

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ МАСС ИЛИ ПУШКА ГАУССА

Стрельцов З.А.

Научный руководитель – Русакевич Д.А., доцент, к.т.н.

Введение

В данной работе мы исследуем электромагнитный ускоритель массы или Гауссову пушку, которая известна всем любителям компьютерных игр и научно-фантастической литературы. Он был назван в честь немецкого физика Карла Гаусса, который заложил основы математической теории электромагнетизма. Электромагнетизм-это раздел физики, изучающий законы и явления, возникающие между электрическими и магнитными объектами и процессами.

Карл Гаусс вместе с физиком Вильгельмом Вебером провел плодотворные исследования в области земного магнетизма. Они также проводили исследования в области электромагнетизма, электродинамики, электричества и индукции. Электромагнитная индукция-это явление возникновения электрического тока, электрического поля или электрической поляризации, когда магнитное поле изменяется во времени или когда материальная среда движется в магнитном поле.

Считается, что идея пушки Гаусса была впервые выдвинута французскими инженерами Фашоном и Вильпле в 1916 году. Их модель электромагнитного ускорителя массы разгоняла снаряд, имевший массу 50 граммов, до скорости 200 м/с. Также в 1915 г. русский инженер Подольский и Ямпольский разработали проект 50-метровой пушки, работающей по схожему принципу. Но воплотить свой проект в реальности им так и не удалось.

Основная часть

Теоретически возможно использовать электромагнитный ускоритель массы для вывода легких спутников на орбиту, поскольку стационарное использование может иметь большой источник энергии.

Преимуществом пушки Гаусса по сравнению с другими видами оружия является возможность гибко варьировать начальную скорость и энергию снаряда. Кроме того, выстрел из пушки Гусса бесшумный. Но есть и недостаток-низкий КПД, который составляет не более 27% и связанные с этим высокие энергозатраты. Поэтому в наше время пушка Гаусса применима только в качестве любительской установки. Однако идея может получить вторую жизнь, если будут изобретены новые компактные и мощные источники питания.

Из всех видов электромагнитного оружия Гауссовская пушка является самой простой в изготовлении.

Несмотря на свою простоту, пушка Гаусса имеет невероятно большой простор для конструкторских решений и инженерных изысканий, поэтому это направление достаточно интересно и перспективно.

В цилиндрической обмотке при протекании через нее электрического тока возникает магнитное поле. Это магнитное поле внутри катушки втягивает снаряд из ферромагнетика, а затем он начинает ускоряться. На концах снаряда образуются полюса, ориентированные соответственно полюсам катушки, из-за чего после прохождения центра обмотки снаряд притягивается в противоположном направлении, то есть замедляется. Если в тот момент, когда снаряд находится в середине обмотки, ток в ней исчезает, то магнитное поле исчезнет и снаряд, набравший скорость, свободно пролетит через другой конец обмотки. Для наибольшего эффекта импульс тока в соленоиде должен быть кратковременным и мощным. Как правило, для генерации такого импульса используются электролитические конденсаторы с высоким рабочим напряжением.

На практике конструкция простейшей пушки Гаусса представляет собой медную проволоку, намотанную в несколько слоев на диэлектрическую трубку и конденсатор большой емкости. Снаряд помещается внутрь трубки непосредственно перед началом обмотки, а затем предварительно заряженный конденсатор замыкается на обмотку с помощью электрического ключа.

Параметры обмотки, снаряда и конденсаторов должны быть подобраны таким образом, чтобы при приближении снаряда к середине обмотки ток в последней успевал уменьшиться до минимального значения, т.е. заряд конденсаторов был бы полностью израсходован. В этом случае КПД одноступенчатого электромагнитного ускорителя будет максимальным.

Описание схемы

Пушка Гаусса, состоит из параллельно соединённых конденсаторов и катушки индуктивности.

1.2.1 Конструктивные элементы

Источник питания

Источник питания с выходным напряжением от 9 В до 24В.

Конденсаторы

Мы использовали 2 электролитических конденсаторов емкостью по 10000мкФ, рассчитанных на напряжение до 36 В.

Катушка индуктивности

Катушку индуктивности мы решили изготовить из медной проволоки диаметром 1 мм.

Провод монтажный

Для сборки схемы мы использовали монтажный провод с площадью поперечного сечения 1 мм² и медной жилой.

Кнопки миниатюрные с фиксацией

1 кнопка служит для подачи открывающего напряжения на конденсаторы, 2 кнопка - служит для подачи напряжения от конденсаторов к катушке индуктивности.

1.2. 2. Сборка установки

Из вышеперечисленных элементов в ходе работы была собрана следующая схема:

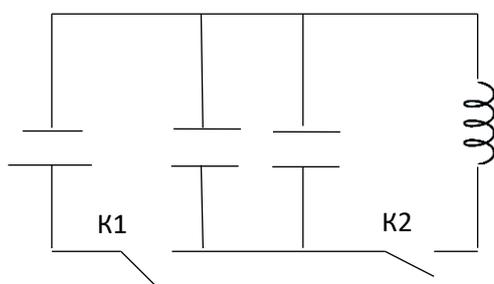


Рис.1 - Схема установки

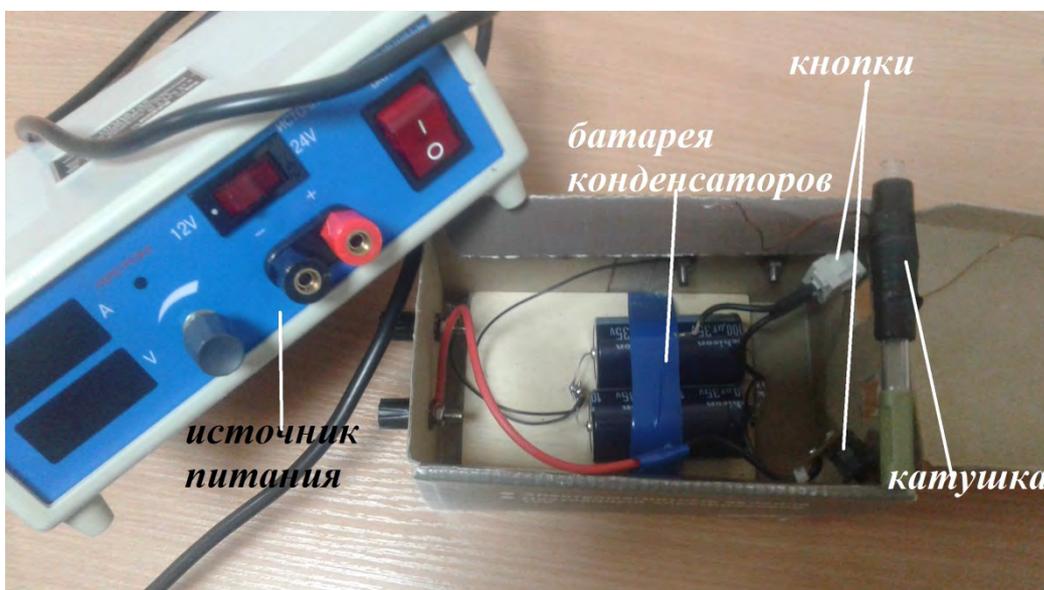


Рис.2 - Фотография установки

Порядок действий для выстрела

После подключения проводов к источнику питания (ИП) включите ИП и переключить тумблер на 24В. Переключатель K1 в положение "Вкл.". В то

же время значения на амперметре ИП изменяются от 2А до 0А в течение 2 секунд.

Переменный ток от ИП подается на батарею конденсаторов. По мере того как конденсаторы заряжаются, показания амперметра уменьшаются. После того как значение на амперметре будет равно 0А, необходимо привести выключатель в положение "Выкл.". Во время уменьшения значений на амперметре батарея конденсаторов успевает зарядиться до ~24 В. Чтобы сделать выстрел, теперь достаточно нажать кнопку управления К2, которая соединяет батарею конденсаторов с катушкой. После выстрела, прежде чем снова зарядить конденсаторы, нужно еще раз нажать кнопку К2, потому что используется кнопка "блокировка".

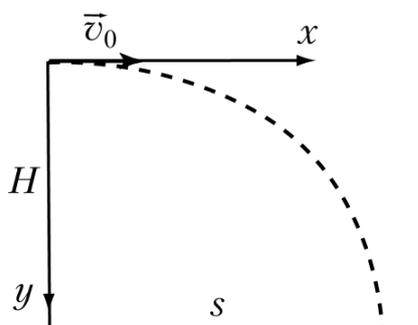
Предмет исследования

Магнитное поле, создаваемое катушкой, можно разделить на три области в том порядке, в котором пуля проходит через них при ускорении: область низкой плотности магнитных линий, область высокой плотности неоднородных силовых линий (здесь пуля ускоряется больше всего) и область однородного поля.

Несмотря на то, что импульс тока на индукторе очень короткий, начальное положение пули в стволе должно быть таким, чтобы, когда пуля находится в середине катушки, в ней не было тока. Если пулю перед выстрелом разместить слишком близко к центру катушки, то, во-первых, магнитное поле в области ускорения будет близко к равномерному, а во-вторых, пуля, прошедшая среднюю катушку, будет тормозиться тем же магнитным полем, через которое она была ускорена. Поэтому в этом случае эффективность установки будет незначительной. Если пуля изначально расположена слишком далеко от середины катушки, то, во-первых, в области ускорения плотность линий магнитного поля будет мала, а во-вторых, пуля не успеет достичь области высокой плотности неоднородных линий магнитного поля во время ускорения. Поэтому положение пули перед выстрелом очень важно, что было подтверждено экспериментально.

Кроме того, линейный размер и форма пули также играют важную роль в ускорении. Чтобы эффективность электромагнитного ускорителя была максимальной, пуля должна быть относительно тонким стержнем. Длина стержня должна быть приблизительно равна длине силовых линий высокой плотности неоднородного магнитного поля. Если пуля длиннее, то ее масса увеличится, а магнитная сила, действующая на нее, практически не изменится (силы, действующие на пулю в областях однородного поля и низкой плотности силовых линий, очень малы). Если пуля короче, то разница в плотности силовых линий на ее концах будет незначительной, следовательно, уменьшение массы пули окажет гораздо меньшее влияние на ее скорость, чем уменьшение магнитной силы. Этот факт был также подтвержден экспериментально в ходе работы.

Мы ожидали, что созданный ими электромагнитный ускоритель будет иметь КПД около нескольких процентов, что соответствует скорости пули от 20 до 60 метров в секунду. Еще до первых экспериментов супервайзер предложил метод измерения начальной скорости. Установка должна была быть собрана из двух листов фольги на расстоянии около 1,5 см друг от друга, источника постоянного напряжения и осциллографа, соединенных последовательно. Пуля определенной длины должна была замыкать цепь, а осциллограф должен был фиксировать время замыкания. Этот метод подходит для измерения высоких скоростей пули из-за высокой точности осциллографа. К сожалению, наши ожидания не оправдались, и наибольшая скорость пули, которая была достигнута, составила 14,5 м/с. Для таких малых скоростей лучше подходит более простой метод, заключающийся в измерении дальности полета пули при стрельбе горизонтально с известной высоты. Именно этот метод мы использовали во время наших экспериментов.



Эксперимент 1

Цель: проверить работоспособность собранной нами установки

Ход работы: мы подключили к батарее конденсаторов катушку №1; заряжали конденсаторы до момента, когда погасла лампочка, отключили установку от внешнего источника питания и пустили ток к катушке.

Пуля вылетела из пушки с довольно низкой скоростью.

Этот опыт показал верность собранной нами схемы, но также доказал, что у пушки Гаусса очень низкий КПД.

Эксперимент 2

Цель: исследование зависимости скорости пули от количества задействованных слоёв проволоки в катушке.

Использовалась катушка №1.

Пуля – стальной стержень массой 3 г и длиной 45 мм.

Ход работы: как мы уже описывали выше, мы определяли скорость снаряда по расстоянию, которое он пролетел при горизонтальном броске.

$$v = \frac{L}{t} = \frac{L}{\sqrt{\frac{2h}{g}}} = \sqrt{\frac{L^2 g}{2h}}$$

Мы зарядили конденсаторы, выключив ток от внешнего источника питания через несколько секунд после того, как погасла лампочка. Далее пустили ток к катушке и измерили расстояние между проекцией конца ствола пушки на пол и точкой падения пули. Высоту падения мы измеряли как расстояние между центром ствола и полом. Для каждого количества задействованных слоев мы провели по 7 выстрелов.

Далее приведены результаты эксперимента:

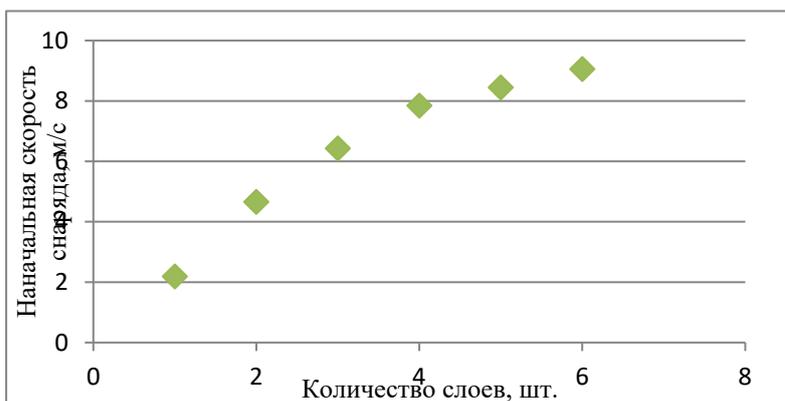
| Количество слоев, шт. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------|
| Дальность полета снаряда, м | 1,08 | 2,20 | 3,06 | 3,78 | 4,08 | 4,26 |
| | 1,05 | 2,29 | 3,07 | 3,80 | 4,14 | 4,27 |
| | 1,02 | 2,25 | 3,17 | 3,90 | 3,99 | 4,51 |
| | 1,04 | 2,24 | 3,08 | 3,69 | 3,95 | 4,46 |
| | 1,05 | 2,22 | 3,03 | 3,82 | 4,06 | 4,35 |
| | 1,03 | 2,25 | 3,12 | 3,74 | 4,01 | 4,38 |
| | 1,15 | 2,26 | 3,13 | 3,70 | 4,17 | 4,31 |
| Средняя дальность полета, м | 1,05 | 2,24 | 3,09 | 3,77 | 4,06 | 4,35 |

Начальная высота: 1,13м.

Скорости снаряда по приведенной выше формуле:

| Количество слоев, шт. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|
| Средняя скорость, м/с | 2,19 | 4,66 | 6,43 | 7,85 | 8,45 | 9,06 |

График зависимости начальной скорости снаряда от количества слоев:



В этом эксперименте мы увидели, что количество слоёв катушки для оптимального КПД больше, чем количество слоёв в катушке №1. Таким образом, для достижения наивысшей скорости снаряда и КПД, нужно было намотать новую катушку с большим количеством слоёв и так, чтобы средний диаметр её задействованных слоёв был оптимален при большем их количестве. Далее мы называем её катушкой №2.

Эксперимент 3

Цель: исследование зависимости скорости пули от количества задействованных слоёв проволоки в катушке.

Использовалась катушка №1.

Пуля – стальной стержень массой 3 г и длиной 45 мм.

Ход работы: как и в эксперименте 2, мы определяли скорость снаряда по пройденному им расстоянию при горизонтальном выстреле.

Эксперимент проводился так же, как и эксперимент 2, но в катушку был вставлен ферритовый сердечник.

Результаты эксперимента:

При одном слое проволоки снаряд из пушки не вылетел.

| Количество слоёв, шт. | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|
| Дальность полета снаряда, м | 1,46 | 2,63 | 3,56 | 3,76 | 4,13 |
| | 1,45 | 2,72 | 3,54 | 4,02 | 4,20 |
| | 1,40 | 2,67 | 3,68 | 3,63 | 4,19 |
| | 1,42 | 2,74 | 3,57 | 3,93 | 4,21 |
| | 1,43 | 2,71 | 3,52 | 3,96 | 4,18 |
| | 1,46 | 2,62 | 3,59 | 3,67 | 4,17 |

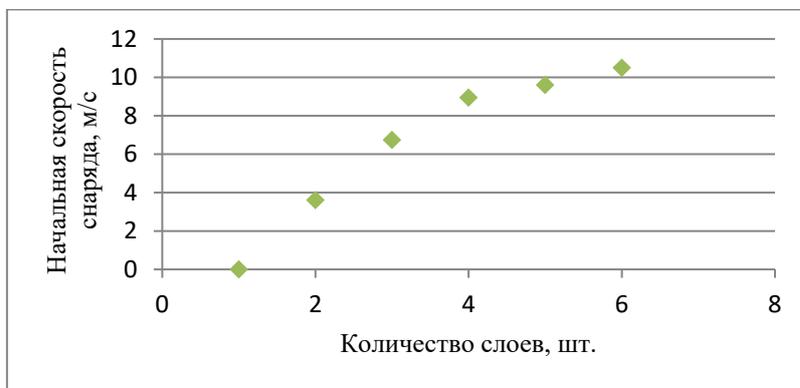
| | | | | | |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|
| | 1,51 | 2,72 | 3,54 | 3,83 | 4,19 |
| Средняя дальность полета, м | 1,44 | 2,69 | 3,57 | 3,83 | 4,19 |

Начальная высота: 0,78м

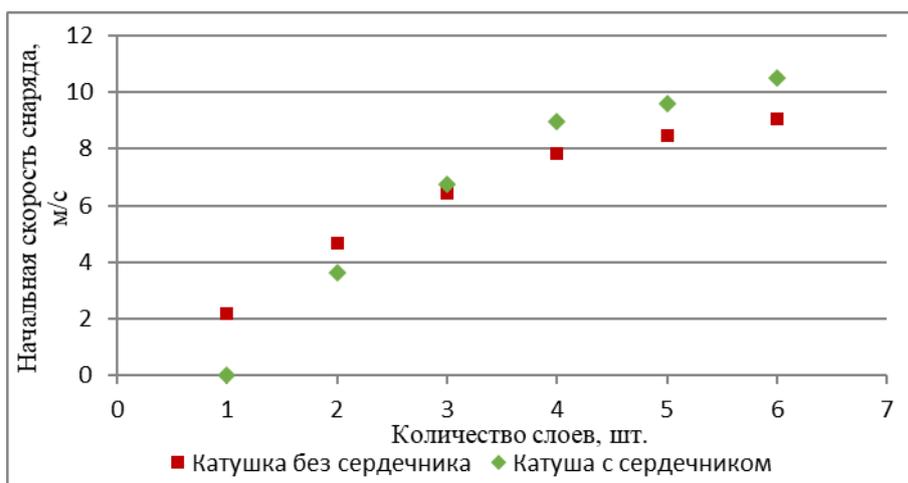
Скорости снаряда, рассчитанные по приведенной выше формуле:

| | | | | | |
|-----------------------|------|------|------|------|-------|
| Количество слоев, шт. | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Средняя скорость, м/с | 3,61 | 6,74 | 8,95 | 9,60 | 10,50 |

График зависимости начальной скорости снаряда от количества слоев:



Как мы видим, при использовании 1 и 2 слоев скорость снаряда была меньше, чем без ферромагнетика, при использовании 3-6 слоев – больше. При сопоставлении графиков из экспериментов 2 и 3 видно, что при увеличении количества слоев положительное влияние ферромагнитного сердечника на начальную скорость пули (и на КПД установки) усиливается:



Погрешности

Для данной формулы: $v = \frac{L}{t} = \frac{L}{\sqrt{\frac{2h}{g}}} = \sqrt{\frac{L^2 g}{2h}}$ формула относительной погрешности выглядит так: $\varepsilon = \sqrt{\varepsilon(L)^2 + \frac{1}{2}\varepsilon(g)^2 + \frac{1}{2}\varepsilon(h)^2}$.

Абсолютную погрешность рулетки мы приняли за 5 мм (поскольку сложно точнее определить расстояние, пройденное пулей и также сложно оценить точную высоту ствола), и, поскольку все наши измерения много больше 500 мм, можно сказать, что относительные погрешности всех линейных измерений много меньше 1%. Относительная погрешность ускорения свободного падения составляет $\frac{0,05}{9,8} \times 100\% = 0,51\%$. Таким образом, если мы подставим максимально возможные значения погрешностей в указанную выше формулу, относительная погрешность все равно составит менее 1%.

Заключение

В ходе работы нами был создан собственный рабочий прототип пушки Гаусса. Также было проведено исследование некоторых её свойств.

В ходе экспериментов подтвердились прогнозы о зависимости начальной скорости пули от её положения относительно катушки перед выстрелом, а также от количества задействованных слоёв проволоки в многослойной катушке.

Выяснилось, что ферритовый сердечник внутри катушки оказывает существенное влияние на начальную скорость пули: он может её увеличивать или уменьшать, в зависимости от количества используемых слоёв.

При экспериментах с катушкой на 15 слоёв оказалось, что наибольшая скорость пули достигается при подключённых 11 слоях, а дальнейшее увеличение количества слоёв приводит к уменьшению скорости пули.

Таким образом, чтобы пушка Гаусса работала наилучшим образом, параметры конденсаторов, катушки и пули должны быть точно согласованы.

Литература

1. Выстрел в будущее: пушка Гаусса своими руками. <http://www.popmech.ru/diy/7864-vystrel-v-budushchee-pushka-gaussa-svoimi-rukami/>
2. Лабораторное оборудование. Пушка Гаусса. <http://www.coilgun.eclipse.co.uk/experiments.html>
3. Пушка Гаусса основы. <http://www.coilgun.eclipse.co.uk/theory.html>
4. Сайт Гаусс. <http://www.gauss2k.narod.ru/>