

Лебедев Всеволод Сергеевич
Ученик 9 класса Школы юного исследователя Института
прикладной физики РАН (г. Нижний Новгород).
Научный руководитель Савкин П.М.,
учитель физики высшей категории.



Двигатель Герца – Квинке

В статье описаны результаты школьной исследовательской работы, в которой автором были сконструированы действующие модели двигателей Герца – Квинке, а также предпринята попытка объяснить физический принцип работы этого экзотического типа электрических двигателей.

Идея нашей работы была взята из статьи в журнале «Юный техник». В статье было рассказано об эффекте Герца – Квинке и описаны различные варианты двигателей на этом эффекте. Нас заинтересовала эта идея, т. к. двигатели не имели ни

ротора в обычном понимании, ни коллектора, ни статора. Мы решили проверить это и попробовать собрать свои варианты двигателей, построенных на эффекте Герца – Квинке. Хотелось попытаться объяснить принцип работы этих двигателей.

Экспериментальные модели двигателя

Первый вариант двигателя представлял собой лёгкий тонкостенный цилиндр на оси, помещённый между пластинами, на которые подведено высокое постоянное напряжение, которое можно регулировать от 0 до 30 кВ (схема этого варианта двигателя изображена на рис. 1). В нашем эксперименте цилиндром являлась обычная пластиковая банка, в качестве оси мы использовали заострённую железную спицу, для того чтобы уменьшить трение между банкой и концом оси.

В такой модели двигателя цилиндр начинал вращаться либо от

толчка, что соответствовало многим описаниям, либо не вращался.

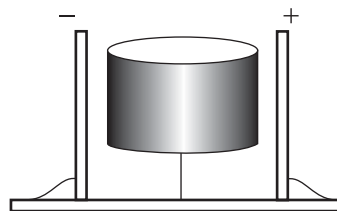
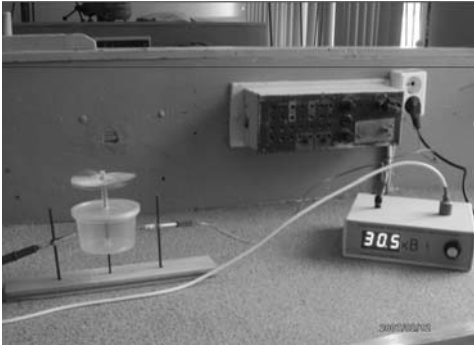
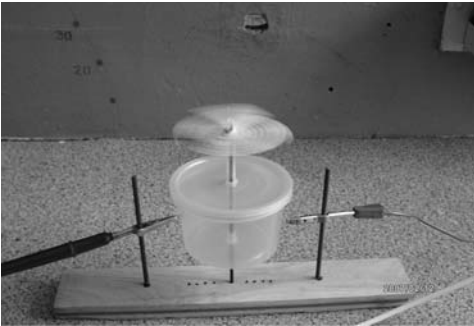


Рис. 1. Первая модель двигателя

Затем мы решили взять вместо пластин остроконечные электроды. Фотографии действующей модели этого двигателя представлены на рис. 2.



а



б

Рис. 2. Фотографии работающего двигателя с остроконечными электродами

Меняя положение одного из электродов, мы заметили, что цилиндр начинает вращаться без толчка, если поднести электрод, как показано на рис. 3.

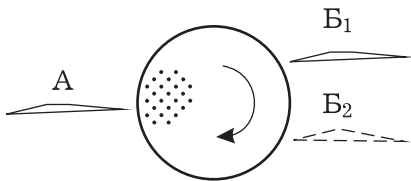


Рис. 3. Варианты расположения электродов

Если перенести правый электрод из положения B_1 в положение B_2 во время вращения ротора, то вращение продолжится в том же

направлении. Если перенести электрод в положение B_2 до включения источника напряжения, то направление вращения изменится на противоположное.

Цилиндр набирал большие обороты, если электроды были расположены у его верхней или нижней плоскости. Это может быть связано с тем, что область поляризуемого материала больше.

В качестве второй модели двигателя мы использовали теннисный (тонкостенный) шарик, лежащий в вогнутой линзе и помещённый между остроконечными электродами (рис. 4). При электродах, расположенных друг против друга (на одной линии), шарик начинал вращаться без толчка, что не наблюдалось ранее, и набирал очень большие обороты (даже иногда вылетал из линзы). При несимметричном расположении электродов шарик мог изменить направление вращения.

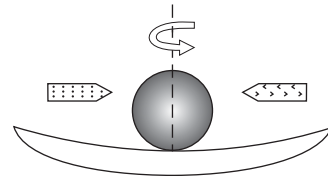


Рис. 4. Вторая модель двигателя

Наш третий двигатель – это сплошной шарик из пресспорошка, легко вращающийся на вертикальной оси и помещённый между остроконечными электродами (рис. 5).

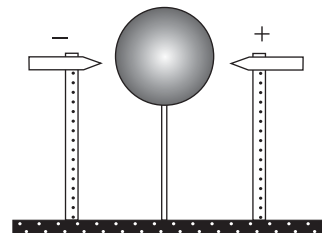


Рис. 5. Третья модель двигателя (вариант с остроконечными электродами)

Мы провели такие же опыты, что и на первом двигателе. Скорость вращения этого шарика больше, чем у предыдущих. Объём поляризуемого материала стал значительно больше, поэтому шарик набирал очень большие обороты.

Мы решили заменить остроконечные электроды на пластины (рис. 6). Обороты ещё возросли, т. к. объём поля увеличился, следовательно, увеличился и объём поляризуемо

го материала (поляризоваться стал весь шарик).

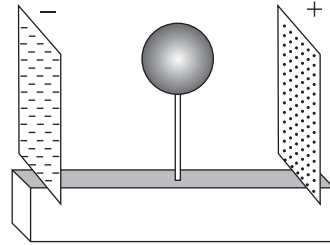


Рис. 6. Третья модель двигателя (вариант с пластинчатыми электродами)

Вспомним свойства диэлектриков

Рассмотрим рис. 6. Диэлектрик, из которого изготовлен ротор, состоит из электрически нейтральных молекул. Молекулы диэлектриков бывают двух типов: *полярные* и *неполярные*.

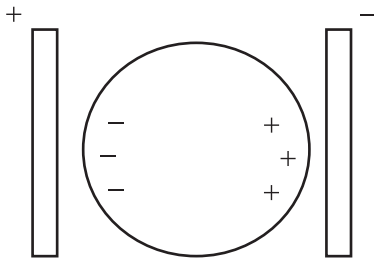


Рис. 7. Поляризация ротора

Полярными называют такие молекулы, у которых центры положительного и отрицательного зарядов не совпадают (спирты, вода и др.); неполярными – атомы и молекулы, у которых центры распределения зарядов совпадают (инертные газы, кислород, водород, полиэтилен и др.).

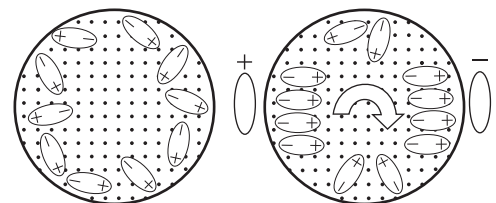
Рассмотрим теперь, что происходит с молекулами полярных и неполярных диэлектриков при их помещении в электростатическое поле.

Поляризация полярных диэлектриков. *Диэлектрик вне электрического поля* – в результате теплового движения электрические диполи ориентированы беспорядочно на

поверхности и внутри диэлектрика. В этом случае заряд на поверхности диэлектрика равен нулю: $q=0$, электростатическое поле внутри диэлектрика отсутствует: $E_{вн}=0$.

Диэлектрик в однородном электрическом поле – на диполи действуют силы, которые поворачивают диполи, ориентируя их вдоль силовых линий поля. Но ориентация диполей – только *частичная*, т. к. мешает тепловое движение. На поверхности диэлектрика возникают связанные заряды, а внутри диэлектрика заряды диполей компенсируют друг друга.

Поляризация неполярных диэлектриков. Молекулы могут поляризоваться в электрическом поле. При этом положительные и отрицательные заряды молекул смещаются, центры распределения зарядов перестают совпадать, а значит, они превращаются в электрические диполи.



Электроды отсутствуют

Поднесли электроды под напряжением

Рис. 8

поли. Эти диполи ориентируются вдоль силовых линий внешнего поля, в результате чего на поверхности диэлектрика возникают связанные заряды.

Таким образом, любой диэлектрик (а в нашем случае диэлектри-

ческий ротор двигателя Герца – Квинке) в электрическом поле электродов поляризуется. Процесс поляризации схематически показан на рис. 8 (на рисунке диполи условно обозначены эллипсами).

Первый подход к объяснению эффекта

Рассмотрим отрицательно заряженную половину ротора. На неё действуют две силы: одна, которая притягивает заряд к положительному электроду, вторая (меньшая по величине), которая отталкивает заряд от одноимённого электрода. Если внешним воздействием повернуть ротор больше чем на 90° , в поле электродов попадают другие молекулы и происходит реполяризация молекул. Время реполяризации соизмеримо со временем поворота ротора. Поэтому появляется вращающий момент. Это повторяется снова и снова, и цилиндр продолжает вращаться. Аналогичные процессы происходят и для положительно заряженной стороны.

Когда напряжение подано на широкие электроды (пластины), ротор вращается быстрее, чем при остроконечных электродах. Скорее всего, это происходит из-за того, что пластины создают более обширное поле, следовательно, объём поляризуемого материала и воздуха (среды) около ротора увеличивается.

По нашим опытам видно, что шарики начинали вращаться без начального толчка, скорее всего, это происходит из-за того, что наша система не симметрична (шарик не идеален по форме и электроды размещены не строго симметрично).

Мы думаем, что время поворота диполя соизмеримо со временем поворота ротора. Поэтому после поворота ротора на 90° диполи успевают повернуться, сменив знак заряда на

поверхности диэлектрика на противоположный (рис. 9). Ротор продолжит вращение, так как одноимённые заряды будут отталкиваться. Прохождение «мёртвой» точки будет происходить по инерции. («Мёртвой точкой» является то место, где поля разных знаков взаимно компенсируются.) Потери на трение должны быть минимальны.



Рис. 9

Так что вращение ротора, по видимому, во многом зависит от того, с какой скоростью его диполи могут реполяризовываться.

Было также проверено влияние формы электродов на работоспособность двигателей и скорость вращения ротора.

При проведении опытов нами было замечено, что при расположении остроконечных электродов около верхней или нижней плоскостей тонкостенного цилиндра ротор вращался быстрее, чем при расположении остроконечных электродов около его боковой поверхности. Нижняя и верхняя плоскости цилиндра имеют больший объём по сравнению со стенками цилиндра, следовательно,

скорость вращения ротора зависит от объёма поляризуемого материала.

Для того чтобы приблизительно оценить мощность, потребляемую двигателем, необходимо измерить величину токов при вращающемся и невращающемся роторе. Через разницу между этими значениями токов и подаваемое напряжение можно вычислить потребляемую двигателем мощность. Эксперимент проводился на модели двигателя, где ротором являлся тонкостенный (теннисный) шарик.

Мы включили в нашу схему (рис. 10) микроамперметр на 200 мкА. Подав на схему напряжение, мы отвели один из электродов на расстояние от ротора так, чтобы он не

вращался. Прибор показывал 10 мкА. Это величина тока, стекающего с электродов в окружающее пространство. Потом мы поднесли электрод к ротору, и тот начал вращение. Прибор показывал 30 мкА. Из них примерно 20 мкА расходуется на вращение. При вращении ротора напряжение упало с 30 до 27 кВ. Потребляемая мощность при 27 кВ примерно равна 0,54 Вт.

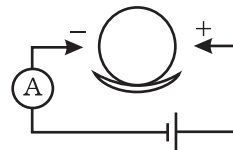


Рис. 10

Второй подход к объяснению эффекта

Согласно представленному эксперименту ток через электроды в присутствии вращающегося диэлектрического ротора увеличивается. Но как и где тогда протекает этот ток? Возможен такой вариант ответа на этот вопрос: ток течёт в воздухе, обтекая боковую поверхность вращающегося цилиндра (см. рис. 11).

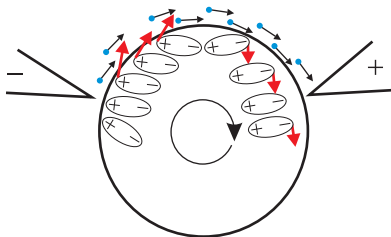


Рис. 11

На рисунке остроконечные электроды подведены к диэлектрическому цилиндру несимметрично. В поле, созданном этими электродами, диэлектрик поляризуется. Эллипсами показаны поляризованные молекулы (диполи). На левой стороне цилиндра возникает поверхностный поло-

жительный заряд, а на правой — отрицательный.

Синими точками на рисунке показаны заряды, которые «стекают» с отрицательного электрода и движутся к положительному электроду. Эти заряды движутся, огибая боковую поверхность цилиндра по кратчайшей дуге. Очевидно, что они должны взаимодействовать с поверхностными зарядами на цилиндре. Красными стрелками показаны силы, действующие на поверхностные заряды. Из рисунка видно, что на левой стороне цилиндра это силы притяжения, а на правой — силы отталкивания. Такие силы могут создавать вращающий момент, который и приводит к закручиванию цилиндра. Таким образом, получается, что поток зарядов над поверхностью цилиндра как бы «увлекает за собой» цилиндр.

Следует отметить, что для проверки описанной выше версии объяснения эффекта нужно проводить эксперимент в вакууме. Но такой возможности у нас не было.

Заключение

При анализе результатов проведённых опытов мы получили такие выводы:

1) двигатели действительно работают и эффект Герца – Квинке существует;

2) чтобы ротор начал движение от толчка, двигатель должен быть симметричным;

3) если остроконечные электроды расположены около боковой поверхности тонкостенного цилиндра, то объём поляризуемого материала будет небольшим и вращающий момент будет незначительным;

4) если остроконечные электроды расположены около верхней или нижней плоскостей цилиндра, объём поляризуемого материала увеличится, следовательно, и вращающий момент возрастёт;

5) от площади электродов зависит объём поляризуемого материала

ротора и, следовательно, скорость вращения ротора;

6) от скорости переполаризации диполей должна зависеть скорость вращения ротора.

Мы решили поставленные в начале работы вопросы так, как мы их понимаем. Но это не значит, что в этом вопросе поставлена точка. Наше решение может быть оспорено или дополнено. По этому вопросу до сих пор ведутся дискуссии, предлагаются различные варианты объяснений, вплоть до мистических. Чёткого решения нет, несмотря на то, что сам эффект был обнаружен Герцем ещё в 1881 году. Тем не менее, несмотря на кажущуюся простоту самого эффекта, вопрос о его объяснении до сих пор остаётся открытым. Возможно, кому-то из читателей предстоит разгадать эту физическую загадку.

Литература

1. Юный техник. – 2007. – № 4.

2. Интернет-ресурсы:

http://class-fizika.narod.ru/10_3.htm (23.03.2010),

<http://ru.wikipedia.org> (15.03.2010),

http://www.motor-remont.ru/books/2/01_5.html (12.03.2010).