

## ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Проверка пропорциональной зависимости частоты вращения  $f_R$  вращающегося диска от периода прецессии гироскопа  $T_p$  и определение момента инерции при помощи построения графика  $f_R(T_p)$ .
- Проверка пропорциональной зависимости частоты вращения  $f_R$  вращающегося диска от частоты нутации  $f_N$  путем построения графика  $f_N(f_R)$  или соответствующих периодов  $T_R(T_N)$ .

## ЦЕЛЬ ОПЫТА

Экспериментальное исследование прецессии и нутации гироскопа и определение момента инерции.

## КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Вращающийся вокруг своей оси диск, помимо своего вращательного движения, совершает движения, которые называют прецессией и нутацией, зависящие от того, действует ли внешняя сила и, следовательно, дополнительный крутящий момент, на его ось, а также от того, отклоняется ли из положения равновесия ось вращения диска, находящаяся до этого в положении равновесия. Период прецессии обратно пропорционален периоду вращения, а период нутации прямо пропорционален периоду вращения. Зависимость периода прецессии от периода вращения позволяет определить момент инерции вращающегося диска.

## НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Гироскоп	U52006
2	Рамка с фотоэлементами	U11365
1	Красный лазерный диод	U22000
1	Прибор 3B NET/og™ (230 В, 50/60 Гц)	U11300-230 или
	Прибор 3B NET/og™ (115 В, 50/60 Гц)	U11300-115
1	Программное обеспечение 3B NET/og™	U11310
3	Основание стойки, треножник, размер 150 мм	U13270
3	Универсальный зажим	U13255
3	Стойка из нержавеющей стали длиной 750 мм	U15003

## ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ

Волчок – это твердое тело, которое вращается вокруг оси, закрепленной в некоторой точке. Если на ось действует внешняя сила, ее крутящий момент вызывает изменение момента количества движения. Тогда волчок начинает двигаться в направлении, перпендикулярном оси и силе, действующей на него. Такое движение называется прецессией. Если толкнуть волчок, тем самым сместив ось его вращения, он начнет совершать качающееся движение. Такое движение называется нутацией. В общем случае эти два вида

движения накладываются друг на друга.

В данном опыте используется гироскоп, а не волчок. Его большой вращающийся диск вращается с малым трением вокруг оси, которая закреплена в определенной точке опоры. Противовес отрегулирован таким образом, что точка опоры совпадает с центром тяжести. Если гироскоп находится в состоянии равновесия и диск раскручен, момент  $L$  будет постоянным:

$$(1) \quad L = I \cdot \omega_R$$

$I$ : момент инерции,  $\omega_R$ : угловая скорость

Момент инерции вращающегося диска гироскопа определяется выражением:

$$(2) \quad I = \frac{1}{2} \cdot M \cdot R^2$$

$M$ : масса диска,  $R$ : радиус диска

Если на ось вращения поместить дополнительный вес, добавив массу  $m$ , этот дополнительный вес создает крутящий момент  $\tau$ , который изменяет момент количества движения:

$$(3) \quad \tau = m \cdot g \cdot r = \frac{dL}{dt}$$

$r$ : Расстояние от точки опоры оси вращения до точки, на которую воздействует дополнительная масса.

Тогда ось вращения начинает двигаться так, как показано на Рис. 2, под углом:

$$(4) \quad d\varphi = \frac{dL}{L} = \frac{m \cdot g \cdot r \cdot dt}{L}$$

Помимо этого начинается ее прецессия. Угловую скорость этой прецессии можно рассчитать следующим образом:

$$(5) \quad \omega_p = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{m \cdot g \cdot r}{L} = \frac{m \cdot g \cdot r}{I \cdot \omega_R}$$

где  $\omega = 2\pi/T = 2\pi f$ :

$$(6) \quad \frac{1}{T_R} = f_R = \frac{m \cdot g \cdot r}{I} \cdot T_p$$

Если диск раскручен без какого-либо дополнительного крутящего момента и ось вращения слегка отклоняют в одну сторону, начинается нутация гироскопа. В этом случае угловая скорость нутации прямо пропорциональна угловой скорости вращения:

$$(7) \quad \omega_N = C \cdot \omega_R \quad \text{и} \quad T_R = C \cdot T_N$$

$C$ : постоянная

Этот опыт также подразумевает запись вращательного движения, прецессии и нутации с помощью рамки с фотоэлементами, посредством которой характер изменения импульсов со временем регистрируется и выводится на индикацию на приборы 3B NET/lab™ и 3B NET/ab™.

## ОЦЕНОЧНЫЙ РАСЧЕТ

Периоды вращения, прецессии и нутации определяются на основании изменения импульсов в зависимости от времени. Согласно выражению (6), период прецессии обратно пропорционален периоду вращения, а из выражения (7) следует, что период нутации прямо пропорционален периоду вращения. Следовательно, на соответствующих графиках измеренные значения будут располагаться вдоль прямой линии, проходящей через начало координат. По наклону линии, проведенной через эти точки  $f_R(T_p)$ , можно определить момент инерции вращающегося диска гироскопа опытным путем, а затем сравнить полученный результат с теоретическим расчетом с помощью выражения (2).

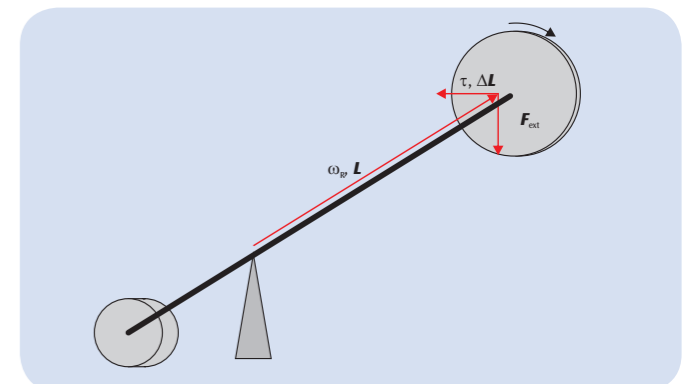


Рис. 1 Схема гироскопа, иллюстрирующая явление прецессии

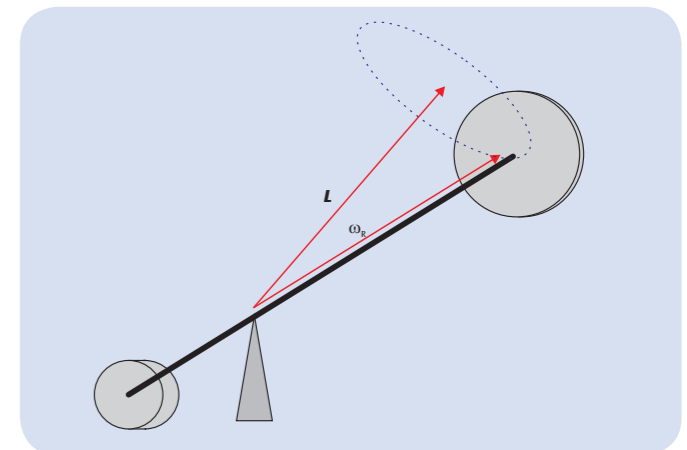


Рис. 2 Схема гироскопа, иллюстрирующая явление нутации

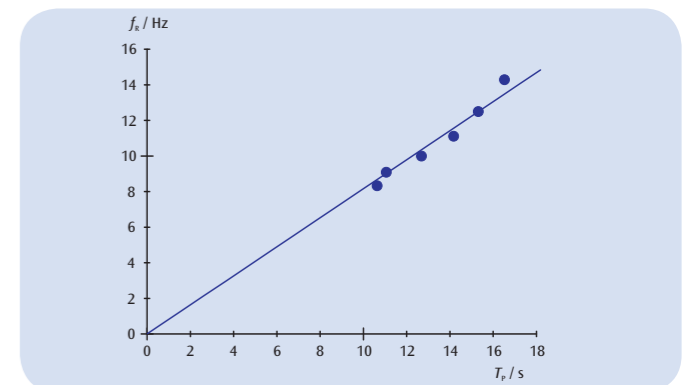


Рис. 3 Зависимость частоты вращения  $f_R$  вращающегося диска от периода прецессии  $T_p$

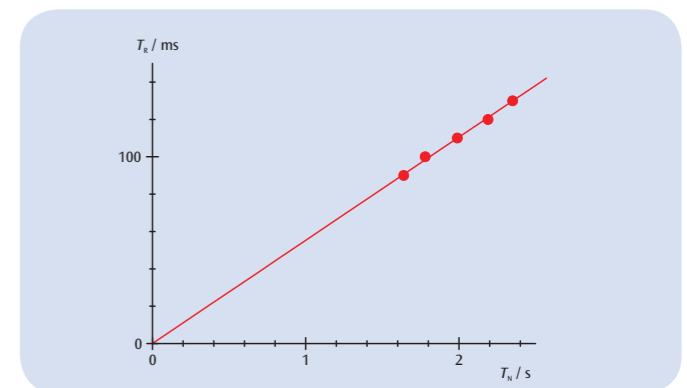


Рис. 4 Зависимость периода вращения  $T_R$  от периода нутации  $T_N$