

# ОБНАРУЖЕНИЕ ГИРОСКОПИЧЕСКОЙ ТЯГИ

Герман Александрович Голушко

г. Ричмонд Хилл, Онтарио, Канада, [holushko@yahoo.com](mailto:holushko@yahoo.com)

Февраль 2010 г.

## Введение

Эксперимент, описанный в данной статье, является повторением опыта, проведённого профессором Эриком Лэйтвэйтом (Eric Laithwaite) во время его знаменитой рождественской лекции в Королевском Институте Великобритании (Royal Institution of Great Britain) в 1974 году [1]. В этом опыте раскрученный гироскоп, подвешенный на нити одним концом оси вращения, отклонялся от положения покоя по мере прецессионного поворота.

Автор решил повторить опыт Эрика Лэйтвэйта и поделиться с читателями своими наблюдениями. В отличие от оригинального опыта автор изолировал гироскоп от окружающего воздуха, чтобы исключить аэродинамические факторы. Кроме этого автор произвёл измерение траектории движения гироскопа, а также измерение ориентации оси гироскопа относительно нормали к траектории. В результате эксперимента обнаружена тяга, приводящая подвешенный груз в движение.

## Экспериментальная установка

Экспериментальная установка включает в себя нить длиной 224 см, на которой подвешена металлическая шайба. На шайбе подвешена лазерная указка, которая оставляет световое пятно на линованом листе бумаги, положенном на пол. Шаг линии – 1 см. На листе бумаги проставлена метка, соответствующая состоянию покоя. Установка также включает в себя гироскоп, раскручиваемый вручную. Гироскоп изолирован от окружающего воздуха бумажными экранами конической формы. Один из экранов имеет прорезь, куда продевается нить для запуска гироскопа. На одном из концов оси гироскопа закреплена стрелка-указатель, предназначенная для определения ориентации оси гироскопа. Общая масса подвешенного груза составляет 98 г. Под грузом здесь и далее следует понимать систему, состоящую из гироскопа, шайбы и лазерной указки.

## Основной эксперимент

Перед началом эксперимента лист бумаги выставляется так, чтобы световое пятно от свободно висящей лазерной указки попадало на метку. После раскрутки гироскопа один конец его оси вращения вставляется в шайбу, и гироскоп отпускается. (См. *Рисунок 1*).

Положение светового пятна и стрелки-указателя отслеживается с помощью видеосъёмки, проводимой с двух ракурсов: сверху и сбоку. Для наглядности фрагменты кадров видеосъёмки представлены на *Иллюстрациях 1 и 2*.

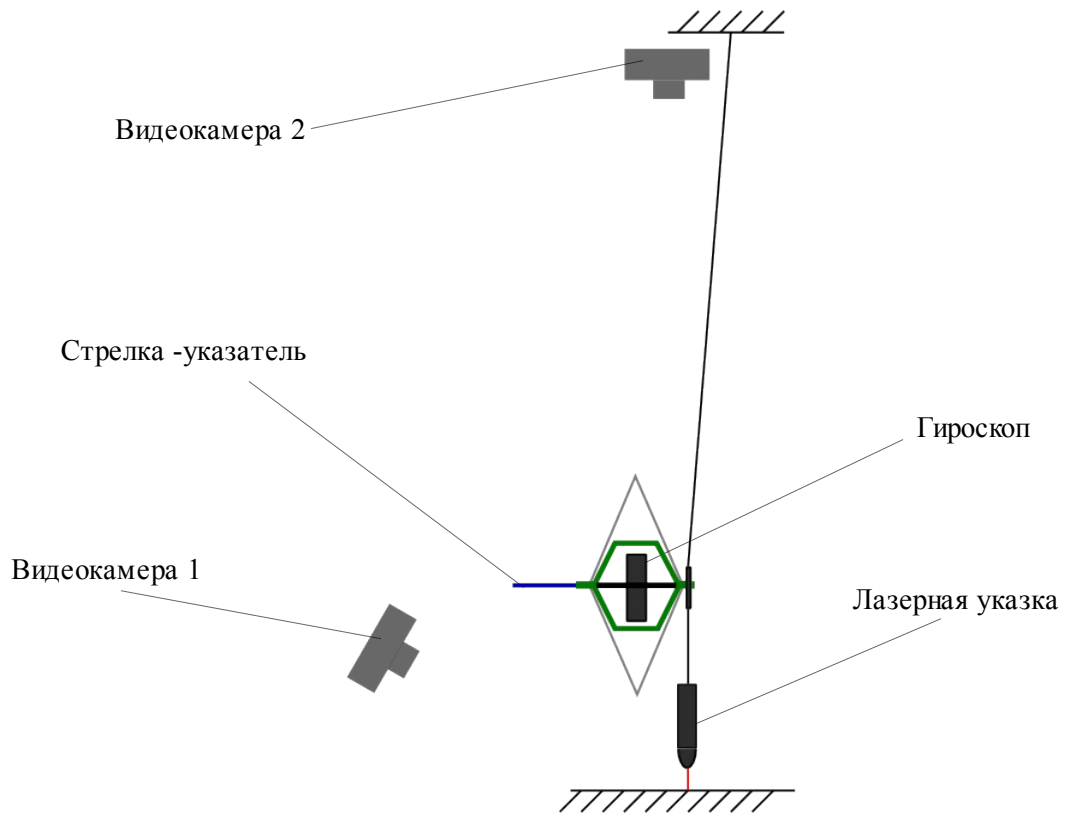


Рисунок 1.

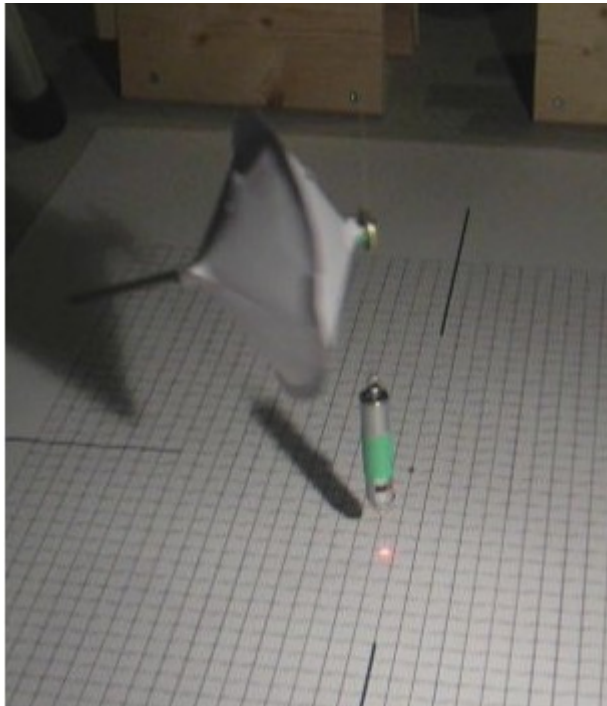


Иллюстрация 1. Съёмка сбоку

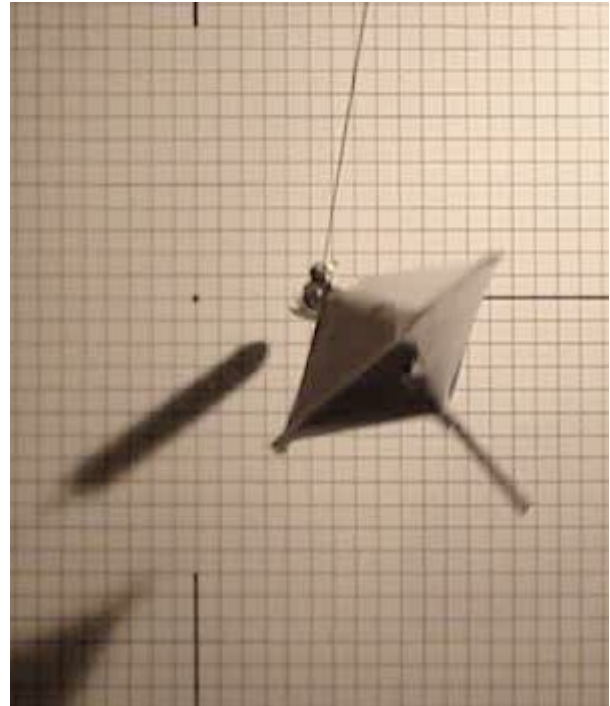


Иллюстрация 2. Съёмка сверху

По результатам эксперимента сделаны следующие наблюдения:

- Траектория движения груза имеет спиралеобразный характер, где центр спирали соответствует точке состояния покоя.
- Спираль закручена в сторону прецессионного поворота гироскопа.
- На протяжении первых 30 секунд движения радиус спирали волнообразно увеличивается.
- После 30-й секунды радиус спирали волнообразно уменьшается, что связано уменьшением угловой скорости вращения диска гироскопа.

По результатам эксперимента была воссоздана траектория движения светового пятна в декартовых и полярных координатах. Угловая составляющая полярных координат отсчитывалась по часовой стрелке. Скорость видеосъёмки составила 10 кадров в секунду. Координаты светового пятна сняты вручную с каждого кадра видеосъёмки, сделанной сбоку. Точность измерения координат колеблется в пределах 0.2 – 0.5 см. Ориентация оси гироскопа относительно выбранной полярной оси измерялась вручную транспортиром на распечатанных кадрах видеосъёмки, сделанной сверху. Точность измерения ориентации оси гироскопа составляет 3 – 5°. Точность синхронизации видеозаписей составляет 0.02 сек.

*График 1* иллюстрирует зависимость длины радиус-вектора  $r$  (радиуса спирали) от времени. Точкой отсчета полярных координат выбрана метка на бумаге, соответствующая состоянию покоя.

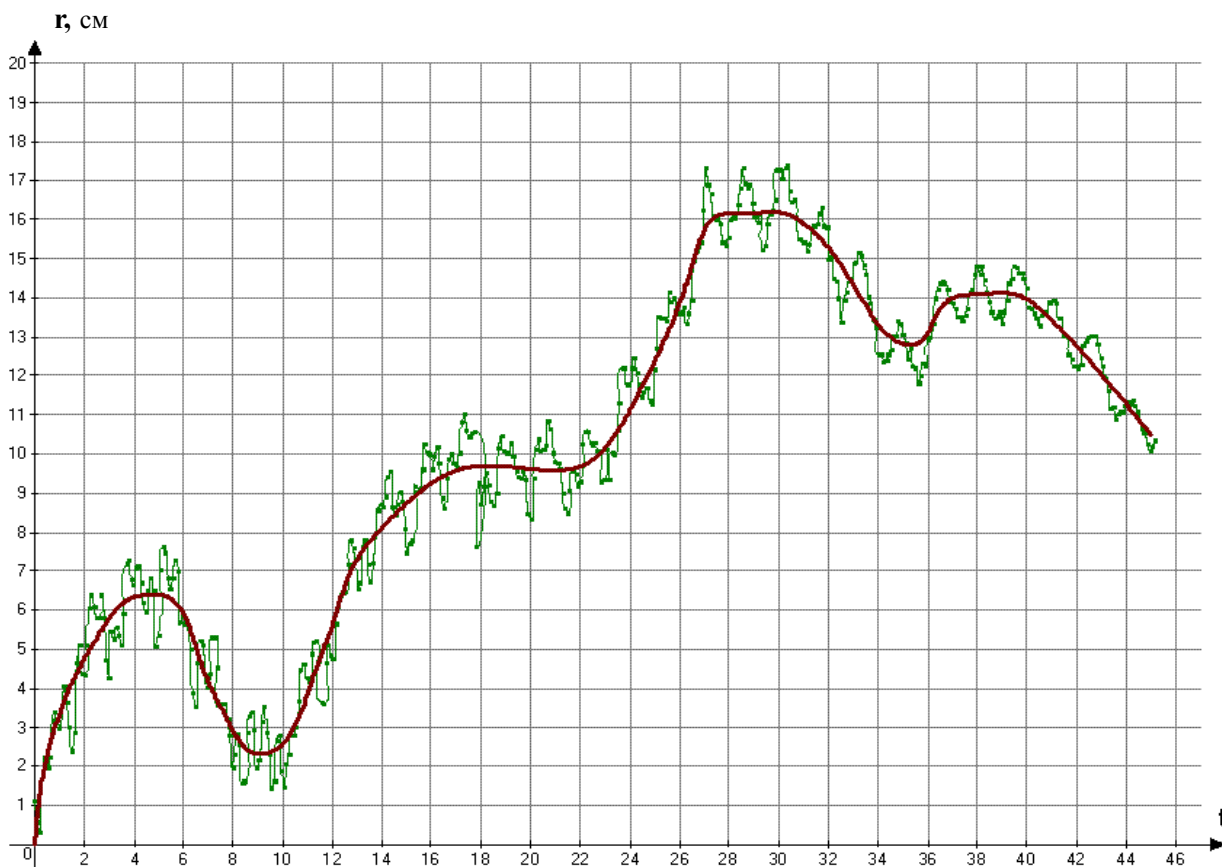


График 1.  
Зависимость длины радиус-вектора  $r$  (радиуса спирали) от времени

График 2 иллюстрирует зависимость угловой составляющей полярных координат светового пятна  $\varphi$  от времени.

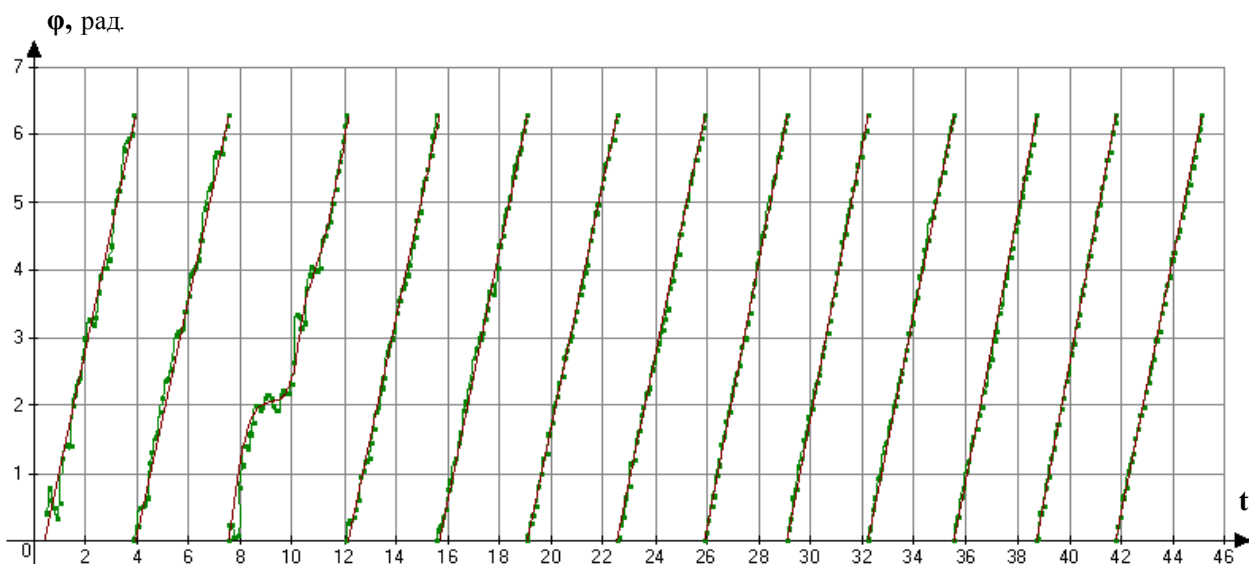


График 2  
Зависимость угловой составляющей полярных координат светового пятна  $\varphi$  от времени

График 3 иллюстрирует зависимость угла ориентации оси гироскопа  $\alpha$  относительно полярной оси.

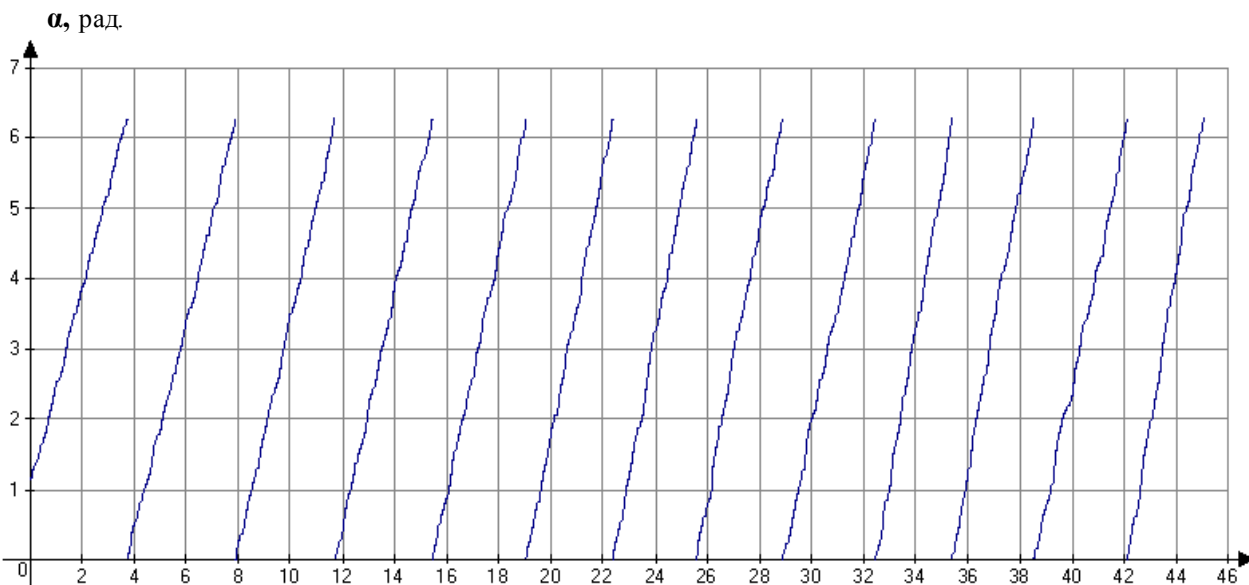


График 3  
Зависимость угла ориентации оси гироскопа относительно полярной оси от времени

Схема определения угла  $\theta$  между осью гироскопа и нормалью к спирали произвольной формы представлена на *Рисунке 2*.

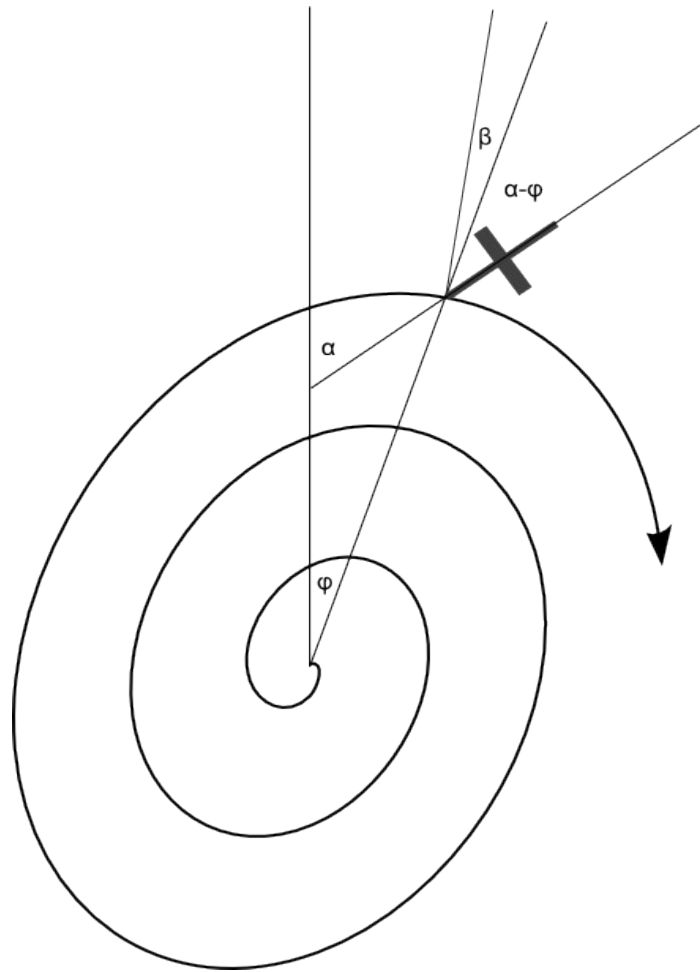


Рисунок 2

Угол  $\beta$  между радиус-вектором  $\vec{r}$  и нормалью к спирали рассчитывается по формуле (1).

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{\partial r}{r \cdot \partial \phi} \quad (1)$$

Поскольку значения  $\frac{\partial r}{\partial t}$  и  $\frac{\partial \phi}{\partial t}$  для проведённого эксперимента можно определить по данным *Графиков 1 и 2*, то формулу (1) можно записать следующим образом:

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{\left(\frac{\partial r}{\partial t}\right)}{r \cdot \left(\frac{\partial \phi}{\partial t}\right)} \quad (2)$$

Тогда угол  $\theta$  между осью гироскопа и нормалью к траектории можно найти по формуле (3).

$$\theta = \beta + \alpha - \phi \quad (3)$$

На *Графике 4* приведены значения  $\frac{\partial r}{\partial t}$  и  $\theta$  для некоторых моментов времени.

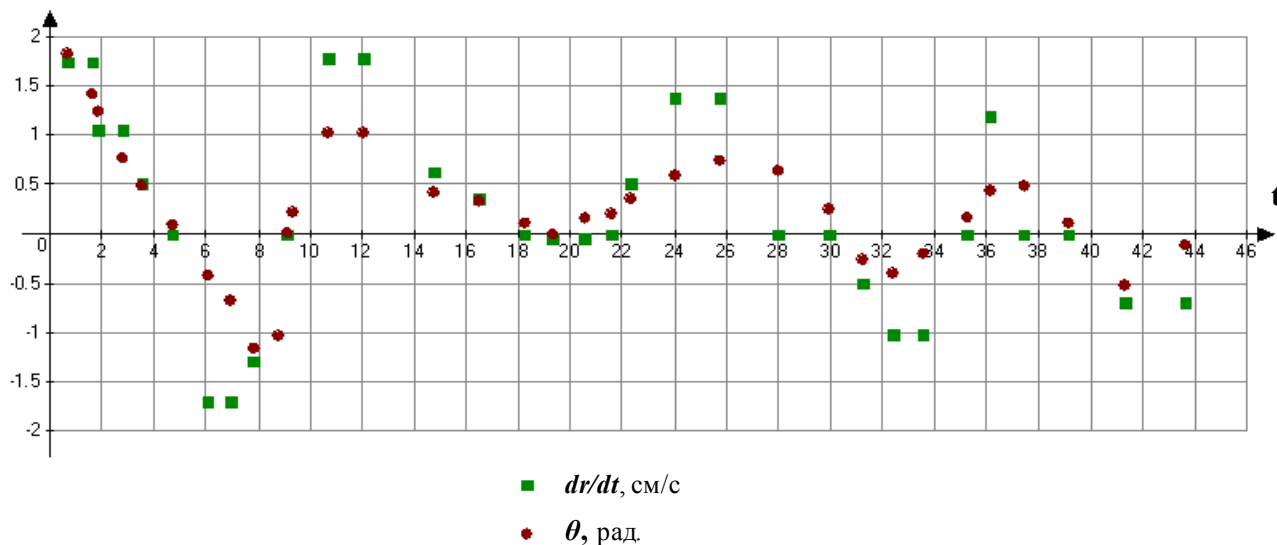


График 4  
Зависимость скорости изменения радиуса отклонения и угла между осью гироскопа и нормалью к траектории от времени

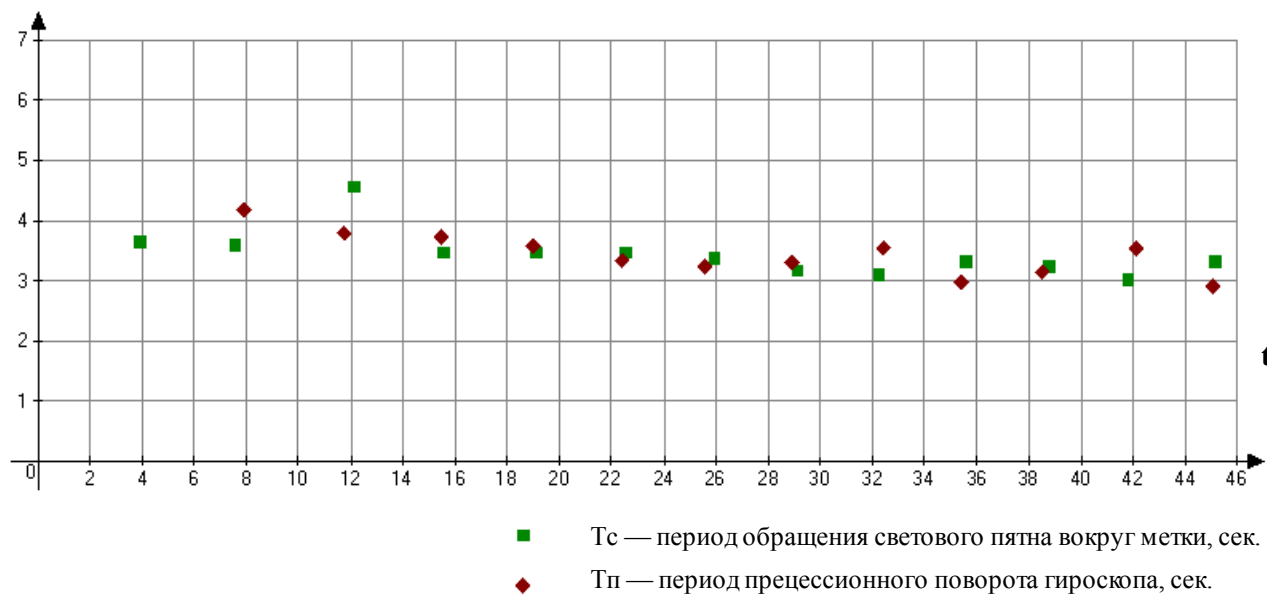


График 5  
Зависимость периода обращения светового пятна вокруг метки и периода прецессионного поворота гироскопа от времени

На *Графике 5* приведены значения периодов обращения светового пятна вокруг метки и периода прецессионного поворота гироскопа. На оси абсцисс отложены моменты окончания соответствующих периодов.

### **Дополнительные эксперименты**

В двух дополнительных экспериментах длина нити была 150 см и 437 см. В обоих случаях наблюдаемые эффекты были такими же как и в основном эксперименте.

### **Альтернативный эксперимент**

В альтернативном эксперименте гироскоп был подвешен таким образом, чтобы минимизировать условия прецессии (см. *Рисунок 3*).

После запуска гироскопа траектория движения светового пятна имела хаотический характер, связанный в основном с начальными маятниковыми колебаниями гироскопа и лазерной указки. Отклонение не превышало 3 см.

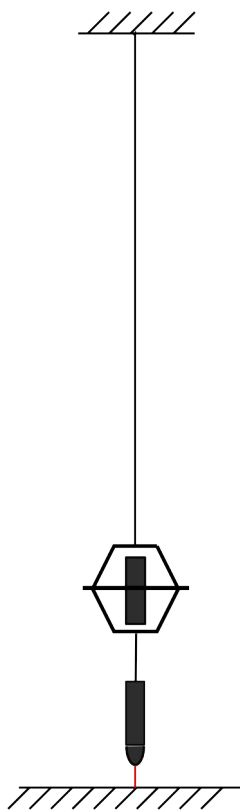


Рисунок 3.

## Расчёты

Приведённые ниже расчёты сделаны по результатам основного эксперимента. В расчёте использованы формулы из школьного курса механики. Для проведения расчётов введены следующие обозначения:

$L$  – длина нити подвеса, равна 2.24 м

$T$  – период обращения светового пятна вокруг метки

$\omega$  – угловая скорость обращения светового пятна вокруг метки

$\gamma$  – угол отклонения нити подвеса

$v$  – линейная скорость груза

$r$  – горизонтальная проекция отклонения груза от точки покоя

$h$  – высота, на которую был поднят груз

$m$  – масса груза, равна 0.098 кг

$a$  – ускорение груза

$F$  – разгонная сила, проекция силы тяги на траекторию

$E$  – кинетическая энергия поступательного движения груза

$A$  – работа по подъёму груза на высоту  $h$

$p$  – линейный импульс груза

1. Период обращения светового пятна вокруг метки во время максимального отклонения груза от состояния покоя ( 28 — 30 сек. от начала движения) составил 3.17 сек. Тогда угловая скорость  $\omega$  составит:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{3.17\text{ с}} = 1.982\text{ с}^{-1} \quad (4)$$

2. Максимальное отклонение груза от точки покоя составило 0.162 м. Максимальная скорость, которую развил груз, рассчитана следующим образом:

$$v = r \cdot \omega = 0.162\text{ м} \cdot 1.98\text{ с}^{-1} = 0.321\text{ м/с} \quad (5)$$

3. Кинетическая энергия поступательного движения, приобретённая грузом, составляет:

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{0.098\text{ кг} \cdot (0.321\text{ м/с})^2}{2} = 5.052 \cdot 10^{-3}\text{ Дж} \quad (6)$$



4. Угол, на который отклонилась нить, составляет:

$$\gamma = \arcsin\left(\frac{r}{L}\right) = \arcsin\left(\frac{0.162 \text{ м}}{2.24 \text{ м}}\right) = 0.0724 \quad (7)$$

5. Высота поднятия груза рассчитана следующим образом:

$$h = L \cdot (1 - \cos(\gamma)) = 2.24 \text{ м} \cdot (1 - \cos(0.0724)) = 5.868 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (8)$$

6. Работа по подъёму груза рассчитана следующим образом:

$$A = m \cdot g \cdot h = 0.098 \text{ кг} \cdot 9.8 \text{ м/с}^{-2} \cdot 5.868 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 5.636 \cdot 10^{-3} \text{ Дж} \quad (9)$$

7. Линейный импульс, приобретённый грузом, составил:

$$p = m \cdot v = 0.098 \text{ кг} \cdot 0.321 \text{ м/с} = 3.146 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м/с} \quad (10)$$

8. Судя по *Графику 1* максимальное ускорение груза по всей видимости имело место в первую секунду движения. Однако достоверно рассчитать его не представляется возможным, так как на этом временном интервале собственные маятниковые колебания лазерной указки мешают с приемлимой точностью определить радиус отклонения и угловую скорость груза. Поэтому ускорение рассчитано на втором участке разгона для интервала времени с 10-ой по 12-ую секунду от начала движения.

$$v_{10} = r_{10} \cdot \omega_{10} = 0.025 \text{ м} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{4.1 \text{ с}} = 0.0383 \text{ м/с} \quad (11)$$

$$v_{12} = r_{12} \cdot \omega_{12} = 0.057 \text{ м} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{4.54 \text{ с}} = 0.0789 \text{ м/с} \quad (12)$$

Тогда среднее ускорение можно посчитать следующим образом:

$$a = \frac{v_{12} - v_{10}}{\Delta t} = \frac{0.0789 \text{ м/с} - 0.0383 \text{ м/с}}{2 \text{ с}} = 0.0203 \text{ м/с}^2 \quad (13)$$

9. Средняя разгонная сила, которая действовала на груз на данном интервале времени, составляет:

$$F = m \cdot a = 0.098 \text{ кг} \cdot 0.0203 \text{ м/с}^2 = 1.988 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \quad (14)$$

## Обсуждение

В проведённом эксперименте груз пришёл в движение без явного приложения внешних сил и без использования реактивного отброса вещества. При этом движение не носило характера маятниковых колебаний. Можно утверждать, что данный эксперимент продемонстрировал наличие собственной тяги у гироскопа, подвешенного на нити одним концом оси вращения диска. Подобную тягу предлагается назвать *гироскопической тягой*, а данный феномен — *эффектом Лэйтвейта*.

Подвешенный груз (гироскоп, шайба и лазерная указка) двигались по спиралевидной траектории. Центр спирали соответствует точке, в которую проецируется нить подвеса в состоянии покоя. Спираль закручена в сторону прецессионного поворота гироскопа. На протяжении первых 30-ти секунд движения радиус спирали волнообразно увеличивался. После 30-й секунды радиус спирали волнообразно уменьшался, что связано с уменьшением угловой скорости вращения диска гироскопа.

Путём проведения альтернативного эксперимента установлено, что гироскопическая тяга возникает только в условиях прецессии.

В результате эксперимента получены временные зависимости для следующих величин:

- радиус отклонения груза от точки покоя
- угол поворота груза вокруг точки покоя относительно выбранной полярной оси
- угол ориентации оси гироскопа относительно той же полярной оси
- скорость изменения радиуса отклонения
- угол между осью гироскопа и нормалью к траектории
- период обращения светового пятна вокруг метки
- период прецессионного поворота гироскопа

Произведён расчёт максимальной кинетической энергии груза, работы по поднятию груза, максимального линейного импульса. Для одного участка траектории рассчитаны ускорение и сила разгона как проекция силы тяги на траекторию.

С точки зрения преобразования энергии можно говорить о том, что к 30-й секунде с начала движения кинетическая энергия вращения диска гироскопа перешла в кинетическую энергию поступательного движения груза (46%) и в работу по поднятию груза, она же прирост потенциальной энергии (54%). В отличие от маятниковых колебаний, где кинетическая энергия переходит в потенциальную и наоборот, в проведённом эксперименте наблюдался прирост как потенциальной энергии так и кинетической энергии поступательного движения.

Рассматривая динамику импульса, можно говорить о том, суммарный импульс материальной системы груза в начальный момент движения был равен нулю. (Известно, что суммарный импульс материальных точек вращающегося диска равен нулю, а остальные части груза, такие как корпус гироскопа, шайба и лазерная указка, в начальный момент движения находились в состоянии покоя.) В момент максимального отклонения груза от точки покоя линейный импульс груза составил 0.003146 кг·м/с.

Несомненный интерес для исследователя представляет волнообразный характер изменения радиуса отклонения. На первый взгляд может показаться, что гироскопическая тяга нестабильна. Однако детальный анализ полученных зависимостей показывает, что это не так. Из зависимостей, представленных на *Графике 4* видно, что скорость изменения радиуса отклонения хорошо коррелирует со значением угла между осью гироскопа и нормалью к траектории движения груза. Положительное значение угла соответствует увеличению радиуса отклонения, то есть ускорению груза. Отрицательное значение угла соответствует уменьшению радиуса отклонения, то есть торможению. Из данного наблюдения можно сделать вывод о том, что **ускорение и замедление груза обусловлены изменением направления вектора гироскопической тяги**. Скалярная же величина тяги плавно уменьшается с падением угловой скорости вращения диска гироскопа.

Изменение направления вектора гироскопической тяги носит периодический характер. *График 5* показывает, что причина этого заключается в периодическом характере разницы между угловой скоростью прецессионного поворота оси гироскопа и угловой скоростью движения груза вокруг точки покоя. Фактически имеет место периодический саморегулируемый процесс с отрицательной обратной связью и звеном запаздывания, который минимизирует разницу упомянутых угловых скоростей. Фазы этого процесса представлены на *Рисунке 4*.

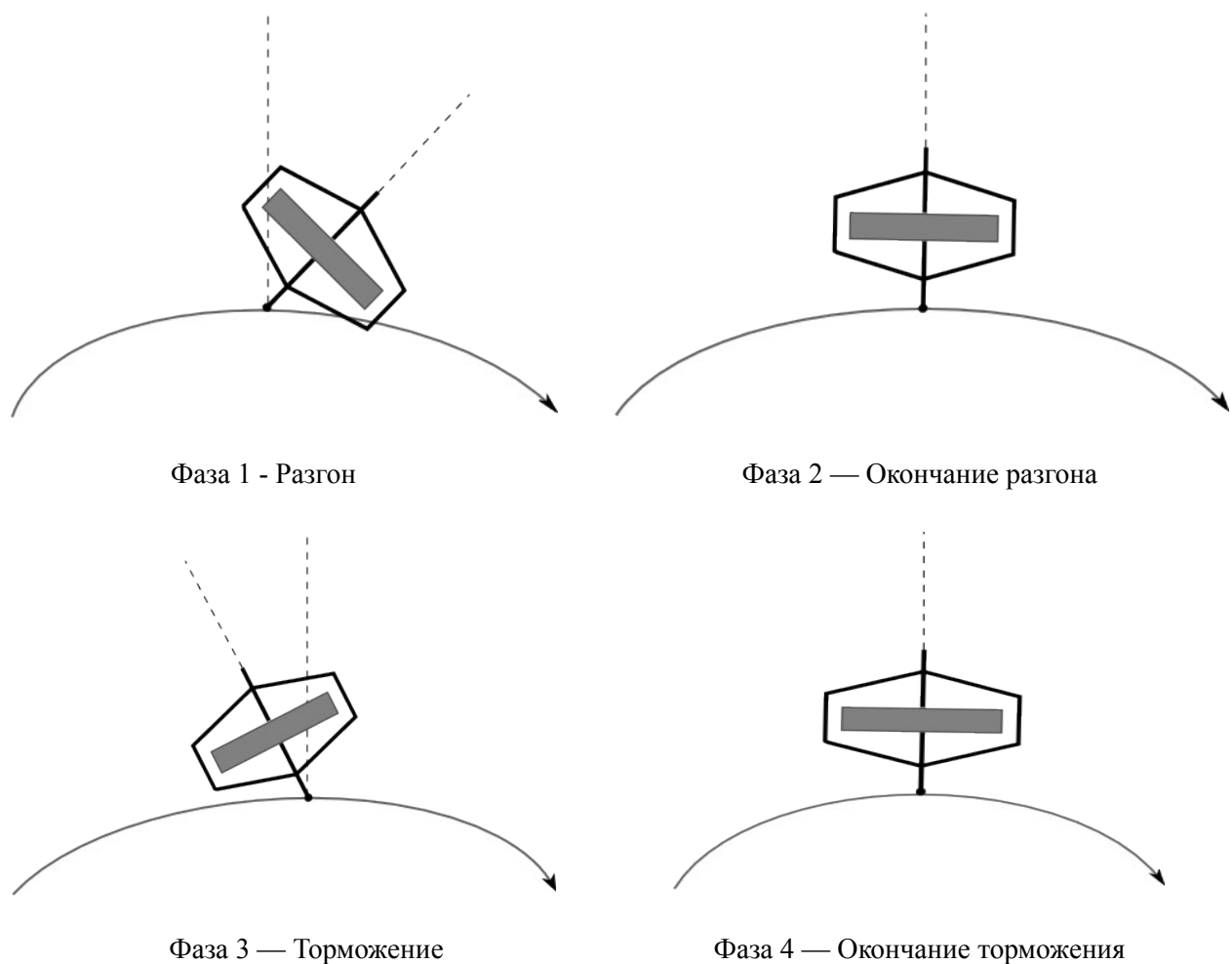


Рисунок 4. Вид сверху.

Поскольку гироскоп подвешен на нити и прецессирует свободно, то его угловая скорость не совпадает с угловой скоростью движения груза. При разгоне (Фаза 1) ось гироскопа ориентирована в сторону движения. Груз разгоняется и угловая скорость движения груза увеличивается, в результате чего ось гироскопа начинает “отставать”. Вектор тяги поворачивается в сторону противоположную движению, переходя в Фазу 2, а затем и в Фазу 3, и таким образом начинает тормозить груз. В результате торможения угловая скорость движения груза уменьшается, и теперь “отстаёт” груз. Вектор тяги поворачивается в сторону по движению, переходя в Фазу 4, и затем в Фазу 1.

Следует отметить, что в первые 30 секунд движения, когда энергия вращения диска гироскопа была достаточно велика, абсолютное значение угла между осью гироскопа и нормалью к траектории для Фазы 1 в среднем превышало аналогичное значение для Фазы 3, что и обусловило общий разгон груза. Это хорошо видно из *Графика 4*.

Наличие гироскопической тяги можно было бы доказать одним только фактом приращения импульса груза. Однако анализ причин волнообразного характера динамики радиуса отклонения, проведённый автором, является ещё одним и очень наглядным доказательством наличия гироскопической тяги

Кроме того, проведённый анализ позволяет сделать вывод о том, что вектор тяги направлен вдоль оси вращения диска гироскопа в сторону от точки крепления, как это показано на *Рисунке 5*.

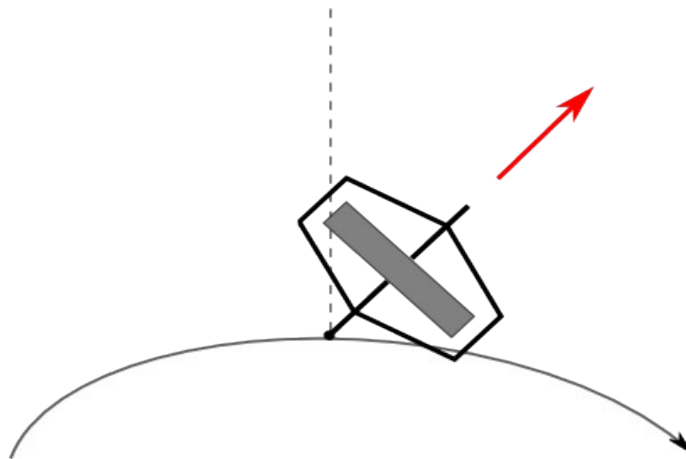


Рисунок 5.

Основываясь на законе сохранения импульса, можно сделать следующие выводы:

- Материальная система груза не является замкнутой.
- Сила гироскопической тяги является внешней силой по отношению к грузу.
- Эта внешняя сила индуцируется материальной системой груза.

Несмотря на то, что последние выводы звучат довольно смело, можно привести примеры физических эффектов, в которых можно наблюдать похожее явление: это эффекты Брауна и Серла. В наиболее чистом виде опыты, демонстрирующие эффекты Брауна и Серла, были поставлены и описаны Валерием Делямуре [2][3].

В научно-популярной литературе для подобных явлений часто используется термин “безопорная тяга”. Такой термин представляется некорректным, так как нарушает причинно-следственные связи и закон сохранения импульса. В случае эффектов Лэйтвейта, Брауна и Серла никакой “безопорной тяги” нет, а есть незамкнутая материальная система, к которой приложена внешняя сила, индуцированная этой материальной системой.

Для объяснения физической природы эффекта Лэйтвейта автор предлагает гипотезу, основанную на эфирной теории. В рамках этой теории эфир представляет собой сверхупругую жидкость, обладающую давлением [4]. В случае эффекта Лэйтвейта, перед диском прецессирующего гироскопа образуется область низкого эфирного давления. Гироскоп выдавливается в эту область более высоким давлением эфира, действующим на гироскоп с других сторон. Другими словами, предполагается, что *сила гироскопической тяги имеет архимедову природу*.

Стоит также заметить, что несомненным достоинством опыта, проведённого автором, является его простота и низкий бюджет. Такой опыт можно легко поставить дома или в школьном кружке.

Фрагмент видеозаписи эксперимента доступен к просмотру на YouTube [5].

### **Благодарности**

Автор выражает благодарность Олегу Гриню, Ирине Лефтеровой, Оксане и Кириллу Голушко за помощь в проведении эксперимента. Автор признателен Кариму Хайдарову за обсуждение проведённого эксперимента и моральную поддержку работы автора.

### **Ссылки**

[1] Eric Lathwaite's lecture on gyroscopes part 5/7, 1974,

<http://www.youtube.com/watch?v=WCLLGqvpp7o&feature=related>

[2] В.П.Делямуре, “Эффект Брауна: экспериментальное подтверждение”, 2004,

<http://n-t.ru/tp/ns/eb.pdf>

[3] В.П.Делямуре, “Эффект Серла”, 2004, <http://n-t.ru/tp/ns/es.pdf>

[4] Карим А. Хайдаров, “Эфирная механика”, 2004, <http://bourabai.narod.ru/mechanics.htm>

[5] Experiment on detecting gyroscopic thrust, 2010, <http://www.youtube.com/watch?v=GW13FqpobYI>