

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 153. ИЗУЧЕНИЕ ПРЕЦЕССИИ ГИРОСКОПА

Введение

Гироскопом называется симметричный волчок (т.е. твёрдое тело, у которого совпадают, по крайней мере, два главных значения тензора инерции I_1 и I_2), совершающий быстрое вращение вокруг оси симметрии (ось 3 на рис.1).

Так как ось вращения совпадает с осью симметрии гироскопа, то его момент импульса равен:

$$\mathbf{L} = I_3 \boldsymbol{\omega}, \quad (1)$$

где I_3 – момент инерции гироскопа относительно оси 3, $\boldsymbol{\omega}$ – угловая скорость вращения. Из выражения (1) видно, что ось вращения совпадает с направлением вектора момента импульса гироскопа \mathbf{L} . Приближенная теория движения гироскопа полагает, что малые по величине моменты внешних сил не могут изменить величину момента импульса \mathbf{L} , а меняют только его направление.

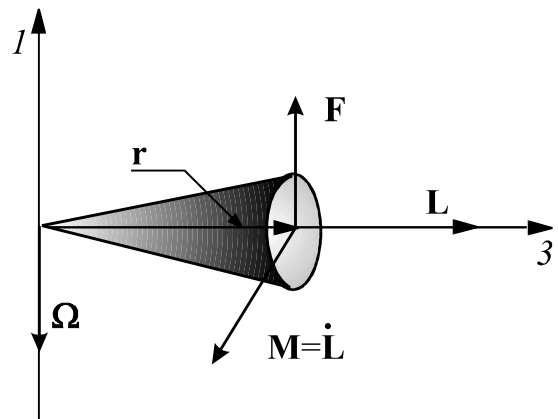


Рис. 1.

Момент импульса гироскопа подчиняется основному закону вращательного движения:

$$\frac{d\mathbf{L}}{dt} = \mathbf{M}, \quad (2)$$

где \mathbf{M} – суммарный момент внешних сил. Рассмотрим это уравнение применительно к гироскопу, закрепленному в одной точке. Допустим, что точка приложения силы лежит на оси симметрии (см. рис. 1), а сила направлена перпендикулярно оси симметрии 3. Тогда момент этой силы направлен перпендикулярно к оси вращения и \mathbf{L} . Под действием момента постоянной силы, вектор \mathbf{L} , а следовательно и ось гироскопа, должны совершать равномерное вращение вокруг оси 1. Это вращение называется **вынужденной прецессией**. Угловая скорость прецессии $\boldsymbol{\Omega}$ может быть найдена из следующих соображений. Поскольку вектор \mathbf{L} не меняет своей длины, то изменение этого вектора $d\mathbf{L}$ за время dt обусловлено исключительно его вращением со скоростью $\boldsymbol{\Omega}$ и определяется выражением:

$$\frac{d\mathbf{L}}{dt} = [\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{L}], \quad (3)$$

Из сравнения уравнений (2) и (3) имеем:

$$[\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{L}] = \mathbf{M},$$

или в скалярном виде для данного случая:

$$\Omega L = M;$$

откуда

$$\Omega = \frac{M}{L} = \frac{rF}{I_3\omega}. \quad (4)$$

Следовательно, при закреплении только одной точки ось гироскопа может совершать движение в пространстве в любом направлении в зависимости от направления момента внешней силы. Такой гироскоп называется свободным. Угловая частота прецессии свободного гироскопа прямо пропорциональна моменту внешней силы и обратно пропорциональна частоте вращения гироскопа вокруг оси симметрии.

Приступая к работе необходимо

Знать определения

вектора и составляющей вектора;
координат вектора;
проекции вектора на направление;
вектора угла бесконечно малого поворота, угловой скорости, углового ускорения;
системы координат и системы отсчета;
инерциальной и неинерциальной систем отсчета;
массы тела, момента инерции тела;
силы, момента силы;
центра масс;
момента импульса;
углов Эйлера.

Знать

формулировку и границы применения уравнения динамики вращательного движения;
определение гироскопа и уравнение его движения.

Уметь

запускать программы в среде Windows и пользоваться стандартными элементами их интерфейса (меню, контекстные меню, окна и т.д.);
оценивать случайные погрешности прямых и косвенных измерений.

Цель работы

Изучение явления прецессии гироскопа.

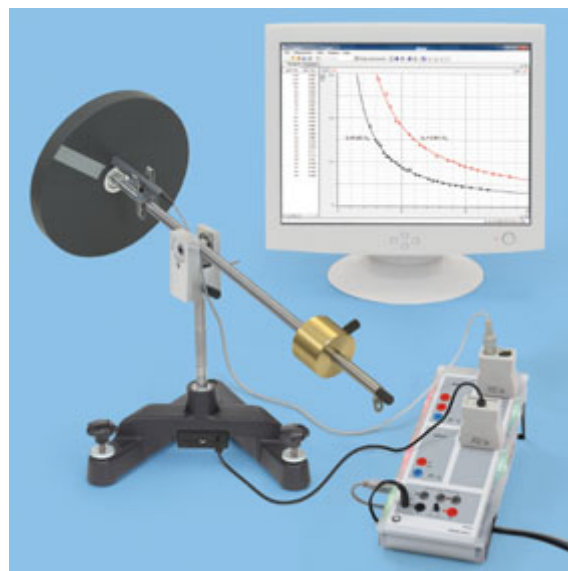
Решаемые задачи

- ✓ определение зависимости угловой скорости прецессии от угловой скорости вращения гироскопа;
- ✓ определение зависимости угловой скорости прецессии гироскопа от приложенного момента сил;
- ✓ экспериментальное измерение момента инерции гироскопа;
- ✓ теоретический расчет момента инерции гироскопа.

Экспериментальная установка

Приборы и принадлежности:

- ✓ Гироскоп (масса диска = 1500 г, диаметр = 230 мм);
- ✓ Набор грузов;
- ✓ Шнур для раскрутки гироскопа;
- ✓ Компьютерный интерфейс-сенсор CASSY Lab 2;
- ✓ Компьютер.



Порядок выполнения работы:

Подготовка установки для проведения экспериментов

1. Включите в сеть CASSY Lab и компьютер.
2. На Рабочем столе Windows найдите ярлык работы и стартуйте его.
3. Закройте лишние окна. Удалите результаты предыдущих измерений.

Проведение измерений

4. Возьмите один груз с крючком.
5. Взвесьте груз вместе с крючком и запишите его массу m ;
6. Тщательно отгоризонтируйте гироскоп!
7. Измерьте r – расстояние от точки подвеса груза до центра тяжести гироскопа (догадайтесь – где он?);
8. Проверьте, не мешает ли прецессии гироскопа шнур датчика регистрации оборотов гироскопа!
9. Раскрутите гироскоп до угловой скорости вращения примерно $\omega = 15$ рад/с. Если после этого ось гироскопа колеблется в вертикальной плоскости, следует сдмпфировать колебания собственной рукой, взявшись за длинный конец оси гироскопа;
10. Подвесьте к длинному концу оси груз;

11. Пронаблюдайте прецессию гироскопа на угол не менее 180 градусов! Прецессия не должна сопровождаться колебаниями оси гироскопа в вертикальной плоскости!
12. Нажмите F9, зафиксировав таким образом измерения угловой скорости собственного вращения гироскопа ω и угловой скорости прецессии Ω ;
13. Снимите груз и аккуратно поверните в исходное положение;
14. Занесите измерения в таблицу;
15. Снова подвесьте груз и проведите измерения. Если гироскоп в процессе прецессии заметно (более 10 градусов) отклонился от горизонтали, затормозите его, осторожно прикасаясь (лучше – чистым платком) одновременно к нижней и верхней точкам диска гироскопа и раскрутите его вновь;
16. Выполните описанным выше образом (п.п. 7-14) десять измерений;
17. Заполните таблицу:

| i | ω_i | Ω_i | $\phi = \omega \cdot \Omega$ |
|-----|------------|------------|------------------------------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| ... | | | |
| 10 | | | |

18. По этим десяти измерениям найдите значение $\phi = \omega \cdot \Omega$ для доверительной величины для вероятности 0.95 по алгоритму оценки статистических погрешностей прямых измерений.
19. Проведите измерения $\phi = \omega \cdot \Omega$ (п.п. 5-18) еще не менее чем для шести грузов разных масс.
20. Вычислите момент инерции гироскопа $I_{3\text{теор}}$ по его массе и диаметру.

Обработка и представление результатов

21. По двум-трем сериям для грузов разных масс постройте графики зависимости $\Omega(\omega)$. Сделайте вывод об этой зависимости.
22. Постройте график зависимости $\phi(m)$. Убедитесь в его линейности.
23. По тангенсу угла наклона этого графика, с учетом формулы (4) найдите момент инерции гироскопа $I_{3\text{эксп}}$.
24. Сравните $I_{3\text{теор}}$ и $I_{3\text{эксп}}$.

Казанский (Поволжский) федеральный университет

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
ПО МЕХАНИКЕ**

КАЗАНЬ 2014

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО МЕХАНИКЕ

(Учебно-методическое пособие
для студентов естественнонаучных направлений обучения)

авторы пособия:

доцент кафедры общей физики *Скворцов А.И.*
доцент кафедры общей физики *Налётов В.В.*
доцент кафедры общей физики *Мухамедшин И.Р.*
доцент кафедры общей физики *Недопекин О.В.*
ассистент кафедры общей физики *Лысогогорский Ю.В.*
ассистент кафедры общей физики *Ирисова И.А.*
инженер кафедры общей физики *Староверов А.Е.*

Рецензент:

профессор кафедры общей физики КФУ *Фишман А.И.*,

В пособии описана методика постановки работ общего физического практикума по разделу механика курса общей физики. Пособие предназначено для студентов всех естественнонаучных направлений обучения.

© Институт физики Казанского университета.