение $\beta_0 = 2'$ возьмём из литературы К. Магнус «Гироскоп теория и применение» стр. 429, рис. 13.6, на котором изображены эллипсы, описываемые незадемпфированным гирокомпасом для осуществлённого практически прибора.

Подставляя значения в формулу (26) получим:

$$K_A^{S+L} = \frac{20 \cdot 0{,}2 \cdot \sin 2'}{0{,}00125 \cdot 2000 \cdot 0{,}727 \cdot 10^{-4} \cdot \sin 45^o} = 18{,}2$$

$$K_A^{S+L} = 18{,}2$$

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

Имея прибор, описанный выше, и зная формулы (25) и (26), можно приступать 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 гиромотора.

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.

10. Направление дальнейших исследований

В предыдущих главах нам удалось вывести:

- формулы прецессии гироскопа в изотропном (земном) гравитационном поле

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

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

Где: K_i=1, $\omega = \omega_i$

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

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

- формулы для определения анизотропного коэффициента K_A^{S+L}

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

$$K_A^{S+L} = \frac{P \cdot L \cdot \sin\beta_0}{J_y \cdot \Omega \cdot \omega \cdot \sin\varphi} \qquad (26)$$

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 будет возрастать скорость прецессии, 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 (а, 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.

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:

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

Где, F – действующая сила;

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

$k_2; k_3; ... k_n$ - 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 гироскопа относительно поверхности Земли также вызывается возмущениями этих реальных небесных тел, а не влиянием Мировой системы отсчёта.

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

Излучение гравитационного поля Земли, у её поверхности, в горизонтальной плоскости, симметрично и вследствие этого изотропно по отношению к направлению движения материальной

точки. Также околоземное гравитационное поле в горизонтальной плоскости изотропно и по отношению к направлению оси гироскопа.

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 и его ось горизонтальна, то для него наиболее влиятельными анизотропными полями являются гравитационные поля Луны и Солнца.

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

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

$$\bar{M}_i = K_i \cdot J_y \cdot \bar{\omega}_i \times \bar{\Omega} \qquad (13^{/})$$

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:

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

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^{S+L} – коэффициент анизотропный, учитывает сопротивление анизотропного гравитационного поля, зависит от величин: Ω, ω и от напряжённости внешнего солнечно-лунного гравитационного поля, определяется по формулам:

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

$$K_A^{S+L} = \frac{P \cdot L \cdot \sin\beta_0}{J_y \cdot \Omega \cdot \omega \cdot \sin\varphi} \qquad (26)$$

Где: K_A^{S+L} – коэффициент анизотропный солнечно-лунного гравитационного поля;

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 гирокомпаса 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 гирокомпаса, определяется опытным путём;

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

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

φ - географическая широта места установки гирокомпаса;

P - вес чувствительного элемента гирокомпаса;

L – плечо подвеса чувствительного элемента;

β_0 - угол подъёма среднего положения оси гиромотора 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:

$$\bar{M}_A = \bar{M}_K$$

$$\bar{M}_K = K_A^{S+L} \cdot J_y \cdot \bar{\omega}_A \times \bar{\Omega} \qquad (13^{//})$$

При условии равенства ω_A и ω_i, справедливы следующие соотношения:

$$M_K / M_i = K_A^{S+L};\ \text{или}\ M_K = K_A^{S+L} \cdot M_i$$

То есть компенсирующий момент, заставляющий гироскоп прецессировать относительно внешнего анизотропного поля, в K_A^{S+L} раз больше величины момента, заставляющего гироскоп прецессировать относительно изотропного поля Земли.

Где, K_A^{S+L} – 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, много 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:

$$F = m(k_1 \cdot a + k_2 \cdot a^{/} + k_3 \cdot a^{//} + ... + k_n \cdot a^{n-1}); \qquad (27)$$

Где, F – действующая сила;

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

$k_2; k_3; ... k_n$ - 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.

Список использованной литературы

1. Актуальные проблемы механики (вторая редакция) сайт http://new-idea.kulichki.net раздел Физика
2. Гироскоп и гравитация сайт http://new-idea.kulichki.net раздел Физика
3. Гироскоп и анизотропия околоземного гравитационного поля сайт http://new-idea.kulichki.net раздел Физика
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»
7. К. Магнус «Гироскоп теория и применение», издательство «МИР» Москва 1974 г.