

## 11 класс

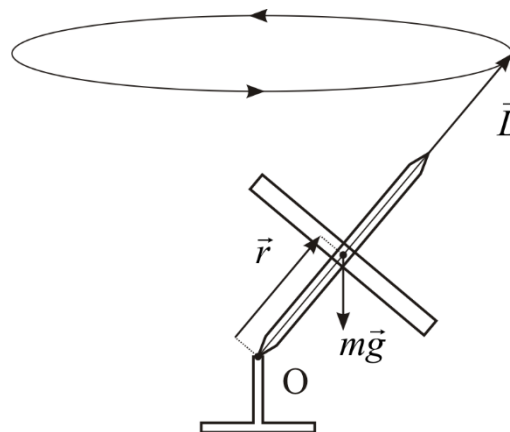
### Гироскоп

**Оборудование:** гироскоп (волчок); нитка длиной около 90 см; нитка длиной около 10 см; подставка с остриём; груз массой  $m_1$  (около 1 кг); секундомер с памятью этапов (до 30 этапов); струбцина быстрозажимная; линейка; скрепка; кусочек пластилина; зубочистка; инструкция к секундомеру.

**Теоретическая справка:** В прямом переводе слово *гироскоп* – прибор для обнаружения вращения. В широком смысле *гироскопом* называется быстро вращающееся твердое тело, ось которого может менять положение в пространстве. Гироскоп, в особенности, когда на него действуют внешние силы, может совершать удивительные движения, кажущиеся на первый взгляд неожиданными и непонятными. Вся теория гироскопов построена на векторном уравнении для момента импульса относительно точки опоры О:

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

Здесь  $\vec{M}$  – сумма моментов внешних сил относительно точки О,  $\vec{L}$  – момент импульса относительно точки О. Если ось вращающегося волчка отклонена от вертикали, то под действием силы тяжести ось описывает в пространстве круговой конус с вертикальной осью. Такое движение волчка называют вынужденной прецессией.



#### Экспериментальные советы:

- 1) Для раскручивания волчка на его оси проделано отверстие, проденьте в него конец длинной нити (не привязывайте ничего к оси волчка!) и намотайте ее на ось волчка, повесьте на другой конец нити груз, отпустите волчок, держа гироскоп за защитную оболочку, и дайте волчку раскрутиться под тяжестью груза.
- 2) В частях 2 и 3 волчок должен находиться на специальной подставке с торчащим острием, для установки на это острие на оси симметрии гироскопа в защитной оболочке имеется круглое отверстие, после раскручивания волчка устанавливайте его этим отверстием на острие.
- 3) Для того, чтобы вам не пришлось повторять ваши измерения, советуем устанавливать гироскоп на подставку/подвес сразу же после разгона, пока угловая скорость волчка не успеет измениться.
- 4) В 4-ом пункте вам понадобится измерить угол наклона гироскопа, пластилин и зубочистка даны вам именно для этих целей (при необходимости зубочистку можно укорачивать).
- 5) Подвешивайте гироскоп на горизонтально вкрученный в подставку саморез.
- 6) К особенностям движения гироскопа нужно привыкнуть, человеческий мозг, не привыкший встречаться с гироскопами в повседневной жизни, воспринимает их как обычные тела, не обладающие большим моментом инерции, и пытается ими так же управлять, что зачастую приводит к многократному падению гироскопа на пол. Пожалуйста, во избежание поломок оборудования:
  - a. Подстраховывайте гироскоп, стоящий на подставке, рукой, крепко удерживайте защитную оболочку за пластиковую часть при разгоне гироскопа.
  - b. Перед тем, как пытаться “поправить” гироскоп на подставке, сначала подумайте, как надо приложить к нему силу для того, чтобы он отклонился в нужную сторону.
  - c. Не касайтесь быстро вращающихся частей гироскопа.

**Часть 1. Период прецессии. (1 балл)**

Теоретически получите выражение для периода прецессии волчка  $T_1$ . Используйте следующие обозначения:

- $I$  – момент инерции ротора волчка относительно оси симметрии,
- $\omega$  – угловая частота вращения ротора волчка вдоль оси симметрии,
- $m = 127$  г – общая масса ротора и рамы волчка,
- $g = 9.8$  м/с<sup>2</sup> – ускорение свободного падения,
- $r$  – расстояние от точки опоры О до центра масс волчка

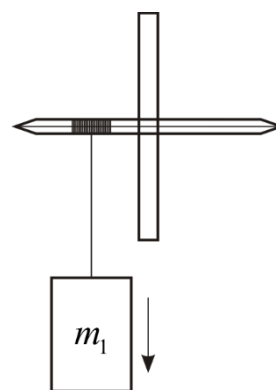
Используйте такие приближения:

- 1) Пренебрегите силой трения, учитывайте только силу тяжести. Тогда  $\vec{M} = [\vec{r}, m\vec{g}]$
- 2) Считайте, что момент импульса  $\vec{L}$  направлен вдоль оси волчка, а его модуль  $|\vec{L}| = I\omega$ .
- 3) Пренебрегите потерями энергии: считайте, что модуль момента импульса остаётся постоянным.

**Часть 2. Момент инерции волчка. (4 балла)**

2.1 Раскрутите волчок с помощью груза  $m_1$  и измерьте период его прецессии. Используя эти данные и проведя необходимые дополнительные измерения геометрических размеров, определите момент инерции ротора волчка  $I$  и частоту вращения волчка (в Гц) в эксперименте.

2.2 До какой максимальной частоты удаётся раскрутить волчок, дёргая за нить рукой? Ответ выразите в герцах.

**Часть 3. Момент силы трения. (3 балла)**

Момент силы тяжести только поворачивает момент импульса волчка. Момент силы трения между ротором и рамой изменяет его модуль.

3.1 Раскрутите волчок и поставьте на подставку. Постройте график зависимости частоты вращения ротора волчка (в герцах) от времени до того момента, как частота уменьшится в 2 раза.

3.2 На основе графика сделайте качественный вывод о зависимости момента силы трения, действующего на ротор, от скорости вращения волчка. Определите средний момент силы трения.

**Часть 4. Другая прецессия. (2 балла)**

Чтобы наблюдать другой вид прецессии волчка, его нужно подвесить на нитке за железный обруч и отклонить на угол  $\alpha$  от вертикали.

4.1 Теоретически выведите формулу для периода прецессии  $T_2$  этом случае.

4.2 Экспериментально исследуйте зависимость периода прецессии  $T_2$  от угла  $\alpha$ .

