

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ВРАЩЕНИЯ ТЕЛА В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Телегин Г.С.

г. Снежногорск, МБОУ «СОШ №266 ЗАТО Александровск», 7 класс, МБОУДО «ДДТ «Дриада»

Руководители: Михе́дько О.Г., г. Снежногорск, МБОУ «СОШ №266 ЗАТО Александровск»,

учитель физики;

Михе́дько Е.В., МБОУДО «ДДТ «Дриада», педагог дополнительного образования

С древнейших времен люди нуждались в двигательной силе, или в двигателях, которые бы приводили в действие приспособления для подачи воды на поля, вращали жернова, молотившие зерно, приводили в движение прядильные и ткацкие станки. Водяные колеса и ветряные двигатели вплоть до XVII века оставались единственными типами двигателей.

Важнейшим этапом в развитии промышленного производства явилось изобретение и применение электрических двигателей, преобразующих электрическую энергию в механическую. Электродвигатели сделали возможным создание современных высокопроизводительных машин, станков-автоматов, автоматических линий, заводов-автоматов¹. Среди огромного множества электродвигателей выделяют особые устройства, интерес к работе которых не иссяк и по сей день. Такие двигатели называются электростатическими. В основе работы электростатического двигателя лежит принцип вращения тела в постоянном электрическом поле. Причем, как выяснилось в процессе исследования, вращаются в электростатическом поле, как диэлектрики, так и проводники.

Нас заинтересовали физические процессы, лежащие в основе вращения тел в постоянном электрическом поле. Изучение данных процессов даст возможность разработать устройство преобразования энергии, в котором используется постоянное электрическое поле. В этом мы видим актуальность нашего исследования.

Цель работы: исследование физических принципов вращения тела в электростатическом поле. Объект исследования – электростатическое поле, предмет исследования – вращение диэлектриков и проводников в электростатическом поле.

Для реализации поставленной цели нам необходимо было решить ряд задач:

1. Изучить теоретический материал по теме исследования;

2. Провести эксперименты по исследованию вращения тел, изготовленных из различных материалов, в электростатическом поле;

3. Разработать действующую модель двигателя и исследовать ее характеристики;

4. Обобщить результаты исследования и сделать выводы.

При выполнении исследования нами использовались следующие методы: наблюдение, анализ, эксперимент, моделирование.

Результаты исследования могут быть использованы на уроках физики при изучении электростатики, практически реализованы при создании моделей электростатического двигателя и его модификаций.

Глава точник механической энергии

Понятие электростатического поля

Электростатическое поле – электрическое поле неподвижных и не меняющихся со временем электрических зарядов, осуществляющее взаимодействие между ними. Электростатическое поле характеризуется напряженностью электрического поля $\vec{E}$, которая является его силовой характеристикой. Напряженность электростатического поля показывает, с какой силой электростатическое поле действует на единичный положительный электрический заряд, помещенный в данную точку поля. Направление вектора напряженности совпадает с направлением силы, действующей на положительный заряд, и противоположно направлению силы, действующий на отрицательный заряд.

Электростатическое поле является постоянным, если его напряженность не изменяется с течением времени. Стационарные электростатические поля создаются неподвижными электрическими зарядами.

Электростатический маятник

Более трех веков назад изобретатель воздушного насоса, немецкий ученый Отто фон Герике поставил необычный по тем временам эксперимент. Он наэлектризовал трением большой шар из серы и выпу-

¹<http://www.bibliotekar.ru/enc-Tehnika/65.htm>.

стил в комнате пушинку. Пушинка села на шар и тут же взлетела, к изумлению присутствующих. Сегодня каждому школьнику ясно, что шар притянул незаряженную пушинку, передал ей часть своего заряда и два заряда – пушинки и шара – заставили пушинку взлететь. Тогда, триста с лишним лет назад, Герике впервые доказал, что между заряженными телами существуют силы притяжения и отталкивания. Как использовать эти силы? Притяжение и отталкивание заряженных тел приводит эти тела в движение, т.е. энергия электрического поля преобразуется в механическую энергию. Обеспечив периодичность этого процесса, мы получим электростатический двигатель.

Периодические преобразования электрической и механической энергии можно получить с помощью электростатического маятника (рис. 1). Именно он стал прадедушкой всех электростатических двигателей.

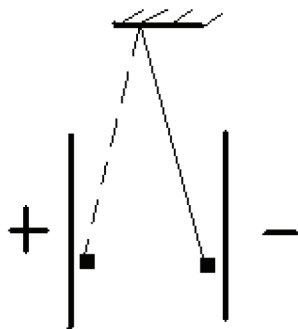


Рис. 1. Электростатический маятник

Бусинка на нитке и заряженные пластины – это колебательная система! А колебания можно использовать и для измерения времени, в механике, в электронных устройствах. Наконец, колебательное движение можно преобразовать в поступательное и во вращение.

После проведения эксперимента мы сделали вывод:

При соприкосновении бусинки с положительно заряженной пластиной, она заряжается от него положительно. Так как «+» от «+» отталкиваются, то бусинка отталки-

вается от положительной пластины и притягивается к отрицательной. При соприкосновении с отрицательной пластиной, бусинка разряжается и затем приобретает уже отрицательный заряд, и вновь «-» от «-» отталкиваются. И так будет повторяться до тех пор, пока пластины будут иметь заряд.

2. Исследование эффекта вращения тела в электростатическом поле

Вращение диэлектрического тела (эффект Герца-Квинке)

В 1881 году Генрих Герц обнаружил явление вращения диэлектрических тел в электрическом поле. Спустя 15 лет данный эффект был подробно описан соотечественником Герца Георгом-Германом Квинке. В опытах Квинке шар, изготовленный из твердого диэлектрика, подвешенный на тонкой нити, между параллельными металлическими пластинками, поворачивался, когда к пластинам прикладывали высокое постоянное напряжение. Однако, ни Герц, ни Квинке не смогли объяснить эти странные повороты. Явление было забыто почти на 60 лет и «открыто» вновь японским физиком Сумото в 1955 году. Но и он не проявил особого интереса к этому эффекту, получившему название эффекта Герца-Квинке. Зато на этот эффект обратили внимание изобретатели.

Для первого эксперимента мы использовали теннисный шарик, лежащий в вогнутой линзе, и помещенный между электродами высоковольтного источника. В своем опыте мы использовали остроконечные и плоские электроды.

Если электроды расположить строго напротив, то шарик начинает вращаться только после того, когда его толкнут. Мы изменяли положение электродов (рис.2) и смогли не только добиться самостоятельного вращения шарика, но и научились изменять направление его вращения.

При замене остроконечных электродов на плоские шарик вращался быстрее. Так как шарик вращался свободно и не был закреплен, использовать эту систему для преобразования электрической энергии в механическую работу нет возможности.

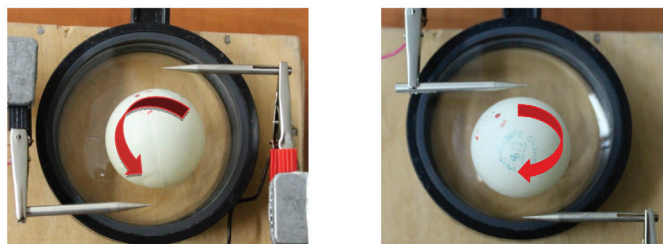


Рис. 2. Вращение шарика между остроконечными электродами

Существует несколько теорий, объясняющих наблюдаемый нами эффект Герца-Квинке. Для нас наиболее понятной является следующая: под действием напряжения, приложенного к пластинам, диэлектрик поляризуется. На его поверхности появляются заряды, наведенные электрическим полем. Они противоположны по знаку зарядам пластин статора. Пока шарик не вращается, силы притяжения к пластинам с противоположных сторон уравновешены и сдвинуть его с места не могут. После быстрого толчка заряды в диэлектрике, повернувшись вместе с телом, окажутся ближе к противоположно заряженной пластине. Силы притяжения начнут толкать шарик в сторону толчка (рис. 3).

В следующем эксперименте мы в качестве тела вращения использовали тонкостенный пластиковый цилиндр, размещенный на остроконечной игле. Цилиндр набирал большие обороты, если электроды

располагались ближе к нижней части цилиндра (рис. 4).

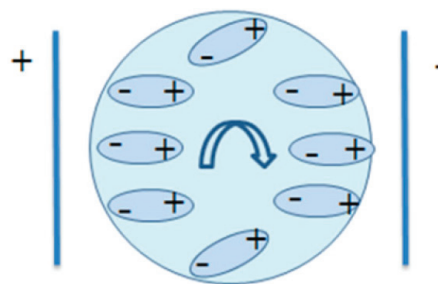


Рис. 3. Расположение зарядов на поверхности диэлектрика

В основном вращение начиналось с толчка. Кроме того, цилиндр совершал не только вращательные, но и колебательные движения.



Рис. 4. Вращение тонкостенного цилиндра



Рис. 5. Внешний вид установки

Для измерения числа оборотов в единицу времени мы использовали датчик оптометрический лаборатории L-микро (рис. 5).

Выводы:

1. Особенности строения диэлектриков позволяют сконструировать двигатель, пре-

Исследование зависимости числа оборотов цилиндра от напряжения на электродах и их формы:

Форма электрода	Напряжение на электродах, кВ	Количество оборотов в минуту, об/мин
Остроконечный электрод	5	42
	10	53
	15	68
	25	87
Плоский электрод	5	36
	10	41
	15	47
	25	62

Исследование зависимости числа оборотов цилиндра от расположения электродов

Форма электрода	Расположение	Количество оборотов в минуту, об/мин
Остроконечный электрод	верх	Вращения нет
	центр	32
	низ	48
Плоский электрод	верх	Вращения нет
	центр	18
	низ	29

образующий энергию электрического поля в механическую энергию;

2. С увеличением подаваемого напряжения растет количество оборотов;

3. Остроконечные электроды позволяют увеличить число оборотов.

4. Если остроконечные электроды расположены возле верхней части цилиндра, то объем поляризуемого материала небольшой и цилиндр не вращается;

5. Если расположить электроды возле нижней части цилиндра, то объем поляризу-

емого материала увеличивается и цилиндр вращается быстрее.

Вращение тела из проводящего материала в электростатическом поле

Удивительным оказалось то, что в электростатическом поле вращаются не только диэлектрики. Мы наблюдали вращение металлической вертушки между электродами высоковольтного генератора (рис. 6). Наша вертушка является моделью «колеса Франклина». Электроды располагались на таком расстоянии от колеса, чтобы избежать «пробоя».

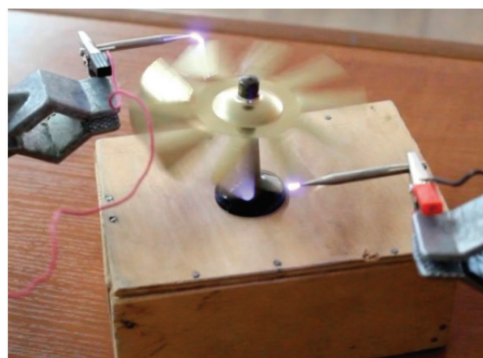
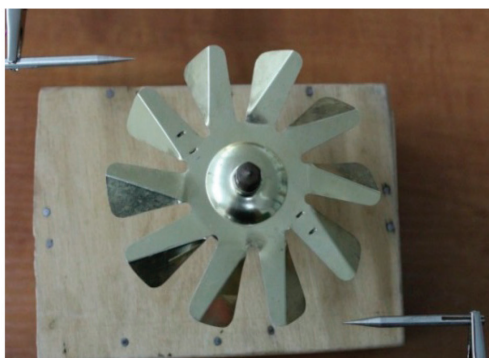


Рис. 6. Колесо Франклина

Если кривизна поверхности заряженного проводника неодинакова, то заряды на проводнике распределены неравномерно. При подаче высокого напряжения у острых краев вертушки создается сильное электрическое поле. Нейтральные молекулы воздуха поляризуются и притягиваются к острию. Коснувшись острия, они заряжаются одновременно с ним и отталкиваются. Сила отталкивания превосходит ранее действовавшую силу притяжения, так как она действует на заряженные молекулы, а сила притяжения – на нейтральные. По этой причине молекулы удаляются от острия с большими скоростями, чем приближались к нему. Возникает поток заряженных частиц, направленный от острия – «ионный ветер».

При проведении эксперимента с помощью микроамперметра мы зафиксировали ток, значение которого не превышало 20 мкА.

*Получение электрического тока
при вращении тел
в электростатическом поле*

Для проведения исследований были тела различной формы – плоские, цилиндрические и шары, которые устанавливались на ось вращения, имели токопроводящие вставки и неоновые лампочки для фиксации возбуждаемого электрического тока.

Принципиальная схема действия экспериментальной установки состоит в следующем (рис. 7). Шар устанавливают между электродами, соединенными с зажимами высоковольтного генератора с положительными и отрицательными зарядами. При подаче на электроды высокого напряжения, достаточного для эффективной ионизации воздуха, между электродами образуется поток движущихся заряженных частиц положительного и отрицательного знака. Иони-

Исследование зависимости числа оборотов вертушки от приложенного к электродам напряжения и формы электродов

Форма электрода	Напряжение на электродах, кВ	Сила тока, мкА	Количество оборотов в минуту, об/мин
Остроконечный электрод	5	10	74
	10	15	85
	15	16	96
	25	20	120
Плоский электрод	5	12	67
	10	16	76
	15	18	88
	25	20	114

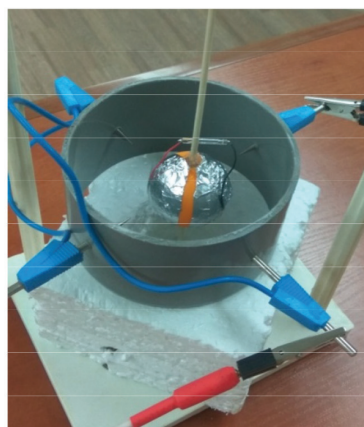
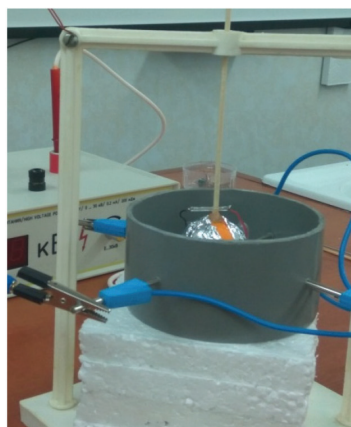


Рис. 7

Вывод: При одинаковом напряжении на электродах тело из проводящего материала развивает большее число оборотов в минуту, т.е. такой двигатель с таким ротором является более мощным.

зироанный воздух вовлекается в круговую циркуляцию вокруг шара, захватывая ионы, свободные электроны, нейтральные атомы и шар. Движущиеся заряженные частицы, циркулируя вокруг шара, образуют кольцо-

вой ток с электрическим полем. Если в шаре имеются проводящие материалы, то неоновая лампочка горит, фиксируя возбуждение электрического тока.

Были проведены эксперименты не только со сферическими, но и плоскими телами. Во всех случаях индуцируется электрический ток.

3. Практическое применение эффекта вращения тела в электростатическом поле

Разработка действующей модели двигателя

Проведя исследование, мы решили сконструировать свой электростатический двигатель. И выбрали следующую конструкцию:

Статор – круглой формы с острыми электродами. Такая форма необходима

для расположения электродов по кругу с целью усиления электростатического поля и создания вращающего момента. Внутри статора располагаются 10 электродов, на 5 из которых подается напряжение от «плюса» источника и на 5 – от «минуса» источника. Напряжение «+» и «-» подается через один электрод (рис. 8).

Ротор – легкий цилиндр, выполненный из картона и скотча, обернутый полоской фольги. В процессе конструирования нам пришлось переделать цилиндр, заменив полосу фольги «крылышками». Острые края позволили создать вращающий момент и преодолеть трение на оси (рис. 9).

Ось – тонкая вязальная спица. В процессе работы нам пришлось заменить ее на более легкую деревянную палочку.

Материалы, используемые при конструировании, представлены на рис. 10.



Рис. 8



Рис. 9



Рис. 10. Используемые материалы

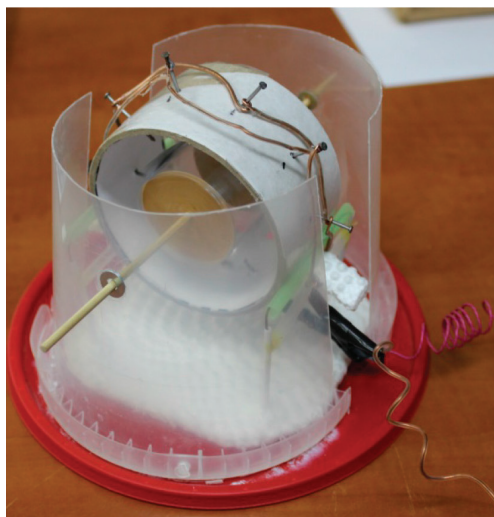


Рис. 11. Модель двигателя

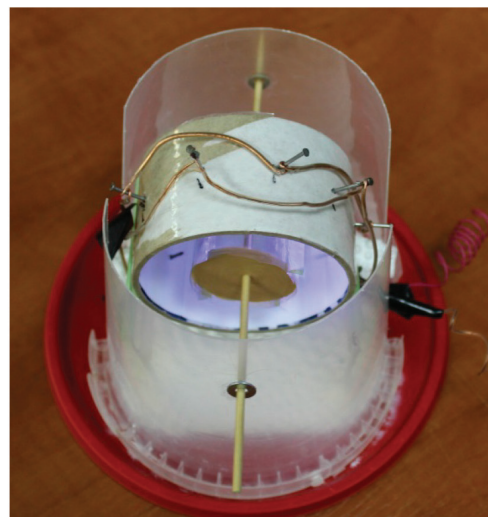


Рис. 12. Двигатель в работе

Готовая модель двигателя представлена на рис. 11 и рис. 12.

При сборке модели электростатического двигателя мы отметили следующее:

- несмотря на простоту устройства, модель двигателя очень трудно привести к рабочему состоянию, небольшое трение в системе, неровности на поверхности ротора приводят тому, что ротор не вращается;

- из-за высокого напряжения источника часты пробои изоляционных промежутков, как между электродами, так и между электродами и ротором;

- по сравнению с другими электрическими двигателями у электростатического двигателя отсутствуют щетки. А значит, при эксплуатации не надо беспокоиться об их истирании, изломе, износе.

- ротор можно заставить вращаться в любую сторону, достаточно лишь поменять полярность на электродах;

- усовершенствование конструкции позволяет увеличивать число оборотов двигателя, что очень трудно сделать в обычных электродвигателях переменного тока.

Определение КПД электростатического двигателя

Коэффициент полезного действия (КПД) – величина, показывающая, какая часть затраченной двигателем энергии идет на совершение полезной работы. Измеряется КПД в процентах (%).

Мы провели лишь примерную оценку КПД нашего двигателя, т.к. более точные методы используют сложные формулы. Для определения КПД двигателя закрепим на его валу нить и будем поднимать грузик. Наш двигатель смог поднять гирьку массой 10 г на высоту 20 см.

Полезная работа, совершаемая двигателем равна потенциальной энергии груза:

$$E_n = mgh = 0,01 \cdot 10 \cdot 0,2 = 0,02 \text{ Дж.}$$

Затраченная энергия равна:

$$E_z = IUt = 0,000005 \cdot 5000 \cdot 17 = 0,425 \text{ Дж}$$

Тогда КПД двигателя

$$\text{КПД} = \frac{E_n}{E_z} 100\% = \frac{0,02}{0,425} 100\% \approx 4,7\%$$

Масса груза, кг	Высота подъема, м	Время подъема, с	Полезная работа, Дж	Сила тока, мкА	Напряжение, В	Затраченная работа, Дж	КПД, %
0,01	0,2	17	0,02	5	5000	0,425	4,7

Заключение

В результате проведенного исследования мы изучили физические процессы, лежащие в основе вращения тел в постоянном электрическом поле. Исследуемые процессы дают возможность преобразовать энергию электрического поля в механическую энергию.

Вращение диэлектрических тел обусловлено проявлением эффекта Герца-Квинке. Мы убедились, что особенности строения диэлектриков позволяют сконструировать двигатель, преобразующий энергию электрического поля в механическую энергию; с увеличением подаваемого напряжения растет количество оборотов цилиндра; остроконечные электроды позволяют так же увеличить число оборотов.

Вращение проводящих тел возникает вследствие образования «ионного ветра». При одинаковом напряжении на электродах тело из проводящего материала развивает большее число оборотов в минуту, т.е. такой двигатель с таким ротором является более мощным.

Если тело имеет токопроводящие вставки, разделенные слоем диэлектрика, то при помещении тела в электростатическое поле возникает не только эффект вращения, но и наблюдается свечение неоновой лампочки, вызываемое возбуждаемым током.

Результатом исследования стало создание модели электростатического двигателя. По сравнению с другими электрическими двигателями у электростатического двигателя отсутствуют щетки. А значит, при эксплуатации не надо беспокоиться об их истирании, изломе, износе. При необходимости ротор можно заставить вращаться в любую сторону, достаточно лишь поменять полярность на электродах.

При одинаковом напряжении на электродах двигатель с металлическим ротором развивал большее число оборотов в минуту, чем двигатель с диэлектрическим ротором. Однако при конструировании действующей модели считаем необходимым сочетать диэлектрический ротор с металлическими «крылышками», что позволяет облегчить массу ротора и увеличить вращающий момент.

Устройство электростатического двигателя является достаточно простым, но модель трудно привести к рабочему состоянию, небольшое трение в системе, неровности на поверхности ротора приводят тому, что ротор не вращается.

Считаем, что электростатические двигатели не получили широкого распространения из-за того, что высокое напряжение источника часто приводит к пробое изоляционных промежутков, как между электродами, так и между электродами и ротором.

Рассчитанный нами коэффициент полезного действия установки не высок – 4.7%. Но такие двигатели могут найти свое применение при использовании энергии природного электричества, например, энергии грозного облака.

Список литературы

1. Ильин А. Непонятно, но просто! // Юный техник. – 2007. – №4. – С. 71–74.
2. Карачи А., Кузовкин Д., Сухомесов В., Тодышев С. Почему вращается вертушка? // Квант. – 2000. – № 4. – С. 42–43.
3. Кузнецов В., Квитко В., Ефимов А. Исследуем варианты электростатического двигателя // Двигатель. – 2009. – №2 (62). – С. 64–65.
4. Лебедев В.С. Двигатель Герца-Квинке // Потенциал. – 2010. – №12.
5. Уокер Дж. Физический фейерверк. – М.: Мир, 1979.
6. Фролов А. Новые источники энергии. – М.: ТулГУ, 2012. – 500 с.
7. Чириков К.Ю. Необычные двигатели. – М.: Знание, 1976. – 64 с.