

М.И. Изотов

Простые физические эксперименты

Редакция 06.05.2020

Москва

2020

Оглавление

Введение	3
Общая цель	3
Механика	4
Послушная катушка	4
Самодвижущаяся катушка. «Трактор»	11
Маятник на свободной платформе	13
Аэродинамика.	30
Пропеллер на зубочистке	30
Свободное вращающееся крыло – условный бумеранг	32
Летающий цилиндр	34

Введение

Все опыты проводятся на основе простых моделей из подручного материала: деревянных реек, гвоздей, бумаги, тонкого картона, пластиковых бутылок и т.п. Некоторые изготавливаются просто, над некоторыми надо поработать тщательно. Большинство изготавливаются достаточно быстро, и при этом хорошо иллюстрируют физические законы. Надо иметь в виду, что даже самые простые опыты с внешне примитивными моделями открывают нам сложные физические явления, лежащие в их основе.

Общая цель

Развить мышление и моторику.

Закрепить имеющиеся и сформировать новые знания.

Сформировать у ученика веру в собственные силы и возможности.

Сформировать простые умения обработки материалов.

С пользой поиграть.

Для достижения этих целей очень желательно, чтобы ученик все делал сам. Взрослый только показывает, как правильно сделать. При работе с инструментом надо соблюдать правила безопасности труда.

То же самое относится к интерпретации результатов.

Понятно, что чего-то ученик может не знать, даже если он увлекается физикой. Значит, надо ему помочь, объяснить.

Простые эксперименты, особенно если они самодельные, чрезвычайно увлекательная вещь, именно из них рождаются живые знания.

Механика

Послушная катушка

Цель

Экспериментально показать наличие мгновенной оси вращения, действие моментов сил, действие и значение для движения силы трения.

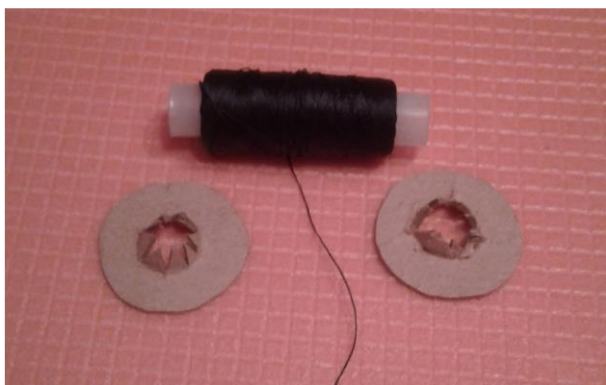
Модель

Это катушка. Раньше это могла быть деревянная катушка с нитками, но теперь их не выпускают. Поэтому делаем сами.

Порядок изготовления

Можно сделать из стержня или из отрезка трубки диаметром 10 – 20 мм и двух крышек от пластиковых бутылок или пары кружков диаметром 30 – 60 мм, вырезанных из толстого картона. Можно использовать современную намотку ниток на трубочку. Изготовление простое, только нужно обязательно соблюдать правила безопасности труда, не работать режущим и колющим инструментом «на руку».





На готовую катушку в середине наматывается несколько метров толстой нитки или тонкого шнура.



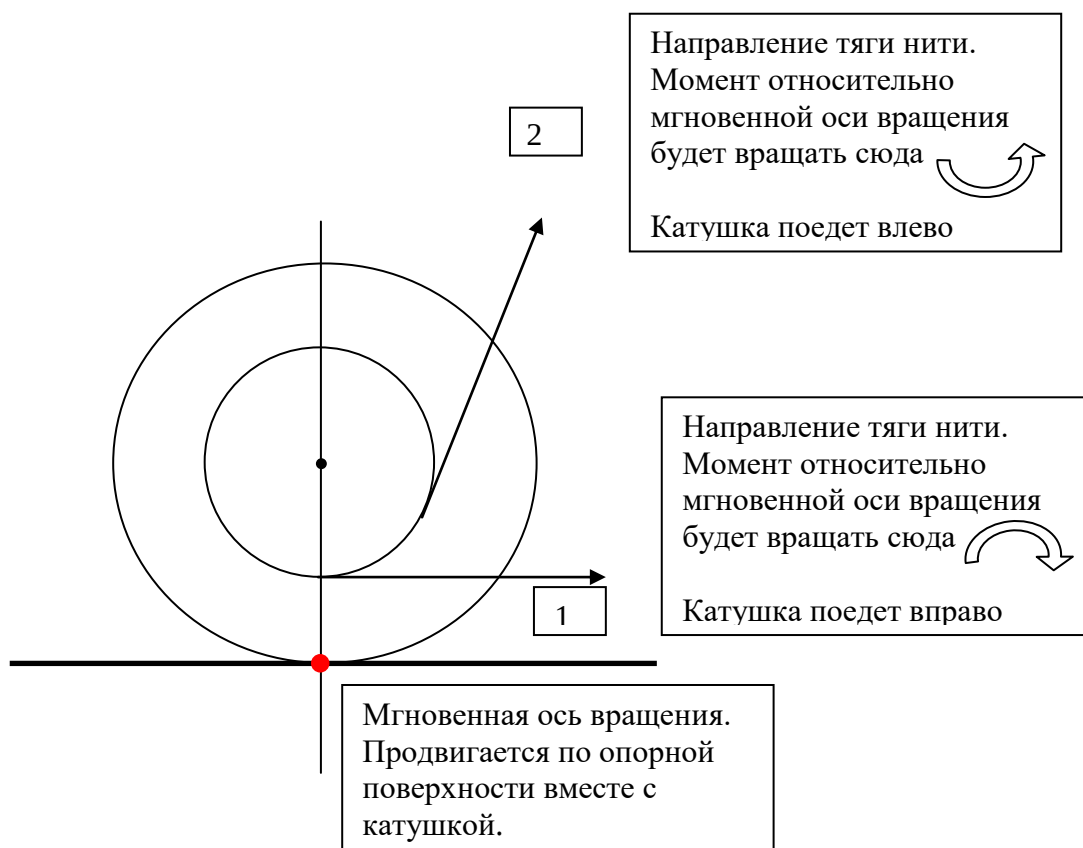
Ход эксперимента

Натягивая нитку под разным углом к горизонту, можно обнаружить, что катушка движется, и её движение меняется: она может вращаться в разные стороны и передвигаться то к экспериментатору, то от него.

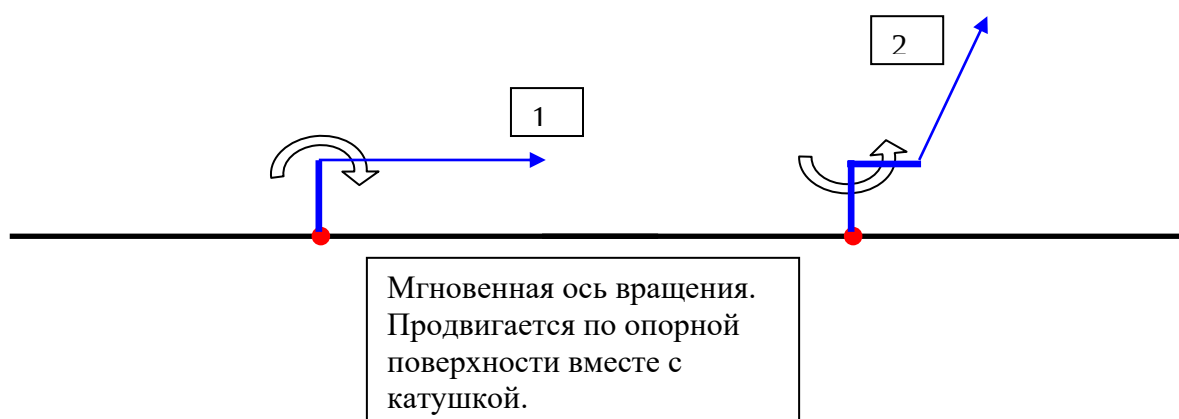
Интерпретация результатов

Все дело в том, что катушка при движении имеет мгновенную ось вращения по линии контакта с поверхностью. Собственная ось катушки движется поступательно. Конечно, катушка вращается вокруг нее, но главное то, что катушка в каждый момент времени имеет осью вращения линию контакта. Просто эта линия постоянно перемещается (если нет проскальзывания). Источником вращения является сила натяжения нити. В зависимости от направления момента вращения относительно линии контакта (на проекции –

точки), происходит движение катушки в ту или иную сторону. То есть, рассматривается момент силы натяжения нити относительно мгновенной оси вращения. Это понятие – мгновенная ось вращения – весьма важно для понимания многих явлений.



Чтобы было еще понятнее, забудем на некоторое время о катушке, оставим только схему плеч, к которым приложены силы.



Продолжение эксперимента - 1

В ходе эксперимента можно заметить, что катушка довольно часто проскальзывает, особенно, когда нитка поднята высоко.

Проскальзывание дает основание предположить, что мала сила трения. Увеличить её можно увеличив вес катушки ($F_{\text{тр}} = kN$, где k – коэффициент трения, N – нормальная реакция опоры, в данном случае численно равна и противоположна по знаку разности веса катушки и проекции силы натяжения нити на вертикаль). Увеличить вес можно любым способом, например, поместив в трубку оси гвозди.



Повторив эксперимент, можно отметить значительное улучшение ходовых свойств катушки.

Можно пойти дальше. Если в доме есть гантели, то использовать в качестве катушки их и их детали, если гантели разборные.



И вот тут-то можно удивиться, какие замечательные у них ходовые качества. Только осторожно, ими и разбить что-нибудь не трудно.

Интерпретация результатов

Мгновенная ось вращения возникает только при наличии трения. Без трения её не будет, и катушка будет стоять на месте, что хорошо видно при использовании легкой катушки, особенно если и поверхность, и её колесики скользкие.

Отсюда следует, что для любого движения то самое трение, с которым мы обычно боремся, играет определяющую положительную роль. Не будет трения – весь транспорт встанет. Именно трение толкает вперед колесо автомобиля. Как раз сила трения, приложенная к колесу со стороны опорной поверхности (асфальта, например) направлена в сторону движения. Попробуйте расписать силы, приложенные к колесу, и вы в этом убедитесь.

Продолжение эксперимента - 2

При проведении эксперимента естественным образом возникает вопрос – а влияет ли на поведение катушки

соотношение диаметров оси и щёчек катушки? И если влияет, то каким образом и как это объяснить?

Эту часть эксперимента можно провести мысленно, с использованием схемы сил и рычагов их действия. Но лучше, все-таки, овеществить мысль.

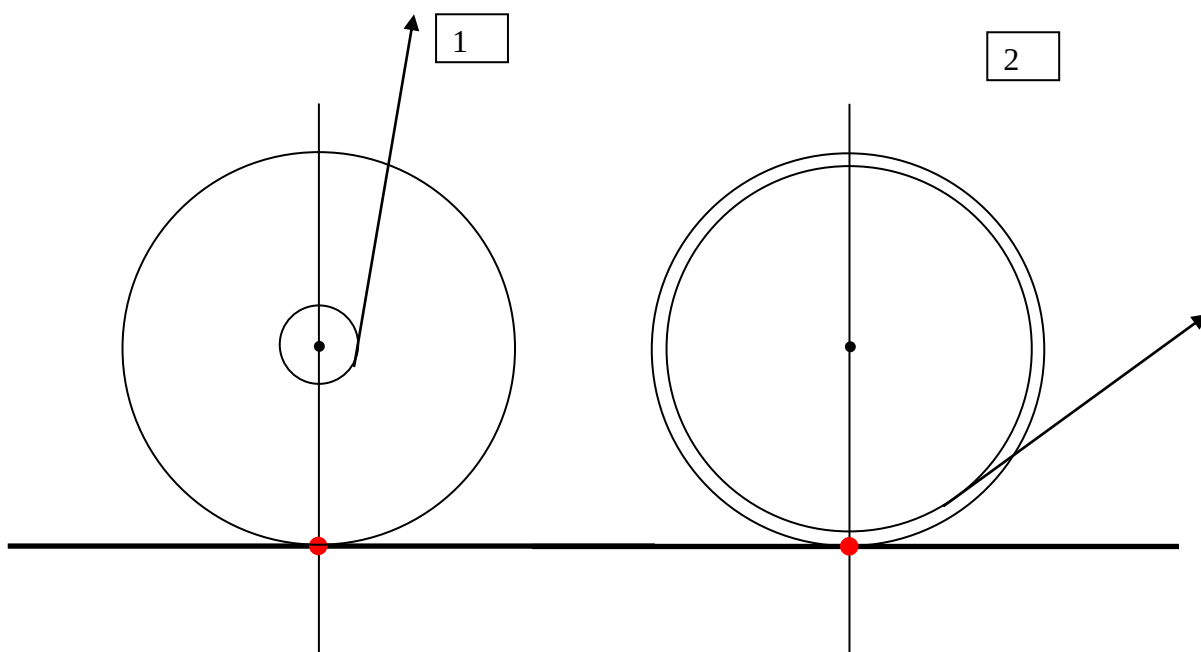
Можно сначала предсказать результат, потом провести экспериментальное подтверждение. Можно наоборот – сначала попробовать разные соотношения, причем проще менять щечки на одной и той же оси, а потом объяснить полученные результаты.

В ходе этой части эксперимента устанавливается, что чем тоньше ось относительно диаметра щёчек, то есть, чем больше соотношение диаметров оси и щёчек, тем охотнее катушка едет к экспериментатору и тем хуже от него – нитку приходится приводить ближе к вертикали. И наоборот, чем ближе диаметры оси и щёчек, то есть, их соотношение меньше, тем легче катушка едет от экспериментатора, угол наклона нитки к горизонту требуется меньший. На фотографиях выше, кстати, показаны катушки с разными соотношениями диаметров.

Интерпретация результатов

Это вопрос прохождения линии действия силы относительно мгновенной оси вращения и получения соответствующих моментов силы натяжения нити.

1. Диаметр оси стремится к нулю. Угол нити для движения от экспериментатора стремится к вертикали.
2. Диаметр оси стремится к диаметру щечек. Угол нити для движения от экспериментатора стремится к горизонтали.



Вопрос: как, через какие точки, проходит линия, при переходе через которую происходит смена направления движения катушки?

Маленькая подсказка: понятно, что это касательная к оси, поскольку нить на неё намотана, а дальше – через какую точку она пройдет?



Самодвижущаяся катушка. «Трактор»

Цель

Экспериментально показать наличие мгновенной оси вращения, действие моментов сил, действие и значение для движения силы трения.

Модель

Это та же самая катушка, у которой внутри осевой трубки протянута кольцевая резинка (аптечная, например) и устроен рычаг – движитель, с помощью которого резинку предварительно закручивают, а затем он, опираясь на пол, заставляет катушку катиться.

Порядок изготовления

Взять ранее изготовленную катушку, резинку, пуговицу, рычаг из щепки длиной примерно в катушку и маленькую щепку – шкворень, который будет размещаться с противоположной стороны, и удерживать резинку. Со стороны шкворня на осевой трубке полезно сделать углубление, чтобы он не прокручивался. Торец осевой трубки со стороны пуговицы очень полезно натереть свечкой для уменьшения трения. Колеса можно «обуть» в нескользкую изоляционную ленту, чтобы увеличить трение с полом. Резинку можно продернуть в ось с помощью проволочного крючка или нити. Если резинка длинная, то ее можно сложить вдвое, пусть она будет слегка натянута в исходном положении. Можно взять не кольцевую резинку, а прямую и связать ее концы. Не забыть предварительно пропустить крючок или нить через пуговицу. В пуговице убирается середина.



Ход эксперимента

Закрутить резиномотор рычагом – двигателем. Поставить модель на ровную поверхность и отпустить. Если все сделано правильно, она поедет.

Интерпретация результатов

Вращение, обеспечиваемое резиномотором через рычаг, плюс трение между колесами и опорной поверхностью. Направление силы трения, приложенной к колесу со стороны поверхности – по ходу движения. То есть толкает наш «трактор» именно сила трения!

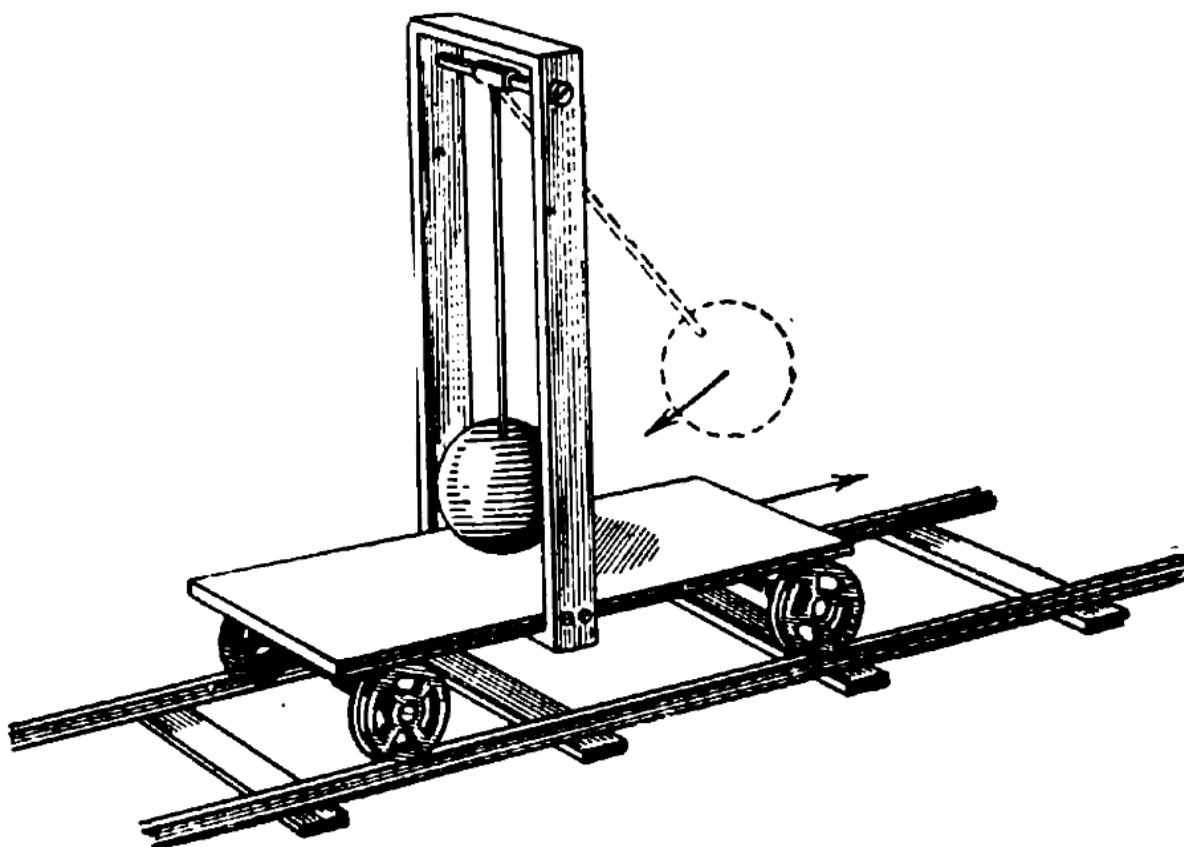
Маятник на свободной платформе

Цель

Экспериментально показать действие закона сохранения количества движения (импульса).

Модель

Классическая экспериментальная модель – это свободно движущаяся тележка на колесиках, установленная на горизонтальные рельсы. Колебания маятника вызывают вынужденные колебания тележки.

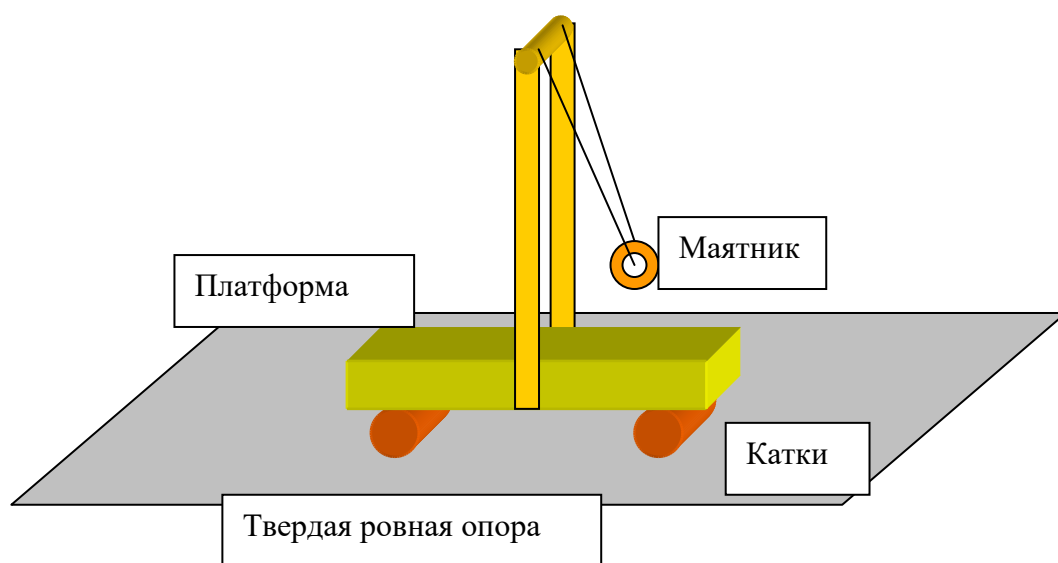


На рисунке показана тележка физической лаборатории МГУ. Такую модель в домашних условиях изготовить практически невозможно – где брать хорошо отцентрированные колесики с минимальным трением, рельсы, как установить их строго горизонтально?

Поэтому для домашнего изготовления модель модифицируется.

Модифицированная модель 1

Колесики можно заменить катками, их сделать проще. В качестве ровной поверхности можно использовать стол, сейчас делают весьма гладкие столешницы, покрытые пластиком, платформу сделать деревянную и отстрогать её нижнюю поверхность рубанком или подобрать готовую плоскость, взяв деталь от старой мебели, предназначенной на выброс. В общем, варианты можно найти.



Забегая вперед, скажем, что эта модель сохранит один принципиальный недостаток данной схемы эксперимента (какой?), но шансы сделать рабочее устройство при должной аккуратности есть.

Порядок изготовления

Прежде чем начинать делать эту модель, надо обязательно убедиться в том, что вам доступны очень ровная плоскость, очень круглая труба и очень ровная хотя бы с одной стороны досочка, или вы можете все это изготовить. Здесь использовано расплывчатое и не инженерное выражение «очень ровная», «очень круглая». Почему? Потому что это зависит от размеров самой модели. Если модель небольшая,

предположим, 200 мм по характерному габариту, то и допуски по форме небольшие, порядка 0,1 – 0,2 мм. Увеличение размера и веса модели позволит несколько снизить требования к допускам.

Предположим, все есть, можно начать изготовление.

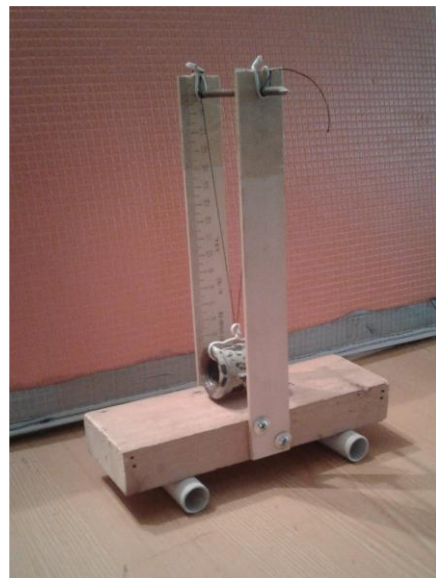
Платформу надо выровнять любым доступным способом и отторцевать, то есть ровно обрезать ножовкой торцы в размер.

Стойки портала для подвеса маятника делаются из тонких реек, в конкретном примере ниже они сделаны из старой линейки. Их внешний вид роли не играет, можно хоть из веток сделать. Верх портала сделан просто из гвоздя подходящего размера. Поскольку линейка тонкая, а отверстие под гвоздь имеет большой диаметр, куда гвоздь должен входить с натягом, край линейки укреплен скотчем втугую. Отверстия под нижние шурупы делаются на одну – две десятые миллиметра больше диаметра шурупов.



Детали собираются в изделие: боковые рейки портала закрепляются шурупами (для этого в боковой части платформы надсверливаются отверстия), верхняя ось портала закрепляется любым способом. В качестве маятника

используется массивное тело. В данном случае это старая сантехническая муфта, которая подвешена на двух нитях. Катки делаются из трубки, здесь использована электротехническая диаметром 16 мм.



Опорная плоскость, на которой установлена модель, выравнивается горизонтально. Поскольку любой уровень имеет неизбежную погрешность, то выравнивать надо с его поворотом на 180 градусов, усредняя эту погрешность.



Для улучшения условий эксперимента можно подложить, если найдется, ровную гладкую не широкую планку.



Ровная
гладкая
планка

Ход эксперимента

Удерживая платформу, отвести маятник в сторону и отпустить одновременно и маятник и платформу. Маятник начнет свои качания, а платформа будет колебаться в противофазе. Сразу отметим, что добиться устойчивого динамического состояния будет нелегко. Однако, возможно – [смотрим здесь](#).

Интерпретация результатов

С одной стороны, все совершенно понятно – закон сохранения количества движения в действии. Маятник движется в одну сторону, в соответствии с этим законом тележка должна пойти в другую, центр масс системы по горизонтальной координатной оси должен остаться на месте. Движения по вертикали нет, поскольку существует опора, которая его ограничивает. Поэтому по вертикали центр масс совершает колебательные движения, поднимаясь и опускаясь вместе с маятником.

При видимой простоте, этот опыт порождает не простые вопросы.

Вопрос первый.

Почему в эксперименте часто бывает так, что тележка не колеблется равномерно из стороны в сторону, а начинает съезжать в какую-нибудь одну и двигаться рывками?

Конечно, хорошо бы, чтобы читатель нашел ответ сам, а уже потом прочитал написанное далее.

Ответ. Две причины. Первая.

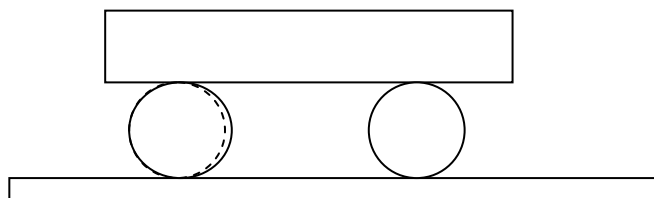
Очень важна синхронность отпускания маятника и платформы. Если промедлить с платформой, то как раз и создадутся условия для ее движения в сторону, поскольку начальный

импульс системы будет уже не нулевой. Эту причину можно устранить, синхронизируя свои действия.

Вторая.

Существует три вида равновесия: устойчивое, безразличное и неустойчивое. Безразличное равновесие – это некий абстрактный миф, переходной этап от неустойчивого к устойчивому. В реальности его нет. Любая флуктуация частей системы ведет к ее переходу либо сразу в состояние устойчивого либо в состояние неустойчивого, а из последнего все равно в состояние устойчивого равновесия. Поэтому любая неровность на плоскостях и катках, любой самый минимальный перекося плоскости ведут к съезжанию платформы.

Предположим, есть эксцентриситет (некруглость) катка. Исходное положение платформы таково, что она лежит на малой его оси.



В первом же движении она может немножко перевалить через большую ось. Все было бы ничего в идеальном случае, и платформа с обратным движением маятника вернулась бы назад, и так бывает. Но энергия маятника расходуется на преодоление трения, а в нашей самоделке оно большое. На обратный ход в какой-то момент энергии может не хватить. А на продвижение дальше при следующем качании, поскольку с высокой точки, хватит. Вот платформа и поехала. С этим в домашних условиях справиться крайне трудно и это является принципиальным недостатком данной схемы

эксперимента, который ограничивает его постановку в домашних условиях.

Вопрос второй. Изменится ли частота колебаний маятника на вовлеченной в колебательные движения платформе, по сравнению с частотой колебаний на неподвижной платформе? Можно сначала попытаться ответить на этот вопрос на основе экспериментальных данных, потом – сформулировав и решив задачу. Можно и наоборот.

Посчитать колебания и узнать период в случае подвижной и неподвижной платформы можно непосредственным подсчетом с засечкой времени секундомером. Но лучше заснять процесс, а потом в программе видеомонтажа, которая позволяет увеличить масштаб времени, поточнее отсчитать колебания и время.

Еще раз напоминаю, что мы работаем в идеологии простых домашних экспериментов, проводимых с помощью доступных средств, поэтому и съемки простые и «непричесанные». Нам важно показать суть явления, а не блеск киношных нарядов.

[Колебания на подвижной платформе на катках.](#)

[Колебания на неподвижной платформе.](#)

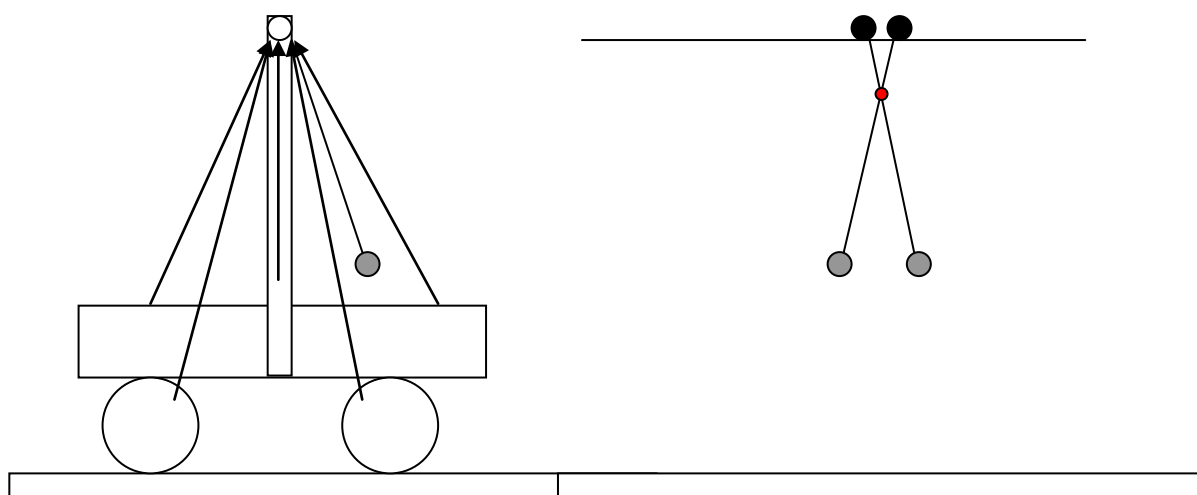
Анализ проводился в программе Sony Vegas 13, которая позволила получить покадровую подробность времени, то есть, порядка 0,033 секунды.

Исключив первое и отсчитав 10 колебаний, получим для подвижной платформы 6,24 секунды для 10 колебаний, или период 0,624 секунды.

Аналогичным образом для неподвижной получим период 0,78 сек.

Почему?

Качественно это можно понять так, что ранее неподвижная ось колебаний начинает колебаться в такт движению маятника, но в противофазе. Поскольку модель считается жесткой, то можно мысленно перенести всю массу тележки в верхнюю ось портала. Как будто бы она ездит по верхним рельсам.



Все горизонтальные силы останутся прежними, в чем можно убедиться, самостоятельно разрисовав картинку. Вертикальное движение ограничено опорой. Поскольку имеется закон сохранения количества движения, то центр масс системы должен оставаться неподвижным по горизонтальной оси координат.

Важно! В процессе решения задачи мы делаем несколько важных допущений. Сами они перечислены здесь, а вот несколько слов о роли допущений сказано в конце описания этого эксперимента.

Система координат так называемая «лабораторная», то есть связанная с помещением, считаем ее инерциальной.

Колебания маятника считаем малыми.

Подвес нерастяжимым.

Трение не учитывается.

Поскольку маятник теперь колеблется около центра масс, то становится понятным, что в случае с движущейся тележкой неподвижная точка (строго говоря, условно неподвижная, см. вопрос три и замечания о допущениях) – ось колебаний маятника смещается в этот центр, то есть можно считать, что длина подвеса уменьшается. Расположение оси колебаний легко вычислить исходя из определения центра масс системы. Пусть

L – длина подвеса до оси портала;

l – длина подвеса до оси качания;

M – масса подвижного устройства;

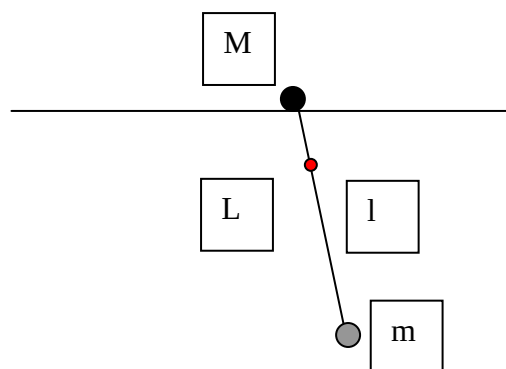
m – масса маятника.

Тогда условием нахождения центра масс будет уравнение

$$(L - l)M = lm$$

$$LM = l(M + m)$$

$$l = \frac{M}{M + m} \cdot L$$



Подставляя в формулу для периода колебаний в поле силы

тяжести $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, имеем $T = 2\pi \sqrt{\frac{\frac{M}{M+m} \cdot L}{g}}$ или $T = 2\pi \sqrt{\frac{LM}{g(M+m)}}$.

По сути дела, соотношение масс – это коэффициент изменения длины подвеса: от маятника до условно неподвижной точки – оси колебаний. Почему условно неподвижной – посмотрим третий вопрос ниже.

В Интернете можно найти два решения, но в них выброшены куски, в первом непонятно, откуда берется самое первое дифференциальное уравнение и далее все достаточно сумбурно, во втором такое впечатление, что из конечной части решения выдрана страница. Справедливости ради надо

отметить, что там готовой формулой для нахождения периода колебаний математического маятника не пользуются.

<https://yandex.ru/video/preview/?filmId=15308563644472152877&text=%D1%8D%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%20%D1%81%20%D0%BC%D0%B0%D1%8F%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%BC%20%D0%BD%D0%B0%20%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%B6%D0%BA%D0%B5&path=wizard&parent-reqid=1587366829670542-1721782643074371992800300-production-app-host-sas-web-yp-185&redircnt=1587366866.1>

<https://earthz.ru/solves/Zadacha-po-fizike-1461>

Проверим совпадение наших расчетов и экспериментальных данных. Длина подвеса маятника 154 мм, масса 83,2 г, масса движущейся части (платформа с порталом и катками) 168,4 г.

Неподвижная платформа, масса движущейся части
бесконечность – $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$. Подставляем:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{0,154}{9,8}} = 0,787 \text{ сек} .$$

Подвижная – $T = 2\pi \sqrt{\frac{LM}{g(M + m)}}$. Подставляем:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{0,154 \cdot 0,1684}{9,8(0,1684 + 0,0832)}} = 0,644 \text{ сек} .$$

Видим очень хорошее совпадение экспериментальных и теоретических результатов.

Платформа \ Период	Теоретический	Экспериментальный
Неподвижная	0,787	0,780
Подвижная	0,644	0,624

Посчитано, конечно, с избыточной точностью, но округлить – то всегда можно.

Наличие трения должно было бы увеличить экспериментальный период, но, видимо, оно не столь уж велико, и погрешность эксперимента перекрывает это увеличение.

Хочу выразить благодарность моему постоянному оппоненту, назовем его условно Юрием Алексеевичем, чтобы никто не догадался кто это, в дискуссии с которым были намечены первичные контуры вышеприведенного решения.

Вопрос третий.

Что будет с траекторией движения маятника?

Казалось бы, почему такой вопрос может вообще возникнуть?

Есть ось качания, есть подвес постоянной длины. Но тут надо задумать о том, что ведь системы координат могут быть разными. Да, в системе координат тележки это, действительно, так. Ось, подвес – никуда не денешься. Кстати попутный вопрос, а почему тогда период меняется? Попробуем ответить на него позже, а пока возвращаемся к вопросу о траектории.

В лабораторной системе координат при движении тележки, осью колебаний становится другая точка. Если бы масса, мысленно сосредоточенная вверху, двигалась по дуге, как и маятник, то центр масс системы оставался бы на месте: маятник опускается, мысленно сосредоточенная масса поднимется. Но дело в том, что в реальности она движется прямолинейно! Значит, центр масс системы колеблется в вертикальной плоскости. Отсюда становится понятно, что заданный выше вопрос о траектории движения маятника в лабораторной системе координат правомерен. Думаю, что траектория движения маятника в этом случае изменится и

будет либо частью эллипса, либо параболой – обе кривые второго порядка. Однако, чтобы принять или опровергнуть такое предположение, надо либо написать систему дифференциальных уравнений движения маятника в лабораторной системе координат при условии вынужденных колебаний тележки, либо построить модель, на которой это явление было бы хорошо видно. Возможно, кто-то из читателей это сделает.

Вопрос четвёртый.

Выше он промелькнул как попутный.

Чем объяснить изменение периода колебаний маятника в системе координат тележки? Тут надо очень хорошо себе представлять, что мы ездим вместе с тележкой и ничего кроме того, что внутри, не видим. Там же ведь не будет смещения оси качания, длина подвеса и ось – все фиксировано.

Опять-таки, желательно хорошо сначала подумать самим, а потом читать дальше.

Дело в том, что система координат тележки (если уж быть совсем точными, то система отсчета) не является инерциальной, ибо находится в состоянии принудительных колебаний, в ней будут действовать фиктивные силы инерции и, следовательно, дополнительные ускорения. Формула для

расчета периода колебаний $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$ претерпит изменения, причем из предыдущего совершенно понятно какие: теперь коэффициент соотношения масс следует относить к ускорению

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{\frac{(M+m)}{M} \cdot g}} \quad .$$

Модифицированная модель 2

Ранее говорилось о том, что схема эксперимента имеет принципиальный недостаток, заключающийся в том, что модель находится в положении безразличного равновесия, из которого ее может вывести любая флуктуация. Можно ли что-то с этим сделать?

Первое, что приходит на ум – это создать идеальную горизонтальную плоскость без катков и колес.

Второе – а так ли нужна плоскость? Не находимся ли мы в плену инерции мышления?

Первое – плоскость. Что это может быть?

Вода.

Ничего более горизонтального и ровного (в отсутствии волнения, естественно) придумать нельзя. То есть – плавающая конструкция. Все хорошо, но у нее будут свои недостатки. Она будет раскачиваться и сама создавать волну, которая отражаясь от бортов емкости, будет интерферировать с первичной, что приведет к непредсказуемым движениям модели. Хотя – можно использовать море в полный штиль, до берегов далеко, и находясь, например, в Крыму такую модель можно попробовать.

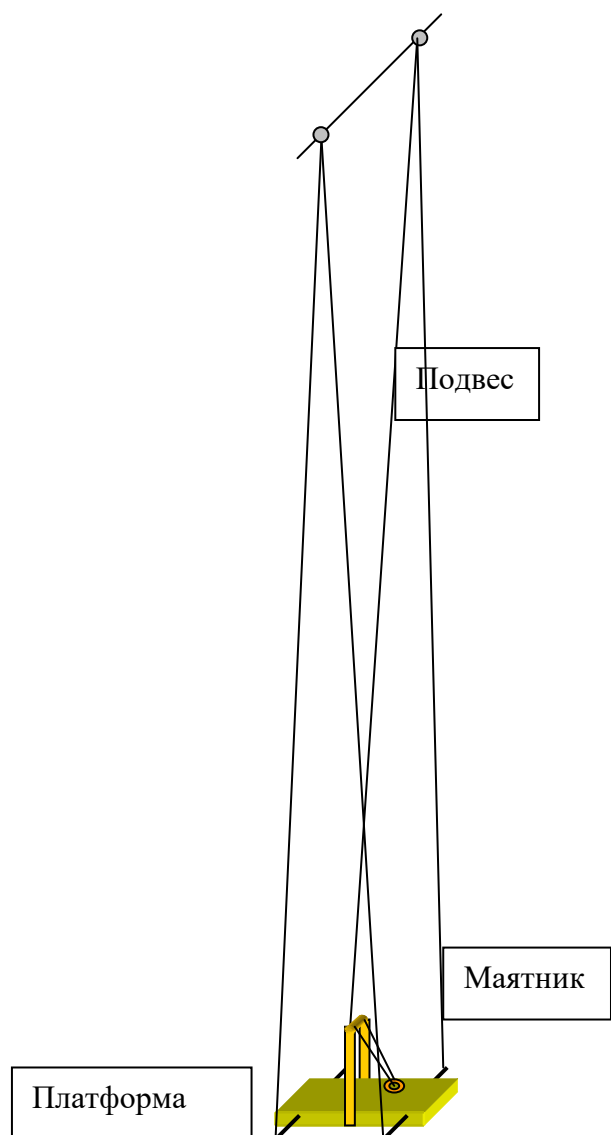
Второе.

Можно сделать модель на подвесе, который будет достаточно длинным, чтобы неизбежные случайные колебания не создавали биений, складываясь с колебаниями маятника и платформы. При этом эффект от действия закона сохранения количества движения должен просматриваться даже более отчетливо, чем в модификации 1 в силу значительно меньшего трения и флуктуаций (в отсутствии ветра). Для

этого уже не нужно море, а можно обойтись комнатой или любым другим пространством, где можно такой повес организовать.

Поскольку эта модель является модификацией первой, просто катки заменены подвесом, и в ней все понятно, то разделы Изготовление модели, Ход эксперимента и Интерпретация результатов не выделяются.

Для того, чтобы устранить валкость платформы, поскольку у исходной она узкая, а портал высокий, надо расширить базу, вбив в боковые поверхности гвоздики, за которые и осуществить двухточечный подвес, причем, тоже пошире.



Кстати, попробуйте на своей модели: маятник останавливается, если мы останавливаем платформу – это тоже действие закона сохранения количества движения.

И еще интересный вопрос: будут ли качания модели как целого инициировать качания маятника внутри неё?

Почему такой вопрос вообще возникает и откуда начинать искать ответ?

Возможно, отсюда: центр масс модели как целого и маятника как части не совпадают.

Посмотрим, каковы будут экспериментальные данные по периоду качания.

Движение модели при подвесе за платформу.

Качание маятника в неподвижной модели.

Платформа\Период	Теоретический	Экспериментальный
Неподвижная	0,787	0,790
Подвижная	0,644	0,667

Тоже неплохое совпадение. Хотя увеличение периода колебаний маятника на подвижной платформе дает основание задуматься над тем, что длинный подвес как-то влияет.

Подвес за платформу – не единственный вариант. Что произойдет, если подвесить за ось?

Давайте сначала выдвинем предположение, а потом посмотрим, что получится экспериментально.

Вдвинули? Проводим эксперимент.

Движение модели при подвесе за ось.

Экспериментальные данные по периоду качания.

Платформа\Период	Теоретический	Экспериментальный
Подвижная подвес за ось	0,787	0,820

Совпало с предположением? Как объяснить?

Наверное, тут играет роль то, что при подвесе за ось изменился процесс вовлечения платформы в колебательные движения. Стал работать длинный подвес. И он повлиял на период колебаний маятника.

Наверное, кто-то напишет соответствующие уравнения и решит задачу о периоде колебаний в этом случае.

Несколько принципиальных замечаний о допущениях

Когда мы решаем задачу, то всегда делаем некоторые допущения относительно условий ее решения, создавая идеальную модель реальной ситуации. Мы абстрагируемся от тех параметров, которые считаем не существенными.

Например, считаем лабораторную систему координат, связанную с помещением, инерциальной. Заметим, мы не говорим, что она **является** – мы говорим, что **считаем** ее таковой. Ведь, строго говоря, инерциальной системы отсчета на Земле найти невозможно, поскольку планета вращается и движется по орбите, то есть, ускоренно. Да и Солнце движется, и тоже ускоренно. И Вселенная как-то движется. Но введенное допущение позволяет упростить решение и не сильно влияет на результат.

Нерастяжимых нитей не бывает. Но что нам даст учет микронной погрешности? Для понимания явления абсолютно ничего.

И так далее. То есть, смысл всех допущений состоит в том, что если мы не будем их делать, то мы погрязнем в мелочах и никогда не поймем главного.

Степень допущений, степень ухода теоретических построений в идеальную модель ограничивается необходимой точностью

решения: если полученный результат своим соответствием реальности нас устраивает, то эти допущения можно делать. Например, в большинстве задач мы даже не задумываемся о том, что часы на поверхности Земли и на крыше дома идут по-разному. И всегда делаем неявное допущение об их соответствии. Но бывают задачи, когда даже это надо учитывать.

Для решения разных задач, вытекающих из одного и того же явления, может быть разная система допущений. Даже в нашем достаточно простом эксперименте при решении задачи о периоде колебаний маятника мы вводим допущение о том, что центр масс системы неподвижен, хотя это не совсем верно. Почему мы его делаем? Потому что мы рассматриваем малые колебания маятника. А если уж быть совсем точными, то стремящиеся к нулю. И в этом случае он действительно стремится к неподвижности. Да-да, все эти решения, что наше, что из Интернета годятся только для этого случая. Чем больше будет амплитуда, тем больше будет ошибка решения по сравнению с реальностью. А при ответе на третий вопрос мы это допущение снимаем и рассматриваем движение центра масс по вертикали.

Все зависит от того, насколько мы на основе теоретических моделей, в которых всегда есть допущения и абстракции, сможем действовать в реальности.

Аэродинамика.

Пропеллер на зубочистке

Цель

Экспериментально показать формирование подъемной силы на выпуклом профиле.

Модель

Экспериментальная модель – это маленький картонный крест с выгнутым вверх профилем. Образуется четыре крыла. Следует учитывать, что такой профиль, строго говоря, не очень хорошее крыло. Хорошие крылья – это огромная наука. Но для наших целей достаточен такой простой профиль.

Легче всего модель изготовить из тонкого твердого картона или плотной бумаги (ватман). Но могут быть и другие материалы, тонкий пластик, например.

Порядок изготовления

1. Взять квадрат плотного тонкого картона размером примерно 50 на 50 мм. Можно от какой-нибудь упаковочной коробки. Допуски большие, упираться в точный размер не нужно. Разметить диагональные лопасти шириной примерно 10 – 8 мм можно прямо от руки. Но лучше, конечно, по линейке.

2. Вырезать по разметке.



3. Придать выпуклую форму. Насадить на зубочистку.

Закрепить кусочком пластилина, каплей клея.



Ход эксперимента

Сначала бросаем модельку от груди. Она просто падает.

Затем делаем то же самое, но с закручиванием модельки за зубочистку. И она летит!

Интерпретация результатов

Интерпретация простая – возникновение подъемной силы на выгнутом вверх профиле. Закон Бернулли.

Очень хорошо, если ребенок сам сможет это объяснить.

Дополнительно можно сделать аналогичную модельку в плоскими крыльями, повернутыми вокруг собственной оси. У такой конструкции будет высокое сопротивление.



Она тоже будет летать, но по-другому: вращение будет быстро тормозиться и приобретать обратное направление при снижении. И устойчивость будет ниже. Заметим, что такие плоские крылья, работающие по принципу воздушного змея, в авиации не применяются. Может быть, только самые первые самолеты имели подобные.

Свободное вращающееся крыло – условный бумеранг

Цель

Экспериментально показать формирование подъемной силы, проиллюстрировать движение несимметричного тела со смещенным центром инерции.

Модель

Экспериментальная модель – это маленький картонный или бумажный «бумеранг» с характерным размером плеч 30 – 50 мм, шириной 15 – 5 мм. От настоящего возвращающегося бумеранга отличается тем, что у того разные поперечные профили крыльев. У нашего профили выгнуты вверх одинаково. Проще всего его изготовить из тонкого твердого картона или плотной бумаги (ватман).

Порядок изготовления

1. Взять кусочек плотного картона размером примерно 60 на 60, 60 на 70 мм. Допуски большие, упираться в точный размер не нужно.



2. Нарисовать равноплечную или неравноплечную фигуру. Если неравноплечную, то такую, у которой площади плеч примерно равны. Можно делать разные модельки.



3. Вырезать ножницами или ножом. Ножом обязательно на деревянной подкладке. Придать на пальце выпуклую форму крыльям.



Ход эксперимента

Вставить бумеранг внешним углом под палец, расположив его горизонтально, и щелчком по длинному крылу на расстоянии примерно четверти длины от конца нанести удар. Бумеранг, вращаясь, пойдет вперед и вверх.



Если был небольшой наклон к себе, то дойдя до верхней точки, он пойдет обратно, как с горки. Если наклон сделать немного в сторону, то горка получится в эту сторону.

Можно сделать разные бумеранги. Неравноплечные иногда описывают замысловатые кривые.

Можно устроить соревнование на дальность, высоту и красоту полета.

Интерпретация результатов

Интерпретация полета простая – возникновение подъемной силы на выгнутом вверх профиле. Замысловатость движения объясняется сложнее – это смещение центра инерции относительно центра масс, разная подъемная сила, действующая на неравные плечи, и тот факт, что вращающийся бумеранг является гироскопом. Из-за неравномерности обтекания воздухом его плеч и разной подъемной силы возникает прецессия гироскопа – бумеранга. Даже качественное описание явления – уже институтский курс.

Движение «на горку» и «с горки» при небольшом пусковом наклоне объясняется направлением действия подъемной силы: она в этом случае наклонена в эту же сторону.

Летающий цилиндр

Цель

Экспериментально показать действие закона Бернулли, эффект Магнуса.

Модель

Экспериментальная модель – это маленький легкий цилиндрик с характерным диаметром 10 – 15 мм, длиной около 100 мм. Проще всего его изготовить из пенопласта или аналогичного материала. При работе с инструментом соблюдать правила безопасности труда.

Порядок изготовления

1. От куска пенопласта отрезать брусочек квадратного сечения примерно 10 на 10 мм длиной примерно 100 мм. Допуски большие, упираться в точный размер не нужно. Может быть и 15 на 15, и длина может быть и 80 и 150. Единственное что – для устойчивого движения нужно большое соотношение поперечного и продольного размеров.



2. Срезать углы, получить восьмигранник. Ни в коем случае не резать «на руку». Только от руки.



3. Обкатать в круг, можно с помощью того же ножа, с соблюдением осторожности. Можно линейкой или любым плоским предметом, хоть утюгом (холодным).



4. В полученный цилиндр с торцев воткнуть пару зубочисток (пару – для симметрии, на самом деле хватает одной). Можно спички или тонкие веточки. Лучше закрепить клеем, чтобы не прокручивались.



5. Для лучшей сохранности можно обмотать скотчем. Тогда зубочистки можно закрепить им же. Но обмотка не обязательна, а иногда даже вредна.



Примечание:

Не исключены и другие материалы – выклейка из бумаги, например.

Прекрасно работает и толстый стебель травы от веника. Еще и жужжит в полете. Стебель сухого камыша тоже годится.

Ход эксперимента

Взяв в руку цилиндрик за зубочистку и расположив его параллельно груди на ее уровне, сначала просто бросают цилиндрик от груди.

Цилиндрик спокойно падает на небольшом расстоянии.

Затем производится бросок с подкрутом за зубочистку: при броске от груди большой палец, расположенный сверху зубочистки резко идет на себя, закручивая цилиндр. При удачном подкруте и разных углах расположения цилиндрика можно наблюдать совершенно чудесные полеты, которые явно отличаются от обычных падений.

Можно устроить соревнование – у кого цилиндрик будет летать красивее.

Можно сделать два цилиндрика – каждый соревнуется своим. Они могут быть разных размеров. Можно делать разные подкруты.

Интерпретация результатов

Можно напомнить о законе Бернулли, в соответствии с которым при увеличении скорости потока падает давление в газе. В начальной фазе так и происходит из-за движения руки, которая одновременно толкает цилиндрик от груди и подкручивает его пальцами. При подкруте из-за наличия трения между воздухом и поверхностью цилиндрика, воздух вовлекается в круговое движение. Получается, что скорость потока сверху выше, чем снизу, что и приводит к разности давлений. Это можно рассмотреть в любой системе координат, что связанной с воздухом, что с цилиндриком. Дальше движение становится уже немного хаотичным, но такая разность продолжает сохраняться, только поверхности могут быть уже не верхняя и нижняя, все зависит от

направления движения цилиндрика и ориентации его оси. В любом случае у одной поверхности скорость вращения складывается со скоростью поступательного движения, у другой – вычитается. Возникает разность давлений и, соответственно, сила, которая изменяет траекторию полета. Явление носит название «Эффект Магнуса».

Важно, что оно может возникнуть только в реальной среде при наличии силы трения между поверхностью цилиндрика и воздухом, которая увлекает воздух вокруг вращающегося цилиндрика. В идеальной среде без трения этого явления не будет. Отсюда – сложности в описании движения. Сложно и с ответом на вопрос, совершает ли сила, изменяющая траекторию полета, работу. Если бы мы были в идеальной среде, то эта сила в каждый момент времени была бы строго перпендикулярна направлению движения цилиндрика и работа была бы равна нулю. Но в идеальной среде без трения самой силы бы не было. В реальности из-за трения и разности скоростей по разные стороны цилиндрика, обтекание несимметрично и направление этой силы может быть не перпендикулярно движению. Поэтому однозначного ответа на этот вопрос я дать пока не могу, в чем честно признаюсь. Думаю, что работа будет, но как ее оценить количественно? На таких эффектах основаны хитрые удары в футболе, волейболе, теннисе. Но не следует думать, что там только этот эффект – в случае с шаром (мячом) все значительно сложнее. Поскольку при таких ударах он вращается, то имеет место сочетание прецессии гироскопа и несимметричного обтекания в реальном газе. Вот такие совсем простые опыты приводят нас к весьма сложным физическим явлениям.