

Проектная работа

Физика

«Создание действующей модели ионизационной камеры и изучение принципа её работы»

Выполнила:

Макишвили Марина Ильинична

учащаяся 11 «А» класса

МБОУ Школа №46, Россия, г. Калуга

Руководитель:

Иванова Татьяна Анатольевна

учитель физики,

МБОУ Школа №46, Россия, г. Калуга

2022 год

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|-------|
| ВВЕДЕНИЕ | 3-4 |
| Глава 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ | 5 |
| Глава 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ | 6-10 |
| § 2.1. Социальный опрос..... | 6 |
| § 2.2. Выбор оборудования, инструментов, приспособлений..... | 6 |
| § 2.3. Изготовление модели ионизационной камеры..... | 6 |
| § 2.4. Оценка работоспособности..... | 7 |
| § 2.5. Экономический расчет..... | 9 |
| § 2.6. Индикаторы успешности..... | 10 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 11-12 |
| Приложение 1. Паспорт проекта | 13-14 |
| Приложение 2. Теория | 15-25 |
| Приложение 3. Сравнительная таблица: методы регистрации ионизационных излучений) | 26 |
| Приложение 4. Результаты опроса | 27-30 |
| Приложение 5. Оборудование и материалы | 31-34 |
| Приложение 6. Характеристика транзисторов MPSW45 и MPSA62 | 35 |
| Приложение 7. Изготовление одели ионизационной камеры | 36-49 |
| Приложение 8. Экономический расчет | 50-51 |
| Приложение 9. Техника безопасности при работе с электрооборудованием (паяльник и электрическая дрель) | 52 |
| Приложение 10. Техника безопасности при работе с колющими и режущими инструментами | 53 |
| Приложение 11. Список источников и использованной литературы | 54-55 |

ВВЕДЕНИЕ

Квантовая физика является довольно молодой, но оттого лишь более перспективной наукой. Днём рождения квантовой физики считается 14 декабря 1900 года, когда Макс Планк выдвинул гипотезу о квантах энергии¹. С тех пор наука активно развивалась, ученые со всего мира прикладывали усилия для того, чтобы «разгадать» квантовый мир. Конечно, для того чтобы ознакомиться с основами механики микромира не нужно иметь докторскую степень: весь необходимый «фундамент» для погружения и дальнейшего изучения раздела квантовой физики заложен в школьном курсе физики. Однако, школьный учебник может предоставить лишь теоретическую информацию в довольно сжатом объеме: для демонстрации опытов и экспериментов по обнаружению элементарных частиц необходимы специальные, зачастую дорогие приборы².

Итак, нередко возникающая необходимость использования различных приборов и их моделей, позволяющих более точно понимать протекание того или иного физического процесса, определяет актуальность и практическую значимость выбранной мной темы. Нехватка подобных приборов в школьном кабинете физике влечет за собой спад интереса к науке – отсюда вытекает проблема, решением которой призвана послужить моя проектная работа: отсутствие среди оборудования школьного кабинета физики прибора, позволяющего продемонстрировать учащимся действие ионизирующего излучения радиоактивных образцов.

На основании вышеизложенного мной была выдвинута гипотеза о том, что при наличии действующего прибора для регистрации заряженных частиц у обучающихся повысится интерес к изучению физики и улучшится понимание её основ.

Цель моего проекта – повышение мотивации обучающихся к изучению раздела физики «Физика элементарных частиц» посредством демонстрации действующей модели ионизационной камеры, регистрирующей следы заряженных частиц. Для достижения поставленной цели я определила следующие задачи:

-
1. $E = h\nu$, где E – энергия кванта электромагнитного излучения, h – Постоянная Планка ($h = 6,626 \times 10^{-34}$ Дж \times с), ν – частота излучения.
 2. По данным Яндекс.Маркета на 01.12.2021 средняя цена на дозиметры колеблется от 10 до 20 тысяч рублей.

1. Ознакомиться с информацией о приборах и методах регистрации следов заряженных частиц, отобрать оптимальные варианты (до 1.11.2021);
2. Выбрать для создания один прибор (до 10.11.2021);
3. Найти все компоненты и детали для создания выбранного прибора в оффлайн и онлайн магазинах (до 1.01.2022);
4. Оценить готовность для работы с деталями проекта (до 10.01.2022);
5. Выполнить сборку прибора по плану:
 - Изготовить микросхему (до 20.01.2022);
 - Подготовить основу и подставку (до 30.01.2022);
 - Соединить компоненты прибора (до 6.02.2022).
6. Проверить работоспособность прибора (до 13.02.2022);
7. Продемонстрировать работу прибора учителю физики (до 20.02.2022);
8. Записать видеоролик с демонстрацией работы прибора и зафиксировать реакцию просмотревших (до 27.03.2022);
9. Подготовиться к защите проекта (к 1.04.2022).

Итоговым продуктом данной практико-ориентированной проектной работы является действующая модель ионизационной камеры.

Паспорт проекта представлен в Приложении 1.

Глава 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Изученная мной теория по вопросам ядерной физики, радиоактивности и ионизирующих излучений, мной изученная, подробно изложена в Приложении 2. Прорабатывая информацию по выбранной теме, я узнала, что существует пять наиболее популярных методов и устройств для регистрации следов заряженных частиц: основанные на химических превращениях и фотографическом действии ионизирующих излучений методы сцинтилляций и толстослойных фотоэмульсий; камера Вильсона и ее усовершенствованная модель пузырьковая камера, работающие за счет явления конденсации пересыщенного пара; газонаполненные датчики – счетчик Гейгера-Мюллера и ионизационная камера (описание вышеупомянутых методов и устройств представлено в Приложении 2).

В ходе анализа представленных методов регистрации ионизирующих излучений (см. Приложение 3. Сравнительная таблица: методы регистрации ионизирующих излучений), сопоставления их преимуществ, недостатков и того, насколько каждый из методов соответствует поставленной цели проекта, мной был сделан выбор в пользу создания ионизационной камеры. Подробное описание ее устройства и принципа работы представлено в Приложении 2. § 2.4. Методы регистрации ионизационных излучений.

Глава 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

§ 2.1. Социальный опрос

Перед началом проектной деятельности мной было проведено исследование в форме интернет-опроса с целью получения мнения обучающихся о важности непосредственного наблюдения физических явлений (опрос доступен по ссылке: [Опрос по теме проекта "Создание действующей модели ионизационной камеры и изучение принципа её работы"](#)). Опрос проводился среди 27 учащихся 9, 10 и 11 классов МБОУ СОШ №46 г. Калуги (в т.ч. учащиеся профильных «технологического» и «физико-математического» классов). Подробные результаты опроса представлены в Приложении 4. Хочу отметить, что подавляющее большинство проголосовавших ответило, что информацию им проще воспринимать визуально, а не на слух, что еще раз доказывает актуальность выбранной мной темы. Многим интересны разделы «Ядерная физика» и «Физика элементарных частиц», они хотели бы ознакомиться с устройством и работой ионизационной камеры, вживую наблюдая ее действие.

§ 2.2. Выбор оборудования, инструментов, приспособлений

Перед началом фактической работы над созданием ионизационной камеры, я ознакомилась с различными вариациями данного прибора (см. Приложение 2. § 2.4. Методы регистрации ионизационных излучений). Мной было принято решение о создании компенсированной ионизационной камеры (правое плечо электрической схемы компенсирует левое для более стабильной работы). Для создания такой модели ионизационной камеры мне потребовались следующие оборудование, инструменты и материалы, представленные в Приложении 5.

При работе над созданием ионизационной камеры я соблюдала необходимую технику безопасности: см. Приложение 7. Техника безопасности при работе с электрооборудованием и Приложение 8. Техника безопасности при работе с колющими и режущими инструментами.

§ 2.3. Изготовление модели ионизационной камеры

Изготовление модели ионизационной камеры будет осуществляться в три этапа:

1. Изготовление электрической схемы (работа с мультиметром, пайка левого и правого плеч схемы);

2. Изготовление рабочего объема камеры (монтаж рабочего объема камеры с изолированным металлическим стержнем внутри; изготовление «экрана» из мелкой латунной сетки);
3. Монтаж составных элементов прибора.

Подробное описание создания модели ионизационной камеры представлено в Приложении 7.

§ 2.4. Оценка работоспособности

Ионизационная камера – газовый детектор ионизиационного излучения. Соответственно, для проверки работоспособности моей модели потребуется источник ионизиационного излучения – в моем случае, вольфрамовые стержни с низким содержанием тория (от 1,8% до 2,2% диоксида тория на стержень) (рисунки 2.1 и 2.2).



Рисунки 2.1, 2.2 Вольфрамовые электроды

Сразу после включения прибора стрелка амперметра зашкаливает из-за пускового скачка напряжения. Для более стабильной работы камеры необходимо подождать 1-2 минуты, пока стрелка амперметра не опустится до нуля. Проверить, работает ли камера, поможет пьезоэлектрическая зажигалка: возникающие при зажигании электромагнитные помехи вызывают скачок показаний амперметра. Если держать пламя зажигалки рядом с рабочим объемом камеры, то прибор никак реагировать не будет.

Поднесем к рабочему объему камеры вольфрамовые стержни — красный цвет наконечников означает, что в стержнях в малых количествах содержится торий, слаборadioактивный металл, изотопы которого испускают α -частицы.

α -частица с $E_{\alpha} = 4$ МэВ, проходя через газовый объем камеры, образует около 105 пар ионов. Под действием электрического поля, создаваемого электродами камеры при замыкании цепи, ионы и электроны приобретают направленное движение, соответствующее линиям поля. В цепи возникает ток и стрелка амперметра отклоняется (рисунок 2.3). При этом на стержни с синим наконечником (без содержания тория) камера не реагирует (рисунок 2.4).

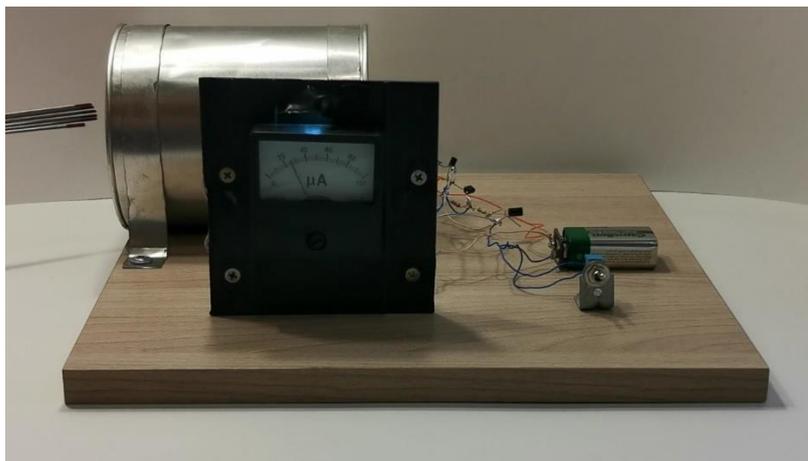


Рисунок 2.3 Ионизационная камера реагирует на вольфрамовые электроды с содержанием тория

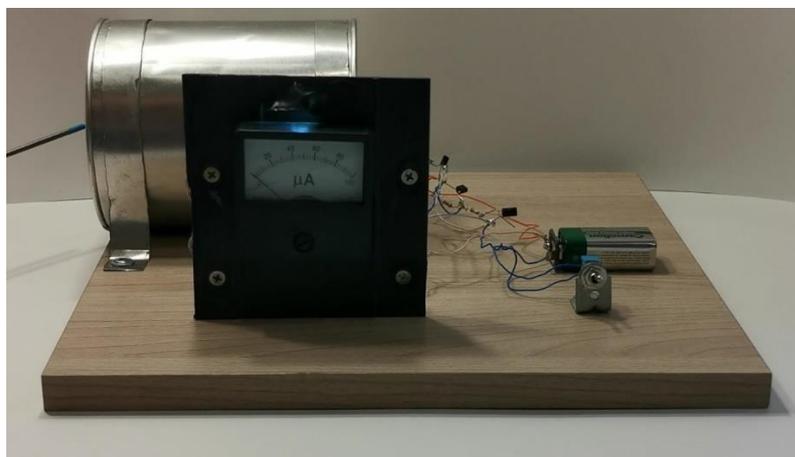


Рисунок 2.4 Ионизационная камера не реагирует на вольфрамовый электрод, не содержащий тория

Изготовленная мной модель ионизационной камеры полностью работоспособна, малоэнергозатратна и выполняет свою главную цель – регистрирует уровень ионизирующего излучения. Таким образом, я могу сделать вывод о том, что с изготовлением продукта своего проекта я справилась успешно.

§ 2.5. Экономический расчет

Экономический расчет себестоимости модели прибора представлен в Приложении 8. Себестоимость продукта моей проектной деятельности составляет **1835,123 руб.**

Как было отмечено ранее (см. Введение), средняя цена на дозиметры колеблется от 10 до 20 тысяч рублей. Следовательно, моя ионизационная камера является экономически выгодной – она не только поможет учащимся в изучении физики, но и сэкономит школьный бюджет.

§ 2.6. Индикаторы успешности

По завершении работы над изготовлением ионизационной камеры, в программе для видеомонтажа «Movavi Video Editor Plus» я смонтировала видеоролик, наглядно показывающий и объясняющий устройство и принцип действия ионизационной камеры. В нем кратко и понятно описываются основные аспекты действия ионизационной камеры, демонстрируется ее работа.

Видеоролик я разместила на платформе YouTube: [Ионизационная камера. Проектная работа Макишвили М.И. - YouTube](#)

Таким образом, учителям физики при изучении темы «Ядерная физика» не придется тратить время на поиск информации в интернете: они смогут воспользоваться готовым видеоматериалом.

Индикатором успешности моей работы служит не только работоспособность прибора, но и комментарии (качественные индикаторы) и оценки (количественные индикаторы) выложенного мной видеоролика (рисунки 2.5 – 2.7): с момента публикации более двухсот человек посмотрело мой ролик, некоторые из них, заинтересовавшись темой, связывались со мной для более подробного уточнения деталей.

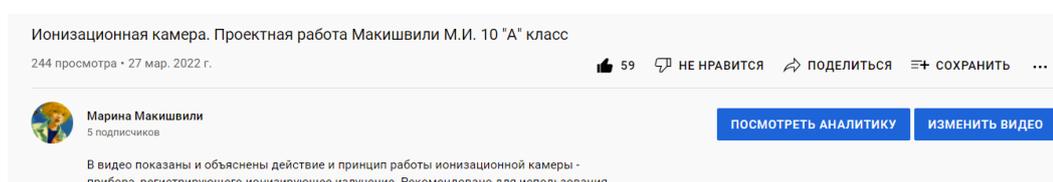
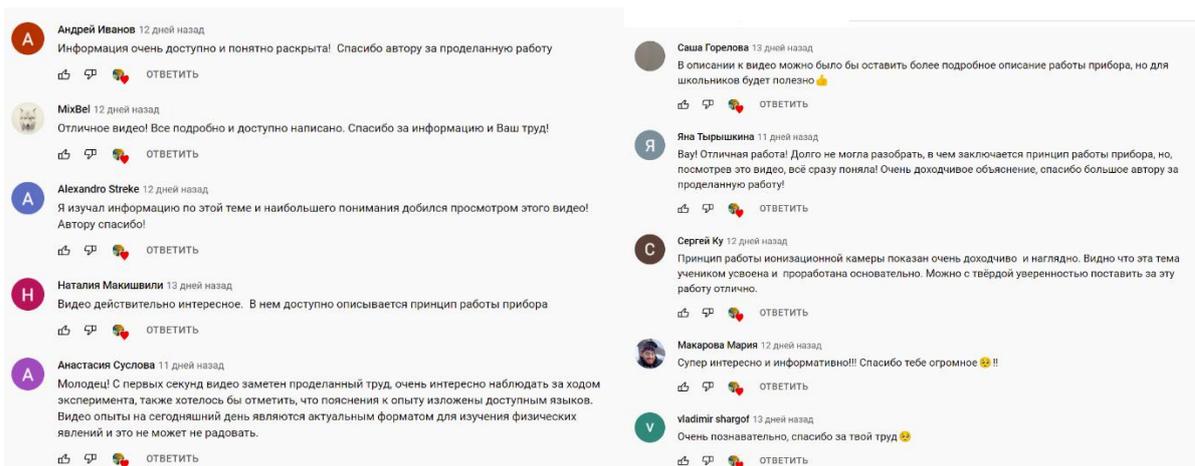


Рисунок 2.5 Количественные индикаторы успешности проектной деятельности (положительные оценки)



Рисунки 2.6, 2.7 Качественные индикаторы успешности проектной деятельности (комментарии)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучаемое с конца 19 века явление радиоактивности до сих пор будоражит умы не только ученых, но и любителей. Однако, в силу специфики раздела квантовой физики, многим обучающимся средней и старшей школы овладение данной темой дается не просто. Очень важно заинтересовать учеников и поддерживать их мотивацию на протяжении всего курса обучения для того, чтобы в дальнейшем они смогли достичь отличных результатов и усвоить материал.

Для качественного осуществления проектной деятельности, я поочередно выполняла все поставленные задачи. Углубление в основы ядерной физики и физики элементарных частиц помогло мне в выборе итогового продукта проекта: проанализировав наиболее популярные и известные методы регистрации ионизирующих излучений, оценив их достоинства и недостатки, я решила создать модель газонаполненного датчика – компенсированной ионизационной камеры.

В процессе создания ионизационной камеры я получила новые навыки работы с мультиметром, паяльником и электродрелью. Соблюдение необходимых требований техники безопасности (см. Приложение 9. Техника безопасности при работе с электрооборудованием и Приложение 10. Техника безопасности при работе с колющими и режущими инструментами) позволило мне не допустить неблагоприятного воздействия опасных производственных факторов на себя и окружающих.

Не все получалось с первого раза: некоторые материалы оказались неподходящими для работы; при пайке электрической схемы неоднократно возникали трудности с подбором подходящих компонентов и последующим их соединением. Однако, с помощью новых знаний и приобретенного опыта указанные проблемы мне удалось решить. К сожалению, из-за рекомбинации ионов внутри камеры, прибор может работать нестабильно – для совершенствования модели и ее устройства в дальнейшем я планирую реализовать следующие шаги:

- экранировать электрическую схему латунной фольгой с целью компенсации утечек;
- заменить батарею, выступающую в качестве источника питания, стабилизированным источником питания (содержит аналоговую, импульсную или цифровую схему регулирования, благодаря которой поддерживаются постоянные выходные параметры – ток и напряжение при скачках входного напряжения) [14].

Созданная модель ионизационной камеры полностью функциональна и отвечает всем заявленным требованиям – это подтверждается в ходе демонстрации её работы и зафиксировано в обучающем видеоролике, который может быть использован учителями в образовательных целях во время уроков физики.

На основании вышеизложенной информации можно сделать следующие выводы:

– поставленные в начале работы задачи выполнены – изготовлена и верифицирована рабочая модель ионизационной камеры;

– цель проектной работы достигнута – при просмотре обучающего ролика ученики 9-11 классов получили дополнительные знания в рамках школьной программы из разделов «Физика элементарных частиц» и «Ядерная физика», полученная обратная связь (комментарии и оценки) свидетельствует о повышении интереса и мотивации обучающихся к изучению данной темы.

Учитывая, что разделы «Ядерная физика» и «Физика элементарных частиц» проходят как в 9, так и в 11 классах, в дальнейшем я планирую снять более подробный и расширенный видеофильм, глубже затрагивающий устройство и принципы работы ионизационной камеры – для демонстрации в профильных 11 классах.

Помимо научно-образовательной, существуют и другие сферы применения ионизационных камер – приборы для регистрации ионизирующих излучений широко используются в быту, например, в кассовых узлах кредитных организаций (для фиксации излучения от денежных купюр) и в пунктах приема металлолома. Несмотря на это, свою модель я собираюсь, как и планировалось, передать в кабинет физики МБОУ СОШ №46 г. Калуги.

Список использованных источников и литературы представлен в Приложении 11.

Приложение 1. Паспорт проекта

| ПАСПОРТ ПРОЕКТА | |
|---|---|
| 1. Тема проекта | Создание действующей модели ионизационной камеры и изучение принципа её работы |
| 2. Исполнитель проекта | Макишвили Марина Ильинична, ученица 11 «А» класса |
| 3. Куратор проекта | Иванова Татьяна Анатольевна |
| 4. Название общеобразовательного учреждения | МБОУ «Средняя общеобразовательная школа №46» г. Калуги |
| 5. Год разработки учебного проекта | 2022 |
| 6. Актуальность | Для более точного понимания протекания того или иного физического процесса нередко возникает необходимость использования различных приборов и их моделей, а их отсутствие в школьном кабинете физике влечет за собой спад интереса к этой науке |
| 7. Проблема | Отсутствие среди оборудования школьного кабинета физики ионизационной камеры, позволяющей продемонстрировать учащимся действие ионизирующего излучения радиоактивных образцов |
| 8. Продукт | Модель ионизационной камеры |
| 9. Гипотеза | При наличии действующего прибора для регистрации заряженных частиц у обучающихся повысится интерес к изучению физики и улучшится понимание ее основ |
| 10. Цель | Повышение мотивации обучающихся к изучению раздела физики «Физика элементарных частиц» посредством демонстрации действующей модели ионизационной камеры, регистрирующей следы заряженных частиц |
| 11. Индикаторы | Количественно (просмотры и оценки) и качественно (комментарии) зафиксированная реакция обучающихся на |

| | |
|--|--|
| | просмотренный видеоролик с демонстрацией действия прибора |
| 12. Задачи (с указанием сроков) | <ol style="list-style-type: none"> 1. Ознакомиться с информацией о приборах и методах регистрации следов заряженных частиц, отобрать оптимальные варианты; 2. Выбрать для создания один прибор; 3. Найти все компоненты и детали для создания выбранного прибора в оффлайн и онлайн магазинах; 4. Оценить готовность для работы с деталями проекта; 5. Выполнить сборку прибора по плану: <ul style="list-style-type: none"> • Изготовить микросхему; • Подготовить основу и подставку; • Соединить компоненты прибор. 6. Проверить работоспособность прибора; 7. Продемонстрировать работу прибора учителю физики; 8. Записать видеоролик с демонстрацией работы прибора и зафиксировать реакцию просмотревших. |
| 13. Тип проекта (ведущая деятельность) | <p>Исследовательский</p> <p>Практико-ориентированный</p> |

Приложение 2. Теоретическая часть

§ 2.1. Начало истории ядерной физики

Физика, являясь наукой о природе и происходящих в ней физических явлениях, не стоит на месте – с развитием человека и его представлениях об окружающем мире, с расширением его познаний в сфере естествознания и желанием «разобраться» в строении Вселенной, развивается и физика. Бурное развитие физики элементарных частиц и ядерной физики наблюдается уже несколько десятилетий подряд.

Одна из первых моделей атома была предложена в 1904 Дж. Томсоном. Согласно модели Дж. Томсона атом представлял собой нейтральную систему, состоящую из заряженного шара с зарядом $+Ze$, внутри которого в определенных равновесных положениях находятся Z отрицательно заряженных электронов [11].

Прямые экспериментальные исследования строения атома были выполнены в 1911 Э. Резерфордом, который изучал рассеяние α -частиц при прохождении через тонкую фольгу. Угловое распределение α -частиц, рассеянных на золоте, свидетельствовало о том, что положительный заряд атома сосредоточен в пространственной области размером меньше 10^{-12} см (рисунок 2.1). Это явилось основанием для планетарной модели атома Резерфорда, согласно которой атом состоит из тяжелого положительно заряженного атомного ядра с радиусом меньше 10^{-12} см и вращающихся вокруг него отрицательно заряженных электронов [2].

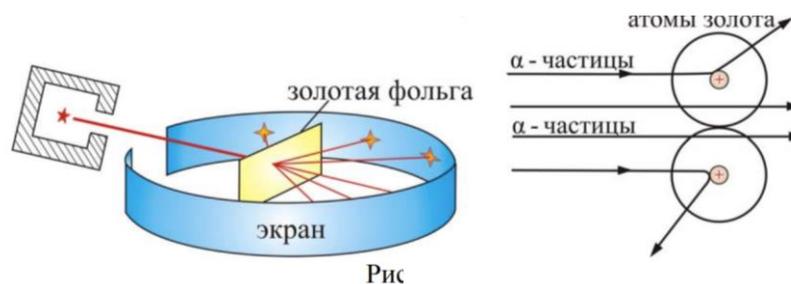


Рисунок 2.1 Схема опыта Э. Резерфорда

Результаты исследования Э. Резерфорда были опубликованы в майском номере журнала «Philosophical Magazine» от 1911 г. в статье «Рассеяние α - и β -частиц веществом и строение атома», в которой впервые было введено понятие «атомное ядро» [10]. В ходе дальнейших экспериментов Э. Резерфордом был открыт протон (1918-1919 гг.), а благодаря работам В. Боте, Г. Бекера, супругов Кюри и Дж. Чедвика мир узнал о существовании нейтрона (1930-1932) [11]. В то время именно протон, нейтрон и электрон считались

элементарными частицами (на нынешнем этапе развития физики фундаментальными частицами считаются лептоны и кварки; рисунок 2.2). В 1913 Н. Бором была представлена полуклассическая модель атома, в основе которой лежала планетарная модель атома Резерфорда, с тем допущением, что электроны в атоме могут двигаться только по определённым (стационарным) орбитам, находясь на которых они не излучают энергию, а излучение или поглощение происходит только в момент перехода с одной орбиты на другую [11].



Рисунок 2.2 Схема классификации элементарных частиц.

§ 2.2. Радиоактивность

Открытию Резерфордом атомного ядра предшествовали открытия радиоактивности, радиоактивных превращений тяжелых атомов (А. Беккерель, П. и М. Кюри, а также изотопов Ф. Содди) [5].

Открытие радиоактивности произошло в конце 19-го века. Между 1857 и 1861 годами Абель Ньепс де Сен-Виктор обнаружил, что некоторые соли способны скрывать фотоэмульсии даже в темноте. В 1858 году Абель Ньепс де Сен-Виктор понимает, что этот аномальный эффект вызван солями урана. Он понимает, что «свет», который поражает его фотографические пластинки, не связан ни с фосфоресценцией, ни с флуоресценцией, потому что соли могут затмевать пластины в течение длительного времени после воздействия солнечного света. К сожалению, его наблюдения не стали открытием и были забыты [1]. Открытие явления естественной (самопроизвольной) радиоактивности принадлежит А. Беккерелю (1896 г.; А. Беккерель завернул кристаллы соли урана в чёрную светонепроницаемую бумагу и положил свёрток на фотопластинку. Через несколько дней, после проявления фотопластинки, он обнаружил на ней чёткое изображение кристаллов. Это означало, что соли урана самопроизвольно, без каких-либо внешних влияний, создают

какое-то излучение; в частности, опыт А. Беккереля показал, что радиоактивность урана связана с самим атомом, а не химическим свойством. В современной терминологии, невидимые лучи, испускаемые ураном – гамма-излучение) [13].

Исследованием нового явления занялись французский физик Пьер Кюри и его жена Мария Склодовская-Кюри. Изучив большое количество разнообразных минералов, Мария Кюри обнаружила, что похожие лучи испускает не только уран, но и другие элементы. В 1898 году было обнаружено излучение тория. В дальнейшем из руд, содержащих уран и торий, был выделен новый неизвестный ранее химический элемент — полоний, который назвали в честь родины М. Склодовской-Кюри — Польши. Следующим химическим элементом, который открыли при изучении урановых руд, стал радий. Именно Мария Кюри предложила название «радиоактивность» (англ. слово radiation — излучение, лучеиспускание) для нового вида излучения [6].

§ 2.3. Ионизирующие излучения

Краски с использованием урановых и других радиоактивных материалов применялись еще задолго до начала нашей эры, но их излучение было так незначительно, что его не могли заметить. В современном мире для обнаружения ионизирующих излучений применяют различные технологии и методы, основанные на достижениях физики и химии.

Ионизирующее излучение (синоним с более широким значением – радиация) – поток частиц или квантов электромагнитного излучения, взаимодействие которого с веществом приводит к ионизации и возбуждению его атомов и молекул (ионизация – процесс превращения нейтрального атома или молекулы в заряженную частицу; в результате этого процесса при удалении электрона будет иметь место образование положительных ионов, а при присоединении электрона – образование отрицательных ионов [3]). К ионизирующему излучению относятся потоки электронов, позитронов, протонов, дейтронов, α -частиц и др. заряженных частиц, а также потоки нейтронов, рентгеновское и гамма-излучение [12]. В общем смысле, ионизирующими называют всякие излучения, взаимодействие которых с веществом приводит к образованию электрически заряженных частиц [4].

К ионизирующим относятся квантовые (фотонные) и корпускулярные излучения. Квантовыми являются рентгеновские излучения, гамма-излучения и др.; они представляют собой поток электромагнитной энергии.

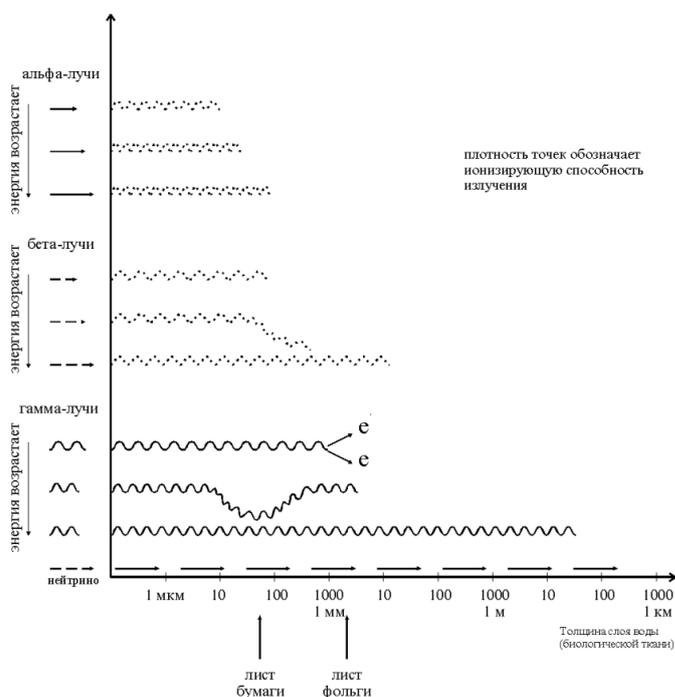


Рисунок 2.3 Ионизирующая способность различных видов излучений при проникновении в вещество (биологическая ткань, вода).

Корпускулярные излучения состоят из потока частиц вещества: альфа- и бета-частиц, нейтронов и др. К ионизирующим относятся также приходящие на землю из мирового пространства космические излучения. Воздействие ионизирующих излучений на вещество называется облучением [14]. На рисунке 2.3 изображена проникающая способность различных видов ионизирующих излучений.

При прохождении через вещество частицы взаимодействуют с атомами, из которых оно состоит, т.е. электронами и атомными ядрами (или нуклонами ядер). Характер взаимодействия излучения с веществом зависит от его вида, энергии, плотности

потока, а также от физических и химических свойств самого вещества. В большинстве случаев энергия ионизирующего излучения расходуется на взаимодействие с электронными оболочками всех атомов вещества [13]. От характера взаимодействия ионизирующего излучения с конкретным веществом зависит проникающая способность ионизирующего излучения. Эта величина имеет важное значение для решения ряда задач: прогностического расчета изменения свойств конструкционных материалов, защиты от ионизирующего излучения, регистрации излучения и др. [13].

Область физики, занимающаяся обнаружением и измерением ионизирующих излучений, получила название дозиметрии, и соответственно приборы, используемые для этих целей, получили название дозиметрических приборов [7]. Дозиметр измеряет мощность дозы ионизирующего излучения непосредственно в том месте, где он находится.

§ 2.4. Методы регистрации ионизационных излучений

Как уже было упомянуто ранее, существуют различные методы и устройства наблюдения и регистрации элементарных частиц. К ним относятся детекторы, счётчики, спектрометры радиоактивных излучений, масс-спектрометры (для точной регистрации зарядов и масс элементарных частиц, атомов и ионов) и т.д. Рассмотрим подробнее наиболее часто используемые из них: рисунок 2.4.



Рисунок 2.4 Методы регистрации ионизирующих излучений

В ранний период становления дозиметрии для регистрации ионизирующих излучений использовалось их фотографическое действие, химические превращения и выделение тепла.

Метод толстослойных фотоэмульсий. Как уже упоминалось, А. Беккерель при определении радиоактивности солей урана использовал фотографический способ регистрации излучений. Впоследствии на базе использования фотоэмульсий была создана техника автордиографии. Сначала использовалась тонкослойная автордиография для контроля за распределением радиоактивного вещества по поверхности образца. В 1925 был разработан метод толстослойных ядерных фотоэмульсий (трековая автордиография, Л. В. Мысовский) [11]. Фотоэмульсия содержит мельчайшие кристаллы бромистого серебра. Пролетающая сквозь фотоэмульсию, частица действует на зерна бромистого серебра, ионизирует их и образует скрытое изображение. При проявлении фотоэмульсии образуется трек (рисунок 2.5).

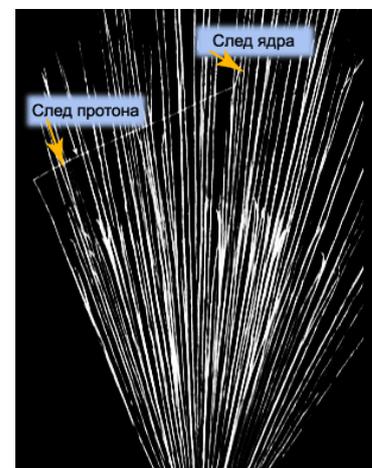


Рисунок 2.5 Трек от прохождения заряженной частицы на фотоэмульсии

Сцинтилляционный метод. Сущность метода сцинтилляций заключается в подсчёте количества вспышек на экране, покрытом сернистым цинком, при попадании на него заряженных частиц (рисунок 2.7). В основе сцинтилляционного метода обнаружения излучений лежит явление **люминесценции**: свечение вещества, вызванное возбуждением атомов и молекул, когда входящие в их состав электроны переходят на более высокие энергетические уровни и

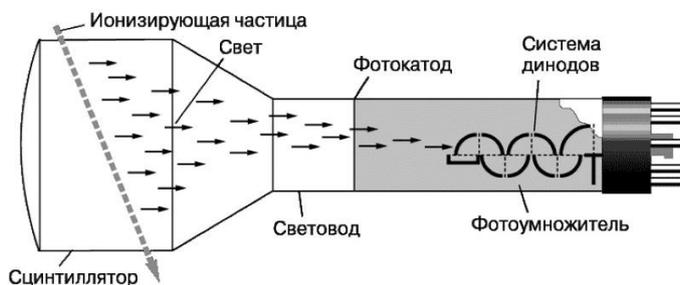


Рисунок 2.6 Сцинтиллятор с ФЭУ

спустя некоторое время возвращаются в основное состояние. Это явление впервые наблюдал в 1903 году английский физик и химик Уильям Крукс. Метод сцинтилляций использовался в основном для регистрации α -частиц. В конце сороковых годов XX века были разработаны фотоэлектронные умножители (ФЭУ) (рисунок 2.6), которые позволяют регистрировать очень слабые вспышки света; на их основе были созданы сцинтилляционные счётчики. Попадание радиоактивной частицы в сцинтиллятор сопровождается излучением фотона, регистрируемого детектором. Количество вспышек пропорционально количеству поглощённых радиоактивных частиц. По числу импульсов в единицу времени можно определить мощность источника, а по величине силы тока в цепи можно определить мощность доз излучения [8].

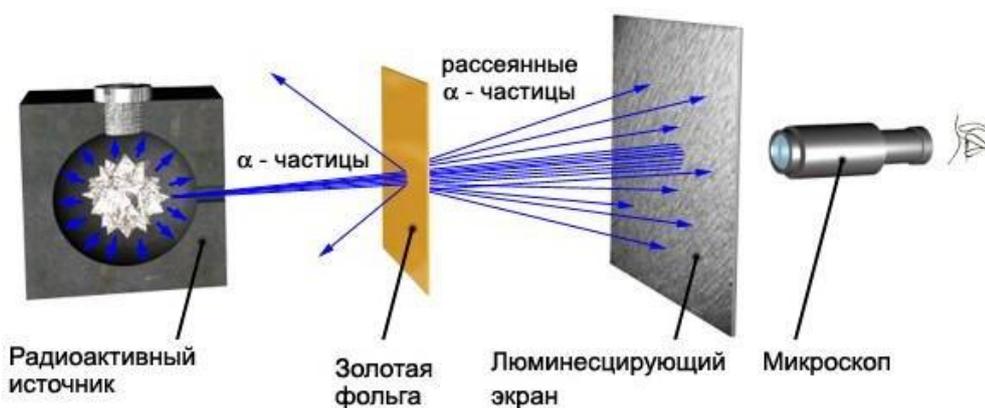
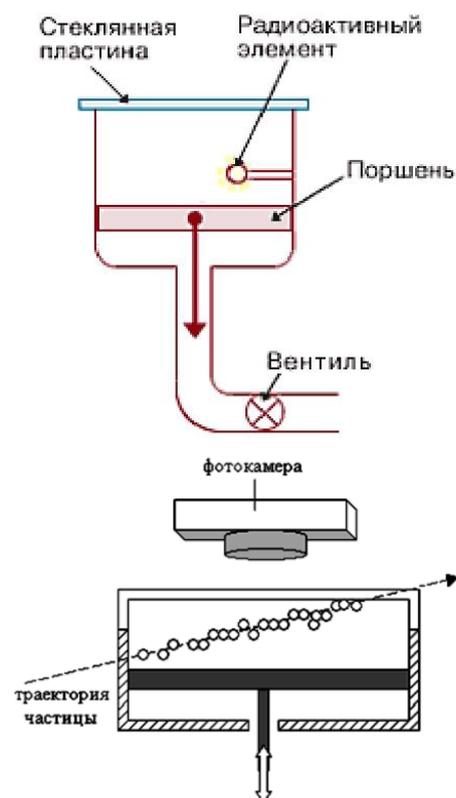


Рисунок 2.7 Метод сцинтилляций

Камера Вильсона (1912 г.; Ч. Вильсон) – трековый детектор элементарных заряженных частиц, в котором трек (след) частицы образует цепочка мелких капелек жидкости вдоль траектории её движения (рисунок 2.10) [7]. Действие камеры Вильсона основано на явлении конденсации пересыщенного пара, т. е. на образовании мелких капелек жидкости на каких-либо центрах конденсации, например на ионах, образующихся вдоль следа быстрой заряженной частицы. Капли жидкости вырастают до размеров достаточных для наблюдения (10^{-3} - 10^{-4} см) и фотографирования при хорошем освещении (рисунки 2.8 и 2.9). Рабочей средой чаще всего является смесь паров воды и спирта под давлением 0.1-2 атмосферы (водяной пар конденсируется главным образом на отрицательных ионах, пары спирта – на положительных). Перенасыщение достигается быстрым уменьшением давления за счёт расширения рабочего объёма. Время чувствительности камеры, в течение которого перенасыщение остаётся достаточным для конденсации на ионах, а сам объём приемлемо прозрачным (не перегруженным капельками, в том числе и фоновыми), меняется от сотых долей секунды до нескольких секунд [5].

Пузырьковая камера (1952 г.; Д. Глейзер) является усовершенствованным вариантом камеры Вильсона (рисунок 2.11) – с её помощью можно исследовать частицы с большей энергии (она заполнена быстро закипающей жидкостью с большей плотностью – сжиженным пропаном или водородом) и обладает большим быстродействием [5].



Рисунки 2.8, 2.9 Устройство камеры Вильсона

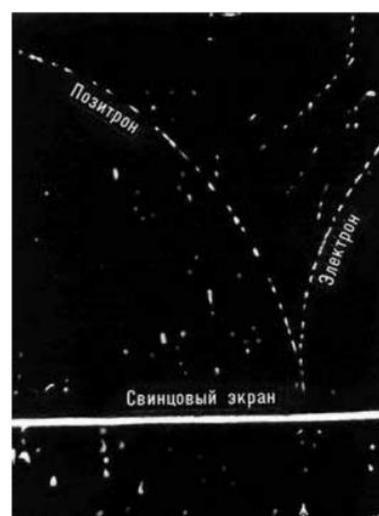


Рисунок 2.10
Образование пары позитрон-электрон в камере Вильсона.

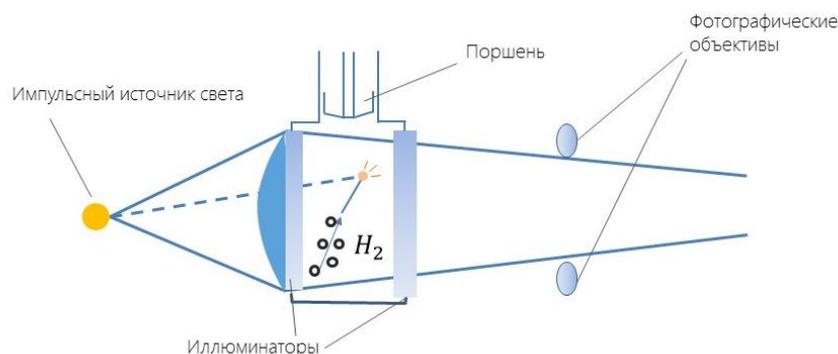


Рисунок 2.11 Устройство пузырьковой камеры

Благодаря простоте, дешевизне, надежности и компактности наибольшую популярность получили **газовые ионизационные детекторы**.

При прохождении заряженных частиц в газах в результате ионизации образуются электроны и ионы. Если ионизация происходит в объеме между двумя электродами с различными потенциалами, то в результате движения электронов и ионов к соответствующим электродам в электрической цепи возникнет ток. В зависимости от значения и распределения напряженности электрического поля в газовом промежутке детекторы обладают разными свойствами [4].

В соответствии с характером процесса, обеспечивающего регистрацию излучения, различают ионизационные камеры, пропорциональные счетчики, счетчики Гейгера-Мюллера.

Газоразрядный счетчик Гейгера-Мюллера. В газоразрядном счетчике имеются катод в виде цилиндра и анод в виде тонкой проволоки по оси цилиндра (рисунок 2.12). Пространство между катодом и анодом заполняется специальной смесью инертных газов (трубка Гейгера). Между катодом и анодом прикладывается напряжение. Счётчик Гейгера применяется в основном для регистрации фотонов и α -квантов. Регистрация сложных частиц затруднена [4].

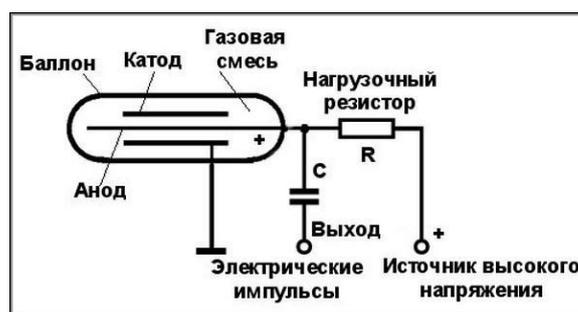


Рисунок 2.12 Устройство счетчика Гейгера

Ионизационная камера представляет собой систему двух электродов в объеме, заполненном инертным газом (чаще всего аргоном и неоном) или воздухом. Если частица полностью останавливается в объеме камеры, то по величине собранного заряда (количеству электронов, пришедших на анод) легко определить энергию частицы. Недостатком ионизационной камеры являются очень низкие токи, которые трудно регистрировать. Этот недостаток преодолевается в компенсированных ионизационных детекторах (устройство прибора самостоятельно компенсирует токи утечки за счет электроники). Отличительной особенностью ионизационной камеры, в отличие от других газонаполненных датчиков, является сравнительно малая напряженность электрического поля в газовом промежутке. Имеет больший срок службы, чем трубки Гейгера–Мюллера [4].

Ионизационная камера, как уже было сказано ранее, – газонаполненный датчик, предназначенный для измерения уровня ионизирующего излучения. На рисунке 2.12 изображена ионизационная камера, которую использовал Пьер Кюри с 1895 по 1900 годы [5].



Рисунок 2.12

Ионизационная камера,
XIX век

Ионизационная камера представляет собой устройство, состоящее из двух электродов, между которыми находится газовая среда. Подключением к электродам камеры источников питания в ней создается электрическое поле. При отсутствии ионизирующих излучений ток в цепи камеры протекать не будет, так как в ней не свободных электрических зарядов и сопротивление в ней бесконечно велико.

Когда под действием излучений в газовом объеме камеры возникают свободные положительные ионы и электроны, ее сопротивление уменьшается и даже при небольшом напряжении на электродах ионы приобретают направленное движение. Под действием кулоновских сил положительные ионы притягиваются к отрицательному электроду, отрицательные электроны – к положительному электроду камеры. Между электродами создаётся разность потенциалов и в цепи

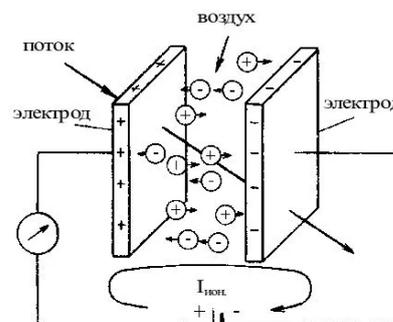


Рисунок 2.13 Цепь
ионизационной камеры

камеры возникает ток, называемый ионизационным (рисунок 2.13) [7].

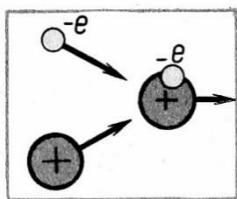


Рисунок 2.14
Рекомбинация
ионов

При небольших напряжениях на электродах камеры силы, воздействующие на ионы, невелики, скорости их движения малы и, чтобы достичь электродов, им требуется значительное время. В течение этого времени большое количество разноименно заряженных ионов, притягиваясь друг к другу, успевает рекомбинировать (рисунок 2.14). На электроды камеры попадает лишь некоторая часть образовавшихся при ионизации ионов, и ток в цепи камеры будет небольшим. С увеличением напряжения растет напряженность электрического поля и сила притяжения ионов к электродам, увеличиваются скорость движения ионов и уменьшается время их нахождения в камере. Рекомбинация становится менее вероятной, следовательно, большее число ионов принимает участие в образовании ионизационного тока, и он увеличивается [4].

При увеличении напряжения в камере имеют место три различных качественных состояния, характеризующихся явлениями рекомбинации, насыщения и ударной ионизации: рисунок 2.15 – вольтамперная характеристика ионизационной камеры. На оси напряжения обозначены три ключевые точки: 0, $U_{нас}$, $U_{уд}$:

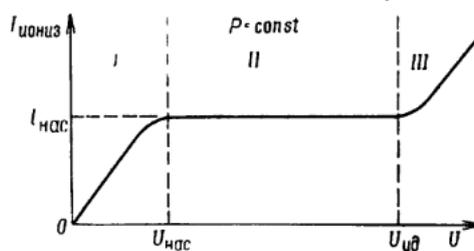


Рис. 2.15 Вольтамперная характеристика ионизационной камеры:
I – область рекомбинации; II – область насыщения; III – область ударной ионизации (газового усиления)

$U_{нас}$ – напряжение насыщения; напряжение, при котором прекращается рекомбинация;

$U_{уд}$ – ударное напряжение; напряжение, при и выше которого вследствие явления ударной (столкновительной) ионизации происходит увеличение тока в цепи камеры за счет вторичных ионов, созданных разогнанными первичными ионизирующими частицами при столкновении с атомами или молекулами газа, а не ионов, созданных непосредственным воздействием ионизационных излучений.

В области рекомбинации (область закона Ома; от 0 до $U_{нас}$) ионизационный ток зависит как от мощности доз излучения, так и от напряжения на камере (не может быть использована для определения мощностей воздействующих на камеру доз). Большинство самодельных ионизационных камер работают именно в этом режиме.

В области насыщения (от $U_{\text{нас}}$ до $U_{\text{уд}}$) ток зависит лишь от мощности дозы излучения; в этом режиме ионизационную камеру можно использовать для определения мощности доз.

Область ударной ионизации, начинающаяся при напряжении $U_{\text{уд}}$, для ионизационных камер не используется [5].

Для регистрации гамма-излучения корпус рабочего объема камеры может быть цельнолитым, однако толстые стенки камеры для бета- и альфа-излучений непроницаемы. В связи с этим в стенках камеры делаются входные окна, которые либо остаются незакрытыми, либо закрываются а) алюминиевой фольгой толщиной в несколько десятков микрон (для регистрации бета-излучений), б) слюдой или нейлоном толщиной в несколько микрон (для регистрации альфа-излучений), в) специальным «экраном» из мелкой металлической сетки (пропускает больше α - и β - частиц). Экранирование рабочего объема камеры помогает поддерживать макроскопические параметры газа (температуру, влажность и давление) внутри камеры постоянными, что повышает эффективность работы прибора при регистрации сильных излучений [4].

Ионизационные камеры широко используются в атомной промышленности для измерения постоянной высокой мощности дозы, являются основными элементами рентгенометров ДП-2 и ДП-3, дозиметров ДС-50 и ДКП-50-А.



Рисунок 2.16 Современная и. к.

Приложение 3. Сравнительная таблица. Методы регистрации ионизирующих излучений

| Метод | Плюсы | Минусы | Вердикт |
|----------------------------------|--|---|---------|
| Метод толстослойных фотоэмульсий | Возможность регистрации траекторий всех частиц, пролетевших сквозь фотопластинку за время наблюдения; Фотопластинка всегда готова к применению. | Длительность и сложность химической обработки фотопластинок; каждую пластинку необходимо рассматривать в сильный микроскоп; дороговизна брома серебра (от 70 до 200 долларов за килограмм); гарантийный срок хранения порошка составляет 6 месяцев – не подходит для долгосрочного хранения. | ✗ |
| Сцинтилляционный метод | Высокая разрешающая способность по времени; По сравнению с газонаполненными датчиками, лучше улавливает гамма-излучение. | Для регистрации гамма-излучения необходим источник гамма-излучения; такие источники отсутствуют в свободной продаже и могут быть опасны для учеников школы. | ✗ |
| Камера Вильсона | По направлению изгиба трека можно судить о знаке заряда частицы, а по радиусу кривизны определить её массу, заряд, энергию. | Малое рабочее время, составляющее примерно 1% от времени, затрачиваемого для подготовки камеры к последующему расширению; Трудоемкость обработки результатов – не подходит для наглядной демонстрации школьникам. | ✗ |
| Пузырьковая камера | Высокая точность измерения импульсов частиц; усовершенствованная версия Камеры Вильсона. | Для стабильной работы прибора необходима капсула, заполненная инертным газом (трубка Гейгера) – дорогой и труднодоступный для покупки элемент. | ✗ |
| Счетчик Гейгера | Простота эксплуатации, дешевизна. | Прибор фиксирует частицы, но не может их распознать (для подтверждения существования ионизирующего излучения как раз и важен факт фиксации ионизирующей частицы – распознавание необязательно). | ✓ |
| Ионизационная камера | Простота, дешевизна, надежность, компактность; Цилиндрический конденсатор может быть заполнен воздухом – не требуется специальный газ. | | |

Приложение 4. Результаты опроса

По результатам опроса непосредственное большинство проголосовавших отметило, что им интересна физика¹, но информацию им легче воспринимать зрительно, с помощью наглядной демонстрации^{2,3} (результаты опроса представлены на Диаграммах 4.1, 4.2 и 4.3).

Интересна ли Вам физика?
27 ответов

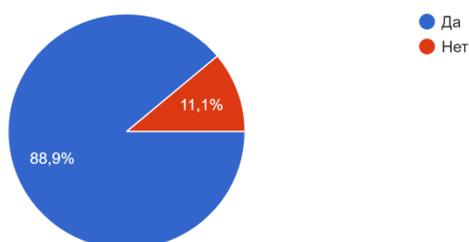


Диаграмма 4.1 Ответ учащихся на вопрос «Интересна ли Вам физика?»

Как Вам удобнее/легче воспринимать информацию?
27 ответов

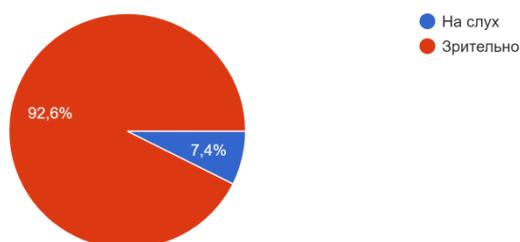


Диаграмма 4.2 Ответ учащихся на вопрос «Как Вам удобнее/легче воспринимать информацию?»

Было бы ли Вам проще понять действие ионизирующего излучения, если бы Вы видели его наглядную демонстрацию с помощью прибора?
27 ответов

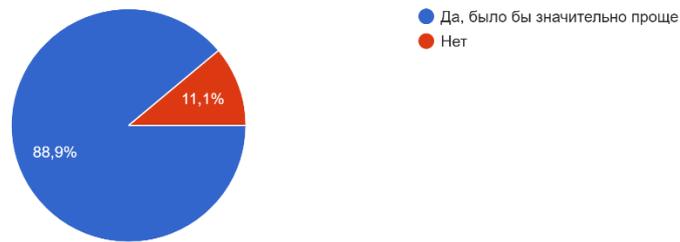


Диаграмма 4.3 Ответ учащихся на вопрос «Было бы ли Вам проще понять действие ионизирующего излучения, если бы Вы видели его наглядную демонстрацию с помощью прибора?»

1. 88,9% от общего числа опрошенных на вопрос «Интересна ли Вам физика?» дают утвердительный ответ (24 участника опроса).
2. 92,6% от общего числа опрошенных на вопрос «Как Вам удобнее/легче воспринимать информацию?» дают ответ «Зрительно» (25 участников опроса).
3. 88,9% от общего числа опрошенных на вопрос «Было бы ли Вам проще понять действие ионизирующего излучения, если бы Вы видели его наглядную демонстрацию с помощью прибора?» дают утвердительный ответ (24 участника опроса).

Продолжая анализировать данные проведенного опроса (Диаграммы 4.4, 4.5, и 4.6) можно сделать вывод о том, что многим учащимся интересна выбранная мной тема, и несмотря на то, что объяснения учителя бывают не всегда понятны⁴, опрошенные хотели бы узнать больше из раздела «Физика элементарных частиц»⁵, в частности, про действие и устройство ионизационной камеры⁶. Результаты опроса подтверждают актуальность моей проектной работы, повышая её научную и общественную значимость.

Всегда ли Вам понятны объяснения учителя?
27 ответов



Диаграмма 4.4 Ответ учащихся на вопрос «Всегда ли Вам понятны объяснения учителя?»

Интересен ли Вам раздел физики "Ядерная физика" ("Физика элементарных частиц")?
27 ответов

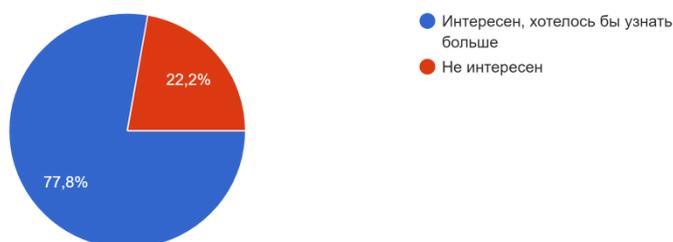


Диаграмма 4.5 Ответ учащихся на вопрос «Интересен ли Вам раздел физики «Ядерная физика» («Физика элементарных частиц»)?»

Знаете ли Вы, что такое ионизационная камера?
27 ответов

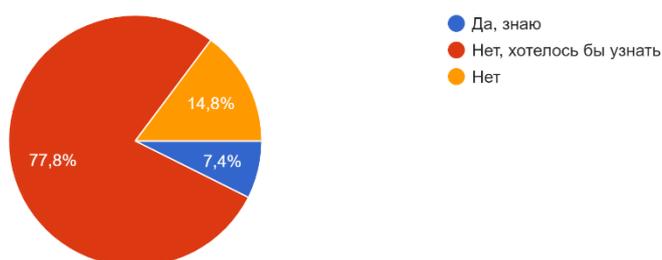


Диаграмма 4.6 Ответ учащихся на вопрос «Знаете ли Вы, что такое ионизационная камера?»

-
4. 77,8% от общего числа опрошенных на вопрос «Интересен ли Вам раздел физики «Ядерная физика» («Физика элементарных частиц»)»? дают утвердительный ответ (21 участник опроса).
 5. 70,4% от общего числа опрошенных на вопрос «Всегда ли Вам понятны объяснения учителя?» дают ответ «Не всегда, приходится разбирать некоторый материал самостоятельно, дополнительно» (19 участников опроса); 18,5% опрошенных отвечают «Всегда» (5 участников опроса).
 6. 77,8% от общего числа опрошенных на вопрос «Знаете ли Вы, что такое ионизационная камера?» дают ответ «Нет, хотелось бы узнать» (21 участник опроса), 14,8% опрошенных отвечают «Нет», не выражая дальнейшего интереса (4 участника опроса).

Приложение 5. Оборудование и материалы

Жестяная цилиндрическая банка с крышкой объемом 1 л;

Стальной стержень;

Транзисторы Darlington MPSW45 x2, транзисторы Darlington MPSA62 x2;

Резисторы 2,2 кОм x2, резисторы 10 кОм x2;

Микроамперметр на 100 мкА;

Выключатель питания;

Источник питания на 9 В (батарея Крона);

Лист ДСП 30x30 см;

Латунная сетка (изнач. тканая металлическая сетка);

Фторопластовые изолирующие прокладки x2;

Набор цветных проводов;

Светодиод;

Монтажные уголки (70x70x16 мм x2, 25x25x16 мм);

Саморезы с прессшайбой размером 13x4 мм x9;

Винты М4x8 мм x4;

Гайки М4 мм x6;

Клеммы-контакты x2;

Лист жести;

Канифоль;

Припой;

Паяльник;

Лёрка М4;

Электродрель;

Мультиметр MASTECH MAS838;

Набор свёрел по металлу;

Отвертка PZ2;

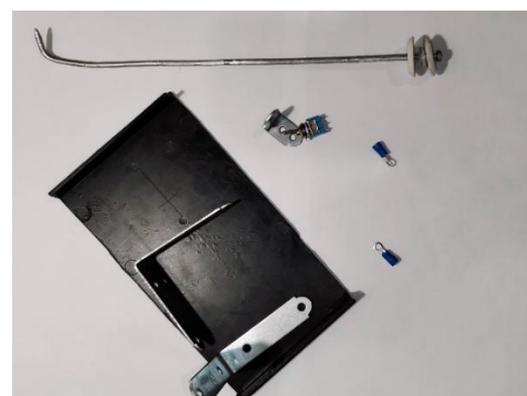
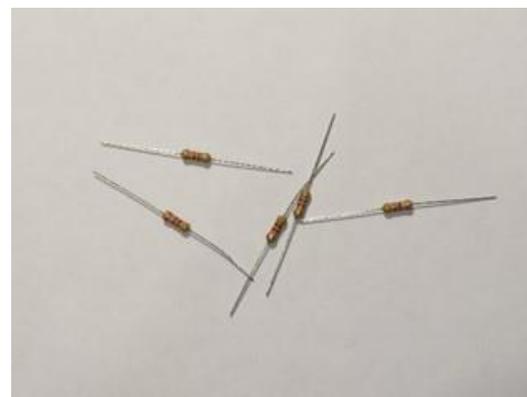
Линейка;

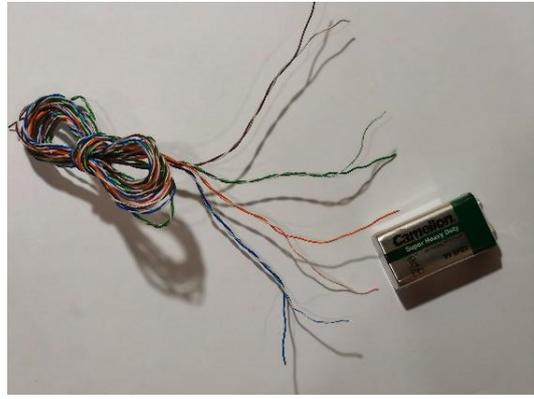
Карандаш;

Ножницы по металлу;

Канцелярские ножницы;

Суперклей.





Обратите внимание! Не стоит брать банку, предназначенную для хранения пищевых продуктов. Внутренняя поверхность такой банки покрыта толстым слоем пищевого лака, являющегося диэлектриком, что делает работу прибора невозможной.

Обратите внимание! Не любые транзисторы подойдут для изготовления стабильно работающей модели ионизационной камеры. Транзисторы MPSW45 и MPSA62 характеризуются большим коэффициентом усиления и низким уровнем шумов, поэтому стоит воспользоваться именно ими (см. Приложение 6. Характеристика транзисторов;

$$hFE = \frac{I_k}{I_b},$$

где hFE – коэффициент усиления транзистора по току,

I_k – коллекторный ток,

I_b – ток базы.

транзистор MPSW45: коэффициент усиления по току $h_{fe} = 25000 - 150000$, рассеиваемая мощность коллектора не более 1 Вт. Транзистор MPSA64: $h_{fe} = 10000$, рассеиваемая мощность не более 0,625 Вт).

Приложение 6. Характеристика транзисторов MPSW45 и MPSA62

MPSA62, MPSA63, MPSA64

MPSA64 is a Preferred Device

Darlington Transistors

PNP Silicon

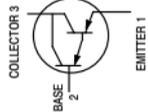
Features

- Pb-Free Packages are Available*

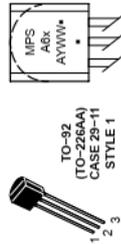


ON Semiconductor®

http://onsemi.com



MARKING DIAGRAM



- x = 2, 3, or 4
- A = Assembly Location
- Y = Year
- WW = Work Week
- = Pb-Free Package
- (Note: Microdot may be in either location)

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 2 of this data sheet.

Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

| MAXIMUM RATINGS | | | |
|--|-----------------------------------|-------------|------------------|
| Rating | Symbol | Value | Unit |
| Collector-Emitter Voltage | V _{CE5} | -20 | V _{dc} |
| | | -30 | |
| Collector-Base Voltage | V _{CB0} | -20 | V _{dc} |
| | | -30 | |
| Emitter-Base Voltage | V _{EB0} | -10 | V _{dc} |
| Collector Current - Continuous | I _C | -500 | mA _{dc} |
| Total Device Dissipation | P _D | 625 | mW |
| @ T _C = 25°C | | 5.0 | mW/°C |
| Derate above 25°C | | | |
| Total Device Dissipation | P _D | 1.5 | W |
| @ T _C = 25°C | | 12 | mW/°C |
| Derate above 25°C | | | |
| Operating and Storage Junction Temperature Range | T _J , T _{stg} | -55 to +150 | °C |

THERMAL CHARACTERISTICS

| Characteristic | Symbol | Max | Unit |
|---|------------------|------|------|
| Thermal Resistance, Junction-to-Ambient | R _{θJA} | 200 | °C/W |
| Thermal Resistance, Junction-to-Case | R _{θJC} | 83.3 | °C/W |

Maximum ratings are those values beyond which device damage can occur. Maximum ratings applied to the device are individual stress limit values (not normal operating conditions) and are not valid simultaneously. If these limits are exceeded, device functional operation is not implied; damage may occur and reliability may be affected.

*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

MPSW45, MPSW45A

One Watt Darlingtons Transistors

NPN Silicon

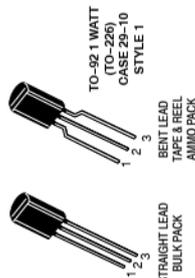
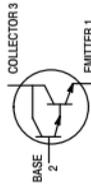
Features

- Pb-Free Packages are Available*



ON Semiconductor®

http://onsemi.com



MARKING DIAGRAM

- x = 45A Devices
- A = Assembly Location
- Y = Year
- WW = Work Week
- = Pb-Free Package
- (Note: Microdot may be in either location)

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 5 of this data sheet.

| MAXIMUM RATINGS | | | |
|--|-----------------------------------|-------------|-----------------|
| Rating | Symbol | Value | Unit |
| Collector-Emitter Voltage | V _{CE5} | 40 | V _{dc} |
| | | 50 | |
| Collector-Base Voltage | V _{CB0} | 50 | V _{dc} |
| | | 60 | |
| Emitter-Base Voltage | V _{EB0} | 12 | V _{dc} |
| Collector Current - Continuous | I _C | 1.0 | A _{dc} |
| Total Device Dissipation | P _D | 1.0 | W |
| Derate above 25°C | | 8.0 | mW/°C |
| Total Device Dissipation | P _D | 2.5 | W |
| Derate above 25°C | | 20 | mW/°C |
| Operating and Storage Junction Temperature Range | T _J , T _{stg} | -55 to +150 | °C |

THERMAL CHARACTERISTICS

| Characteristic | Symbol | Max | Unit |
|---|------------------|-----|------|
| Thermal Resistance, Junction-to-Ambient | R _{θJA} | 125 | °C/W |
| Thermal Resistance, Junction-to-Case | R _{θJC} | 50 | °C/W |

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

Приложение 7. Изготовление модели ионизационной камеры

§ 7.1 Изготовление электрической схемы

Перед началом работы над изготовлением электрической схемы необходимо отобрать качественные и подходящие транзисторы и резисторы. Откалиброванные резисторы по доступной цене найти практически невозможно, у купленных некалиброванных резисторов, несмотря на заявленные параметры, сопротивление может отличаться на 5-10%. Именно поэтому для более стабильной работы прибора необходимо вручную отобрать резисторы с одинаковыми параметрами. Для этого можно воспользоваться мультиметром – универсальным портативным прибором для измерения нескольких параметров (в «минимальной комплектации» мультиметр измеряет силу тока, напряжение и сопротивление). Также с помощью мультиметра можно измерить коэффициент усиления транзисторов – он тоже должен быть одинаковым для пар транзисторов левой и правой части схемы.



Рисунок 7.1

Установленный на изм. сопротивления переключатель

Работа с резисторами: поворотный переключатель мультиметра устанавливается на шкалу измерения сопротивления в кОм (рисунок 7.1). По показаниям прибора подбирается по два одинаковых резистора ((10 ± 0,5) кОм и (2,2 ± 0,11) кОм) для каждого из плеч схемы (рисунки 7.2 и 7.3).



Рисунок 7.2 Тест резистора 2,2 кОм



Рисунок 7.3 Тест резистора 10 кОм

Работа с транзисторами: поворотный переключатель мультиметра устанавливается в положение «hFE» (рисунок 7.4). Выводы коллектора, базы и эмиттера транзистора (рисунки 7.5 и 7.6) устанавливаются в соответствующие гнезда hFE прибора (рисунок 7.7). Важно учитывать, что транзисторы MPSW45 и MPSA64 имеют тип проводимости n-p-n. На дисплее мультиметра высвечивается величина hFE при токе базы $I_b = 10 \text{ мкА}$ и напряжении коллектор-эмиттер $V_{ce} = 3 \text{ В}$ (рисунок 7.8). По показанию прибора я отобрала по два транзистора MPSW45 и MPSA64 с одинаковым коэффициентом усиления (по одному на каждое плечо схемы).



Рисунок 7.4

Установленный на изм. коэф. усиления переключатель

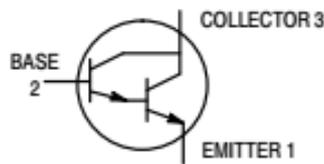


Рисунок 7.5 База, коллектор, эмиттер транзистора MPSW45

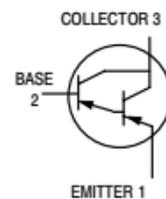


Рисунок 7.6 База, коллектор, эмиттер транзистора MPSA64



Рисунок 7.7 Гнезда для базы, эмиттера, коллектора



Рисунок 7.8 Тест транзистора MSPW45

Пайка **схемы** (см. Приложение 3. Техника безопасности при работе с электрооборудованием) будет осуществляться согласно схеме цепи, представленной на рисунке 7.9.

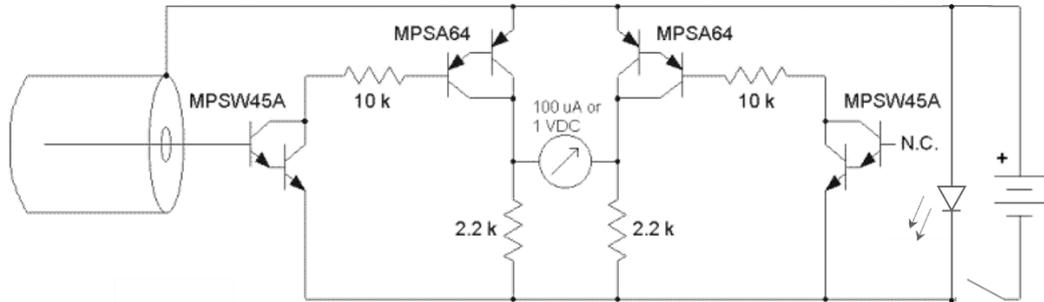


Рисунок 7.9 Схема цепи

Правое(1) плечо схемы:

Эмиттер транзистора MPSW45(1) припаять к одному из выводов резистора 2,2 кОм(1). Коллектор транзистора спаять с одним из выводов резистора на 10 кОм(1). База данного транзистора остается висеть в воздухе (см. рисунки 7.10-7.12).

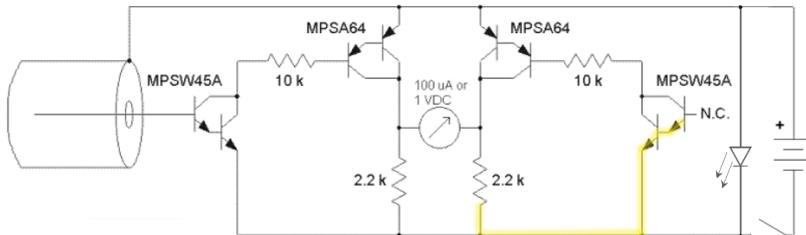


Рисунок 7.10
Подключение
эмиттера тр.
MPSW45(1)

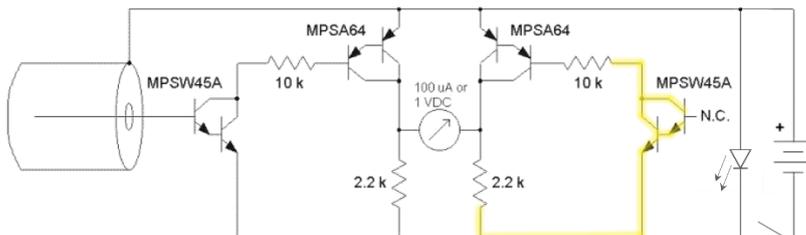


Рисунок 7.11
Подключение
коллектора тр.
MPSW45(1)

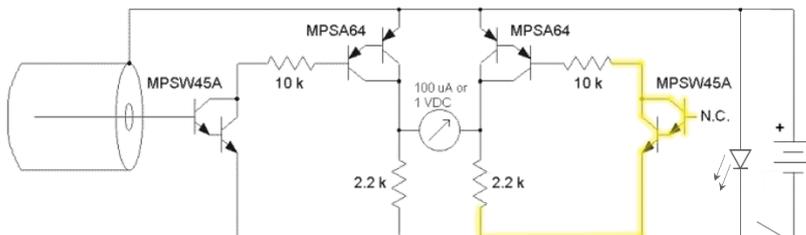


Рисунок 7.12
Подключение базы
тр. MPSW45(1)
(висит в воздухе)

Базу транзистора MPSA64(1) спаять со вторым выводом резистора 10 кОм(1). Коллектор транзистора спаять со вторым выводом резистора 2,2 кОм(1) и с выводом микроамперметра (см. рисунки 7.13, 7.14).

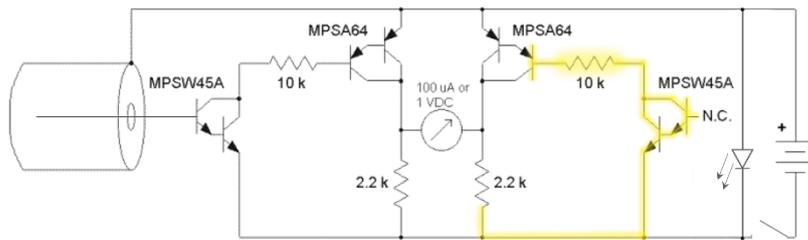


Рисунок 7.13
Подключение базы
тр. MPSA64(1)

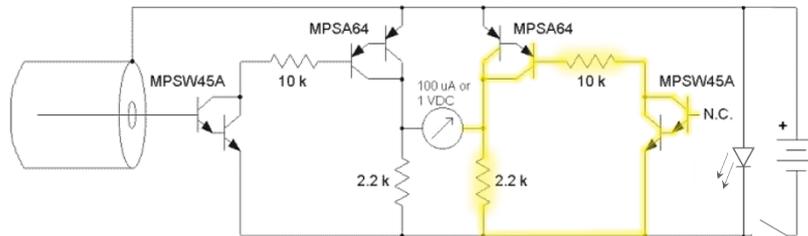


Рисунок 7.14
Подключение
коллектора тр.
MPSA64(1)

Эмиттер транзистора MPSA64(1) правого плеча припаять к эмиттеру транзистора MPSA64(2) левого плеча; можно предварительно подсоединить красный провод для крепления к корпусу банки (см. рисунок 2.15).

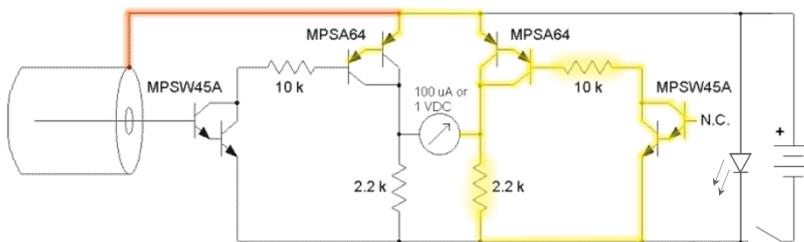


Рисунок 7.15
Подключение
эмиттера тр.
MPSA64(1)

Левое(2) плечо схемы:

Коллектор транзистора MPSA64(2) спаять с одним из выводов резистора 2,2 кОм(2) и со вторым выходом микроамперметра. Базу данного транзистора спаять с одним из выводов резистора 10 кОм(2) (см. рисунки 7.16 и 7.17).

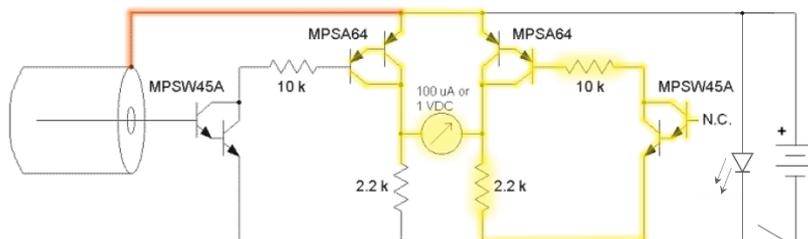


Рисунок 7.16
Подключение
коллектора тр.
MPSA64(2)

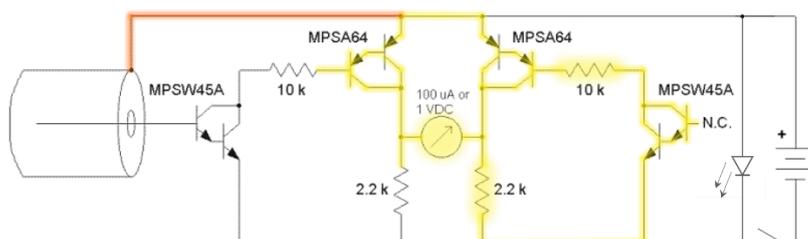


Рисунок 7.17
Подключение базы
тр. MPSA64(2)

Эмиттер транзистора MSPW45(2) спаять со вторым выводом резистора 2,2 кОм(2) и со вторым выводом резистора 2,2 кОм(1) правого плеча. Коллектор данного транзистора спаять со вторым выводом резистора 10 кОм(2), вывод базы транзистора подготовить к соединению с центральным электродом (см. рисунки 7.18-7.20).

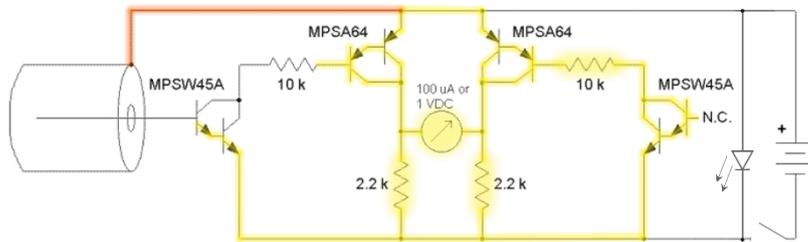


Рисунок 7.18
Подключение
эмиттера тр.
MPSW45(2)

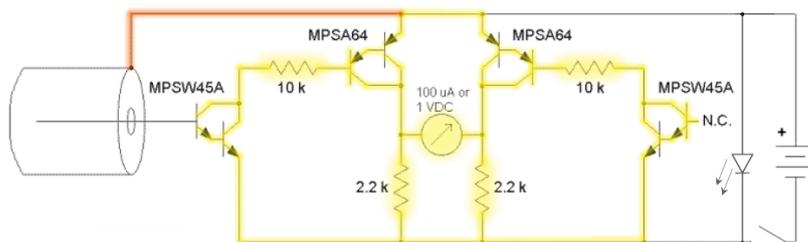


Рисунок 7.19
Подключение
коллектора тр.
MPSW45(2)

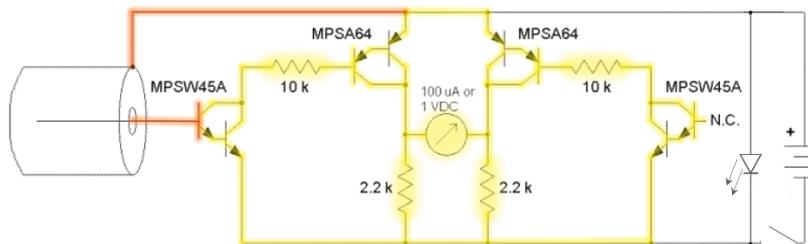


Рисунок 7.20
Подключение базы
тр. MPSW45(2)

Процесс пайки представлен на рисунках 7.21 – 7.27:

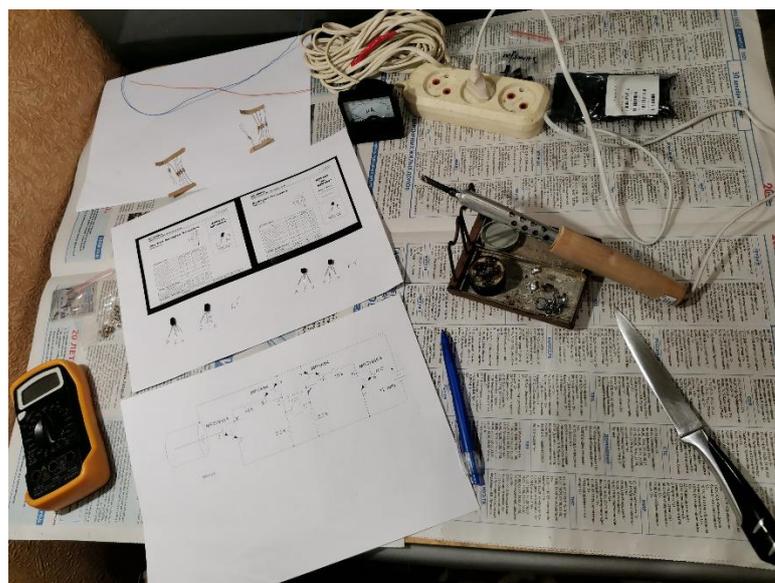
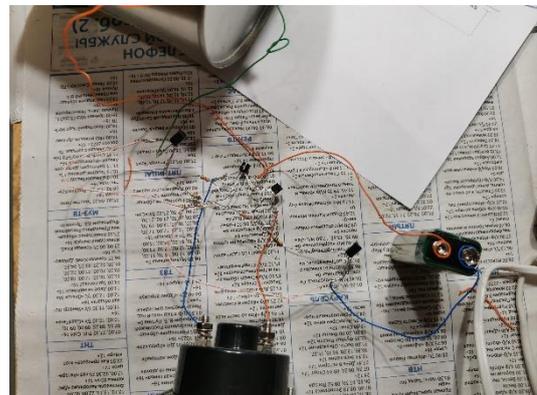
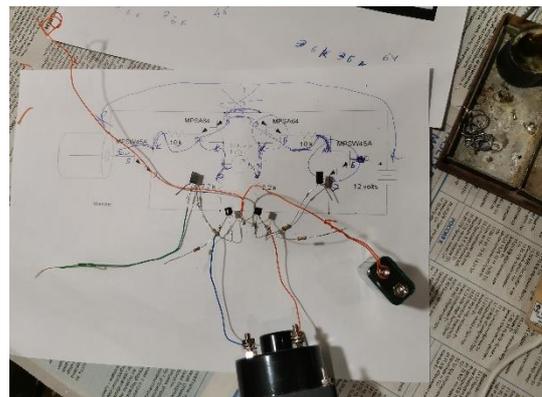
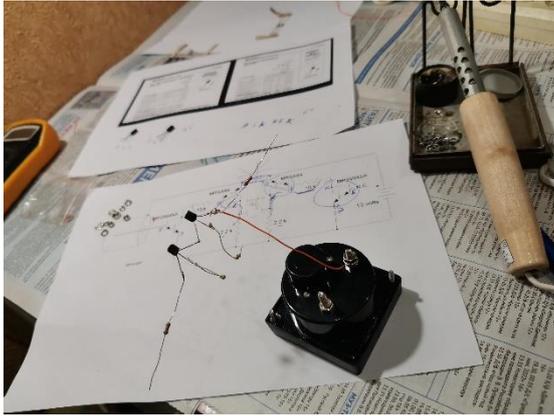


Рисунок 7.21 Подготовка рабочего места



Рисунки 7.22 – 7.27 Пайка электрической схемы

Левое плечо схемы служит усилителем для детектирования постоянного тока через камеру. Правое плечо аналогично левому, но база чувствительного транзистора ни с чем не соединена. Правое плечо схемы служит для термостабилизации и компенсации токов утечки, неизбежно возникающих в левом плече (рисунок 7.28). Амперметр включен между двумя плечами схемы и фиксирует возникающий ионизационный ток.

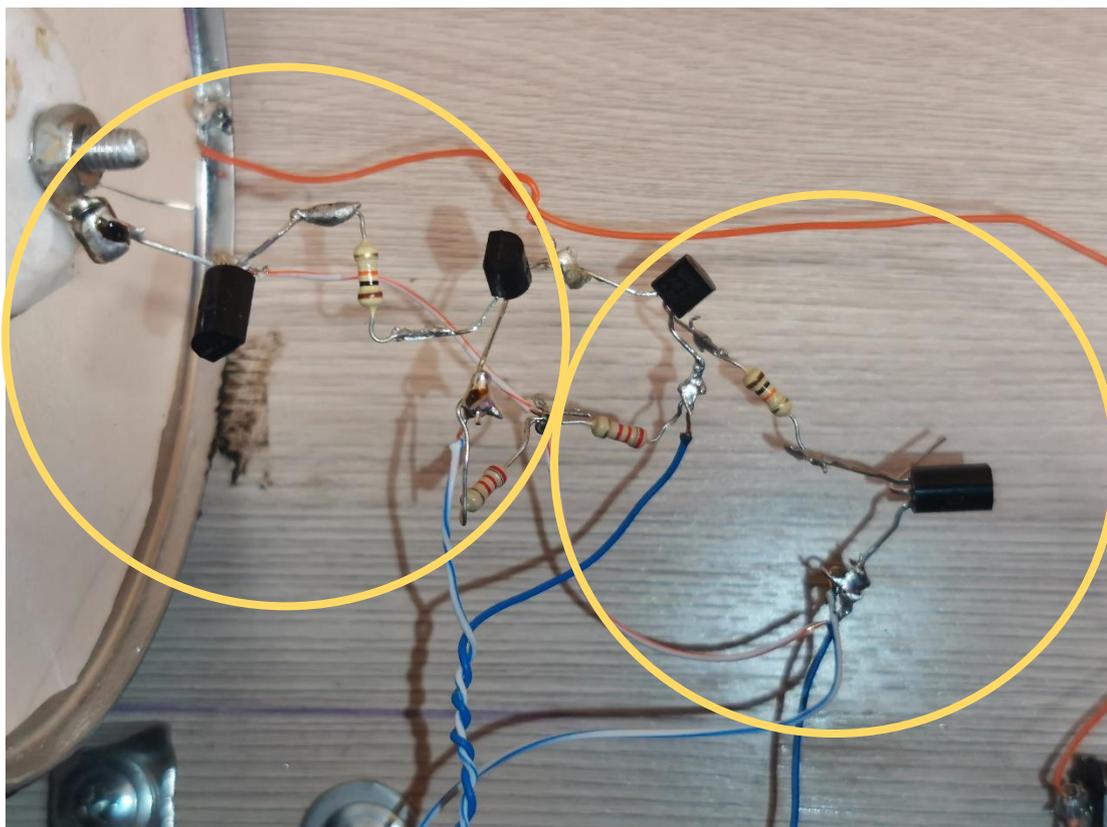


Рисунок 7.28 Левое и правое плечи схемы

§ 7.2 Изготовление рабочего объема камеры

Рабочий объем моей ионизационной камеры состоит из металлической банки и стального стержня, длиной чуть меньше длины корпуса банки (это необходимо для того, чтобы внутренний конец стержня не касался крышки банки). Они выступают в качестве изолированных друг от друга электродов. Корпус банки является токопроводящим слоем и играет роль анода, стержень является катодом (рисунок 7.29).

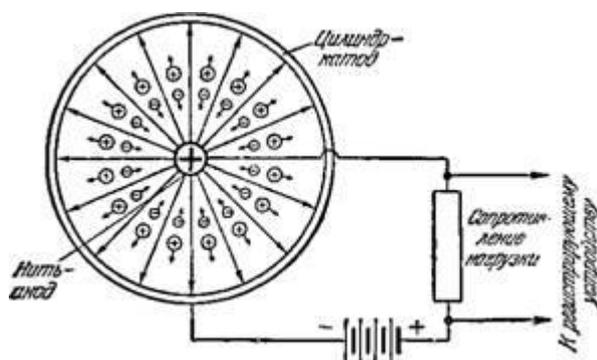


Рисунок 7.29 Схема простейшей ионизационной камеры

1. По центру дна банки просверлить отверстие для крепежа центрального электрода (стержня). Просверлить аналогичные отверстия во фторопластовых прокладках,

выступающих в качестве изолятора между банкой и стержнем. С помощью суперклея приклеить прокладки к банке так, чтобы отверстия совпадали.

2. Лёркой нарезать резьбу на стальном стержне (см. Приложение 4. Техника безопасности при работе с колющими и режущими инструментами). Для этого стержень соответствующего диаметра и длины зажимается в тиски и навинчивается на лёрку; на поверхности стержня образуется винтовая канавка. Процесс необходимо повторить несколько раз, пока не получится хорошая, плотная резьба.

3. Вкрутить стержень в отверстие банки и закрепить его с помощью гаек с обеих сторон. Под внешнюю гайку можно заранее установить металлический контакт для припаивания проводов (рисунки 7.30 и 7.31)



Рисунки 7.30, 7.31 Банка со стержнем

4. По краю крышки банки вырезать отверстие и напаять на него мелкую латунную сетку (см. Приложение 9. Техника безопасности при работе с электрооборудованием). Крышка послужит «экраном» для камеры, регулируя ее чувствительность к мощным источникам излучения (рисунки 7.32 – 7.34). Изначально мной планировалось использование более мелкой тканой металлической сетки в качестве экрана, но из-за возникших проблем с пайкой материала этой сетки, частично состоящего из тканевых волокон, от данного варианта пришлось отказаться.



Рисунки 7.32 – 7.34 Изготовление «экрана»

§ 7.3 Монтаж составных элементов прибора

На финальном этапе работы пять основных элементов прибора (рабочий объем камеры, электрическая схема, амперметр, источник питания и выключатель питания) необходимо закрепить на основе и соединить проводами.

1. Разметка основы из ДСП

Разметить основу из ДСП. Конкретной схемы разметки не существует: элементы прибора могут располагаться в произвольном порядке (главное – правильно соединить их). Однако важно учитывать, что для всех элементов должно быть достаточно места, т.к. между ними будут проходить провода. Я выбрала следующую схему разметки (рисунок 7.35): для наглядности и удобства амперметр и выключатель будут зафиксированы на фронтальной части основы, позади них – рабочий объем, электроника и источник питания.

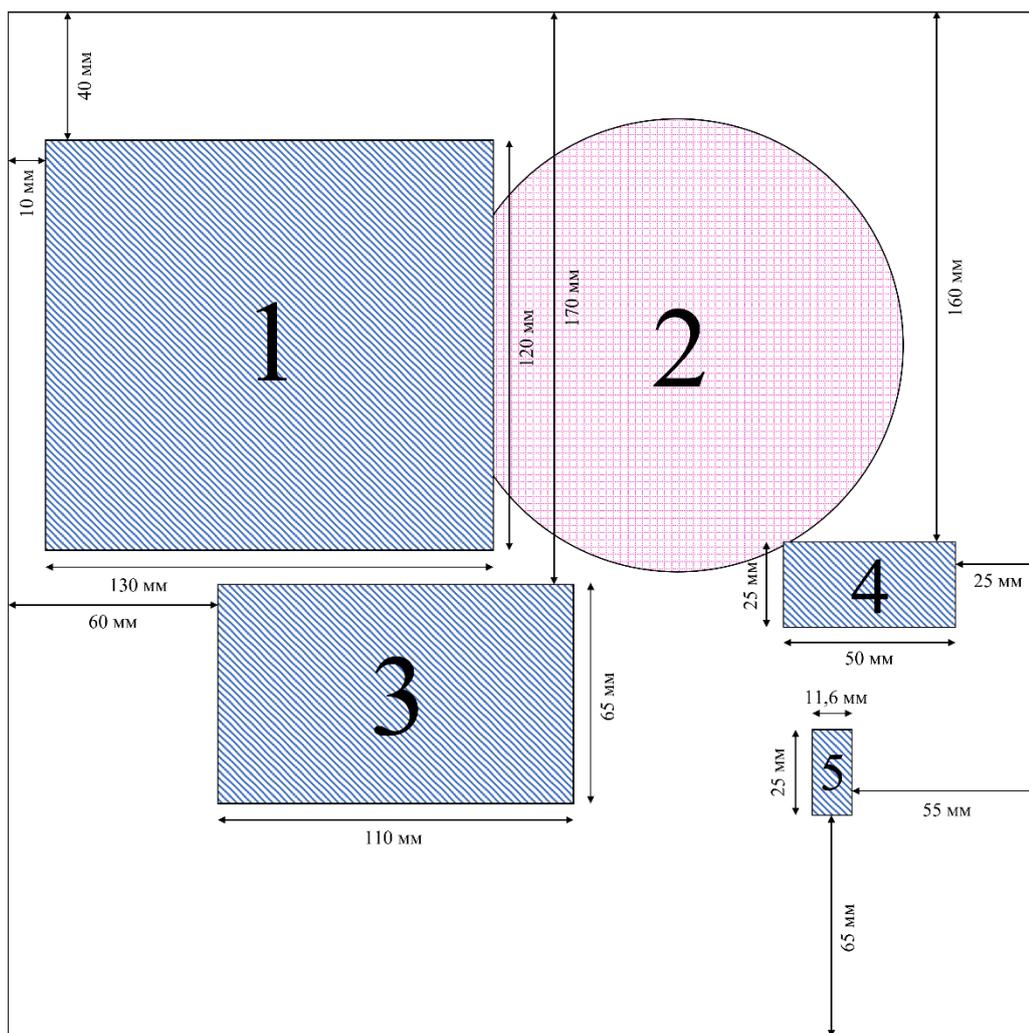


Рисунок 7.35 Схема разметки основы с указанием размеров. Цифрами отмечены:

1. Область под рабочий объем камеры;
2. Область для навесного монтажа электрической схемы;
3. Область под микроамперметр;
4. Область под источник питания;
5. Область под выключатель питания

2. Монтаж рабочего объема камеры

Для закрепления банки изготовить хомуты из листа жести. Продев в хомуты банку со стержнем внутри, зафиксировать ее на размеченной основе саморезами (см. Приложение 9. Техника безопасности при работе с электрооборудованием) (рисунок 7.36).



Рисунок 7.36 Хомуты для монтажа банки

3. Монтаж источника питания

Источник питания приклеить к размеченной основе суперклеем (рисунок 7.37).

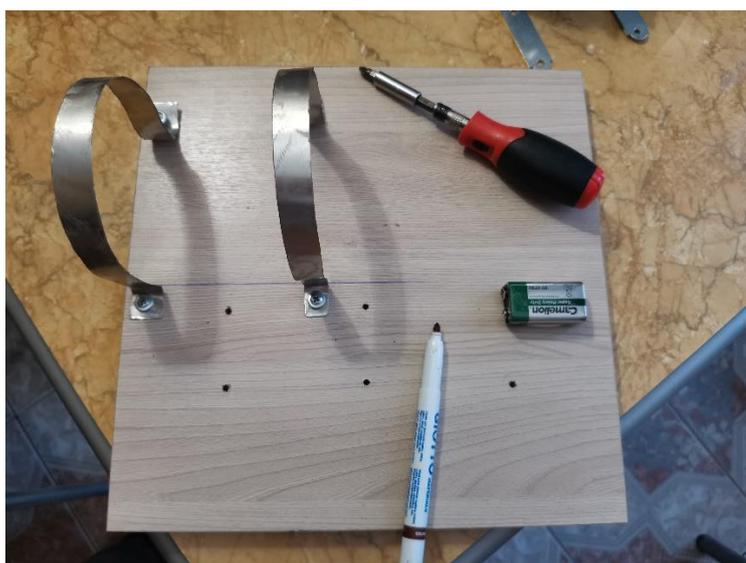


Рисунок 7.37 Монтаж источника питания

4. Монтаж выключателя питания

Для выключателя подготовить стальной уголок размерами 25x25x16, просверлить в нем отверстие под саморезы. Вставить выключатель в уголок, зафиксировать саморезами на размеченной основе (см. Приложение 9. Техника безопасности при работе с электрооборудованием) (рисунок 7.38).

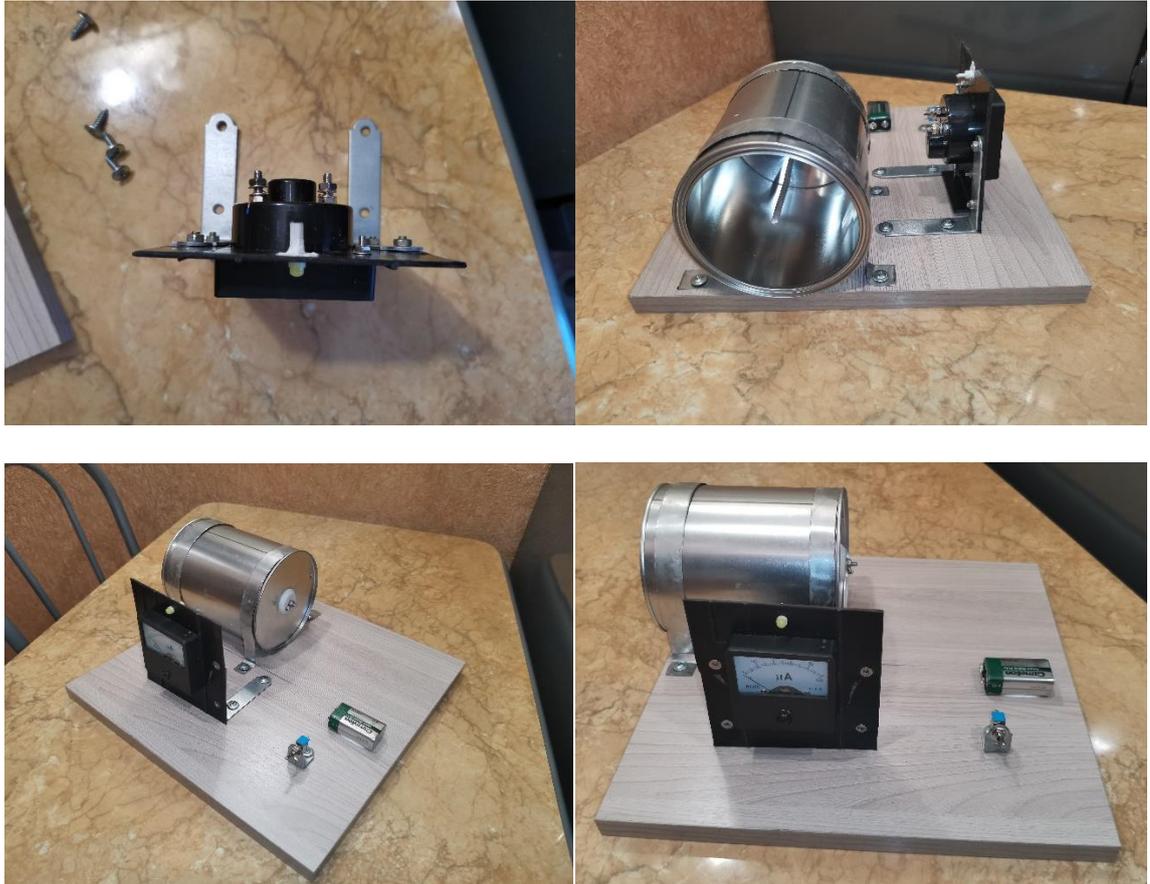


Рисунок 7.38 Подготовленный к монтажу выключатель питания

5. Монтаж амперметра

В черную пластмассовую пластину вмонтировать светодиод и корпус амперметра. В дальнейшем, будучи непосредственно связанным с источником питания через выключатель, светодиод будет выступать в качестве элемента контроля включения/выключения схемы. На заранее подготовленных монтажных уголках с просверленными электродрелью отверстиями закрепить пластину с амперметром. Уголки с прикрученным амперметром зафиксировать саморезами на размеченной основе (см. Приложение 9. Техника безопасности при работе с электрооборудованием) (рисунки 7.39 – 7.44).





Рисунки 7.39 – 7.44 Монтаж выключателя питания

6. Монтаж электрической схемы

Базу чувствительного транзистора левой детектирующей части схемы припаять методом навесного монтажа к контакту, соединенному с внешним концом стержня-электрода. Красным проводом соединить корпус банки и выводы транзисторов обоих плеч с «+» источника питания. «-» источника питания через выключатель подключить к эмиттеру транзистора MPSW45 правого плеча, параллельно источнику питания подключить контрольный светодиод (рисунки 7.45 и 7.46).

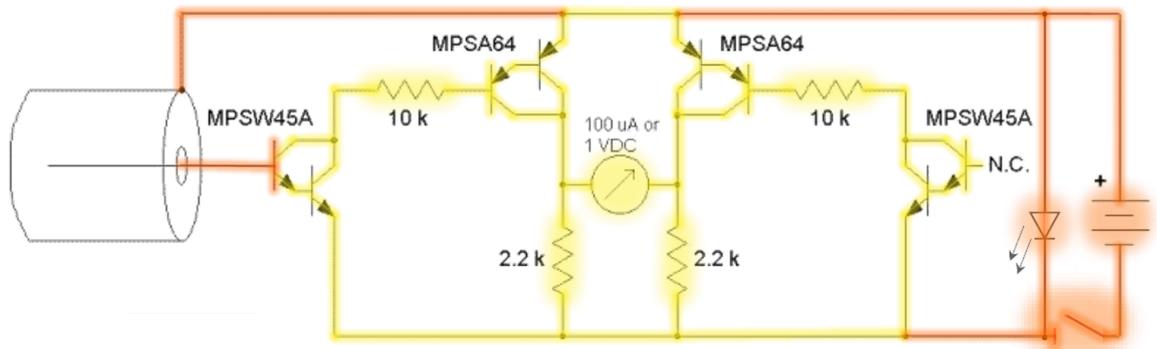


Рисунок 7.45 Объединение электрической схемы с другими элементами прибора

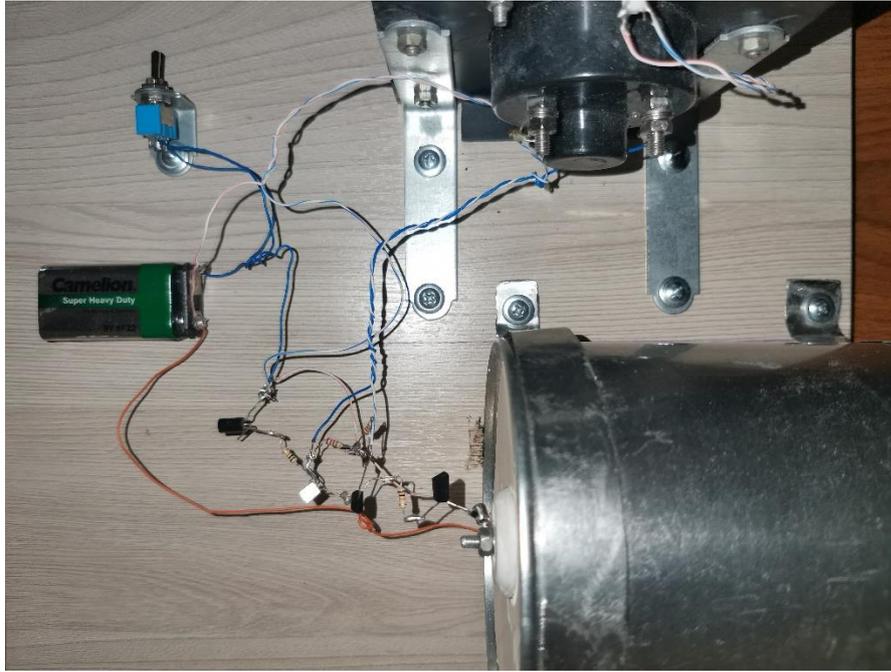


Рисунок 7.46 Вмонтированная электрическая схема

Модель ионизационной камеры собрана и готова к работе!

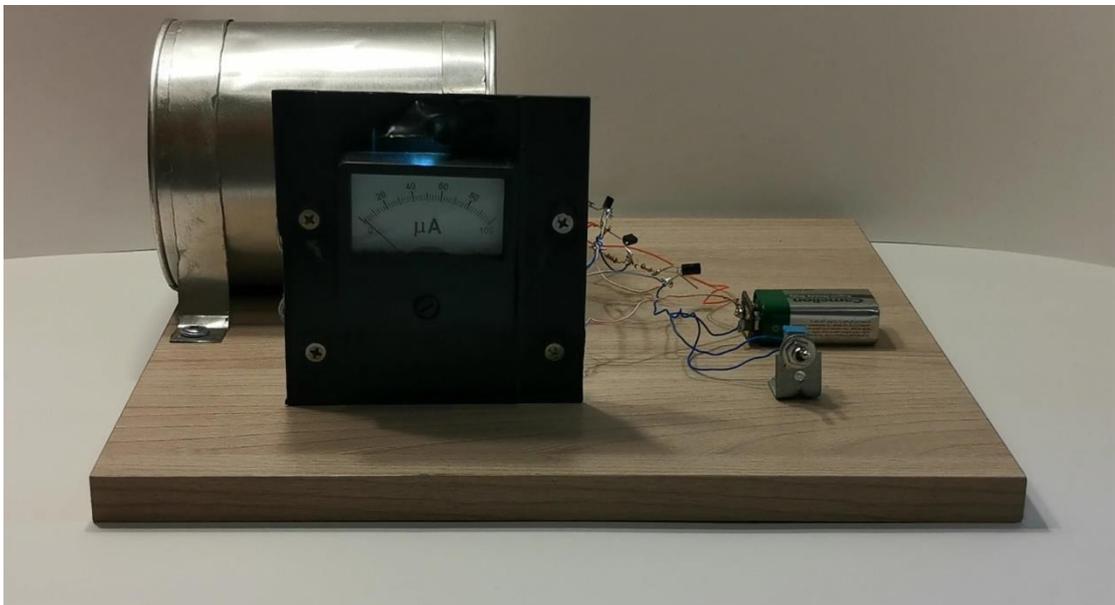


Рисунок 7.47 Ионизационная камера во включенном состоянии

Приложение 8. Экономический расчет

Себестоимость продукта проекта – это выраженные в денежной форме затраты на производство и реализацию продукта (в данном случае прибора – модели ионизационной камеры).

$$C = Z_m + Z_{эн},$$

где C – себестоимость,

Z_m – материальные затраты (см. таблицу 2.1),

$Z_{эн}$ – затраты на электроэнергию.

Таблица 2.1 Материальные затраты

| Наименование единицы материала/оборудования | Цена | Количество | Стоимость, рублей |
|---|---------------------|--|-------------------|
| Жестяная банка | 145 рублей/штука | 1 штука | 145 |
| Стальной стержень | 100 рублей/метр | 0,13 м | 13 |
| Микроамперметр | 450 рублей/штука | 1 штука | 400 |
| Источник питания | 250 рублей/штука | 1 штука | 250 |
| Выключатель питания | 10 рублей/штука | 1 штука | 10 |
| Транзисторы Darlington MPSW45 | 197 рублей/5 штук | 2 штуки | 78,8 |
| Транзисторы Darlington MPSA62 | 285 рублей/100 штук | 2 штуки | 5,7 |
| Резисторы 2,2 кОм | 12 рублей/штука | 2 штуки | 24 |
| Резисторы 10 кОм | 25 рублей/штука | 2 штуки | 50 |
| Лист ДСП | 341 рубль/штука | 1 штука | 341 |
| Латунная сетка | 265 рублей/кг | 0,2 кг | 53 |
| Фторопластовые изолирующие прокладки | 50 рублей/штука | 2 штуки | 100 |
| Провода | 2 рубля/метр | Красные: 0,3 м Синие: 0,4 м Белые: 0,4 м | 2,2 |
| Светодиод | 33 рубля/штука | 1 штука | 33 |
| Клеммы-контакты | 20 рублей/штука | 2 штуки | 40 |

| | | | |
|-----------------------------------|------------------------|---------|--------|
| Монтажные уголки 70x70x16 | 30 рублей/штука | 2 штуки | 60 |
| Монтажный уголок 25x25x16 | 10 рублей/штука | 1 штука | 10 |
| Саморезы | 320 рублей/300 штук | 9 штук | 9,6 |
| Винты | 23 рубля/штука | 4 штуки | 92 |
| Гайки | 5 рублей/штука | 6 штук | 30 |
| Монтажная пластиковая пластина | 83 рубля/штука | 1 штука | 83 |
| Итого: | | | 1830,3 |

$$Z_{\text{эн}} = C_{\text{эн}} * P * t,$$

где $C_{\text{эн}}$ – стоимость электроэнергии ($C_{\text{эн}} = 5,30$ руб/кВт*ч),

P – мощность оборудования,

t – время работы.

Суммарно на непосредственное изготовление ионизационной камеры у меня ушло около 20 часов, включая время на обучение работе с паяльником и электродрелью. Все время ($t_{\text{л}} = 20$ ч) я работала при искусственном освещении светодиодной лампой мощностью $P_{\text{л}} = 0,01$ кВт. Паяльник я использовала около $t_{\text{п}} = 4$ ч (мощность паяльника $P_{\text{п}} = 0,04$ кВт), электродрель – $t_{\text{эл/др}} = 1$ ч (мощность электродрели $P_{\text{эл/др}} = 0,55$ кВт).

$$Z_{\text{эн}} = (C_{\text{эн}} * P_{\text{л}} * t_{\text{л}}) + (C_{\text{эн}} * P_{\text{п}} * t_{\text{п}}) + (C_{\text{эн}} * P_{\text{эл/др}} * t_{\text{эл/др}})$$

$$Z_{\text{эн}} = C_{\text{эн}} * ((P_{\text{л}} * t_{\text{л}}) + (P_{\text{п}} * t_{\text{п}}) + (P_{\text{эл/др}} * t_{\text{эл/др}}))$$

$$Z_{\text{эн}} = 5,30 \text{ руб/кВт*ч} * ((0,01 \text{ кВт} * 20 \text{ ч}) + (0,04 \text{ кВт} * 4 \text{ ч}) + (0,55 * 1 \text{ ч})) = 4,823 \text{ руб}$$

$$C = 1830,3 \text{ руб} + 4,823 \text{ руб} = 1835,123 \text{ руб}$$

Себестоимость продукта моей проектной деятельности составляет **1835,123 руб.**

Приложение 9. Техника безопасности при работе с электрооборудованием (паяльник и электрическая дрель)

1. Перед началом работы убедиться в исправности корпуса прибора, проводов и вилки; не использовать неисправные приборы;
2. Чтобы не возникло пожара, при работе с паяльником нужно убрать все легковоспламеняющиеся предметы и жидкости с рабочего места;
3. Перед каждой новой пайкой производить дополнительную механическую чистку жала паяльника;
4. Не следует перегревать паяльник до максимальной температуры, так как канифоль при контакте с раскаленным жалом сильно дымится;
5. Паяльник всегда требуется класть на подставку; при работе паяльник можно держать только за ручку;
6. Нужно периодически проветривать помещение, чтобы в воздухе не возникало скопления вредных веществ;
7. Перед началом работ с электродрелью нужно проверить дрель на холостом ходу, не должно быть посторонних шумов и запахов, режущий инструмент должен быть исправным и правильно заточенным;
8. При работе с электрической дрелью запрещается удаление стружки и опилок руками в процессе работы дрели; стружку нужно удалять после полной остановки дрели;
9. Вставлять сверло в патрон дрели и извлекать его, регулировать дрель можно только после отключения ее от сети и полной остановки;
10. В ходе работы необходимо контролировать местоположение питающего кабеля электроприбора, чтобы не нанести ему повреждение;
11. При признаках нештатной работы (искры, дым, изменение уровня шума и т.д.) следует немедленно произвести отключение электроприбора;
12. Нельзя оставлять работающий электроприбор без присмотра;
13. Если требуется произвести смену насадки или использовать другой инструмент, необходимо выполнить отключение питания.

Приложение 10. Техника безопасности при работе с колющими и режущими инструментами

1. Работать разрешается только исправными инструментами: нельзя использовать тупые ножницы с ослабленным шарнирным креплением;
2. По размеру, отвёртка должна соответствовать размеру шурупа;
3. Нельзя держать левую руку вблизи режущего инструмента; не оставлять ножницы с открытыми лезвиями;
4. Следует правильно держать инструмент во время работы: отвертка должна лежать в правой руке, левая рука придерживает и направляет шуруп; по отношению к шурупу, отвёртка должна располагаться строго вертикально;
5. Передавать отвёртку можно только вперёд ручкой; закрытые ножницы передавать кольцами вперед;
6. Нельзя держать ножницы лезвиями вверх;
7. При работе с ножницами нужно внимательно следить за линией разреза;
8. По окончании работы, инструменты нужно убирать на место хранения.

Приложение 11. Список источников и использованной литературы

1. La lumière: ses causes et ses effets / Edmond Becquerel. – Paris, France: F. Didot, 1868. // vol. 2.
2. Атомная и ядерная физика. Физика элементарных частиц. Учебное пособие / Кузнецов С.И. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 78 с.
3. Масс-спектрометрия и хромато-масс-спектральный анализ: пособие / В. А. Винарский, Р. А. Юрченко. – Минск: БГУ, 2013. Москва: Воениздат, 1970. – 356 с.
4. Основы дозиметрии и войсковые дозиметрические приборы / Меркин С. А., Вайнштейн Н. Б., Плоткин А. А., Рожков Г. А.; Министерство обороны СССР. –
5. Основы экспериментальных методов ядерной физики: Учеб. Пособие для вузов. / А. И. Абрамов, Ю. А. Казанский, Е. С. Матусевич. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 488 с.: ил.
6. Радиоактивность / Ихшанов Б. С. под ред. В. И. Баранова. — М.: Университетская книга, 2011. — 378 с.
7. Радиоактивные излучения и их измерения [Текст] / В. П. Сырнев, Н. П. Петров. – Москва: Воениздат, 1956. - 160 с.: ил.; 16 см.
8. Сцинтилляция // Социальное партнёрство — Телевидение. — М. : Большая российская энциклопедия, 2016. — С. 496. — (Большая российская энциклопедия : [в 35 т.] / гл. ред. Ю. С. Осипов ; 2004—2017, т. 31).
9. Физика. Квантовая физика: учебник / Ю.И. Тюрин, И.П. Чернов, Ю.Ю. Крючков; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 320 с.
10. Professor E. Rutherford, F.R.S., University of Manchester. The Scattering of α - and β -Particles by Matter and the Structure of the Atom / London Taylor & Francis // The Philosophical magazine; a journal of theoretical, experimental and applied physics. 1911. LXXIX.
11. Профессор, д.х.н. И. Н. Бекман [Курс лекций] // Учебное пособие по ядерной физике – Лекция 1. История ядерной физики. – М., 2010.
12. Профессор, д.х.н. И. Н. Бекман [Курс лекций] // Учебное пособие по ядерной физике – Лекция 13. Ионизирующие излучения. – М., 2010.
13. Профессор, д.х.н. И. Н. Бекман [Курс лекций] // Учебное пособие по ядерной физике – Лекция 14. Взаимодействие излучения с веществом. – М., 2010.

14. Polimaster [Электронный ресурс]: Разработчик и производитель оборудования радиационного мониторинга и контроля различных типов и назначения // Режим доступа: [Естественные и искусственные источники ионизирующих излучений \(polimaster.com\)](http://polimaster.com). Дата обращения: 14.02.2022.