

Проектно-ориентированная работа
Секция: Модели и технические устройства

«Магнитная левитация (левитрон)»

Выполнила:
Колесникова Ирина Владимировна
учащаяся 10 «А» класса
МБОУ СОШ №46, Россия, г. Калуга

Руководитель:
Иванова Татьяна Анатольевна
Учитель физики
МБОУ СОШ №46, Россия, г. Калуга

ПАСПОРТ ПРОЕКТА

Тема проекта	магнитная левитация (левитрон)
Исполнитель проекта	Колесникова Ирина Владимировна, 10 А класс
Куратор проекта	Иванова Татьяна Анатольевна
Название общеобразовательного учреждения	МБОУ “СОШ №46”
Год разработки учебного проекта	2021-2022 год
Актуальность	3D-печать биологических тканей очень важная и актуальная тема в современном мире. Но по ряду ограничения из-за гравитации этот процесс становится очень проблематичным в космосе
Проблема	Сложность 3D-печати биологических тканей по ряду ограничения из-за гравитации
Продукт	Прибор для демонстрации магнитной левитации (Левитрон) и обучающий видеофильм
Цель	Сделать прибор для создания магнитной левитации и снять обучающий видеофильм для демонстрации магнитной левитации.
Задачи	<ol style="list-style-type: none"> 1. Изучить литературу по явлению и продукту, который я хочу получить; 2. Определиться с материалами, из которых будет создан продукт; 3. Сконструировать модель; 4. Проверить модель на работоспособность; 5. Внести правки в конструкции модель; 6. Сконструировать окончательный вид модели; 7. Продемонстрировать модель;

ВВЕДЕНИЕ	4
1. Глава 1. Теоретическая часть.....	5
1.1. Магнитная левитация.....	5
1.2. Левитрон.....	5
1.3. Принцип работы различных левитронов	6
1.3.1. Платформенный левитрон.....	6
1.3.2. Левитрон на датчике Холла и полевом транзисторе.....	7
1.4. Эффект Холла.....	7
1.5. Датчик Холла, устройство и работа, виды и применение.....	8
1.5.1. Датчик Холла.....	8
1.5.2. Устройство и работа датчика Холла.....	8
1.5.3. Виды.....	9
1.5.4. Применение.....	9
1.6. Применение магнитной левитации на практике.....	9
1.6.1. Применение магнитной левитации для быстрого передвижения.....	9
1.6.2. Применение магнитной левитации в энергетике.....	9
1.6.3. Применение магнитной левитации при проведении выставок	10
1.6.4. Применение магнитной левитации в космосе	10
1.6.5. Применение магнитной левитации при проведении выставок.....	10
2. Глава 2. Практическая часть.....	10
2.1. Предварительная часть.....	10
2.2. Сборка.....	10
2.3. Внесение поправок в модель.....	11
2.4. Создание видеофильма.....	12
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	12
Список используемой литературы:.....	13
Приложения.....	14
Приложение1 Магнитный левитрон.....	14
Приложение2 Электромагнитный левитрон. Навесной монтаж на пороговом датчике Холла.....	15
Приложение3 Электромагнитный левитрон на на аналоговом датчике Холла.....	16
Приложение4 Схема электрическая принципиальная.....	18
Приложение5 Функциональная схема.....	19

ВВЕДЕНИЕ

В интернете я увидела статью о том, что учёными из Объединённого института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН) была разработана новая технология 3D-печати биологических тканей, которая стала возможна благодаря исследованиям магнитной левитации в условиях невесомости. Эта тема заинтересовала меня, и я стала искать по этой теме материалы. На одном из сайтов в интернете я увидела наглядную демонстрацию магнитной левитации на примере левитрона.

Это подтолкнула меня к решению реализовать проект, целью которого – разработать и создать прибор для демонстрации магнитной левитации. Магнитную левитацию легче всего продемонстрировать на примере левитрона, поэтому моим продуктом будет модель магнитного левитрона на датчике Холла. С помощью этого прибора можно будет наглядно продемонстрировать явление магнитной левитации.

Для достижения цели нужно решить следующие задачи:

1. Изучить явление магнитной левитации и работу левитрона
2. Рассмотреть разные примеры левитронов
3. Собрать работающую модель левитрона
4. Сконструировать модель;
5. Проверить модель на работоспособность;
6. Внести правки в конструкции модель;
7. Сконструировать окончательный вид модели;
8. Продемонстрировать школьникам устройство, работающее на магнитной левитации.

Ресурсы:

1. Неодимовый магниты
2. электромагнит
3. Резисторы (7 шт.)
4. микросхема
5. диод
6. транзистор
7. Печатная плата
8. Блок питания
9. Аналоговый датчик Холла
10. Конденсатор
11. Паяльник
12. Интегральный стабилизатор напряжения
13. Учебная литература

1. Глава 1. Теоретическая часть

1.1. Магнитная левитация

Слово «левитация» происходит от английского «levitate» - парить, подниматься в воздух. То есть левитация — это преодоление объектом гравитации, когда он парит и не касается опоры, не отталкиваясь при этом от воздуха, не используя реактивную тягу. С точки зрения физики, левитация — это устойчивое положение объекта в гравитационном поле, когда сила тяжести скомпенсирована и имеет место возвращающая сила, обеспечивающая объекту устойчивость в пространстве.

В частности магнитная левитация — это технология подъёма объекта с помощью магнитного поля, когда для компенсации ускорения свободного падения или любых других ускорений используется магнитное действие на объект. Именно о магнитной левитации и пойдет речь в данной статье.

Магнитное удержание объекта в состоянии устойчивого равновесия можно реализовать несколькими способами. Каждый из способов имеет свои особенности, и к каждому можно предъявить претензии, вроде «это не настоящая левитация!», и так оно на самом деле и будет. Настоящая левитация в чистом виде недостижима.

Так, теорема Ирншоу доказывает, что, используя только ферромагнетики, невозможно устойчиво удерживать объект в гравитационном поле. Но несмотря на это, с помощью сервомеханизмов, диамагнетиков, сверхпроводников и систем с вихревыми токами возможно достичь подобие левитации, когда какой-нибудь механизм помогает объекту сохранять равновесие, когда тот поднят над опорой магнитной силой. [11]

Магнитную левитацию я решила продемонстрировать с помощью левитрона

1.2. Левитрон

Левитрон – это устройство, удерживающее объект в равновесии с силами гравитации с помощью магнитного поля.

Формулы, связанные с принципом действия левитрона.

Сила тяжести магнита

$$F = gm$$

m — масса магнита

g — ускорение свободного падения

Сила Ампера

$$F_A = B \cdot J \cdot L \cdot \sin\alpha$$

B - сила тока в проводнике

J - модуль вектора магнитной индукции

L - длина части проводника находящегося в магнитном поле

α - угол между направлением тока в проводнике и вектором магнитной индукции

Коэффициент усиления операционного усилителя:

$$(R_4 + R_6) / R_3$$

Резисторы R_3 , R_4 и R_6 -определяют коэффициент усиления операционного усилителя.

1.3. Принцип работы различных левитронов

При изучении материала и учебной литературы я узнала, что левитроны бывают разных видов.

Левитрон — волчок, который, вращаясь, способен «зависать» в воздухе над специальной коробкой, образующей магнитную подушку.

Будучи в раскрученном состоянии, магнитный волчок массой ~20 граммов способен зависнуть над специально расположенной системой постоянных магнитов в коробке (так как магниты постоянные, левитрон не требует источника электрического тока). Волчок представляет кольцевой постоянный магнит с осью вращения, совпадающей с осью симметрии этого магнита. Магнит в коробке обычно тоже кольцо, но большего диаметра. Форма магнитного поля обусловлена сочетанием этих двух размеров. Над центром большого магнита на определённом расстоянии образуется потенциальная яма, то есть небольшая зона, в центре которой магнитное поле несколько слабее, чем у краёв. Это не дает волчку отклониться от центра коробки. Размер этой зоны определяет вес, магнитное поле волчка, и место, где явление возможно. Вращение необходимо для того, чтобы волчок не перевернулся. Момент инерции вращающегося тела, в соответствии с законом сохранения момента импульса удерживает волчок в положении отталкивающим полюсом вниз. Волчок испытывает силу трения только о воздух, вследствие чего он может парить довольно долго.

Более сложные варианты отличаются лишь тем, что используют тот или иной способ раскручивания предмета, который обычно заключён внутри небольшого глобуса. Тогда «левитация» длится, пока устройство не будет выключено или в нём не разрядятся батарейки. В нижней коробке дополнительно находится электромагнитная катушка-передатчик, а в верхнем предмете катушка-приёмник, которые совместно образуют воздушный трансформатор. Подобные устройства питания известны в виде беспроводных индукционных компьютерных мышей, где провод ведёт только к коврику. [5]

1.3.1. Левитрон на датчике Холла и полевом транзисторе

Простейшее устройство для демонстрации левитации магнита - левитрон, собран на основе датчика Холла SS441A (Рис.1).

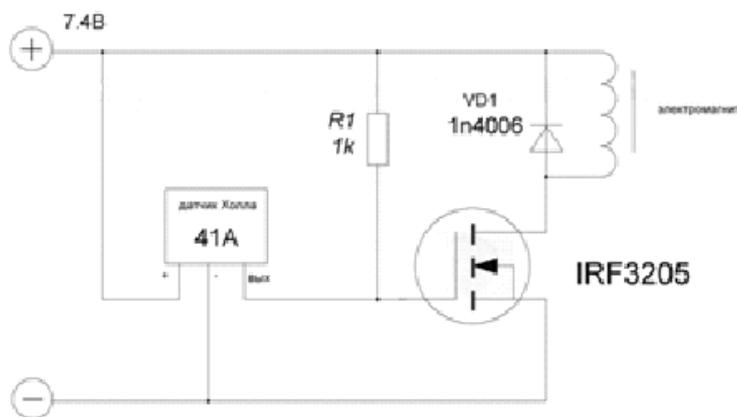


Рис.1. Левитрон на датчике Холла. Схема.

Принцип действия: при подаче напряжения питания, ток идет через катушку-электромагнит, создающий магнитное поле, к которому притягивается маленький постоянный магнит. Но между электромагнитом и постоянным магнитом находится датчик Холла. Когда постоянный магнит попадает в зону действия датчика Холла, то датчик блокирует работу полевого транзистора и электромагнит отключается, при этом постоянный магнит падает вниз. Как только поле постоянного магнита исчезает из зоны действия датчика Холла, вновь включается электромагнит и снова притягивает его к себе. Эти все падения и притяжения повторяются несколько десятков или сотен раз

в секунду, это не видно и кажется, что магнит висит в воздухе неподвижно. Для стабилизации левитации, снизу магнита приклеить утяжелитель, иначе магнит сможет перевернуться. [8]

1.3.2. Платформенный левитрон

В основании лежат постоянные магниты, которые создают магнитное поле в виде купола. На самой его вершине находится точка равновесия, в этой точке магниты основания как бы выталкивают левитирующий магнит вверх, компенсируя силу тяжести. Но, эта точка крайне нестабильна, и левитирующий магнит постоянно слетает с нее. Поэтому пригодятся электромагниты и датчики Холла, которые отслеживают положение магнита и как только он начинает улетать с точки, включается соответствующий электромагнит и подтягивает левитирующий магнит обратно в центр. Таким образом, он совершает колебания в разные стороны, но с большой частотой, и глаз этого практически не видит. [7]

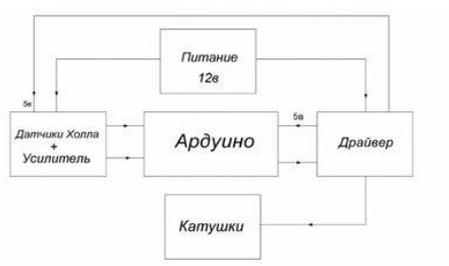


Рис.2. Схема устройства.

1.4. Эффект Холла

Работа моего левитрона зависит от датчика Холла, а работа самого датчика основана на эффекте Холла

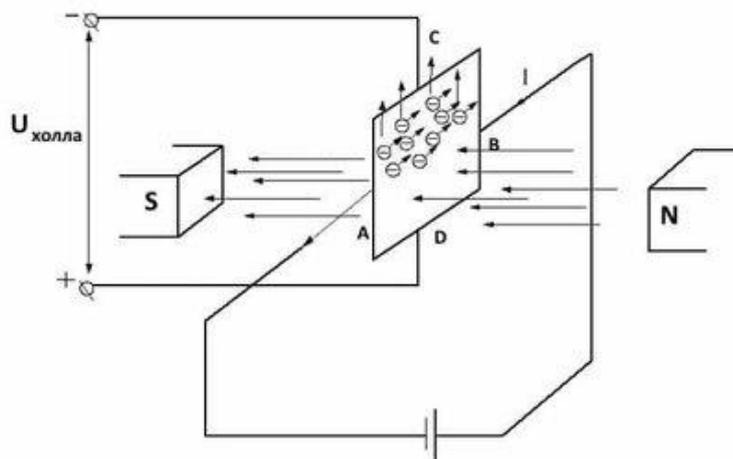


Рис.3. Демонстрация эффекта Холла.

Во время своих исследований в 1879 году физик Холл выявил такой эффект, что если в магнитном поле находится пластина, на которую подается напряжение (ток протекает через пластину), тогда электроны в указанной пластине начинают отклоняться. Такое отклонение происходит перпендикулярно по отношению к тому направлению, которое имеет магнитный поток.

Также направление этого отклонения происходит в зависимости от той полярности, которую имеет магнитное поле. Получается, электроны будут иметь разную плотность на разных сторонах пластины, создавая разные потенциалы. Обнаруженное явление получило название эффект Холла.

Другими словами, Холл поместил прямоугольную полупроводниковую пластину в магнитное поле и на узкие грани такого полупроводника подал ток. В результате на широких гранях появилось напряжение. Дальнейшее развитие технологий позволило создать на основе обнаруженного эффекта компактное устройство-датчик. Главным преимуществом датчиков подобного рода выступает то, что

частота срабатывания устройства не смещает момент измерения. Выходной сигнал от такого устройства всегда устойчивый, без всплесков. [9]

До середины прошлого века открытие не находило серьезного технического применения, пока не было налажено производство полупроводниковых элементов на основе кремния, сверхчистого германия, арсенида индия и т.д., обладающих необходимыми свойствами. Это открыло возможности для производства малогабаритных датчиков, позволяющих измерять как напряженность поля, так и силу тока, идущего по проводнику. [10]

1.5. Датчик Холла, устройство и работа, виды и применение

1.5.1. Датчик Холла

Датчик Холла это специфический магнитоэлектрический прибор, открытый впервые Холлом. Его основной принцип работы заключается в связи званного элемента со схемой. Такая схема на своем выходе создает определенный информационный сигнал. Именно зафиксированное поле является главным принципом работы этого устройства. В основном такое устройство используют, чтобы измерить скорость неподвижных элементов, с которой они перемещаются в какой-либо конструкции. [9]



Рис.3. Датчик Холла.

1.5.2. Устройство и работа датчика Холла

Датчик Холла - это радиоэлемент, состоящий из контактов, пластикового корпуса и кварцевой пластины с нанесенными на неё напылением деталями.

Работа устройства построена на следующей схеме: датчик Холла реагирует на внешнее магнитное поле катушки и управляет им. Когда магнитное поле больше определённого значения, то датчик подаёт сигнал на плату управления и она уменьшает ток, идущий через катушку и уменьшает магнитное поле. Когда магнитное поле меньше определённого значения, то датчик подаёт сигнал на плату управления и она увеличивает ток, идущий через катушку и увеличивает магнитное поле.[1]

1.5.3. Виды

Есть два типа датчиков Холла:

- **Цифровые датчики.** Работают на определение магнитного поля. Если индукция доходит до определенного предела, то датчик дает сигнал на присутствие магнитного поля. Если предел не достигнут, то сигнал равен нулю. Слабая индукция и малая чувствительность датчика не дает сигнал наличия поля. Недостатком такого типа датчика является то, что у него есть зона нечувствительности порогов. Цифровые датчики Холла делятся на: униполярные и биполярные:
 - Униполярные датчики Холла работают, если есть поле какой-либо полярности, выключаются при уменьшении индукции.
 - Биполярные датчики Холла срабатывают на изменение полярности поля. При одной полярности датчик включается, а при другой – выключается.

- Аналоговый вид датчиков Холла изменяет индукцию поля в разность потенциалов. Значение датчика зависит от полярности и его силы. Нужно учитывать, на каком расстоянии находится датчик. [9]

1.5.4. Применение

Датчики Холла входят в состав многих приборов. Чаще они применяются в измерении напряженности поля магнитной индукции, в электродвигателях, в ионных двигателях ракет. Широкое распространение датчики Холла нашли в устройстве системы зажигания современных автомобилей.

Также они используются в бесконтактных выключателях, герконах, при измерении силы тока, уровня жидкости и других местах. Главное их преимущество – это воздействие без физического контакта. [9]

1.6. Применение магнитной левитации на практике

1.6.1. Применение магнитной левитации в космосе

Благодаря исследованиям магнитной левитации в условиях невесомости стала возможна новая технология 3D-печати биологических тканей. Работа биопринтера основана на технологии магнитной левитации, которая позволяет ему эффективно создавать живые ткани и микроорганы в условиях невесомости. Процесс выращивания материала происходит не послойно, а с использованием «формативного» принципа, когда образец растёт в сильном магнитном поле в условиях микрогравитации. В будущем подобная технология может использоваться для лечения критических переломов, а также для замещения дефектов при опухолях костной ткани или окружающих мягких тканях с метастазами.

1.6.2. Сверхпроводники

Эффектом, сравнимый с магнитной левитацией, обладают сверхпроводники (магнитные материалы, электрическое сопротивление которых исчезает при низких температурах). Интересное применение в космической отрасли нашла сверхпроводящая пена — в устройствах стыковки космических кораблей и спутников. Управляя магнитным полем в сверхпроводнике, можно контролировать причаливание, стыковку и отталкивание. За счет образуемого поля она также может применяться в качестве магнитов для сбора мусора в космосе. В дополнение, пену можно использовать как элемент электродвигателей или источник магнитной связи в линиях электропередач.

1.6.3. Применение магнитной левитации для быстрого передвижения

Поезд на магнитной подушке или магнитоплан - это поезд или трамвай, удерживаемый над полотном дороги, движимый и управляемый силой электромагнитного поля. Такой состав, в отличие от традиционных поездов и трамваев, в процессе передвижения не касается поверхности рельса. Так как между поездом и поверхностью полотна существует зазор, трение между ними исключается, и единственной тормозящей силой является аэродинамическое сопротивление.

Скорость, достигаемая поездом на магнитной подушке сравнима со скоростью самолёта и позволяет составить конкуренцию воздушному транспорту на ближне- и среднемагистральных направлениях. [12]

1.6.4. Применение магнитной левитации в энергетике

Интересным практическим направлением можно считать широкое применение магнитных подшипников в ключевых узлах механизмов. Их установка решает серьезную проблему износа исходного материала.

Как известно, классические подшипники истираются довольно быстро – они постоянно испытывают высокие механические нагрузки. В некоторых областях необходимость замены этих деталей обозначает не только дополнительные расходы, но и высокий риск для людей, которые обслуживают механизм. Магнитные подшипники сохраняют работоспособность во много раз дольше, так что их применение весьма целесообразно для любых экстремальных условий. В частности, в атомной энергетике, ветровых технологиях либо отраслях, сопровождаемых чрезвычайно низкими/высокими температурами. [4]

1.6.5. Применение магнитной левитации при проведении выставок

Магнитную левитацию применяют для эффектности при проведении выставок. Экспонаты попросту парят над тумбами, что придает зрелищности. [4]

2. Глава 2. Практическая часть

2.1. Предварительная часть

Изначально я планировала изготовить левитрон пластины, со вставленными в неё постоянными магнитами и волчка, также изготовленного из постоянного магнита. Магниты должны были быть повернуты одноименными полюсами друг к другу. Магниты, вставленные в дощечку, создавали бы магнитное поле, которое бы удерживало магнитный волчок в равновесии и не позволяло бы ему упасть. Но на практике крайне сложно добиться такого эффекта из-за того, что магниты имеют разное по силе магнитное поле (более сильное или слабое), поэтому магнитный волчок не будет находиться в равновесии, а будет притягиваться к магнитам с более сильным магнитным полем и падать. Поэтому от этой идеи мне пришлось отказаться, и я стала делать левитрон с управляемым магнитным полем, левитрон на датчике Холла.

2.2. Сборка

Все необходимые детали у меня в наличии, можно приступать к сборке.

Главным элементом конструкции является электро-магнитная катушка (соленоид), которая и удерживает своим полем постоянный магнит.

Чтобы сделать такую катушку, надо плотно намотано 78 метров медного эмалированного провода диаметром 0.3 мм на пластиковый каркас D15x5. В катушке получилось где-то 500 витков. По расчетам, при сопротивлении 4.8 Ом и питании 12В, ток будет 2.5А, мощность 30Вт. Это необходимо для подбора внешнего блока питания.

Внешний блок питания взят с запасом по мощности и обеспечивает ток до 5А при 12В.

Внутри катушки вставлен и закреплен датчик Холла. [6]

Катушка с датчиком закреплена на держателе штатива, который, в свою очередь, крепится на штативе, рядом с которым находится плата управления.

Плата управления собиралась из деталей, имеющихся в наличии дома у папы дома. Радиатор и транзистор были взяты от старого компьютерного блока питания. Резисторы были взяты со старых плат, от ненужных приборов. Пороговый датчик Холла был взят с автомобильного датчика. Эта конструкция была собрана навесным монтажом.

В качестве левитирующего объекта используется магнит с прикрепленным к нему утяжелителем. [6]

Но в ходе испытания этого левитрона возникла проблема: из-за того что пороговый датчик Холла включается и выключается только при определенном значении магнитного поля, магнит либо сильно притягивается к катушке, либо падает, а после 2-3 колебаний выходил из зоны действия катушки-электромагнита и падал, не зависая в воздухе. Попытки найти рабочую точку устойчивого положения датчика Холла путём перемещения его внутри катушки не привели к желаемому результату.

2.3. Внесение поправок в модель

Для решения этой проблемы было принято решение заменить пороговый датчик Холла на аналоговый и использовать его вместе с усилителем сигнала с изменяемыми параметрами.

Также было принято решение заменить навесной монтаж печатным, из-за увеличившегося количества радиоэлементов. В новую модель левитрона вошли:

Магнит

Транзистор, управляющий током через катушку

Диод, предназначенный для гашения обратных выбросов электромагнита при выключении транзистора

Микросхема DA1 – интегральный стабилизатор напряжения на 5V

C1-конденсатор стабилизатора напряжения DA1 (фильтр)

Микросхема DA2- сдвоенный операционный усилитель (используется один), используемый для усиления сигнала с датчика Холла.

Резисторы R1 и R2, устанавливающие рабочую точку операционного усилителя при отсутствии магнита около соленоида.

Резисторы R3, R4 и R6, определяющие коэффициент усиления операционного усилителя.

R5- ограничивающий ток проходящий через датчик Холла

R7- ограничивающий, ток проходящий через транзистор.

Электромагнит [1]

Датчик Холла, расположенный внутри катушки, выдающий напряжение, пропорциональное уровню магнитной индукции. При наличии постоянного магнита вблизи датчика Холла блок управления будет формировать сигнал, пропорциональный полю магнита, усиливать его до нужного уровня и управлять током через катушку. Таким образом, возникает обратная связь, и катушка будет генерировать такое магнитное поле, которое будет удерживать магнит в равновесии с силами гравитации. [1]

Пошаговое объяснение работы левитрона.

Датчик Холла, расположенный внутри катушки, выдаёт напряжение, пропорциональное уровню магнитной индукции.

При наличии постоянного магнита вблизи датчика Холла блок управления будет формировать сигнал, пропорциональный полю магнита, усиливать его до нужного уровня и управлять током через катушку. Таким образом, возникает обратная связь и катушка будет генерировать такое магнитное поле, которое будет удерживать магнит в равновесии с силами гравитации.

— Если нет магнита — блок управления выдает максимальный сигнал — катушка работает на всю мощность;

— Близко поднесли магнит — блок управления выдает минимальный сигнал — катушка отключается совсем — магнит никто не держит и он начинает падать;

— Магнит падает — отдаляется от катушки — сигнал с датчика уменьшается — блок управления увеличивает выходной сигнал — ток через катушку увеличивается — увеличивается индукция катушки — магнит начинает притягиваться;

— Магнит притягивается — приближается к катушке — сигнал с датчика увеличивается — блок управления уменьшает выходной сигнал — ток через катушку уменьшается — уменьшается индукция катушки — магнит начинает падать;

— Магнит падает и притягивается несколько тысяч раз в секунду — то есть возникает динамическое равновесие — магнит просто висит в воздухе. [6]

Я осталась довольна результатами экспериментов. Силы магнитного поля хватает, чтобы удерживать магнит в состоянии равновесия с силами гравитации с помощью магнитного поля. Мой продукт готов и его можно показывать учащимся на уроках по темам «магнитное поле катушки с током», «Полупроводники», «Полярные и неполярные диэлектрики», «Магнитные свойства вещества».

2.4. Создание видеофильма

В процессе работы над проектом я решила снять ещё и обучающий видеофильм.

Видеофильм был снят на основе пояснительной записки с видеофрагментами демонстрации магнитной левитации в виде реального эксперимента. В нем рассказывается, что такое левитрон, подробно описываются его составные части и главные элементы, рассказывается о его принципе действия и сферах применения магнитной левитации.

Этот видеофильм будет полезен в разделе «Электродинамика» на уроках: «Магнитные свойства вещества», «Полупроводники», «Магнитное поле катушки с током», «Полярные и неполярные диэлектрики» - для учителей, у которых нет технических возможностей показать эксперимент и для учащихся, пропустивших урок, на котором был показан этот эксперимент.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из литературных и интернет источниках я узнала о космических технологиях, в частности о явлении магнитной левитации и левитронах, работающих за счёт этого явления. Полученные в ходе изучения литературы знания позволили мне разработать и создать модель прибора для демонстрации магнитной левитации. Модель моего левитрона достаточно проста в сборке. Все поставленные задачи выполнены, а значит цель проекта достигнута.

Для меня работа по созданию проекта имела большую образовательную ценность. Изучая литературу, я много узнала о магнитной левитации, магнитном поле, электромагнитной индукции применении их в космических технологиях. Так же, работая над проектом, я научился паять и строить схемы плат управления в программе КОМПАС. Эти навыки мне обязательно пригодятся в будущем.

Список используемой литературы:

1. Консультация с Колесниковым Владимиром Александровичем - инженером высшей категории
2. [habr.com](https://habr.com/ru/post/463697/)»ru/post/463697/
3. [docplayer.ru](https://docplayer.ru/52233961...issledovatelskaya-rabota...)»52233961...issledovatelskaya-rabota...
4. <https://infourok.ru/issledovatelskaya-rabota-po-teme-levitaciya-3702521.html>
5. ru.wikipedia.org»Левитрон
6. [habr.com](https://habr.com/ru/post/380779/)»ru/post/380779/
7. <https://usamodelkina.ru/12655-platformennyj-levitron-svoimi-rukami.html>
8. <https://zen.yandex.ru/media/elektroradio/levitron-na-datchike-holla-i-polevom-tranzistore-svoimi-rukami-5d5cfb5d5eb26800ac99bc7d>
9. [ElectroInfo.net](https://electroinfo.net/radiodetali/что-такое...holla.html)»radiodetali/что-такое...holla.html
10. [asutpp.ru](https://asutpp.ru/что-такое-датчик-holla.html)»что-такое-датчик-holla.html
11. <http://elektrik.info/main/fakty/1259-magnitnaya-levitaciya.html>
12. ru.wikipedia.org»Маглев

Приложения

Приложение1.Магнитный левитрон



Рис.3.1.1 Выпиливаем отверстия в куске фанеры под магниты



Рис.3.1.2 Вставляем магниты в отверстия



Рис.3.1.3 Собираем магнитный волчек



Рис.3.1.4 Готовая установка

Приложение2.Электромагнитный левитрон. Навесной монтаж на пороговом датчике Холла



Рис.3.2.1 Припаиваем вместе резистор, диод и интегральный стабилизатор напряжения



Рис.3.2.2 Припаиваем провода к датчику Холла



Рис.3.2.3 Наматываем катушку-электромагнит



Рис.3.2.4 Припаиваем датчик Холла к подвесной схеме.

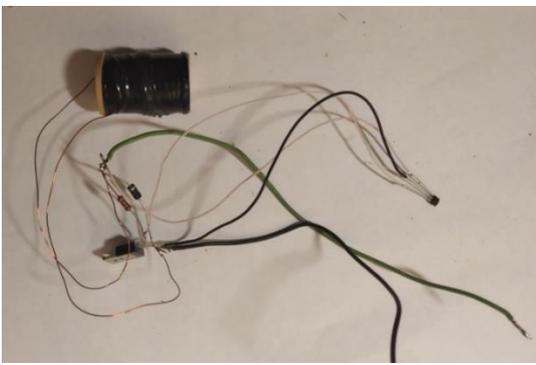


Рис.3.2.5 Припаиваем к схеме соединительные провода и электромагнит

Приложение3. Электромагнитный левитрон на аналоговом датчике Холла

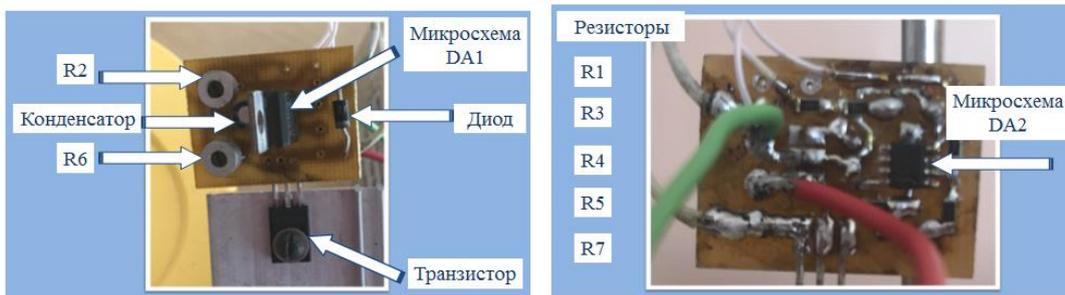


Рис.3.3.1 Припаиваем радиодетали к печатной плате

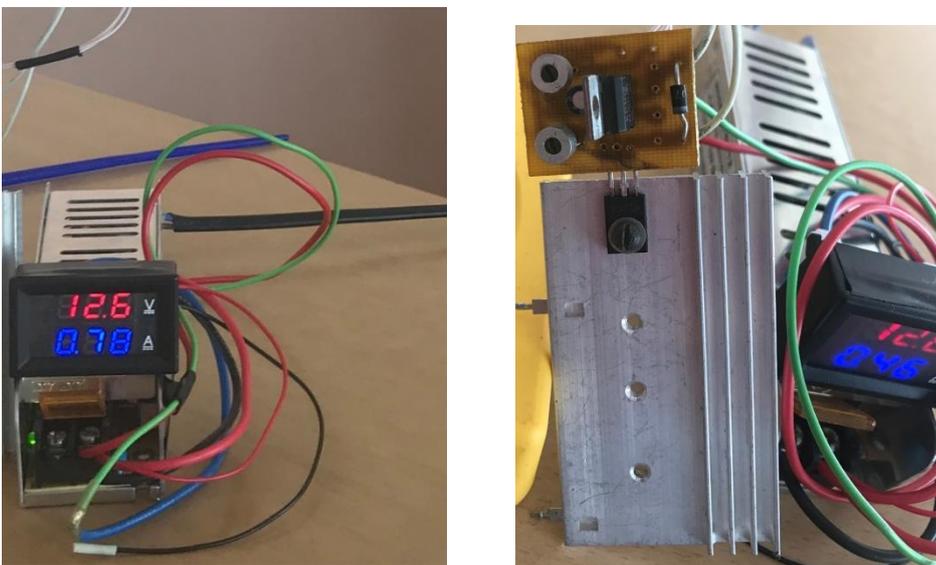


Рис.3.3.2 Припаиваем к плате блок питания



Рис.3.3.3 Вставляем датчик Холла в катушку



Рис.3.3.4 Готовая установка

Приложение 4 Схема электрическая принципиальная

Справ. №	Листов. примен.	
----------	-----------------	--

Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание
A1	Датчик Холла	1	
C1	Конденсатор К50-35-22мкФх16В	1	
DA1	Микросхема Кр142ЕН5В	1	
DA2	Микросхема LM358	1	
R1,R3,R4	Резистор МЛТ-0,125-1 кОм ±10%	3	
R2	Резистор СП3-19а 10 кОм	1	
R5	Резистор МЛТ-0,125-100 Ом ±10%	1	
R6	Резистор СП3-19а 150 кОм	1	
R7	Резистор МЛТ-0,125-330 Ом ±10%	1	
VD1	Диод КД208А	1	
VT1	Транзистор КТ972	1	
L1	Электромагнит	1	

Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Левитрон Схема электрическая принципиальная.	Лит.	Масса	Масштаб	
Изм.	Разраб.	Проб.	Т.контр.		Лист	1	Листов	1
Н.контр.	Утв.				Школа №46 класс 9В"			
					Копировал			

Приложение 5 Функциональная схема

