

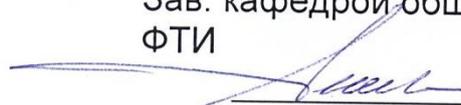
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой общей физики
ФТИ

 А.М. Лидер

« ____ » _____ 2017 г.

**ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ МЕХАНИЧЕСКОГО
ГИРОСКОПА С ТРЕМЯ СТЕПЕНЯМИ
СВОБОДЫ**

Методические указания к выполнению лабораторной работы 1-45
по курсу «Физика 1» по разделу «Механика»
для студентов всех направлений и специальностей

Издательство
Томского политехнического университета
2017

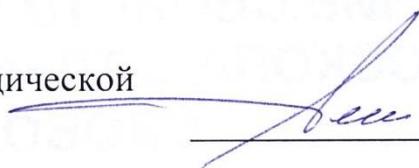
УДК 531.383
ББК 22.3

Изучение свойств механического гироскопа с тремя степенями свободы: методические указания к выполнению лабораторной работы 1-45 по курсу "Физика 1" по разделу «Механика» для студентов всех направлений и специальностей / Л.А. Святкин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 23с.

УДК 531.383
ББК 22.3

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию
методическим семинаром кафедры общей физики
« ___ » _____ 2017 г.

Председатель учебно-методической
комиссии



А.М. Лидер

Рецензент

Доктор педагогических наук,
профессор кафедры ОФ ФТИ НИ ТПУ

В.В. Ларионов

Старший преподаватель кафедры ОФ ФТИ НИ ТПУ

Т. В. Смекалина

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ МЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА С ТРЕМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

Цель работы: изучить законы динамики твердого тела посредством экспериментального исследования свойств трехосевого механического гироскопа с тремя степенями свободы

Приборы и принадлежности: гироскоп трехосевой с набором грузов разной массы и подвесом, световой барьер со счетчиком, цифровой секундомер.

КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Гироскоп («наблюдатель вращений») – это массивное аксиально-симметричное тело, быстро вращающееся вокруг главной оси симметрии. Ось вращения гироскопа под действием момента внешних сил может менять свое направление в пространстве. Свойства гироскопа наиболее ярко проявляются в случае, когда угловая скорость вращения тела велика по сравнению с угловой скоростью движения оси гироскопа. По характеру движения под действием внешних сил выделяют в основном два типа гироскопов: гироскопы с двумя и тремя вращательными степенями свободы. Первые из них называются несвободными, их свойства сильно отличаются от свойств свободного гироскопа.

Свойства механического свободного гироскопа

В зависимости от физических свойств чувствительных гироскопических элементов выделяют механические, вибрационные, ядерные и лазерные гироскопы. Наиболее распространены механические гироскопы, у которых носителем момента импульса является быстро вращающееся массивное твёрдое тело – **ротор**. Механические гироскопы могут иметь различные конструкции. Например, у гироскопа в оправе «карданов подвес» на рис. 1 видно, что ось вращения диска закреплена в подшипниках кольца, которое может вращаться относительно горизонтальной оси. В свою очередь, это

кольцо закреплено в подшипниках другого (внешнего) кольца, которое может вращаться относительно вертикальной оси. Вся конструкция симметрична относительно центра масс гироскопа. Гироскоп в оправе «карданов подвес» имеет три вращательные степени свободы, а его центр масс в процессе движения остаётся неподвижным (мы имеем тело с закрепленным центром масс). При этом сумма всех моментов внешних сил относительно центра масс гироскопа равняются нулю, такой гироскоп называется свободным. Свободный гироскоп обладает тремя вращательными степенями свободы. Если вращение оси относительно одного из направлений заблокировать, то гироскоп будет иметь только две степени свободы.



Рис. 1. Механический гироскоп в оправе «карданов подвес»

Типичным примером конструкции гироскопа с тремя степенями свободы является игрушка «юла». Один из концов оси такой игрушки закреплён, а центр масс меняет свое положение в пространстве (движется вокруг вертикальной оси) под действием момента силы тяжести. Другим примером свободного гироскопа является трехосевой гироскоп.

Гироскоп с тремя степенями свободы обладает рядом уникальных и интересных свойств:

- направление главной оси свободного гироскопа с течением времени не изменяется;
- свободный гироскоп устойчив к ударным воздействиям;
- необычная реакция гироскопа на действие внешней силы (прецессионный характер движения);

- безынерционность гироскопа по отношению к силовому воздействию на ось вращения.

Эти свойства определяют практические применения гироскопов. Гироскопы, в частности, предназначены для определения параметров, характеризующих движение (угловая скорость, момент инерции) или стабилизируют положение объекта, на котором они установлены. Они используются при решении задач навигации, управления подвижными объектами. На свойствах гироскопа основаны разнообразные устройства, широко применяемые в современной технике. В этой связи гироскопы применяются для автоматического управления движением самолётов, морских судов, ракет, торпед и других объектов, для определения горизонта или географического меридиана. А также существуют постоянно действующие космические гироскопы, позволяющие при любой погоде задавать, хранить и передавать на различные объекты данные о положении осей инерциальной системы отсчета для оперативного решения фундаментальных и прикладных задач.

Элементарная теория гироскопа с тремя степенями свободы

Динамические свойства гироскопа определяются такими основными параметрами, как угловая скорость собственного вращения ω_0 (угловая скорость гироскопа), момент инерции I_0 и собственный момент импульса гироскопа L . Поскольку для симметричных тел, вращающихся вокруг главной оси, момент импульса равен произведению момента инерции тела на угловую скорость его вращения, то для гироскопа:

$$L = I_0 \cdot \omega_0 . \quad (1)$$

Величина I_0 является мерой инерции твердого тела. Момент инерции зависит от массы и от ее распределения относительно оси вращения. Величина вектора L определяет точность работы гироскопических приборов. Чем она больше, тем устойчивее и точнее работают эти приборы.

Движение гироскопа, как твердого тела, определяется уравнением динамики вращательного движения: скорость изменения момента импульса вращающегося тела равняется суммарному моменту внешних сил, действующих на него:

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

где $\mathbf{M} = [\mathbf{r}, \mathbf{F}]$ – сумма моментов внешних сил \mathbf{F} , действующих на расстоянии r относительно закрепленной точки (для свободного гироскопа – центра масс).

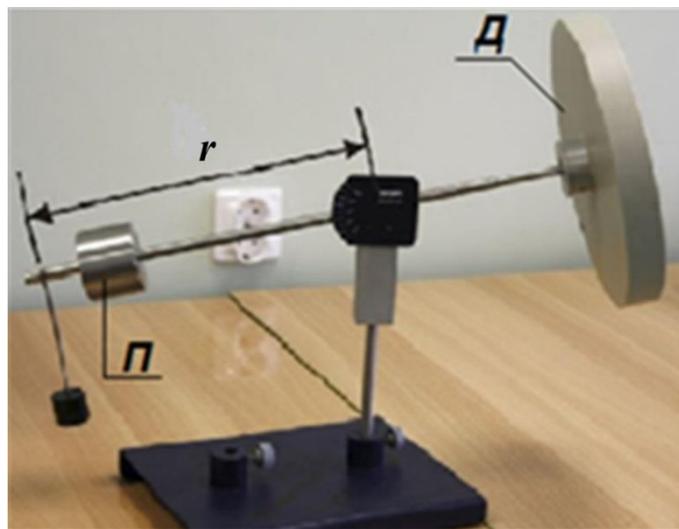


Рис. 2. Общий вид свободного гироскопа

Пусть противовес P уравнивает диск D , изображенный на рис. 2, то есть гироскоп является свободным. Тогда результирующий момент сил, действующий на рассматриваемую систему, равен нулю. Следовательно, согласно закону сохранения момента импульса и основному уравнению динамики вращательного движения (2), момент импульса уравновешенного гироскопа \mathbf{L} сохраняется.

$$\frac{d\mathbf{L}}{dt} = 0, \quad \mathbf{L} = const. \quad (3)$$

В зависимости от начальных условий и наличия внешнего воздействия, оказываемого на ось гироскопа с тремя степенями свободы, возможны три варианта его поведения.

1. Сохранение направления оси свободного гироскопа в пространстве. В однородном поле силы тяжести ось свободного гироскопа (главная ось) сохраняет первоначально заданное ей направление – *первое свойство свободного гироскопа*. Действительно, если гироскоп раскручен вокруг оси симметрии (главной оси симметрии), то направления момента импульса и угловой скорости совпадают. Тогда согласно уравнению (3) направление оси симметрии свободного гироскопа остается неизменным при любых попытках развернуть подставку, в которой закреплен гироскоп.

Устойчивость главной оси тем больше, чем точнее центр масс системы совпадает с точкой крепления гироскопа. В «кардановом подвесе» гироскоп закреплен в центре масс и обладает высокой устойчивостью. Устойчивость гироскопа возрастает с уменьшением силы трения в осях «карданова подвеса» и увеличением веса гироскопа, диаметра и скорости вращения диска вокруг главной оси. Для повышения устойчивости в современных гироскопах используются роторы гироскопов, имеющие скорость вращения от 6000 до 30000 об/мин.

В соответствии с уравнением (2) гироскоп представляется жестким по отношению к импульсному внешнему воздействию. Он не реагирует на кратковременные ударные воздействия (*второе свойство свободного гироскопа*: свободный гироскоп устойчив к ударным воздействиям).

2. Прецессия гироскопа под действием внешних сил. Раскрутим гироскоп и приложим к его оси силу \mathbf{F} в направлении, перпендикулярном к оси вращения. Если бы гироскоп не вращался, то его ось наклонилась бы в направлении действия силы \mathbf{F} . Наличие вращения приводит к тому, что вектор \mathbf{L} меняет свое направление необычным образом. Ось гироскопа движется в плоскости, перпендикулярной линии действия силы.

Поворот оси вращения гироскопа происходит под действием внешнего момента силы \mathbf{M} и называется прецессией (*третье свойство свободного гироскопа*: если внешняя сила стремится повернуть гироскоп вокруг данной

оси, то он поворачивается вокруг другой, ей перпендикулярной).
 Направление прецессии задается векторным уравнением

$$\mathbf{M} = [\boldsymbol{\omega}_{\text{пр}}, \mathbf{L}], \quad (4)$$

где $\boldsymbol{\omega}_{\text{пр}}$ – вектор угловой скорости прецессии гироскопа.

Пользуясь элементарной теорией гироскопа, вычислим значение угловой скорости прецессии. Будем считать, что $\omega_0 \gg \omega_{\text{пр}}$, то есть вектор \mathbf{L} совпадает с вектором угловой скорости $\boldsymbol{\omega}_0$ и направлен вдоль главной оси гироскопа x , что изображено на рисунке 3. Применим основное уравнение динамики вращательного движения (2). В результате действия силы \mathbf{F} в течение времени dt начальный момент импульса \mathbf{L}_0 получит приращение $d\mathbf{L} = \mathbf{M}dt$, где \mathbf{M} – момент силы \mathbf{F} относительно точки O . Новый момент импульса $\mathbf{L} = \mathbf{L}_0 + d\mathbf{L}$ отклонится относительно первоначального направления на некоторый угол $d\alpha$ в горизонтальной плоскости (произойдет поворот вектора момента импульса вокруг оси Z). Поскольку при больших угловых скоростях $\boldsymbol{\omega}_0$ вектор \mathbf{L} направлен вдоль оси гироскопа, то вместе с \mathbf{L} на угол $d\alpha$ повернется и сама ось:

$$\omega_{\text{пр}} = \frac{d\alpha}{dt}. \quad (5)$$

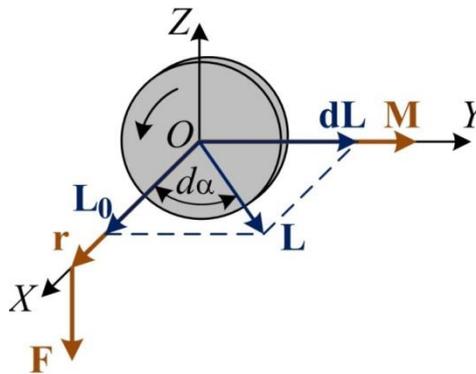


Рис. 3. Схема изменения момента импульса гироскопа под действием момента внешней силы

Из рисунка 3 следует, что приращение dL момента импульса можно выразить как:

$$dL = Ld\alpha, \quad (6)$$

где L – проекция вектора \mathbf{L} на горизонтальную плоскость. Тогда, исходя из формул (2), (5) и (6), угловую скорость прецессии $\omega_{\text{пр}}$ гироскопа можно найти как:

$$\omega_{\text{пр}} = \frac{dL}{Ldt} = \frac{M}{L} = \frac{rF}{I_0\omega_0}, \quad (7)$$

где r – плечо силы F . Если для создания силы F использовать груз известной массы m , то

$$\omega_{\text{пр}} = \frac{mgr}{I_0\omega_0}. \quad (8)$$

В ходе прецессии ось гироскопа поворачивается вокруг вертикальной оси Z , проходящей через точку опоры O , с угловой скоростью прецессии $\omega_{\text{пр}}$. Угловая скорость прецессии $\omega_{\text{пр}}$ пропорциональна величине внешней силы F , ее плечу r и обратно пропорциональна собственной угловой скорости вращения гироскопа ω_0 и его моменту инерции I_0 . Угловая скорость прецессии не зависит от угла наклона оси гироскопа по отношению к вертикали.

При больших скоростях вращения гироскопа ω_0 скорость прецессии $\omega_{\text{пр}}$ очень мала (8) и ось гироскопа поворачивается столь медленно, что на некотором интервале времени таким движением можно пренебречь, а сам гироскоп использовать в качестве указателя неизменного направления в пространстве.

Характерной особенностью прецессии является ее безынерционность (*четвертое свойство свободного гироскопа*): прецессионное движение существует в течение времени действия внешней силы и мгновенно прекращается с ее исчезновением.

3. Если гироскоп не очень быстро вращается вокруг своей оси и при этом на нее оказывается внешнее воздействие, то вектор мгновенной угловой скорости и ось симметрии гироскопа не совпадают. В данном случае на рис. 4 помимо прецессии наблюдается движение, называемое *нутацией* (от лат. nutatio – колебание). Другими словами, нутационное движение возникает

при силовом воздействии на ось прецессирующего гироскопа. При этом, чем сильнее раскручен гироскоп, тем меньше период нутации и меньше их амплитуда ("мельче" дрожания конца оси гироскопа).

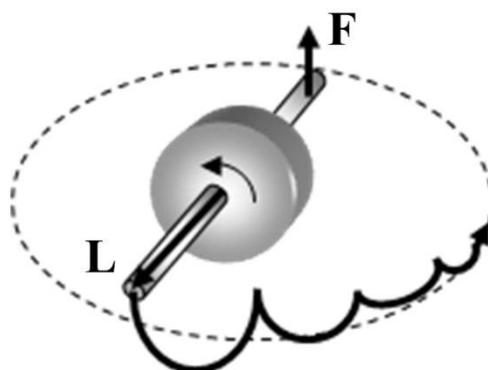


Рис. 4. Нутация гироскопа: с течением времени амплитуда нутации затухает

Нутация обязательно возникнет, если ось сильно раскрученного гироскопа наклонить, а затем отпустить или во время прецессии ударить по оси гироскопа. Эти опыты демонстрируют еще одну характерную особенность нутации – с течением времени она постепенно уменьшается и исчезает. Указанные факты являются следствием неизбежного трения в опоре гироскопа. Оно, как правило, больше, чем трение вокруг главной оси гироскопа. При больших угловых скоростях вращения гироскопа нутация воспринимается глазом как мелкое дрожание оси симметрии.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Общий вид экспериментальной установки приведен на рис. 5. Стержень C , закрепленный в подшипнике штатива $Ш_2$, может вращаться в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Диск гироскопа D (гиродиск) насаживается на стержень C и с двух сторон закрепляется специальными шайбами M . Противовес P служит для уравнивания диска и может перемещаться по стержню. Угол поворота в вертикальной плоскости отсчитывается по шкале транспортира T , прикрепленной к штативу $Ш_2$. Подставка с грузами G_1 необходима для создания момента силы, вызывающего прецессию свободного гироскопа. Барабан B , закрепленный соосно с диском гироскопа D , служит для наматывания хлопкового шнура,

который используется для раскручивания гироскопа. Шнур с помощью петли крепится на специальном штыре барабана B . На шнур может также крепиться подставка с грузами Γ_2 . Белая картонная полоска на диске D служит для определения периода вращения диска D относительно оси стержня C с помощью светового барьера CB . Для определения периода прецессии гироскопа используется секундомер. Клеммы K светового барьера CB служат для подключения к источнику питания напряжением 5 В.

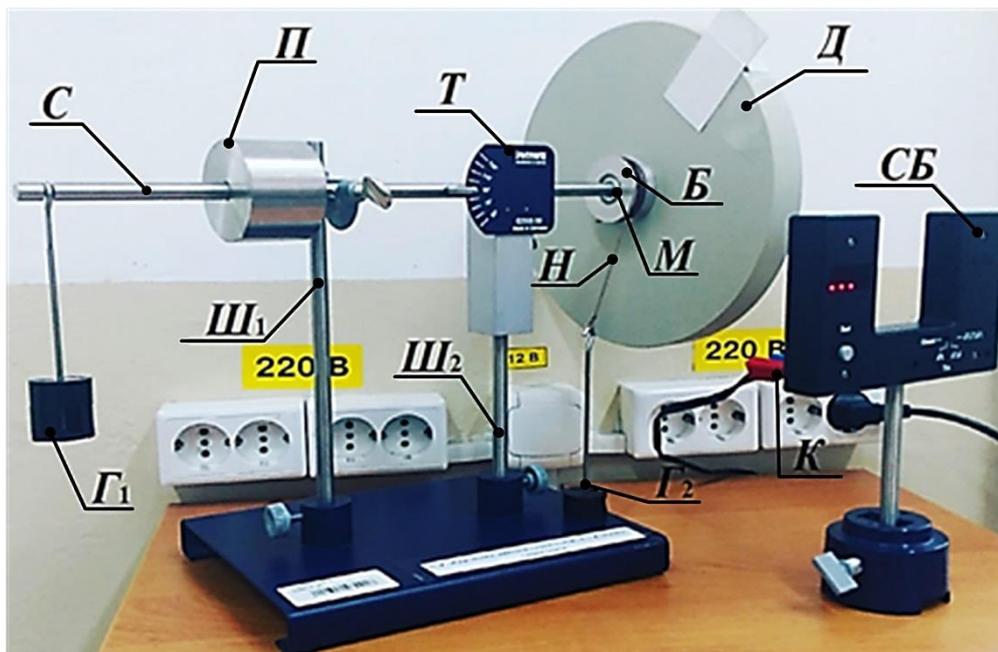


Рис. 5. Общий вид экспериментальной установки

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ ГИРОСКОПА

Первый способ

Момент инерции гироскопа I_0 можно определить, измеряя угловое ускорения ε диска D гироскопа, которое возникает под действием груза Γ_2 массы m , нанизанного к намотанной на барабан B нити H , как изображено на рис. 6. В данном методе два возможных направления вращения оси гироскопа заблокированы, то есть диск гироскопа может вращаться только вокруг оси, проходящей вдоль стержня C .

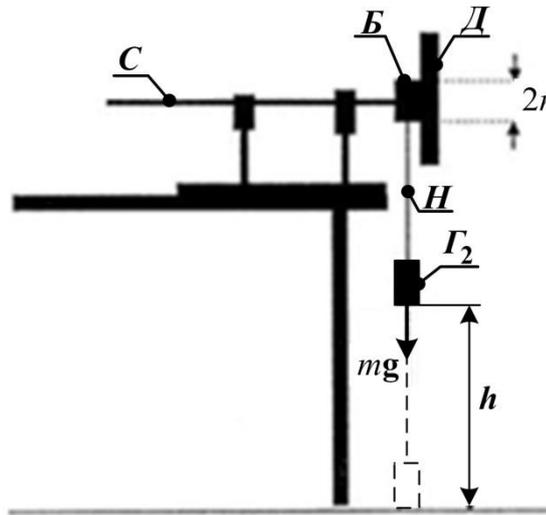


Рис. 6. Схема эксперимента для определения момента инерции диска гироскопа

Для описания движения системы груз–диск используем законы динамики поступательного движения для груза и вращательного – для диска. Так, угловое ускорение диска ε определяется как

$$\varepsilon = \frac{d\omega_0}{dt} = \frac{M}{I_0}, \quad (9)$$

где ω_0 – угловая скорость; M – момент силы; I_0 – момент инерции.

Согласно третьему закону Ньютона сила натяжения нити, вызывающая вращательный момент, равна

$$T = m(g - a) \quad (10)$$

где g – ускорение свободного падения, a – ускорение тела.

По определению момент силы M равен

$$M = r \cdot T = rm(g - a), \quad (11)$$

где r – радиус барабана.

При равноускоренном падении груза его ускорение a определяется, как

$$a = \frac{2h}{t_{\text{пад}}^2}, \quad (12)$$

где h – высота падения грузов, $t_{\text{пад}}$ – время падения. Учитывая, что линейное a и угловое ε ускорения связаны между собой соотношением

$$a = r \cdot \varepsilon, \quad (13)$$

и используя выражения (9) – (13), получаем

$$t_{\text{пад}}^2 = \frac{2I_0 + 2mr^2}{mgr^2} h. \quad (14)$$

Угловой коэффициент касательной k графика зависимости $t_{\text{пад}}^2 = f(h)$ равен

$$k = \frac{\Delta(t_{\text{пад}}^2)}{\Delta h} = \frac{2I_0 + 2mr^2}{mgr^2}, \quad (15)$$

тогда искомый момент инерции гиродиска можно найти как

$$I_0 = \frac{1}{2}mr^2(gk - 2) \quad (16)$$

Второй способ

Второй метод определения момента инерции диска основан на измерении угловых скоростей ω_0 и $\omega_{\text{пр}}$. Приложим к оси вращающегося гироскопа силу mg , линия действия которой не проходит через закрепленную точку опоры гироскопа. Для этого добавим подставку с грузами G_1 общей массой m и расположим ее на расстоянии r от середины стержня C . В рассматриваемом примере движение гироскопа складывается из вращения с угловой скоростью ω_0 вокруг оси x , связанной с осью симметрии диска, и ее вращения вокруг оси Z с угловой скоростью прецессии $\omega_{\text{пр}}$. Выразив угловые скорости через периоды вращения ($\omega_{\text{пр}} = 2\pi / T_{\text{пр}}$ и $\omega_0 = 2\pi / T_0$), из уравнения (8) получим:

$$\frac{1}{T_0} = \frac{mgr}{4\pi^2 I_0} T_{\text{пр}} \quad (17)$$

Как следует из уравнения (17), измерив величины m , r , собственный период вращения диска T_0 и период прецессии гироскопа $T_{\text{пр}}$, можно определить момент инерции I_0 диска D . Построив график зависимости $\frac{1}{T_0} = f(T_{\text{пр}})$, из наклона прямой функции получаем значение углового коэффициента касательной k :

$$k = \frac{\Delta(1/T_0)}{\Delta T_{\text{пр}}} = \frac{mgr}{4\pi^2 I_0}. \quad (18)$$

Зная значение углового коэффициента касательной из уравнения (18) можно найти значение момента инерции I_0 :

$$I_0 = \frac{mgr}{4\pi^2 k} \quad (19)$$

РЕКОМЕНДАЦИИ СТУДЕНТАМ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Правила безопасности

1. После запуска гироскопа не останавливайте резко руками вращающийся диск D .
2. Во время измерений противовес P должен быть жестко закреплен на стержне C гироскопа во избежание его соскальзывания.
3. Следите за тем, чтобы при наблюдении прецессии не было посторонних предметов в области движения гироскопа.

Упражнение 1. Определение момента инерции гироскопа относительно главной оси симметрии

1. Закрепите стержень C гироскопа в штативе $Ш_1$ (рис. 5). В этом случае диск гироскопа может вращаться только относительно главной оси симметрии.
2. Один из концов нити закрепите с помощью петли на барабане B радиуса $r = 2,5$ см. Намотайте хлопковую нить на барабан.
3. Установите гироскоп на столе так, чтобы свободный конец нити свисал с края стола, как показано на рис. 6. Прикрепите к нему подставку с грузом G_2 (рис. 5) общей массой $m = 40 \div 60$ г (масса подставки – 10 г, масса одного грузика – 10 г).
4. Определите экспериментально зависимость времени падения подставки с грузами от высоты h . Измерьте время падения t подставки с грузами для шести разных значений высот h , повторяя измерения для каждого значения h по три раза. Результаты измерений внесите в таблицу 1.

5. Для каждого значения высоты h определите среднее значение времени падения \bar{t} . Рассчитайте погрешность прямых измерений $t_{\text{пад}}$ и h .

Таблица 1

№	h , см	t_1 , с	t_2 , с	t_3 , с	\bar{t} , с	$\bar{t}_{\text{пад}}^2$, с ²	Δt , с	Δh , см	r , см	m , г
1									2,5	
2										
3										
4										
5										
6										

6. Постройте график зависимости $\bar{t}_{\text{пад}}^2 = f(h)$.
7. Пользуясь формулой (16), определите момент инерции диска I_0 по наклону касательной к зависимости $\bar{t}_{\text{пад}}^2 = f(h)$

Упражнение 2. Исследование зависимости между периодом прецессии и периодом вращения гироскопа вокруг главной оси симметрии

1. Настройте световой барьер:
- Подключите клеммы светового барьера к источнику питания напряжением 5 В как показано на рис. 7.



Рис. 7. Подключение светового барьера

- Включите источник питания в сеть.

- Поставьте переключатель на фотозатворе в режим измерения периода $\uparrow \sqcap \downarrow$.
- 2. Освободите стержень C из штатива $Ш_1$ и уравновесьте гироскоп с помощью противовеса $П$ (рис. 5).
- 3. Подвесьте подставку с грузом G_1 общей массой $m_1 = 60$ г (масса подставки – 10 г, масса одного грузика – 50 г) в углубление на стержне C на расстоянии $r = 27$ см от места крепления штатива $Ш_2$ к стержню C (рис. 2).
- 4. Установите световой барьер $СБ$ на лабораторном столе так, чтобы картонная полоска, прикреплённая к диску $Д$, при его вращении пересекала световой луч затвора, но не задевала корпус светового барьера.
- 5. С помощью нити $Н$, укрепленной на барабане $Б$ диска, раскрутите диск гироскопа, удерживая его ось рукой в горизонтальном положении, чтобы не возникало дополнительного колебательного движения оси гироскопа.

Внимание! При выполнении пунктов 6 и 7 все время крепко удерживайте рукой стержень C в горизонтальном положении, при этом диск $Д$ должен вращаться практически с постоянной угловой скоростью.

6. Плавно нажав на кнопку «Set» светового барьера, измерьте время одного оборота диска T_0 и запишите полученное значение в таблицу 2.
7. Отодвиньте световой барьер в сторону так, чтобы он не мешал дальнейшей прецессии гироскопа.
8. Отпустите стержень C гироскопа. В этом случае гироскоп начнет совершать прецессионное движение.

Внимание! Отпускать стержень C гироскопа следует плавно, без резких движений во избежание появления нутации гироскопа.

9. С помощью секундомера измерьте период прецессии $T_{пр}$ (время одного оборота гироскопа вокруг вертикальной оси) и занесите полученное значение в таблицу 2.

Внимание! Во время прецессии ось вращения гироскопа постепенно наклоняется. Если наклон дойдет до критического значения (гироскоп коснется поверхности стола), то прецессия прекратится. В этом случае измеряйте время половины оборота прецессии (вместо времени полного оборота). Тогда период прецессии будет вдвое больше измеренного времени. Если ось вращения гироскопа наклоняется слишком быстро, то это означает, что гироскоп недостаточно раскручен. В этом случае остановите гироскоп и повторите пункты 4–9, увеличив скорость вращения диска (т.е. силу натяжения нити при раскручивании диска гироскопа в пункте 5).

10. Повторите пункты 4–9 пять раз, раскручивая гироскоп до разных угловых скоростей. Заполните таблицу 2.

Таблица 2

№	$m_1, \text{г}$	$T_0, \text{с}$	$1/T_0, \text{с}^{-1}$	$T_{\text{пр}}, \text{с}$	$m_2, \text{г}$	$T_0, \text{с}$	$1/T_0, \text{с}^{-1}$	$T_{\text{пр}}, \text{с}$
1	60				110			
2								
3								
4								
5								
6								

11. По полученным результатам постройте график зависимости $\frac{1}{T_0} = f(T_{\text{пр}})$ и определите ее угловой коэффициент касательной. Используя формулу (19), вычислите момент инерции диска гироскопа.
12. Повторите пункты 3–11 с другой массой $m_2 = 110$ г подставки с грузами G_1 .
13. Сделайте выводы по проделанной работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое движение называют поступательным? Какие физические величины характеризуют это движение? Укажите их физический смысл и единицы измерения.
2. Какое движение называют вращательным? Какие физические величины характеризуют это движение? Укажите их физический смысл и единицы измерения?
3. Что называется моментом силы относительно точки вращения? Как найти направление вектора момента силы?
4. Что называется плечом силы?
5. Дайте определение момента инерции материальной точки, твердого тела. Каковы единицы измерения этой величины?
6. Сформулируйте основной закон динамики вращательного движения твердого тела.
7. Дайте определение и запишите выражение для момента импульса симметричного твердого тела.
8. Дайте определение гироскопу. Каково устройство механического гироскопа?
9. Что такое свободный гироскоп?
10. От чего зависит величина момента импульса гироскопа?
11. Что такое гироскопический момент?
12. Перечислите законы сохранения в механике и соответствующие им симметрии пространства–времени.
13. Перечислите основные свойства гироскопов с тремя степенями свободы. Как они объясняются?
14. При каком условии гироскоп начинает прецессировать? Чем определяется угловая скорость прецессии?
15. За счет чего гироскоп приобретает кинетическую энергию, связанную с прецессией?
16. В чем заключается явление нутации? От чего зависят период нутации?

17. Дайте определение центра масс системы?
18. Покажите направление прецессии гироскопа и направление момента импульса при действии на него сил в заданном на рис. 8а и 8б направлениях, если гироскоп вращается по и против часовой стрелки.

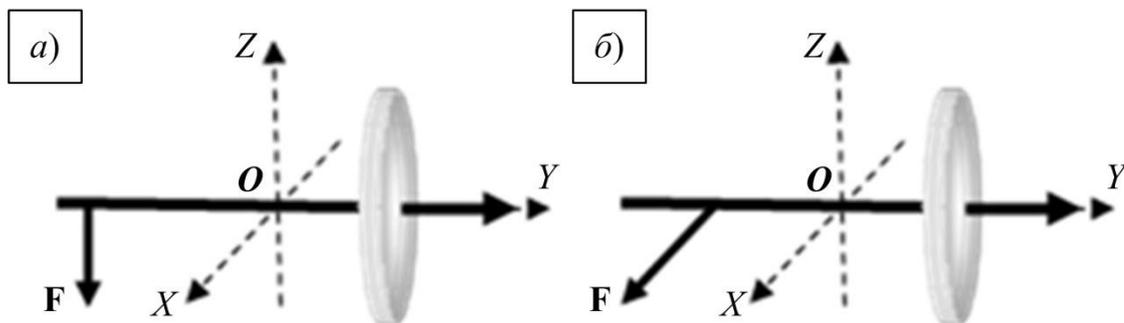


Рис. 8

19. Опишите принцип работы гироскопического компаса.
20. Как влияет масса и размер гироскопа на точность определения его момента инерции в работе?
21. Выведите формулу связывающую момент внешних сил, действующий на гироскоп, с угловой скоростью его прецессии.
22. Каким образом, зная собственный период вращения диска гироскопа и период его прецессии, можно определить его момент инерции?
23. Какие факторы влияют на точность измерения времени падения грузов в упражнении 1?
24. Проверьте выполнение закона сохранения энергии в упражнении 1. Для этого определите значения энергии всех тел в разные моменты времени.
25. Объясните, как возникновение нутаций во время прецессии диска гироскопа повлияет на точность определения его момента инерции в упражнении 2.

ГЛОССАРИЙ

Амплитуда – наибольшее отклонение колеблющегося тела от положения равновесия при механическом колебании.

Вращательное движение – вид механического движения системы точек (абсолютно твёрдого тела), при котором все точки описывают окружности, расположенные в параллельных плоскостях. Центры всех окружностей лежат при этом на одной прямой, перпендикулярной к плоскостям окружностей и называемой осью вращения. Ось вращения может располагаться внутри тела и за его пределами.

Гироскоп – устройство, способное реагировать на изменение углов ориентации тела, на котором оно установлено, относительно инерциальной системы отсчета.

Инерция – свойство тел оставаться в некоторых системах отсчёта в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения в отсутствие или при взаимной компенсации внешних воздействий.

Материальная точка – такое тело, размерами и формой которого можно пренебречь в сравнении с размерами других тел или расстояниями до них в условиях данной задачи.

Механическое движение – изменение взаимного расположения тел относительно друг друга в пространстве с течением времени. Любое механическое движение относительно.

Момент импульса – физическая величина, характеризующая количество вращательного движения. Величина, зависящая от того, сколько массы вращается, как она распределена относительно оси вращения и с какой скоростью происходит вращение.

Момент инерции – скалярная физическая величина, являющееся мерой инертности во вращательном движении вокруг оси, подобно тому, как масса тела является мерой его инертности в поступательном движении.

Момент силы – векторная физическая величина, равная векторному произведению радиус-вектора, проведённого от оси вращения к точке

приложения силы, на вектор этой силы. Характеризует вращательное действие силы на твёрдое тело.

Нутация – слабое нерегулярное движение вращающегося твёрдого тела, совершающего прецессию. Напоминает «подрагивание» оси вращения и заключается в слабом изменении так называемого угла нутации между осями собственного и прецессионного вращения тела.

Основной закон динамики вращательного движения – скорость изменения момента импульса \mathbf{L} вращающейся системы материальных точек определяется суммарным моментом \mathbf{M} внешних сил, действующих на эту систему: $\mathbf{M} = \frac{d\mathbf{L}}{dt}$.

Период вращения – промежуток времени, в течение которого точка совершает полный оборот, двигаясь по замкнутой траектории.

Поступательное движение – это механическое движение системы точек (абсолютно твёрдого тела), при котором отрезок прямой, связывающий две любые точки этого тела, форма и размеры которого во время движения не меняются, остается параллельным своему положению в любой предыдущий момент времени.

Прецессия – явление, при котором момент импульса тела меняет своё направление в пространстве под действием постоянного момента внешней силы.

Угловая скорость – величина, характеризующая скорость вращения материальной точки вокруг центра вращения. Для вращения в двухмерном пространстве угловая скорость выражается числом, в трёхмерном пространстве представляется псевдовектором (аксиальным вектором).

Угловое ускорение – величина, характеризующая быстроту изменения угловой скорости твёрдого тела. Псевдовекторная физическая величина, равная первой производной от псевдовектора угловой скорости по времени.

Центр масс – геометрическая точка, характеризующая движение тела или системы частиц как целого.

Частота вращения – физическая величина, равная числу полных оборотов за единицу времени.

Учебное издание

Святкин Леонид Александрович

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ МЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА С ТРЕМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

Методические указания к выполнению лабораторной работы 1-45
по курсу «Физика 1» по разделу «Механика»
для студентов всех направлений и специальностей

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в
полном соответствии с качеством
предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 00.00.2017. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».

Печать XEROX. Усл. печ. л. 9,01. Уч.-изд. л. 8,16.

Заказ 000-15. Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета
сертифицирована в соответствии с требованиями ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр.
Ленина, 30 Тел./факс: 8(3822)56-35-
35, www.tpu.ru