

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»
НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ СОРЕВНОВАНИЕ
ПО ПРОФИЛЮ «ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО»

1744

регистрационный номер

_____ *ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ НАУКИ* _____

название факультета

_____ *КАФЕДРА ФИЗИКИ* _____

название кафедры

Изучение и практическое применение
силы, возникающей при обтекании
вращающегося тела потоком жидкости
или газа

Автор:

Титов Артем Александрович
ГБОУ Школа № 1580, класс 8-Ж

Научный руководитель:

Никитина Татьяна Петровна
ГБОУ Школа № 1580
учитель физики

подпись научного руководителя

Москва - 2020

Изучение и практическое применение силы, возникающей при обтекании вращающегося тела потоком жидкости или газа.

Аннотация.

Цель данного проекта – собрать модели, подтверждающие действие эффекта Магнуса.

Для достижения поставленной цели использованы методы наблюдения, эксперимента, сравнения, измерения, описания и моделирования.

В ходе работы изучено явление эффекта Магнуса, причины его возникновения. Проведены и описаны практические опыты, доказывающие существование эффекта Магнуса. Собрана модель транспортного средства, с основе движения которой лежит эффекта Магнуса. Собрана модель летательного аппарата, использующая в качестве подъемной силы тот же эффект.

Выводы.

1. Проведя ряд экспериментов, было подтверждено существование и действие эффекта Магнуса на вращающиеся сферические и цилиндрические тела в воздухе.

2. Было подтверждено, что интенсивность движения зависит от диаметра цилиндра и его угловой скорости, зависимость прямая.

3. Также было подтверждено, что действие потока воздуха влияет на выполнение удара «сухой лист» в футболе и что выполнить его могут только профессионалы высокого уровня.

4. Было выяснено, что использование силы Магнуса может применяться в кораблестроении для установки роторных цилиндров или турбопарусов как источника дополнительной энергии.

5. В перспективе использование эффекта Магнуса возможно при проектировании ветрогенераторов как способ увеличения их производительности.

Оглавление

Выводы.....	2
Цель.....	4
Задачи.....	4
Актуальность исследования.....	4
Значимость и новизна исследования	4
Гипотеза.....	5
1. Теоретическая часть.....	5
1.1. Что такое Эффект Магнуса?	5
1.2. Применение эффекта Магнуса.....	6
2. Практическая часть.....	7
2.1. Проведение опытов, доказывающих существование эффекта Магнуса.	7
2.1.1. Опыт № 1 «Падение цилиндра» (Приложение 2).	7
2.1.2. Опыт № 2. «Модель летающего ротора» (Приложение 4).....	8
2.1.3. Опыт № 3. «Отклонение пламени свечи» (Приложение 5).	8
2.1.4. Опыт № 4. «Полет футбольного мяча».	8
2.2. Сборка модели судна Флеттнера (Приложение 6).....	9
Выводы.....	11
Список использованной литературы:	11
Приложение № 1.....	12
Приложение № 2.....	12
Приложение № 3.....	13
Приложение № 4.....	13
Приложение № 5.....	14
Приложение № 6.....	14
Приложение № 7.....	15
Приложение № 8.....	15

Цель данного проекта – собрать модели, подтверждающие действие эффекта Магнуса.

Задачи

1. Узнать что такое эффект Магнуса, как он возникает.
2. Провести опыты, доказывающие действие эффекта Магнуса.
3. Подобрать необходимые материалы и инструменты для моделей.
4. Провести испытания и собрать несколько моделей транспортных средств.

Актуальность исследования.

Использование силы Магнуса может применяться в кораблестроении для установки роторных цилиндров или турбопарусов как источника дополнительной энергии. В перспективе использование эффекта Магнуса возможно при проектировании ветрогенераторов как способ увеличения их производительности. Также возможно использовать изучение эффекта Магнуса в перспективных лабораторных работах по физике в школе.

Значимость и новизна исследования

Физические эффекты присутствуют в нашей жизни повсюду; иногда они заметны невооруженному глазу, а порой их можно обнаружить лишь с помощью специального оборудования. Одним из них является эффект Магнуса. Значение этой силы учитывается в авиации при расчета подъемной силы, в промышленности при разделении каких-то веществ на составляющие, при изготовлении снарядов, пуль и многое другое. К примеру: после выстрела из нарезного оружия на пулю действуют силы вращательного движения и сопротивления воздуха. При этом вращающаяся пуля или снаряд представляют собой гироскоп, который под действием набегающего потока воздуха начинает отклоняться перпендикулярно его плоскости. Поворот происходит в сторону вращения. Это означает, что направление смещения траектории пули совпадает с направлением нарезки ствола; в большинстве стран нарезка выполнена по часовой стрелке по

спирали, значит, пуля отклоняется вправо. Такое отклонение и называется дериацией.

Новизна исследования: самостоятельное подтверждение существования эффекта Магнуса в природе, подтверждение связи между некоторыми физическими параметрами при данном виде движения, изготовление в школьных условиях моделей транспортных средств с использованием подручных материалов.

Гипотеза.

Возможно ли собрать модели, подтверждающие действие эффекта Магнуса?

1. Теоретическая часть.

1.1. Что такое Эффект Магнуса?

Генрих Густав Магнус (1802-1870гг.) — известный немецкий физик и химик. Наблюдая за полетом артиллерийского снаряда, Магнус обнаружил, странное явление. При боковом ветре снаряд отклоняется от цели вверх или вниз. Возникло предположение, что здесь не обходится без аэродинамических сил. Но каких? Ни сам Магнус, ни другие физики прошлого века не могли это объяснить.

Эффект Магнуса — физическое явление, возникающее при обтекании вращающегося тела потоком жидкости или газа. Образуется сила, действующая на тело и направленная перпендикулярно направлению потока. Это является результатом совместного воздействия таких физических явлений, как эффект Бернулли и образования пограничного слоя в среде вокруг обтекаемого объекта.

Вращающийся объект создаёт в среде вокруг себя вихревое движение. С одной стороны объекта направление вихря совпадает с направлением обтекающего потока и, соответственно, скорость движения среды с этой стороны увеличивается. С другой стороны объекта направление вихря противоположно направлению движения потока, и скорость движения среды

уменьшается. Ввиду указанных разностей скоростей возникает разность давлений, которая порождает поперечную силу. Направление силы идет от стороны, где направление вращения и направление потока противоположны, к той стороне, на которой эти направления совпадают.

На видео, сделанном учениками бауманской инженерной школы на турнире юных физиков в 2015 году, можно увидеть эффект Магнуса (Приложение 1). Течение воздуха визуализируется с помощью дыма. В начале видео хорошо видна теневая зона позади цилиндра, а далее при приведении цилиндра во вращение воздушный поток стал заметно уходить вниз.

1.2. Применение эффекта Магнуса.

Впервые эффект Магнуса использовал на практике немецкий инженер Антон Флеттнер. В 1924 году на 54-метровой шхуне «Букау» вместо трех мачт были смонтированы два роторных цилиндра. Эти цилиндры вращал дизельный генератор мощностью 45 л.с. Со стороны, где ротор вращался навстречу ветру, создавалась область повышенного давления, с противоположной — пониженного. Результирующая сила и двигала судно. Это изобретение открывало перед Флеттнером огромные перспективы. Помимо всего прочего, площадь ротора и его масса были в несколько раз меньше, чем площадь парусного вооружения, которое бы давало равную движущую силу. Ротором было намного проще управлять, да и в производстве он был достаточно дешев.

Роторами Флеттнера снова заинтересовались в 80-х годах XX в., когда ученые начали предлагать различные меры по смягчению потепления климата, снижению загрязнения, более рациональному расходованию топлива. Одним из первых о них вспомнил исследователь глубин француз Жак Ив Кусто. Для испытания работы системы турбопарусов и снижения расхода дорожающего топлива двухмачтовый катамаран «Алкиона» был переделан в роторное судно. Выйдя в морское плавание в 1985 году, он

побывал в Канаде и Америке, обогнул мыс Горн, обошел Австралию и Индонезию, Мадагаскар и Южную Африку. «Алкиона» до сих пор использует два разных движителя – два дизельных двигателя и два турбопаруса. Страница, посвящённая «Алкиону» на сайте Команды Кусто, сообщает, что турбопарус способен обеспечить экономию до 35% горючего.

С 2010 года эксплуатируется грузовое судно E-Ship 1, использующее турбопаруса в качестве вспомогательных движителей. Роторные паруса позволяют сэкономить от 30 до 40% топлива.

2. Практическая часть.

2.1. Проведение опытов, доказывающих существование эффекта Магнуса.

2.1.1. Опыт № 1 «Падение цилиндра» (Приложение 2).

Был сделан цилиндр из листа бумаги. Установлена наклонная плоскость. Цилиндр был положен на край плоскости и отпущен. Было предположено, что цилиндр покатится и упадет дальше края плоскости. Но цилиндр, вращаясь, покатился по плоскости, начал падать по дуге и приземлился под плоскостью.

Было рассмотрено движение цилиндра на схеме (Приложение 3). Если вращается цилиндр, вокруг него вращается и поток воздуха. Создается вихревое движение (красные и зеленые стрелки). Двигаясь, он встречает сопротивление воздуха (голубые стрелки). Там, где потоки совпадают, воздух движется быстрее. И, наоборот, там, где потоки движутся в разные стороны, воздух движется медленнее. По закону Бернулли там, где воздух движется быстрее, образуется область пониженного давления, а там где воздух движется медленнее, образуется область повышенного давления. Цилиндр, падая, смещается в область пониженного давления.

Вращающийся цилиндр образует в среде газа вихревое движение с интенсивностью:

$$J = 2 * S * w,$$

где

S – площадь цилиндра;

w – угловая скорость вращения цилиндра.

На опыте было подтверждено, что интенсивность движения зависит от диаметра цилиндра и его угловой скорости, зависимость прямая.

2.1.2. Опыт № 2. «Модель летающего ротора» (Приложение 4).

Для второго опыта был собран ротор из двух пластиковых стаканчиков и взята обычная бельевая резинка. Ротор приводится во вращение с помощью резинки. После запуска модель сначала резко поднимается, описывает петлю и медленно летит по наклонной линии. Вращение ротора приводит к тому, что сверху и снизу он обтекается воздухом с разной скоростью. Возникает эффект Магнуса. Наблюдается увеличение дальности полета модели, она как бы медленно парит в воздухе.

2.1.3. Опыт № 3. «Отклонение пламени свечи» (Приложение 5).

Для третьего опыта была подготовлена горящая свеча и плоскость (лист картона).

При направлении потока воздуха перпендикулярно плоскости, за ней образуется область с вихревым движением. Направление вихревого движения за плоскостью идет в центр. Чтобы в этом убедиться, нужно поместить горящую свечу за плоскость и наблюдать движение пламени.

Пламя свечи, (свечу размещаем за плоскостью), которое сдувается в сторону потоком воздуха, направляется в сторону плоскости. Если ее убрать, то видно, что пламя свечи сдувается в сторону. На опыте было подтверждено существование эффекта Магнуса и явление «подсасывания».

2.1.4. Опыт № 4. «Полет футбольного мяча».

«Закрученный» мяч летит по сложной дуге. Было подтверждено, что сделать данный удар не всем «под силу». Удар называется «сухой лист» и его могут выполнить лишь профессионалы. Данный эффект заключается в

особой силе, возникающей при обтекании вращающегося тела потоком воздуха и направленной перпендикулярно направлению потока. При вращении летящего тела – к примеру, круглого или цилиндрического – близлежащие слои воздуха увлекаются им и также получают вращение вокруг тела, то есть начинают циркулировать вокруг него. В результате тело не летит прямолинейно, а меняет направление.

2.2. Сборка модели судна Флеттнера (Приложение 6).

Для сборки модели были подобраны комплектующие:

- 1) платформа из пенопласта размером 25х30 см;
- 2) 4 пластиковых колеса из конструктора Лего;
- 3) бумажный цилиндр диаметром 9 см, высотой 21 см;
- 4) вентилятор;
- 5) 2 электромотора со скоростью вращения 30 000 об/мин и 1 000 об/мин;
- 6) аккумулятор напряжением 3,7В, ёмкостью 400 мАч;
- 7) комплект проводов и выключателей.

На платформу с колесами были установлены цилиндр, приводимый во вращение электромотором со скоростью вращения 1 000 об/мин, и вентилятор, соединенный с электромотором со скоростью вращения 30 000 об/мин. Оба мотора питаются от аккумулятора. Вентилятор установлен со смещением по отношению к цилиндру. Платформа движется автономно. На модель действуют несколько сил (Приложение 7):

- сила тяжести $\overrightarrow{F_{тяж}}$

$$\overrightarrow{F_{тяж}} = m * g$$

где:

m – масса тела, кг

g – ускорение свободного падения, Н/кг

- сила трения качения $\overrightarrow{F_{тр}}$

$$\overrightarrow{F_{тр}} = \frac{f}{R} * N$$

где:

f – коэффициент трения качения

R – радиус катящегося тела

N – прижимающая сила

- Сила \vec{F} , возникающая из-за эффекта Магнуса

$$\vec{F} = \Delta P * S$$

где:

ΔP – разность давлений, Н/м²

S – площадь горизонтальной проекции цилиндра, м²

$$S = \pi * r^2$$

Опишем действие сил на модель. Сначала включается электродвигатель, раскручивающий цилиндр, при этом модель не двигается. Далее включается вентилятор, подающий воздух на левую часть цилиндра. Образуются вихревые потоки, которые создают разность давлений. Модель начинает двигаться в область пониженного давления, то есть вперёд. При движении на модель действует сила трения качения, направленная противоположно направлению движения.

2.3. Сборка модели летательного аппарата, использующего эффект Магнуса (Приложение 8).

Была собрана модель летающего аппарата, использующего для полёта эффект Магнуса. Материалом послужил депрон – специальный пенопласт для авиамоделей. Вместо крыльев у модели 4 перпендикулярно расположенные пластины, по 2 с каждой стороны. Для полета и управления аппаратом в передней части установлены два пропеллера с тяговыми электродвигателями. С правой стороны модели расположен аккумулятор, а с левой – плата управления. Все электрические комплектующие взяты из радиоуправляемого вертолётa и подключены к пульту управления.

Для взлёта аппарату нужно придать ускорение. При взлёте воздух от электродвигателей раскручивает пластины, и создаются вихревые потоки. Исходя из закона Бернулли образуются области с разным давлением: сверху модели область пониженного давления, снизу область повышенного давления. Сила, возникающая вследствие эффекта Магнуса, поддерживает летательный аппарат в воздухе.

Выводы.

1. Проведя ряд экспериментов, было подтверждено существование и действие эффекта Магнуса на вращающиеся сферические и цилиндрические тела в воздухе.

2. Было подтверждено, что интенсивность движения зависит от диаметра цилиндра и его угловой скорости, зависимость прямая.

3. Также было подтверждено, что действие потока воздуха влияет на выполнение удара «сухой лист» в футболе и что выполнить его могут только профессионалы высокого уровня.

4. Было выяснено, что использование силы Магнуса может применяться в кораблестроении для установки роторных цилиндров или турбопарусов как источника дополнительной энергии.

5. В перспективе использование эффекта Магнуса возможно при проектировании ветрогенераторов как способ увеличения их производительности.

Список использованной литературы:

1. Статья «То ли мачта, то ли парус», журнал «Популярная механика» №101, март 2011

Интернет-источники:

1. Статья Википедия «Эффект Магнуса»

https://ru.wikipedia.org/wiki/Эффект_Магнуса

2. Канал «ГалилеоТВ» <https://www.youtube.com/watch?v=01EuzHT3-Yg>

3. Статья «Змей Магнуса» <http://www.freshdesigner.ru/aviatechnics-016.htm>

Приложение № 1.



Генрих Густав
Магнус,
немецкий физик и
химик


Эффект Магнуса — физическое явление, возникающее при обтекании вращающегося тела потоком жидкости или газа. Образуется сила, действующая на тело и направленная перпендикулярно направлению потока.



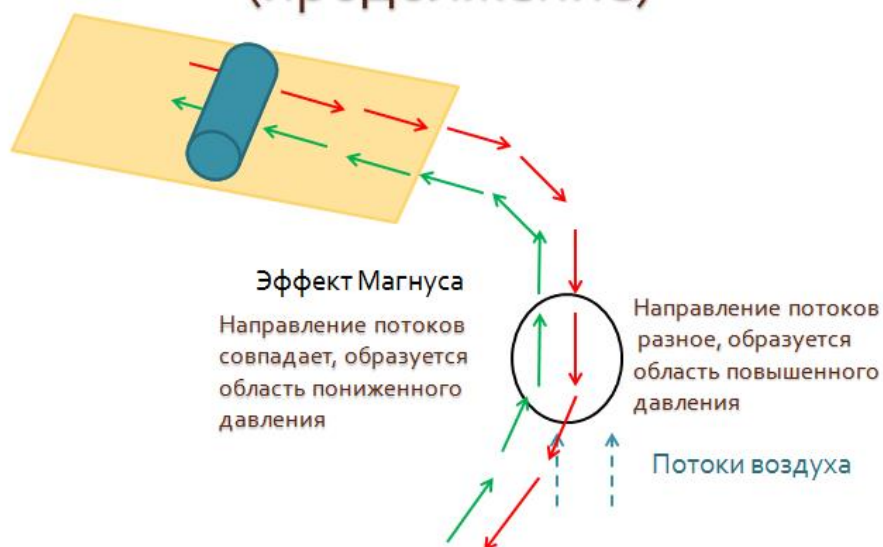
Приложение № 2.

Опыт № 1 «Падение цилиндра»

$J = 2Sw$, где
 J - интенсивность вихревого движения
 S – площадь цилиндра
 w – угловая скорость вращения



Опыт № 1 «Падение цилиндра» (продолжение)



По закону Бернулли там, где поток воздуха быстрее движется, образуется область пониженного давления и наоборот. Цилиндр будет смещаться в область пониженного давления.

Опыт № 2 «Модель летающего ротора»



После запуска ротор сначала резко поднимается вверх, делает петлю, а потом летит по наклонной линии. Вращение ротора приводит к тому, что сверху и снизу он обтекается воздухом с разной скоростью. Наблюдается эффект Магнуса.

Опыт № 3 «Отклонение пламени свечи»



Модель судна Флеттнера



Приложение № 7.



Приложение № 8.

