ГБОУ Гимназия №1505

«Московская городская педагогическая гимназия-лаборатория»

**Диплом**

**Использование магнитных и электрических пролей в пожаротушении**

*автор*: ученик 10 класса «Б»

Григорьев Олег Юрьевич

*Руководитель:* Ветюков Д.А.

Москва

2014

**Содержание**

Введение…………………………………………………………………………….3

Теоретическая часть

§1 «Плазма. Огонь. Условия горения. Тушение пожаров»…………………..4

§2 «Электрические и магнитные поля»……………………………………….7

§3 «Способы удержания плазмы при помощи магнитных и электрических полей»…………………………………………………………………………….....14

Практическая часть

«Варианты систем борьбы с пожарами, использующих магнитные и электрические поля»………………………………………………………………..18

Вывод………………………………………………………………………………...22

Список литературы………………………………………………………………….23

**Введение**

Человечество все чаще начинает задумываться об использовании плазмы в своих целях. Она обладает некоторыми особенностями, интересными для исследования и проведения экспериментов с ней. Являясь ионизированным газом, плазма считается четвертым состоянием вещества, а ее главной особенностью — наличие заряженных частиц. Благодаря этому плазма может проводить электрический ток и взаимодействовать с магнитными и электрическими полями. Именно это свойство ученые хотят использовать для удержания плазмы. Самое популярное направление в исследованиях плазмы — термоядерный синтез, однако есть еще много сфер, где тема плазмы актуальна. Одна из этих сфер — использование магнитных и электрических полей в тушении пожаров, ведь огонь тоже является плазмой. Сейчас в борьбе с огнем используются методы, которые использовались десятки и сотни лет назад. Несмотря на их неплохую эффективность, во многих случаях их применение затруднительно или вовсе невозможно, и в связи с этим необходимо разрабатывать новые способы тушения пожаров. Поэтому использование магнитных и электрических полей рассматривается как возможный способ решения проблемы.

Целью моего диплома является на основе знаний, полученных в ходе использования теоретических источников и экспериментов, сделать вывод о возможности использования магнитных и электрических полей в пожаротушении и, в зависимости от вывода, попробовать придумать схемы установок, способных бороться с огнем.

**§1 «Плазма. Огонь. Условия горения. Тушение огня»[[1]](#footnote-1)**

**1.1 Плазма**

*Плазма — ионизированный газ, в котором концентрации положительных и отрицательных зарядов равны (квазинейтральность).*

Любое вещество при нагревании, испаряясь, превращается в газ. С дальнейшим увеличением температуры молекулы, составляющие вещество, распадаются на атомы, а затем на ионы.

*Ион — электрически заряженная частица, образующаяся при потере или присоединении электронов атомами, молекулами, радикалами и т. д. Ионы соответственно могут быть положительными или отрицательными, заряд иона кратен заряду электрона.*

Наличие таких свободных заряженных частиц дает плазме возможность взаимодействовать с магнитными и электрическими полями, а также служить проводником электрического тока. Один из важных параметров плазмы — степень ионизации. Степенью ионизации называют отношение ионизированных атомов к количеству всех атомов в объеме плазмы. В зависимости от степени ионизации плазму делят на слабо ионизированную, сильно ионизированную и полностью ионизированную. Степень ионизации зависит от температуры плазмы, так как для ионизации требуется большая кинетическая энергия молекул. Однако из-за неоднородности частиц в плазме ее температуру нельзя охарактеризовать одним значением, и поэтому часто вводятся понятия средней температуры электронов Te, ионов Ti и нейтральных частиц Ta. Зная Ti и Te можно найти скорости этих частиц.

Средняя скорость электронов: 

Средняя скорость ионов: 

Другим критерием классификации плазмы является ее температура. Низкотемпературной считается плазма с Ti<105K, а высокотемпературной – с Ti>105-108K. В этом дипломе больше внимания будет уделяться низкотемпературной плазме.

Низкотемпературная плазма является слабо ионизированной, это означает, что количество заряженных частиц в ней много меньше, чем нейтральных. Однако ее электрические и магнитные свойства все равно определяются ионами, так как силы их кулоновского взаимодействия сильнее и сохраняются на большем расстоянии, чем силы потенциального взаимодействия между нейтральными молекулами. Одной из самых распространенных на Земле разновидностей низкотемпературной плазмы является огонь.

**1.2 Огонь**

*Огонь – это смесь раскаленных газов и плазмы, возникающих в результате химической реакции или нагревания топлива в окисляющей среде.*

Реакция окисления, протекающая с достаточно большой скоростью, сопровождающаяся выделением тепла и света называется горением. Главными условиями любого горения являются топливо, нагреватель и окислитель. Для начала химической реакции всегда требуется энергия, чтобы разорвать соединения между атомами одного вещества и синтезировать из них другое вещество. Эту энергию сообщает нагреватель, увеличивающий температуру топлива до температуры воспламенения. Если речь идет о самоподдерживающемся горении, то нагреватель как отдельный элемент системы участвует в горении только в начале процесса. После зажигания теплоты, выделяемой топливом при сгорании достаточно для поддержания дальнейшего прохождения реакции. Все элементы этой системы взаимосвязаны, и если один из них убрать, процесс горения будет невозможен, следовательно, чтобы потушить пожар необходимо либо убрать топливо, либо лишить его окислителя, либо понизить температуру ниже температуры возгорания, другими словами убрать нагреватель, а в случае самоподдерживающегося горения сбить пламя. На основе этих принципов создаются системы тушения пожаров.

Самым распространенным способом борьбы с пламенем является вода. С ее помощью горящую поверхность охлаждают до достаточно низкой температуры, делая тем самым горение невозможным. Этот способ довольно эффективен, однако у него есть свои минусы: вода разрушительно действует на многие вещи, особенно на электротехнику. Поэтому ее нельзя использовать при тушении объектов с невлагостойким дорогостоящим оборудованием. Второй минус – неудобство использования водяного тушения в узких помещениях.

Также популярен способ тушения пожара при помощи пены. В данном случае горящая поверхность покрывается слоем специальной пены, которая перекрывает доступ кислорода к топливу. Этот метод в основном используется при тушении пожаров на нефтяных платформах, в море и хранилищах жидкого топлива. Однако пена, как и вода, наносит ущерб многим вещам.

Третий вид борьбы с огнем – порошковые системы пожаротушения. При наличии возгорания в зоне действия система выбрасывает наружу порошок, сбивающий пламя и изолирующий поверхность. Этот метод может быть использован в помещениях с открытыми пространствами, иначе препятствия не позволят порошку эффективно покрыть достаточную площадь поверхности. Так что даже при своей безопасности относительно окружающего имущества, у порошковых систем есть проблемы с эффективностью.

И последний популярный вид пожаротушения – наполнение помещения неокисляющим газом, например, углекислым, который вытесняет кислород и убирает тем самым окислитель. Это один из самых безопасных для окружающей среды методов, однако, его эффективность довольно низкая из-за медленности вытеснения и возможных источников окислителя, которые не сможет перекрыть газ.

Одной из новых систем борьбы с огнем – магнитная (электрическая). Принцип ее работы основывается на свойствах плазмы взаимодействовать с электрическим и магнитным полями.

**§2 «Электрические и магнитные поля»[[2]](#footnote-2)**

**2.1 Электрическое поле**

 *Электрическое поле – особый вид материи, посредством которого осуществляется взаимодействие между электрическими зарядами.*

Электрическое поле создается заряженными объектами или частицами. Объекты с разноименными зарядами испытывают силу притяжения, а одинаково заряженные – силу отталкивания. Сила, обеспечивающая такое взаимодействие называется силой Кулона.

*Сила Кулона – сила, действующая на заряженную частицу, движущуюся в электрическом поле.*

Однако сила Кулона не является силовой характеристикой электрического поля, для этого была введена специальная величина, называемая напряженностью электрического поля.

Формула 1

*Напряженность электрического поля – силовая характеристика электрического поля, определяющая силу Кулона, с которой поле действует на заряд в данной точке. Напряженность численно равна силе, действующей на единичный положительный заряд.*

Формулы 2

Зная напряженность поля, можно вычислить силу взаимодействия зарядов в данной точке. Для графического изображения электрического поля используются линии напряженности. Густота линий характеризует его величину. Вектором электрического поля называют касательную, проведенную к линии напряженности. В однородном электрическом поле вектор напряженности одинаков в каждой точке.



Рис. 2 Однородное ЭП заряженных пластин

Рис. 1 ЭП точечного заряда

В отличие от магнитного, при перемещении заряда электрическое поле совершает над ним работу. Работа поля не зависит от формы траектории движения заряда, а работа поля по перемещению заряда по замкнутой траектории равна 0. Поэтому электрическое поле является потенциальным.

Формула 3

Внутри поля заряд имеет потенциальную энергию. Однако она не может служить энергетической характеристикой поля, так как зависит от помещенного в него заряда. Вместо этого энергетической характеристикой является потенциал.

В электрическом поле линии напряженности направлены в сторону убывания потенциала. Разность потенциалов в двух точках поля характеризует работу, необходимую для перемещения данного заряда между этими точками. Эта величина называется напряжением.

Формулы 4

Формулы 5

Границы применения электрических полей в жизни огромны. Их свойства используются во всех электронных устройствах от радиоприемников до коллайдеров.

**2.2 Магнитное поле**

*Магнитное поле - силовое поле, действующее на движущиеся электрические заряды и на тела, обладающие магнитным моментом. Магнитное поле характеризуется вектором магнитной индукции B. Значение B определяет силу, действующую в данной точке поля на движущийся электрический заряд (силу Лоренца) и на тела, имеющие магнитный момент.[[3]](#footnote-3)*

*Лоренца сила – сила, действующая на заряженную частицу, движущуюся в магнитном поле.[[4]](#footnote-4)*

*Магнитная индукция - основная характеристика B магнитного поля, представляющая собой среднее значение суммарной напряжённости микроскопических магнитных полей, созданных отдельными электронами и другими элементарными частицами. Измеряется в Теслах (Тл).[[5]](#footnote-5)*

Рассмотрим несколько вариантов поведения заряженной частицы в магнитном поле. Наиболее простым является движение частицы в однородном магнитном поле. Если скорость частицы направлена поперёк такого поля, то её траекторией будет окружность радиуса R (рис. 3). Сила Лоренца в этом случае играет роль центростремительной силы (равной mv2/R, m — масса частицы), что даёт возможность выразить R через V и B.

***B***

***q***

рис. 3 Заряженная частица влетает перпендикулярно МП

*Сила Лоренца из II закона Ньютона*

*Ларморовский радиус*

*Ларморовский период*

*Ларморовская частота*

*Сила Лоренца*

Формулы 6

Стоит отметить, что сила Лоренца не изменяет абсолютной величины скорости, она только меняет ее направление. Окружность, по которой движется заряженная частица в однородном магнитном поле, называется ларморовской окружностью, её радиус — ларморовским радиусом (RЛ), а nл — ларморовской частотой.

Если скорость частицы направлена к полю под углом, отличающимся от прямого, то, кроме V1, частица обладает и V2. Ларморовское вращение при этом сохранится, но к нему добавится равномерное движение вдоль магнитного поля, так что результирующая траектория будет винтовой линией (рис. 4).



рис. 4 Траектория частицы, влетевшей под углом к МП

Когда скорость частицы направлена вдоль линий индукции, то она продолжает двигаться вдоль них.

Основываясь на этих принципах можно создавать магнитные поля разных конфигураций для управления перемещением или удержания заряженной частицы в определенной области.

Магнитные поля повсеместно используются в повседневной жизни. Их источниками являются ферромагнетики, электромагниты и сверхпроводящие электромагниты.

*Ферромагнетик -* [*вещество*](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/330)*, в котором ниже определённой температуры (Кюри точки 0) устанавливается ферромагнитный порядок магнитных моментов атомов или ионов (в неметаллических кристаллах) или магнитных моментов коллективизированных электронов (в металлических кристаллах). Среди химических элементов ферромагнитны*[*переходные элементы*](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/4219)*Fe, Со и Ni (Зd-металлы) и редкоземельные*[*металлы*](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/1678)*Gd, Tb, Dy, Но, Er, Tm.[[6]](#footnote-6)*

Ферромагнетиками являются обычные магниты, использующиеся повсеместно. Мощность их магнитных полей порядка 0,1 Тл.

*Электромагнит - электротехническое устройство, состоящее из ферромагнитного сердечника с токопроводящей обмоткой, которая при включении в электрическую*[*цепь*](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc3p/320374) *намагничивает сердечник.[[7]](#footnote-7)*

Электромагнит используют в электрических машинах и аппаратах, устройствах автоматики и т. п., а также для создания магнитных полей при различного [рода](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc3p/256626) исследованиях. Мощность создаваемого ими магнитного поля порядка 11 Тл.

*Сверхпроводящий магнит -*[*электромагнит*](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc3p/334962)[*или*](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc3p/137502)[*соленоид*](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc3p/276478)*, обмотки которых выполнены из материала, находящегося во*[*время*](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc3p/93274)*работы в сверхпроводящем состоянии.*

Такие магниты используются в медицине, исследовательских лабораториях и научных центрах. Их средняя мощность примерно равна 15 Тл, но при использовании определенных технологий ее можно поднять почти до 40 Тл.

*Гибридный магнит – система магнитов, в которой применяются электрические и сверхпроводящие магниты, что значительно увеличивает его мощность.[[8]](#footnote-8)*

Данный тип магнитов используется для исследования изменения свойств объектов под действием сильного магнитного поля. Мощность гибридных магнитов превышает 50 Тл.

**§3 «Способы удержания плазмы при помощи магнитных и электрических полей»[[9]](#footnote-9)**

**3.1 Магнитные ловушки**

***Магнитные ловушки*** *- конфигурации магнитного поля, способные длительное время удерживать заряженные частицы внутри определенного объёма пространства. Магнитной ловушкой природного происхождения является магнитное поле Земли; огромное количество захваченных и удерживаемых им космических заряженных частиц высоких энергий (электронов и протонов) образует радиационные пояса Земли за пределами её атмосферы. В лабораторных условиях магнитные ловушки различных видов исследуют главным образом применительно к проблеме удержания плазмы. Совершенствование магнитных ловушек для плазмы направлено на осуществление с их помощью управляемого термоядерного синтеза.*

На основе 2 главы можно сформулировать два требования к магнитным ловушкам – частица должна обладать начальной скоростью и размеры магнитной ловушки должны быть больше RЛ, в противном случае частица вырвется из нее. Удовлетворить это условие можно двумя способами: либо увеличить размеры магнитной ловушки, либо увеличить напряженность поля B. Малый RЛ обеспечивает ограничение движения частицы поперёк магнитного поля, но его необходимо ограничить и в направлении вдоль силовых линий поля. В зависимости от метода ограничения различают два типа магнитных ловушек: тороидальные и зеркальные (адиабатические). Предлагаю подробнее рассмотреть второй тип.

Принцип работы зеркальных магнитных ловушек основывается на особенностях поведения частицы при переходе из поля меньшей напряженности в поле большей напряженности. В сильном магнитном поле, когда радиус вращения частицы значительно меньше длины изменения поля, сохраняется величина mv2/B. Поскольку масса частицы постоянна, то при ее приближении к пробке, скорость вращения возрастает, а так как полная энергия заряженной частицы при движении в магнитном поле не меняется, то при росте поперечной скорости (скорости вращения) будет уменьшаться скорость смещения вдоль поля. В точке, где скорость смещения вдоль поля станет равной нулю, и происходит отражение частицы от магнитного зеркала.



рис. 5. *Принцип работы зеркальной ловушки*

Используя это свойство можно делать магнитные ловушки, которые будут удерживать заряженную частицу за счет изменения поля. Простейший вариант такой ловушки – пробкотрон. Такое название магнитная ловушка получила из-за того, что поле как бы закрыто с двух сторон магнитными полями большей плотности. Важно, чтобы ток в обоих источниках магнитного поля шел в одном направлении.



рис. 6. *Пробкотрон*

Но такая ловушка удерживает не все частицы. Если скорость движения заряженной частицы вдоль поля много больше скорости ее вращения, то она вылетает из пробкотрона.

Многопробочная ловушка – несколько последовательно соединенных пробкотронов, что дает возможность удерживать больше частиц. Еще один вариант – газодинамическая ловушка. От многопробочной ее отличает наличие с торцов электромагнитов меньшего диаметра, чем в центральной части, что позволяет более эффективно удерживать плазму. 

Рис. 7. *Многопробочная и газодинамическая ловушка*

Существуют и гораздо более нестандартные и сложные ловушки, но в сфере пожаротушения такие системы не являются актуальными.

**3.2 Конфигурации электрических полей**

Как известно из второй главы, электрическое поле является потенциальным, а значит, его линии напряженности не замкнуты, из чего следует, что попавший в поле заряд будет двигаться к источнику поля либо в противоположном направлении. Поэтому такое удерживание заряда в ограниченном пространстве, как при помощи магнитных ловушек, является невозможным. Однако есть конструкции, позволяющие удерживать заряженные частицы на заряженных телах.

Простейшими конструкциями являются заряженный стержень и шар. Создаваемое ими поле распространяется во все стороны, ослабевая с расстоянием. Поэтому и сила взаимодействия будет изменяться с расстоянием, что достаточно неудобно. В связи с этим создают установки, способные создавать однородное поле.

К примеру, электрическое поле заряженных пластин. Две пластины с разноименными зарядами ограничивают определенную часть пространства. Между ними образуется однородное электрическое поле.



Рис. 8 Однородное ЭП

На попадающую в это поле частицу действует сила Кулона, и частица устремляется к пластине с противоположным знаком и остается на ней. Но если не нужно, чтобы частицы осаждались на пластинах, то можно подавать на них переменный ток. Тогда заряд будет меняться с определенной частотой, и тогда частица придет в колебательное движение. Но большое количество заряженных частиц удержать гораздо труднее.

 **«Варианты систем борьбы с пожарами, использующих магнитные и электрические поля»**

Как было сказано в предыдущей части моей работы - существует три способа погасить огонь: убрать топливо, убрать окислитель или избавиться от нагревателя (открытого пламени). Основываясь на данных о магнитном и электрическом поле из главы [] можно сделать вывод, что потушить пожар с их помощью можно только сбив пламя, состоящее из ионизированного газа. Так как энергию, необходимую для поддержания горения обеспечивают быстрые ионизированные молекулы, сконцентрированные в небольшом объеме, то при их разрежении, энергии для поддержания горения будет недостаточно. Именно при помощи «размазывания» энергии я предлагаю тушить пожары электрическими и магнитными полями.

**4.1 Электрическое поле**

Простейшим источником электрического поля могут служить разноименно заряженные металлические пластины. Они создают однородное электрическое поле, направленное от положительно заряженной пластины к отрицательной. При помещении заряженных частиц в поле, положительные движутся к отрицательной пластине, а отрицательные – к положительной. Таким образом заряды распределяются по полю во время своего движения, тем самым уменьшается их концентрация в конкретной точке. А с уменьшением частиц с большой кинетической энергией, процесс горения будет становиться все слабее из-за отсутствия нагревателя достаточной мощности.

Этот способ может подойти для тушения пожаров в узких замкнутых помещениях вроде коридоров и кают на корабле. Конструкция будет состоять из металлических пластин, встроенных в стены (или пол и потолок) и подключенных к источнику электропитания. При срабатывании датчиков дыма ток будет подаваться на пластины, и те в свою очередь будут создавать электрическое поле, которое будет сбивать пламя (рис. 9). Данная конструкция обладает одним серьезным преимуществом – она не будет занимать много лишнего пространства, а в некоторых случаях, когда конструкции сделаны из проводящего металла, то их можно использовать в качестве источника электрического поля. То есть они приобретут дополнительную полезную функцию.

Рис. 9 Ионизированный газ рассеивается ЭП заряженных пластин (вид сверху)

Эту конструкцию можно усложнить. К примеру, можно разбить пластину на много узких пластинок, что повысит надежность, так как при отключении одной другие пластины смогут продолжать работу. А если поочередно включать пластины, создавая перемещающееся электрическое поле, то возможно будет смещать ионы не только в сторону пластин, но еще и вдоль стен, что поможет еще снизить концентрацию заряженных частиц (рис. 10). Эту систему можно еще усложнять, разделяя пластину на все меньшие сегменты, делая ее сотовой, и при помощи специального программного обеспечения добиваться максимально равномерного распределения заряженных частиц.



Рис. 10 Усложненная конструкция из серии парных пластин

Однако необходимо понимать, что при очень сильном пожаре система не сможет эффективно разделить ионизированный газ, так как концентрация заряженных частиц слишком велика, и разрежение в данном случае не будет достаточным. Поэтому данный способ может быть использован скорее для предотвращения распространения пожара. Для того чтобы быстро сбить пламя, необходимо электрическое поле высокой мощности. Оно обеспечивается высоким напряжением на пластинах. Здесь появляется еще одна проблема – пагубное влияние мощного электрического поля на организм человека. Воздействие на организм человека мощным электрическим полем может нарушить важные биологические процессы и привести к неприятным последствиям. Однако с другой стороны открытое пламя в замкнутом помещении представляет такую же, если не большую, опасность для здоровья живого организма.

**4.2 Магнитное поле**

В магнитных системах борьбы с огнем также предполагается смещать пламя относительно топлива, но поведение заряда в магнитном поле отлично от его поведения в электрическом. Поэтому конфигурация системы должна быть иной. Я предлагаю использовать перемещающееся магнитное зеркало.

Вокруг защищаемой зоны размещается некоторое количество катушек индуктивности. При возгорании они включаются и создают магнитное поле вокруг источника возгорания. Магнитное поле должно иметь конфигурацию зеркальной ловушки, чтобы удерживать пламя. Для этого вектор магнитной индукции в крайнем кольце должен быть больше, чем в средних. Затем магнитное поле усиливается на соседнем кольце, потом на следующем и так далее. Таким образом ионы «выдавливаются» из зоны возгорания, как паста из тюбика. Можно производить смещение заряженных частиц в несколько направлений, усложнив процесс (рис. 11). Для постоянного отделения огня можно создать некое подобие перистальтических сокращений магнитного поля, это даст возможность практически беспрерывно отбрасывать пламя.

Рис. 11 Зеркальная ловушка удерживает и разрежает газ

Для здоровья человека время, проведенное под воздействием сильного магнитного поля, не представляет особой опасности, однако тем, у кого есть ферромагнетические элементы в теле, вроде кардиостимуляторов, металлических штырей в костях и прочих, магнитное поле может навредить, так как оно оказывает сильное влияние на ферромагнетики, намагничивая и нагревая их. Так что таким людям противопоказано находиться под воздействием сильного магнитного поля. Но в остальном оно не представляет серьезной опасности для жизни человека.

**Вывод**

Основываясь на теории и полученных данных, можно сделать вывод, что тушение пожаров или, по крайней мере, управление огнем при помощи магнитных и электрических полей возможно, и может быть применено в ограниченных областях, где нельзя использовать более традиционные способы. Однако подобные системы имеют недостатки, например, сложную конструкцию и сомнительную надежность, что препятствует широкому распространению подобных установок. Возможно в дальней перспективе, когда технологии будут более совершенными, тушить пожары при помощи магнитных и электрических полей будет удобнее и выгоднее.

**Список литературы**

1. Академик [электронный ресурс]. Статьи: Магнитные ловушки, Магнитная индукция, Электрическое поле, Магнитное поле, Плазма, Огонь, Электромагнит, Ферромагнетики, Сверхпроводящий магнит. Режим доступа: [dic.academic.ru](http://dic.academic.ru/), свободный. Данные соответствуют 31.03.2013
2. Дмитрий Мамонтов. Гром и молния против огня. Популярная механика. 2013. С. 32-33.
3. Популярная механика [научно популярный журнал/электронный ресурс]. Статья: Самый мощный магнит в мире: Теслы. Автор: Пол Эйзенштейн. Режим доступа – свободный: механика http://www.popmech.ru/article/4996-samyiy-moschnyiy-magnit-v-mire/ . Данные соответствуют 09.10.2013
1. Академик [электронный ресурс]. Плазма. Огонь. Режим доступа: [dic.academic.ru](http://dic.academic.ru/), свободный. Данные соответствуют 31.03.2014 [↑](#footnote-ref-1)
2. Академик [электронный ресурс]. Магнитное поле. Электрическое поле. Режим доступа: [dic.academic.ru](http://dic.academic.ru/), свободный. Данные соответствуют 31.03.2014 [↑](#footnote-ref-2)
3. Академик [электронный ресурс]. Магнитное поле. Режим доступа: [dic.academic.ru](http://dic.academic.ru/), свободный. Данные соответствуют 31.03.2014 [↑](#footnote-ref-3)
4. Академик [электронный ресурс]. Сила Лоренца. Режим доступа: [dic.academic.ru](http://dic.academic.ru/), свободный. Данные соответствуют 31.03.2014 [↑](#footnote-ref-4)
5. Академик [электронный ресурс]. Магнитное поле. Режим доступа: [dic.academic.ru](http://dic.academic.ru/), свободный. Данные соответствуют 31.03.2014 [↑](#footnote-ref-5)
6. Академик [электронный ресурс]. Ферромагнетики. Режим доступа: [dic.academic.ru](http://dic.academic.ru/), свободный. Данные соответствуют 31.03.2014 [↑](#footnote-ref-6)
7. Академик [электронный ресурс]. Электромагнит. Режим доступа: [dic.academic.ru](http://dic.academic.ru/), свободный. Данные соответствуют 31.03.2014 [↑](#footnote-ref-7)
8. 2 Популярная механика [научно популярный журнал/электронный ресурс]. Статья: Самый мощный магнит в мире: Теслы. Автор: Пол Эйзенштейн. Режим доступа – свободный: механика <http://www.popmech.ru/article/4996-samyiy-moschnyiy-magnit-v-mire/> . Данные соответствуют 09.10.2013 [↑](#footnote-ref-8)
9. Академик [электронный ресурс]. Магнитные ловушки. Режим доступа: [dic.academic.ru](http://dic.academic.ru/), свободный. Данные соответствуют 31.03.2014 [↑](#footnote-ref-9)