

КАЛМЫЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра экспериментальной и общей физики

Лабораторная работа № 10

“Изучение движения гироскопа”

Лаборатория № 210

«ИЗУЧЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ГИРОСКОПА»

Цель работы: изучение движения гироскопа под действием внешних сил.

Оборудование: лабораторная установка для изучения прецессии гироскопа.

Т Е О Р И Я

Гироскоп - симметричное, быстро вращающееся твердое тело, ось которого может изменять свое положение в пространстве.

Чтобы ось гироскопа могла поворачиваться в любом направлении, его помещают в карданов подвес (рис. 1.) Все три оси подвеса пересекаются в одной точке *O* - центре карданова подвеса.

Если центр масс гироскопа совпадает с центром карданова подвеса, то гироскоп называют *уравновешенным*.

Движение гироскопа определяется уравнением моментов

$$L' = M_{внеш} \tag{1}$$

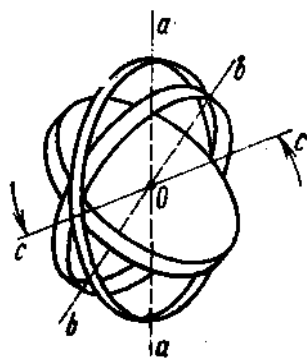


Рис. 1.

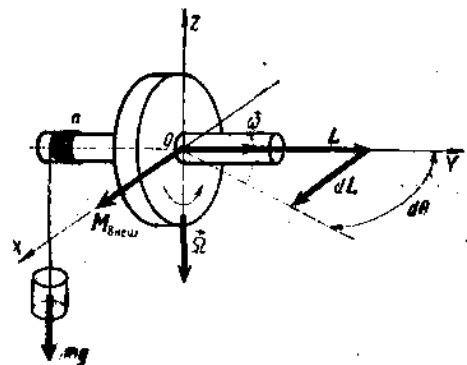


Рис. 2.

Пусть гироскоп быстро вращается вокруг оси *OY* с угловой скоростью $\vec{\omega}$. Если *I* - его момент инерции относительно оси *OY*, то момент импульса гироскопа

$$L = I \vec{\omega}$$

есть вектор, направленный по оси OY (рис. 2).

Допустим, что мы подвесили к оси гироскопа небольшой груз на расстоянии a от центра O . В этом случае на гироскоп действует момент силы (относительно центра O):

$$M_{внеш} = [a, mg]. \quad (2)$$

Так как момент внешних сил определяет произвольную момента импульса L , т.е. скорость изменения вектора L , то вектор L с течением времени будет изменяться как по модулю, так и по направлению.

Так, за время dt вектор L получит приращение

$$dL = M_{внеш} dt, \quad (3)$$

а это значит, что за время dt гироскоп повернется вокруг оси на угол $d\theta$.

Если момент внешних сил достаточно мал, то можно считать, что вектор L постоянен по модулю; он изменяется лишь по направлению, поэтому

$$|dL| = |L| d\theta.$$

Разделим обе части последнего равенства на dt :

$$\left| \frac{dL}{dt} \right| = |L| \frac{d\theta}{dt},$$

откуда

$$|L'| = |L| |\bar{\Omega}|, \quad (4)$$

где $|\bar{\Omega}| = d\theta/dt$ - угловая скорость вращения гироскопа вокруг оси OZ .

Теперь уточним, что значит достаточно малый момент внешних сил.

Если угловая скорость $\Omega \ll \omega$, то $|L|$ определяется в основном значением ω , т.е.

$$|L| \approx I |\bar{\omega}| = I \omega,$$

а это значит, что $|L| = const$.

Таким образом, $|M_{внеш}|$ должен быть таким, чтобы гироскоп вращался вокруг оси OZ гораздо медленнее, чем вокруг оси OY .

Из уравнения моментов следует, что

$$|L'| = |M_{внеш}|.$$

Подставляя это выражение в (4), получаем связь между угловой скоростью Ω и приложенным моментом $|M_{внеш}|$:

$$\Omega = \frac{|M_{внеш}|}{|L|} = \frac{mga}{I\omega}. \quad (5)$$

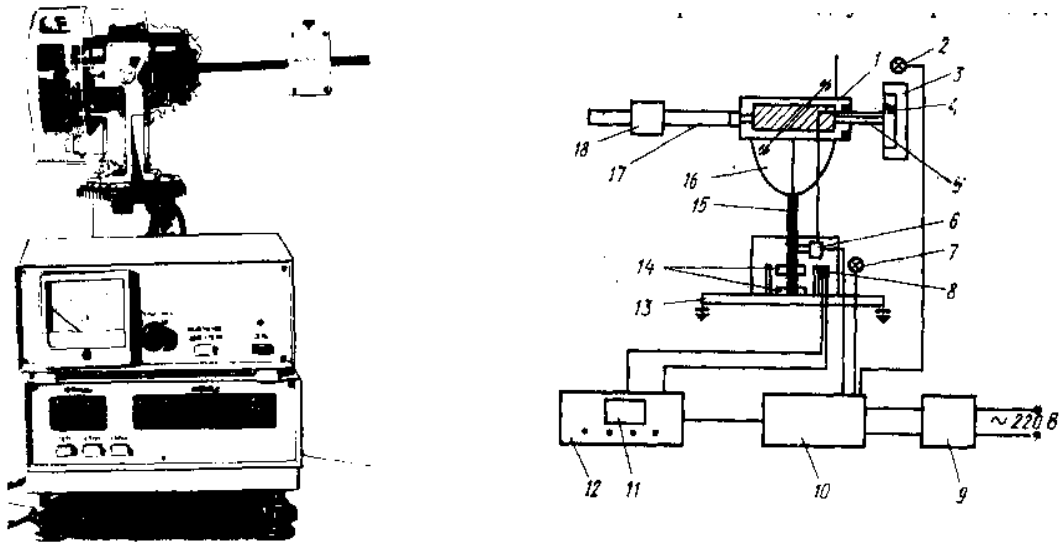


Рис. 3.

В данной работе в качестве гироскопа используется ротор *1* синхронного электродвигателя, частота вращения которого может достигать $12 \cdot 10^3$ об/мин (рис. 3). На ось двигателя *5* насажен массивный стальной маховик *3*. С противоположной стороны на неподвижном статоре двигателя укреплен стержень с делениями *17* и контргрузом *18*. Двигатель устанавливается на опорной вилке *16* и может поворачиваться вокруг горизонтальной оси. В свою очередь, опорная вилка вместе с гироскопом устанавливается на основании *13* и может свободно вращаться вокруг вертикальной оси. С этой целью ось *15* крепится в двух опорных подшипниках *14*. На вертикальной оси на изоляторах укреплены скользящие электроконтакты *6* в виде щеток для подвода электропитания к электродвигателю.

Маховик и вертикальная ось снабжены специальными дисками, в которых по периферии сделаны равномерные прорези-щели, служащие совместно

с источниками света **7** и **2** и фотоприемниками **8** и **4** и датчиками при измерении ω и Ω .

Электрические сигналы с фотоприемников поступают в измерительное устройство — электронный секундомер **12**.

Измерение силы тока в обмотке возбуждения электродвигателя, пропорциональной ω , производится прибором **11**, установленным на передней панели электронного секундомера. Питание электродвигателя и электронного секундомера осуществляется от блока питания **10**, включаемого в сеть через стабилизатор напряжения **9**.

Ранее теоретически уже были рассмотрены некоторые особенности движения симметричного гироскопа. В частности, получена зависимость между угловой скоростью прогрессии Ω и моментом силы M :

$$\Omega = \frac{|M_{\text{внеш}}|}{|L|} = \frac{mga}{I\omega},$$

где m – масса груза, a – плечо силы тяжести mg груза, I – момент инерции гироскопа относительно горизонтальной оси, ω – угловая скорость вращения гироскопа.

ИЗМЕРЕНИЯ

Убедиться, что гироскоп может вращаться вокруг горизонтальной и вертикальной осей. Для этого, не включая двигатель, покрутите ротор рукой за маховик; затем убедитесь в том, что гироскоп может вращаться вместе с опорной вилкой вокруг вертикальной оси.

Стойку гироскопа с помощью регулировочных винтов установите вертикально. Далее необходимо сбалансировать гироскоп. Это делается путем перемещения груза (противовеса) по стержню. Когда гироскоп сбалансирован, то при легком постукивании по противовесу он не должен вращаться в вертикальной плоскости. Положение груза, при котором гироскоп сбаланси-

рован, следует записать, поскольку именно от этого положения отсчитывается величина a .

Угловая скорость ω вращения ротора двигателя измеряется прибором, расположенным на передней панели установки.

Прибор проградуирован в единицах: об/мин $\cdot 10^3$. Так, например, делению “8” на шкале прибора соответствует частота

$$\nu = \omega/2\pi = 8 \cdot 10^3 \text{ об/мин.}$$

Тогда

$$\omega = 2\pi\nu = 2 \cdot 3,14 \cdot 8 \cdot 10^3 \text{ об/мин.}$$

Для перевода в систему СИ: 1 об/мин = $2\pi/60$ рад/с.

Угловая скорость прецессии Ω определяется по формуле $\Omega = \theta/t$, где θ - угол поворота гироскопа вокруг вертикальной оси за время t . Угол поворота θ измеряется цифровым прибором в градусах, а время t - электронным секундомером в секундах. Перед измерением θ и t необходимо нажать кнопку “СБРОС”, а затем - “ПУСК”. После поворота гироскопа на угол 40-50° нажимается кнопка “СТОП” и снимаются показания приборов.

ЗАДАНИЯ

1. Исследуйте зависимость $\Omega = \Omega(\omega)$. Включите питание гироскопа и немного подождите, чтобы вращение ротора успело стабилизироваться. Сместите противовес 4 на величину $a = 4 \div 6$ см от положения равновесия. Изменяя частоту вращения ω ротора, исследуйте зависимость Ω от ω при постоянном значении a . Результаты занесите в таблицу 1, отметив рядом смещение противовеса из положения равновесия.

Постройте график зависимости $\Omega = \Omega(\omega)$. Сравните построенный график с теоретической зависимостью, представленной соотношением (5).

$$a = \dots$$

Таблица 1.

ν , об/мин					
ω , рад/с					
θ					
t					
Ω					

2. При некотором фиксированной значении ω измерьте зависимость угловой скорости процессии Ω от смещения a противовеса из положения равновесия, т.е. $\Omega = \Omega(a)$. Результаты занесите в таблицу 2, указав рядом с ней угловую скорость ω вращения ротора, при которой проводились измерения.

$$\omega = \dots$$

Таблица 2.

a					
θ					
t					
Ω					

По полученным данным постройте график зависимости Ω от a .

3. Из построенных зависимостей $\Omega(\omega)$ и $\Omega(a)$ оцените величину момента инерции I гироскопа (см. формулу (5)).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое гироскоп?
2. Сформулируйте основной закон динамики вращательного движения.
3. Выведите формулу (5).
4. Имеется быстро вращающийся вокруг оси гироскоп. К точке A прикладывают силу F вдоль оси OX . При этом ось гироскопа поднимается вверх. Укажите направление угловой скорости вращения ω гироскопа (рис. 4).

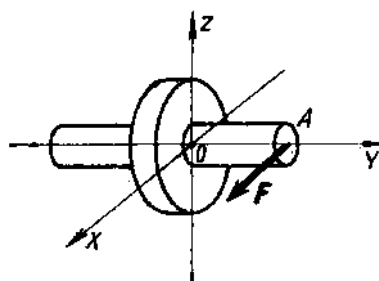


Рис. 4.

ЛИТЕРАТУРА

1. Детлаф А.А. Яворский Б.М. Курс физики. М., 1989.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.1, М., 1973.
3. Хайкин С.Э. Физические основы механики. М., 1971.