

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.15

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОВ ГИРОСКОПА

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Гироскопом называется быстровращающееся твердое тело, ось которого может изменить свое направление в пространстве. Большие скорости вращения гироскопа требуют, чтобы ось гироскопа была осью симметрии. Подвижность оси гироскопа обеспечивается кардановым подвесом или каким-либо другим аналогичным устройством. При этом вращение оси гироскопа происходит таким образом, что некоторая точка O этой оси (например, центр масс гироскопа) остается неподвижной. При вращении оси соответствующая угловая скорость Ω (скорость прецессии) много меньше угловой скорости вращения гироскопа вокруг своей оси, которую будем обозначать через ω (рис. 1).

Если на ось гироскопа действует некоторая сила, создающая момент \vec{M} , то момент импульса относительно точки O (главный момент импульса) \vec{L} изменяется в соответствии с уравнением моментов

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M} \quad (1)$$

Анализ уравнения (1) упрощается вследствие того, что угловая скорость вращения гироскопа очень большая. А это означает, что при относительно медленном изменении ориентации оси гироскопа главный момент импульса практически направлен по оси гироскопа. Момент внешних сил \vec{M} направлен перпендикулярно оси гироскопа, то есть практически перпендикулярно главному моменту импульса \vec{L} . Приращение dL момента импульса должно быть направлено по моменту \vec{M} , то есть практически перпендикулярно моменту импульса \vec{L} . Такое приращение вызовет изменение направления

момента импульса \vec{L} , то есть изменение направления оси гироскопа. Если при этом ось поворачивается на угол Ωdt то соответствующее изменение момента импульса будет равно

$$|d\vec{L}| = \vec{L}\Omega dt \quad (2)$$

Если при изменении направления оси на угол Ωdt момент внешней силы повернется на такой же угол и не изменит своей величины, то ситуация в новом положении будет аналогична, то есть произойдет такое же изменение направления оси вращения гироскопа за следующий интервал времени dt , то есть под действием постоянного момента сил \vec{M} возникает вращение оси гироскопа с постоянной угловой скоростью Ω . При этом изменение момента импульса L в единицу времени, равное $L\Omega$, будет определяться уравнением (1).

$$L\Omega = M \quad (3)$$

Учитывая, что для быстро вращающегося гироскопа

$$L = I\omega$$

где I - момент инерции гироскопа относительно его оси, получим для угловой скорости

$$\Omega = \frac{M}{J\omega} \quad (4)$$

Вращение оси гироскопа с угловой скоростью Ω под действием постоянного момента сил M называется прецессией гироскопа. Отметим две особенности прецессионного движения.

- 1) прецессия не обладает «инертностью» (прецессия существует, пока действуют моменты),
- 2) ось вращения прецессии не совпадает с направлением момента силы M , а перпендикулярно ему (параллельно M приращение ΔL).

Быстро вращающийся гироскоп, к которому не приложено никаких внешних моментов, энергично сопротивляется действию ударов, стремящихся

изменить направление его оси симметрии. Однако, если к такому гироскопу приложены хотя бы незначительные непрерывно действующие внешние моменты, то под действием таких моментов ось гироскопа начинает заметно «уходить» или «прецессировать», вращаясь вокруг неподвижной точки О. В частности такой «уход» оси гироскопа наблюдается, когда центр тяжести не совпадает с неподвижной точкой О; в этом случае причиной прецессии является момент силы тяжести относительно точки О. Внешние моменты и вызываемая ими прецессия гироскопа – основная причина всякого рода погрешностей в работе гироскопических приборов.

Прецессия называется регулярной, если она состоит в равномерном вращении оси гироскопа вокруг некоторой оси, проходящей через точку О. На первый взгляд кажется, что именно такая прецессия вызывается приложенным к гироскопу внешним моментом постоянной величины. Однако более внимательное наблюдение обнаруживает, что в этом случае на прецессию налагаются мелкие и весьма быстрые дрожания оси гироскопа, которые называются «нутационными» колебаниями его оси. Регулярная прецессия, сопровождающаяся нутационными колебаниями, получила название «псевдoreгулярной» (или «ложнoreгулярной») прецессии.

Движение гироскопа описывается характерными постоянными величинами и уравнениями: A , B – общие величины – моменты инерции гироскопа относительно осей x , y – экваториальные моменты инерции, C – момент инерции гироскопа относительно его осей симметрии – полярный момент инерции, угловая скорость прецессии гироскопа

$$\omega_{pr} = \frac{mgr}{C - A} \cdot \frac{1}{\omega_z}, \quad (5)$$

где ω_z – угловая скорость гироскопа относительно оси z .

$$\ln \omega_{pr} = \ln \frac{mgr}{C - A} - \ln \omega_z \quad (6)$$

$$\omega_{ni} = \frac{C}{\sqrt{AB}} \cdot \omega_z, \text{ угловая скорость нутации} \quad (7)$$

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определение моментов инерции тел сложной формы.

ЗАДАЧИ

1. Определить собственный момент инерции гироскопа.
2. Снять зависимость периода прецессии гироскопа от частоты его вращения.
3. Снять зависимость частоты нутации гироскопа от частоты его вращения.
4. Оценить погрешность полученных результатов.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа выполняется на установке фирмы RHYWE [1].
Установка представлена на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид лабораторной установки.



Рис. 2. Дополнительные грузы для проведения эксперимента. Обозначено:

- 1-диск для измерения частоты вращения гироскопа,
- 2-груз для уравнивания диска 1,
- 3- часовая отвертка,
- 4- груз массой m_1 ,
- 5- груз массой m_2 ,
- 6,7 -стрелки для измерения периода прецессии гироскопа.

Установка представлена на Рис. 1. Она состоит из гироскопа, стробоскопа и дополнительных грузов известной массы и дополнительных изделий, представленных на Рис.2:

Объектом исследования является гироскоп.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Часть 1

Определение зависимости периода прецессии гироскопа от частоты вращения

Для проведения измерений необходимо собрать гироскоп. Для этого необходимо:

- установить диск 1 на ось гироскопа.
- уравновесить диск 1, укрепив в нужном положении на внутреннем кольце гироскопа груз 2,
- установить стрелки 6 на внешнее кольцо и стрелку 7 на основание гироскопа,
- установить груз 4.

Последовательность операций представлена на рисунках 3-8.



Рис. 3



Рис.4.

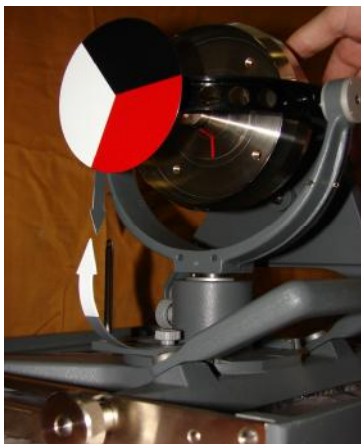


Рис. 5



Рис.6.



Рис. 7

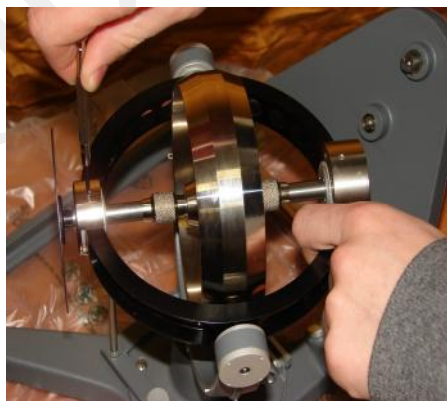


Рис.8.

Гироскоп раскручивается с помощью приводной ручки и производится измерение его частоты вращения.

Во время измерения частоты вращения, гироскоп следует придерживать рукой, иначе начнется вращение, обусловленное прецессией гироскопа. Частота измеряется при помощи диска 1 и стробоскопа. В данной работе используется цифровой стробоскоп, испускающий вспышки света с

задаваемой частотой. Путем подбора частоты вспышек стробоскопа необходимо добиться устойчивой, неподвижной бликовой картинке на диске

1. Важно начинать с высоких частот мигания стробоскопа, так как если частота вращения гироскопа будет кратна частоте вспышек, то возможно так же получить устойчивую картину, что приведет к ошибке в измерениях. После измерения частоты вращения гироскопа измеряется период прецессии гироскопа.

Измерение производится при помощи секундомера, время регистрируется в момент прохождения стрелок на гироскопе стрелки на его основании. При высоких частотах вращения гироскопа можно, в целях экономии времени, измерять полупериод прецессии. Для построения графика необходимо сделать 10-15 измерений при разных частотах.

Далее следует повторить измерения при установленном грузе массой m_2 и для комбинации грузов массами m_1 и m_2 .

Часть 2

Снятие зависимости частоты нутации гироскопа от его частоты вращения
Для проведения измерений необходимо:

- 1-Установить диск 1 на ось гироскопа
- 2-Уравновесить диск 1, укрепив в нужном положении на внутреннем кольце гироскопа груз 2
- 3-Закрепить стрелку 6 винтом на внешнее кольцо гироскопа.
- 4-Раскрутите гироскоп и измерьте частоту его вращения. Затем резким толчком запустите нутацию гироскопа.

С помощью секундомера, измерьте время, за которое происходит 15-30 колебаний. За количеством колебаний удобней наблюдать с помощью стрелки. Необходимо провести порядка 10 измерений (производятся на частотах 2 - 6 Гц вращения). Затем на ось гироскопа устанавливается пара грузов массой m_1 и измерения повторяются. Так же измерения проводят с грузами массой m_2 .

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Часть 1

1. Результаты трех измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1.

| Результаты измерений. | | | | |
|-----------------------|-------|---------------|-----------------|--------------|
| m | | | | |
| ω_z | $T/2$ | ω_{pr} | $Ln\omega_{pr}$ | $Ln\omega_z$ |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

2. Постройте графики зависимости в осях $\ln \omega_{pr}$ ($\ln \omega_z$).
3. Убедитесь в выполнении законов движения гироскопа: угловой коэффициент этих графиков (вычисленный с помощью метода парных точек или МНК) должен равняться минус единице.

Часть 2

1. Результаты трех измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2.

| Результаты измерений. | | | | | | |
|-----------------------|-----|-----|------------|---------------|-----------------|--------------|
| v | n | t | ω_z | ω_{ni} | $Ln\omega_{pr}$ | $Ln\omega_z$ |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

2. Постройте графики зависимости $\ln \omega_{ni}$ ($\ln \omega_z$) для всех трех случаев.
3. Определите угловые коэффициенты зависимостей k . Убедитесь в выполнении законов движения гироскопа: угловой коэффициент этих графиков (вычисленный с помощью метода парных точек или МНК) должен равняться единице.
4. Сделайте вывод о проделанной работе и полученных результатах измерений.