

ДЕТЕКТОРЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ.

Лекция составлена доцентом кафедры физики и математики

Архангельской Ю.С.

Для изучения различных свойств радиоактивных излучений (α - и β -частиц, γ -квантов), а также для исследования частиц в современной ядерной физике применяются различные методы, в основе которых лежат ионизирующее и фотохимическое действия излучаемых частиц. **Устройства для регистрации элементарных частиц, ядер атомов, а также рентгеновских и гамма-излучений называются детекторами.**

Выделяют три группы детекторов: трековые (следовые), счетчики и интегральные приборы.

ТРЕКОВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ

Трековые или следовые детекторы позволяют наблюдать визуально следы (треки) проходящих частиц. К ним относится: камера Вильсона, пузырьковая камера, ядерные фотоэмульсии, искровые камеры.

Общий принцип регистрации основан на том, что ускоренные заряженные частицы, попадая в рабочее вещество, ионизируют его по ходу движения. В результате ионизации вещества возникают вторичные эффекты, которые можно наблюдать и по ним оценивать наличие частиц, их энергию, среднюю длину пробега и т.д.

1.Камера Вильсона.(1912)

В качестве рабочего вещества используется (пересыщенный) переохлажденный пар. В состав пара входит вода, этиловый спирт, гелий и аргон. Камера представляет собой стеклянный цилиндрический сосуд, покрытый сверху стеклом (1). Над этим стеклом располагается глаз или фотокамера (2). Снизу сосуда расположен подвижный поршень, над поршнем располагается сетка, покрытая слоем черного влажного бархата или сукна.

При быстром опускании поршня происходит адиабатическое расширение газа, что сопровождается понижением его температуры. За счет охлаждения пар становится переохлажденным.

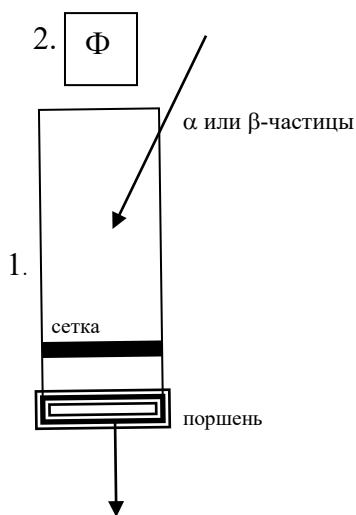


схема камеры Вильсона

Заряженные частицы, пролетая в газе, создают на своем пути цепочку ионов. На этих ионах как на центрах конденсации образуются капельки жидкости. Таким образом, при движении в камере частица оставляет за собой след (трек), который хорошо виден и может быть сфотографирован. По геометрии полученных треков можно определить количество частиц и направления их движения. Если весь трек умещается в камере, то можно установить энергию частицы, средний линейный пробег, линейную плотность

ионизации (количество капель на единицу длины трека). При помещении камеры в постоянное магнитное поле можно по радиусу кривизны траектории определить удельный заряд, скорость и энергию частиц.

2. Пузырьковая камера.

В качестве рабочего вещества используют перегретую жидкость, закипающую при резком уменьшении ее давления. В качестве рабочих жидкостей применяют жидкий водород, пропан C_3H_8 , ксенон и другие легко кипящие жидкости. При движении заряженных частиц образуются ионы, являющиеся центрами интенсивного парообразования, приводящие к появлению цепочки пузырьков (Глезер, 1952 г.). В пузырьковой камере можно регистрировать частицы очень больших энергий, т.к. частицы тормозятся в ней на отрезках в тысячу раз меньших, чем в камере Вильсона. (Плотность перегретой жидкости в тысячу больше плотности переохлажденного пара).

3. Толстослойные (ядерные) фотоэмульсии.

Этот метод основан на фотохимическом действии ионизирующего излучения. Под действием проходящих через фотоэмульсию быстрых заряженных частиц нарушается структура кристаллической решетки зерен бромистого серебра, делающих их неспособных к проявлению, поэтому после проявления получают цепочку черных точек, которые видны под микроскопом. Ядерные эмульсии применяются в виде слоев толщиной от 0,5 до 1 мм. Это позволяет исследовать траектории частиц высоких энергий. Например, частица с энергией порядка 10 МэВ образует след длиной 0,1 мм и не выходит за пределы слоя.

Для изучения треков частиц с еще большей энергией и имеющих средний линейный пробег больше толщины одной пластины используют стопу из большого числа пластин. Стопу пластин располагают наклонно к следу. В этом случае последовательные участки следов траектории частицы можно изучать по почернению эмульсии в пластинках стопы, следующих друг за другом.

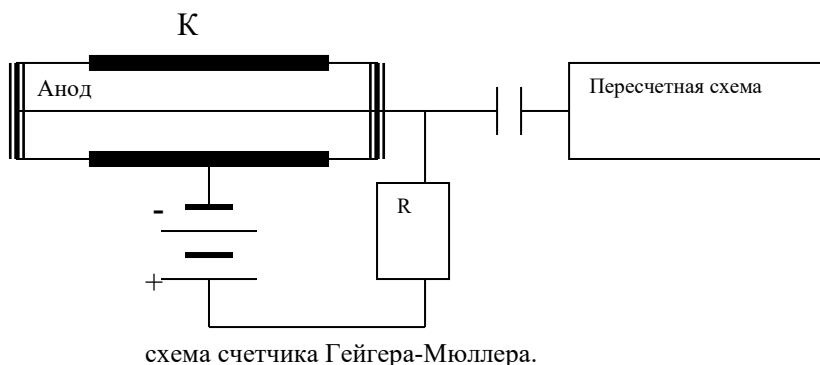
СЧЕТЧИКИ И ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ.

1. Счетчик Гейгера-Мюллера..

Это устройство позволяет считать число частиц, попадающих в устройство.

Принцип его действия основан на ионизации газа под действием различных видов ионизирующего излучения.

Счетчик представляет собой геометрически запаянную стеклянную трубку, к внутренним стенкам которой прилегает катод – тонкий металлический цилиндр; анодом служит тонкая проволока, натянутая по центрально оси счетчика. Рабочее напряжение составляет сотни вольт.

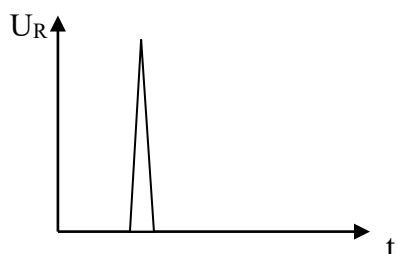


Счетчик включается в регистрационную схему. На корпус подается отрицательный потенциал, на нить - положительный. Последовательно счетчику включается резистор с сопротивлением несколько мегом. С резистора через разделительный конденсатор с емкостью несколько тысяч микрофард сигнал подается на вход пересчетной схемы. Внутри трубки находится смесь газов под атмосферным или пониженным давлением. Газ является хорошим диэлектриком и при отсутствии ионизирующих частиц, тока во внешней цепи нет.

Если в счетчик попала хотя бы одна ионизирующая частица, то она создает одну паров ионов (один положительный ион и один электрон). Положительный ион и электрон движутся в поле с одинаковой напряженностью, но длина свободного пробега электрона много больше длины свободного пробега положительного иона, поэтому электрон является более эффективным ионизатором. Под действием электрического поля кинетическая энергия электронов возрастает и становится больше энергии ионизации атомов газовой смеси, поэтому при взаимодействии образовавшегося электрона с атомами образуются новые ионы и электроны. Происходит *ударная ионизация газа*. При ударной ионизации и высокой напряженности электрического поля в газе создается *ионная лавина*.

Вторичные электроны, возникающие за счет ударной ионизации, также разгоняются полем и в свою очередь ионизируют встречные атомы и молекулы. В результате такой цепной реакции даже небольшое число электронов, возникающее в результате внешней ионизации, резко увеличивает электропроводность газа, вследствие чего по резистору течет ток и на его концах возникает импульс напряжения, который через конденсатор поступает на вход пересчетного устройства.

Высокий потенциал, который первоначально находился на аноде, переключается на резистор, напряженность электрического поля внутри счетчика убывает, вследствие чего уменьшается кинетическая энергия электронов, что приводит прекращению режима газового усиления.



Для усиления гашения самостоятельного разряда используют внутреннее гашение, для этого в смесь газа добавляют пары многоатомного газа, например пары этилового спирта или используют специальные радиосхемы.

ХАРАКТЕРИСТИКИ СЧЕТЧИКА.

Время образования и гашения импульса в счетчике, в течение которого она не регистрирует вновь попадающие в нее частицы, называют *мертвым временем* счетчика. При внешнем гашении оно порядка 10^{-2} с, для самогасящихся трубок 10^{-3} - 10^{-4} с.

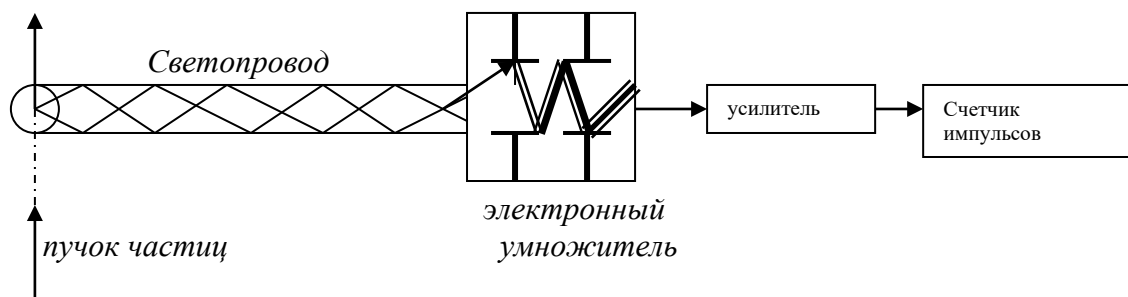
Минимальное время, которое должно разделять следующие друг за другом частицы, чтобы они были сосчитаны как две, называют *разрешающее время*.

Число импульсов, которое может зарегистрировать счетчик в единицу времени, называют максимальной скоростью или *разрешающей способностью* счетчика. Оно составляет 100 имп./с при внешнем гашении и 10^3 - 10^4 имп./с для самогасящихся трубок.

2. Сцинтилляционный счетчик.

При попадании α -частиц на флуоресцирующие вещества они вызывают слабые световые вспышки – так называемые сцинтилляции. Было установлено, что каждая попавшая на такое вещество α -частица вызывает одну вспышку и это может быть использовано для счета α -частиц. Однако непосредственный подсчет числа вспышек утомителен и труден.

В конце сороковых годов были построены сцинтилляционные счетчики частиц. Такой счетчик состоит из флуоресцирующего вещества. В качестве люминофоров используются кристаллы: йодистый натрий или калий, нафталин, антрацен и другие. Применяются также жидкие люминофоры, например, раствор трифенила в ксилоле. Частицы, обладающие достаточно большой энергией попадая в вещество, вызывают сцинтилляционные вспышки. Каждая вспышка действует на фотокатод электронного умножителя и выбивает из него электроны. Электроны, проходя через n каскадов умножителя, дают на выходе импульс тока, который затем подается на вход усилителя. Усиленный электрический импульс подается на регистрирующее устройство (осциллограф или электромеханический счетчик импульсов). С помощью осциллографа можно определить интенсивность отдельных импульсов. Эта интенсивность пропорциональна энергии отдельной сосчитанной частицы. Таким образом, определяют не только число частиц, но и распределение их по энергиям.



Для того чтобы большая часть света, возникающая в результате вспышки, доходила до фотокатода, между веществом и фотоэлектронным умножителем устанавливают светопровод. Светопровод представляет собой цилиндрический стержень из органического стекла люцита, внутри которого свет проходит, испытывая полное внутреннее отражение.

Сводная таблица детекторов.

Виды детекторов	Рабочее вещество	Первичное действие частиц	Вторичный эффект	Регистрация
Камера Вильсона	Переохлажденный пар	Ионизация молекул пара	Конденсация пара на пути движения частиц – образование на ионах капелек жидкости	Визуальная, фотография
Пузырьковая камера	Перегретая жидкость	Ионизация молекул жидкости	Закипание жидкости вдоль траектории движения частиц – ионы являются центрами интенсивного парообразования	Визуальная, фотография

Толстослойные фотоэмульсии	Фотографический слой толщиной 0,5-1мм или стопа пластинок	Химическое действие на бромиды серебра	Почернение фотографического слоя	Фотография.
Счетчик Гейгера-Мюллера	Смесь газов в ионизационной камере высокого напряжения	Ударная ионизация	Ионная лавина	Звуковая, Осциллограф, счетчик частиц.
Сцинтилляционные счетчики	люминофоры	флуоресценция	Свечение в видимом диапазоне	Фотография, Счетчик частиц

Литература.

Б.М. Яворский, А.А. Пинский Основы физики М.1974

А.Н. Ремизов, А.Г. Максина, А.Я. Потапенко. Медицинская и биологическая физика.

Трековые или следовые детекторы позволяют наблюдать визуально следы (треки) проходящих частиц. К ним относятся: камера Вильсона, пузырьковая камера, ядерные фотоэмульсии, искровые камеры.

Общий принцип регистрации основан на том, что ускоренные заряженные частицы, попадая в рабочее вещество, ионизируют его по ходу движения. В результате ионизации вещества возникают вторичные эффекты, которые можно наблюдать и по ним оценивать наличие частиц, их энергию, среднюю длину пробега и т.д.

М . Дрофа, 2003