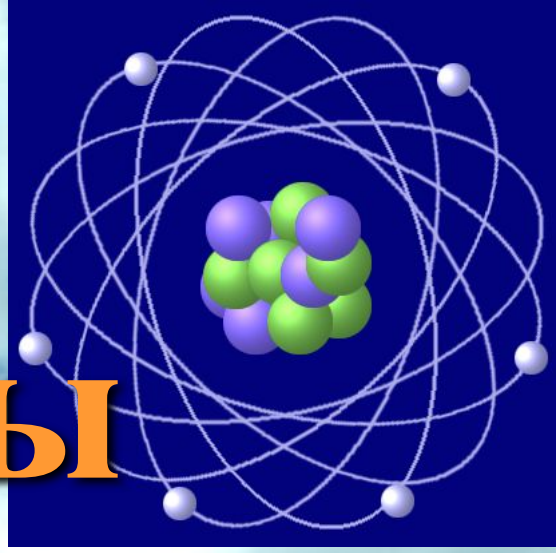


Детекторы ионизирующих излучений

Детектор (индикатор) ионизирующего излучения – объект или устройство, позволяющее обнаружить наличие ионизирующего излучения за счет непосредственного взаимодействия этого излучения с веществом детектора. Детекторы также служат для определения энергии, импульса, траектории движения и других характеристик ионизирующих излучений.

Историческая справка

Развитие детекторов началось практически с открытия радиоактивности Анри Беккерелем. История ядерной физики и физики частиц это - история создания новых детекторов для регистрации ядерного излучения и совершенствования старых. Открытие новых методов детектирования неоднократно отмечалось Нобелевскими премиями.

Чарлз Томсон Рис ВИЛЬСОН. Нобелевская премия по физике, 1927 г.

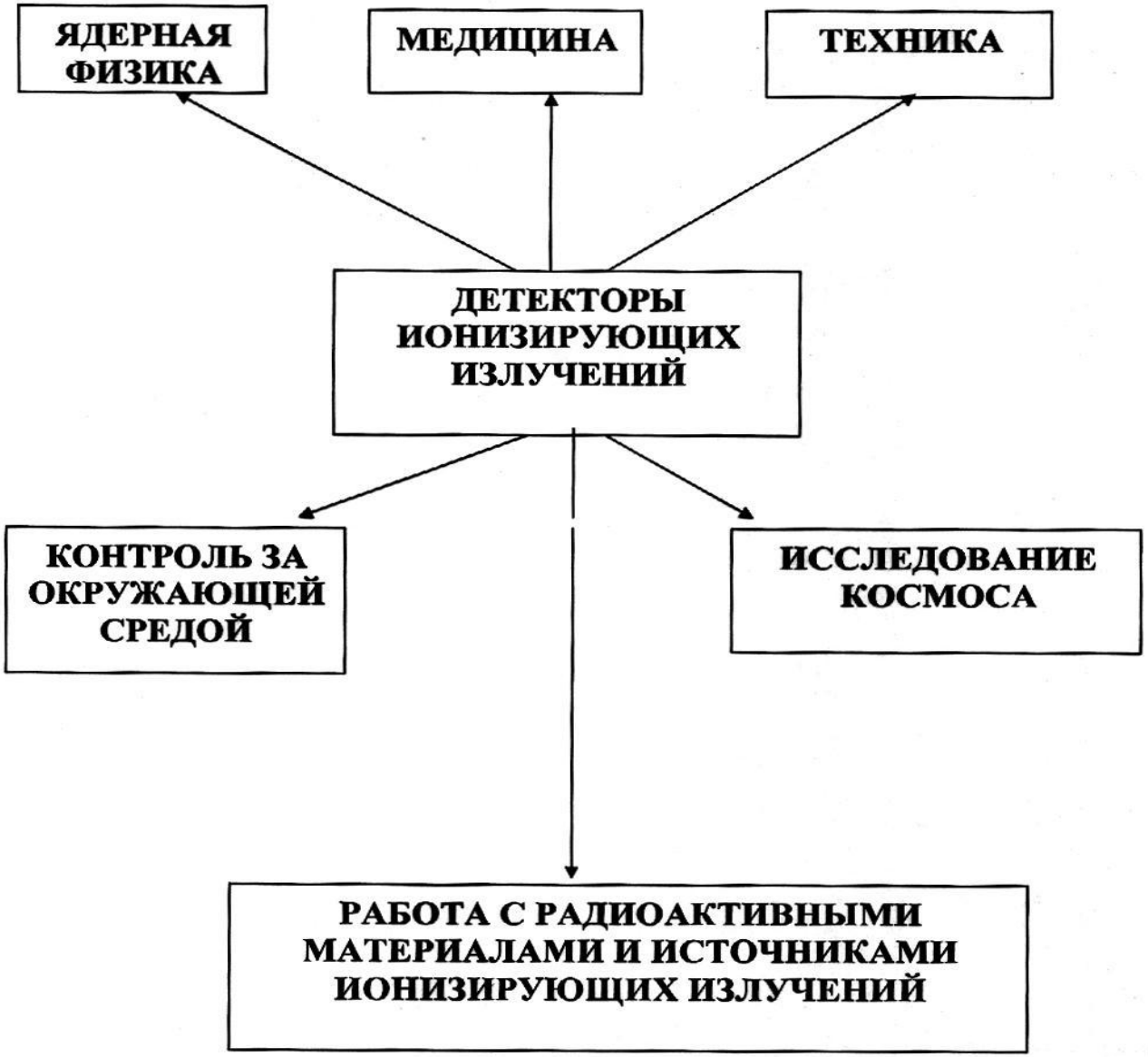
Патрик Мейнард Стюарт БЛЭККЕТ. Нобелевская премия по физике, 1948 г.

Сесил Фрэнк ПАУЭЛЛ. Нобелевская премия по физике, 1950 г.

Доналд Артур ГЛАЗЕР. Нобелевская премия по физике, 1960 г.

Луис Уолтер АЛЬВАРЕС. Нобелевская премия по физике 1968 г.

1. Введение


ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА
МЕДИЦИНА
ТЕХНИКА
ДЕТЕКТОРЫ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ
КОНТРОЛЬ ЗА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ
ИССЛЕДОВАНИЕ КОСМОСА
РАБОТА С РАДИОАКТИВНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ И ИСТОЧНИКАМИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

1. Введение

Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом

Ионизация среды (газ, жидкость, твердое тело), возникновение электронов и ионов (первичных или вторичных). Возникновение импульса электрического тока если среда находится в электрическом поле.

Возбуждение атомов среды с последующей релаксацией системы с испусканием квантов фотонного излучения - сцинтилляции

Первичные или вторичные химические реакции, приводящие к визуализации частицы или ее трека

Ионизационные детекторы: ионизационные камеры, газоразрядные, полупроводниковые, pin-диодные, камера Вильсона, пузырьковые камеры и тд.

Сцинтилляционные детекторы: жидкие, твердые, газовые, детекторы Черенковского излучения и тд.

Разнообразные трековые детекторы, компьютерная и авто-радиография

При поглощении ионизирующего излучения также возможно изменение температуры объекта – основа калориметрических детекторов

Основными характеристиками детектора являются

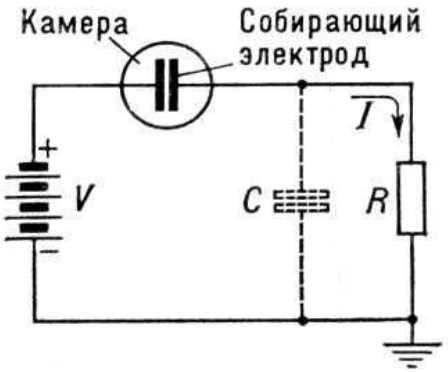
1. **Эффективность** (вероятность регистрации частицы при попадании её в детектор)
2. **Временное разрешение** (минимальное время, в течение которого детектор фиксирует две частицы как отдельные) и **мёртвое время** или время восстановления (время, в течение которого детектор после регистрации частицы либо вообще теряет способность к регистрации следующей частицы, либо существенно ухудшает свои характеристики).
3. Если детектор определяет энергию частицы и (или) её координаты, то он характеризуется также **энергетическим разрешением** (точностью определения энергии частицы) и **пространственным разрешением** (точностью определения координаты частицы).

ИОНИЗАЦИОННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ

$$W_c = \frac{CU^2}{2}$$

$$W_i = \frac{Li^2}{2}$$

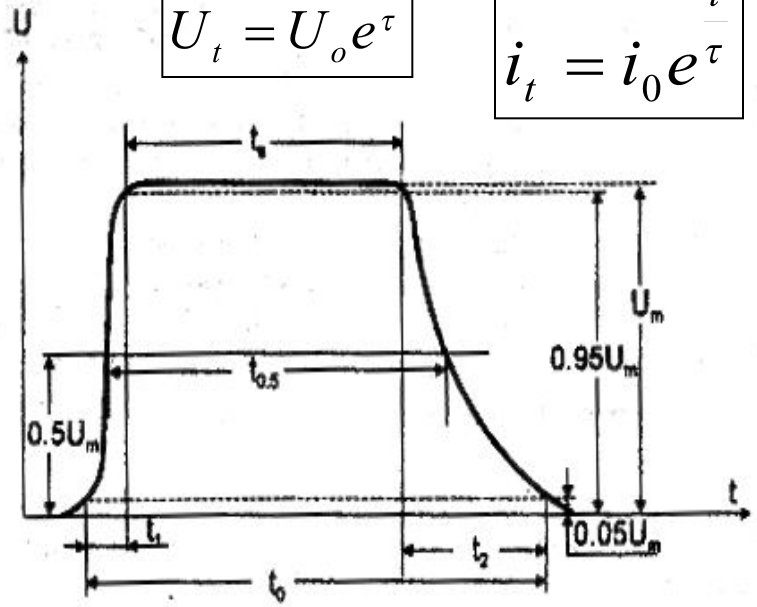
$$\tau = RC$$



$$U_t = U_o e^{\frac{t}{\tau}}$$

$$i_t = i_0 e^{\frac{t}{\tau}}$$

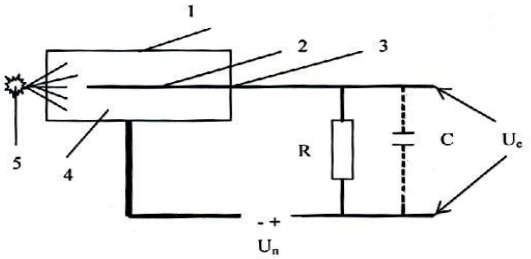
τ– постоянная времени электрической цепочки,
t – переходное время
или время установления



t_1 – время нарастания (передний фронт);
t_2 – время спада (задний фронт);
t_0 – длительность основания импульса;
$t_в$ – длительность вершины импульса;
$t_{0,5}$ – длительности импульса на уровне 0,5 его максимума;
U_m – амплитуда импульса.

Импульсные сигналы лежат в интервале 10^{-2} - 10^{-9} с. Рассматриваются режимы работы радиометрического приборов, когда переходные процессы от предыдущих электрических сигналов к приходу следующего импульса от детектора уже закончились. В импульсном режиме необходимо, чтобы его разрешающее время было больше времени установления.

2. Ионизационные детекторы



1- корпус (катод), 2- нить (анод), 3- изолятор, 4- рабочий объем (газ), 5- источник ионизирующего излучения

К рабочей среде этих детекторов прикладывается электрическое поле. Сама детектирующая среда может быть газообразной, жидкой или твердой.

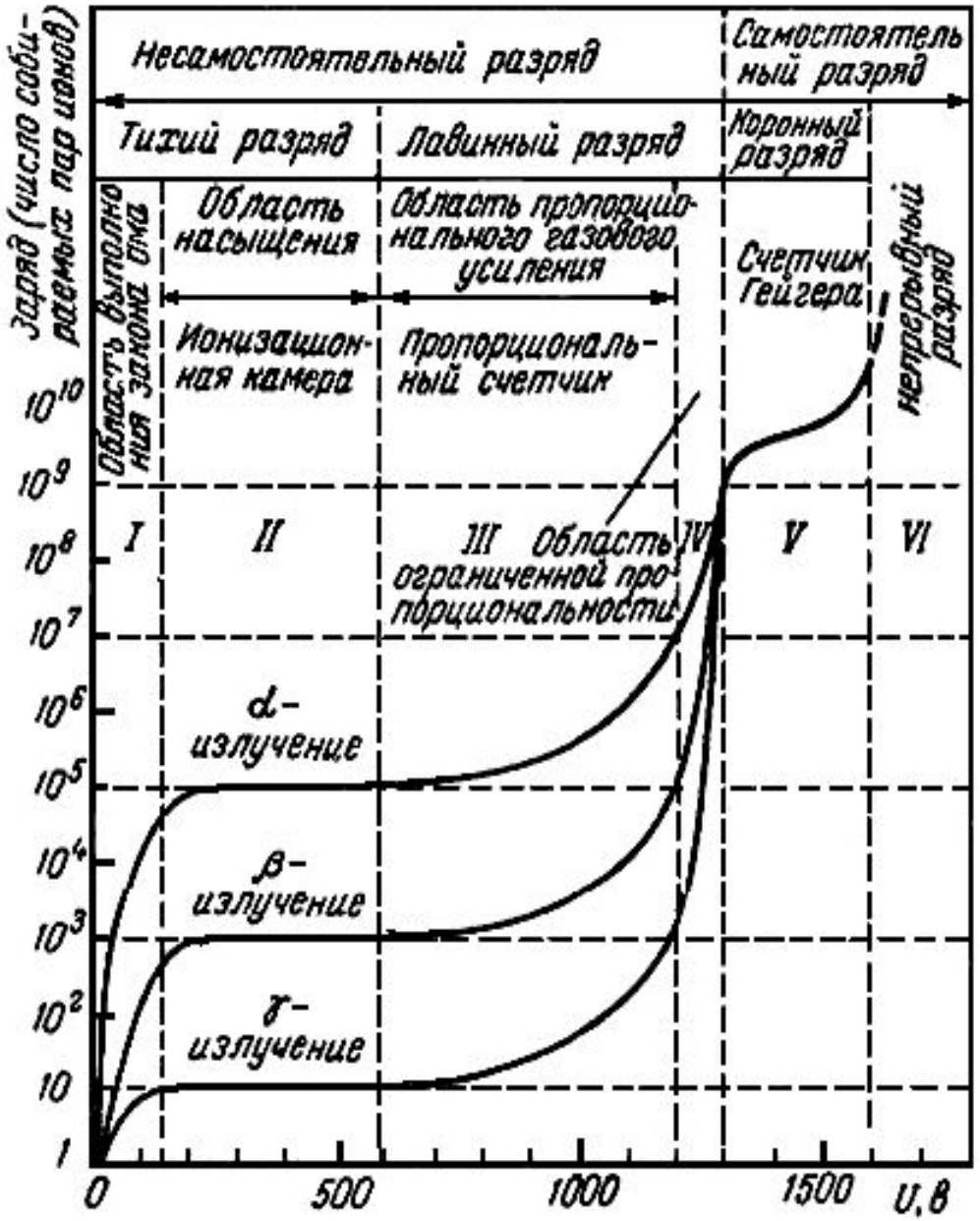
Наиболее обширную группу детекторов этого типа образуют газонаполненные детекторы. Простейшим из них является ионизационная камера. Газ- Ar или Ne.

***Если частица полностью останавливается в объёме камеры, то по величине собранного заряда (количеству электронов, пришедших на анод) легко определить энергию частицы.**

****Недостатком ионизационной камеры** являются очень низкие токи. Этот недостаток ионизационной камеры преодолевается в ионизационных детекторах с газовым усилением.**

2. Ионизационные детекторы

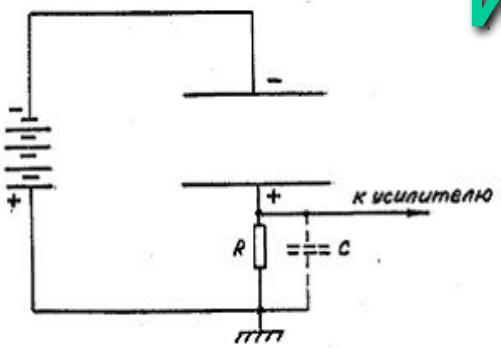
Параметр	Газонаполненные			ППД	
	ИК	ПГУ	Г–М	ПБД	*p—i—n*
Регистрируемое излучение	Заряженные частицы, γ -кванты, нейтроны			Заряженные частицы:	
				тяжелые	длиннопробежные
					нейтроны
					γ -кванты
Режимы работы	Импульсный, токовый		Импульсный	Импульсный, токовый	
Разрешение:					
энергетическое, кэВ	0,4 (E = 5МэВ); 3 (E = 5МэВ); 3 (E = 0,1МэВ)		нет	20- 100	2- 10
временное, с	10^{-8}–10^{-7}	10^{-7}–10^{-6}	10^{-5}- 10- ^{3}	10- ^{8}	10^{-9}
Тип детектора	Пропорциональный		Счетчик	Пропорциональный	
Коэффициент усиления сигнала	1	1–10^{3}	10^{4}- 10^{6}	1	
Средняя энергия, расходуемая на создание одной пары носителей, эВ	25- 35			2,5- 3	
Область применения	Спектрометрия, радиометрия, дозиметрия		Дозиметрия, радиометрия	Спектрометрия, радиометрия, дозиметрия	

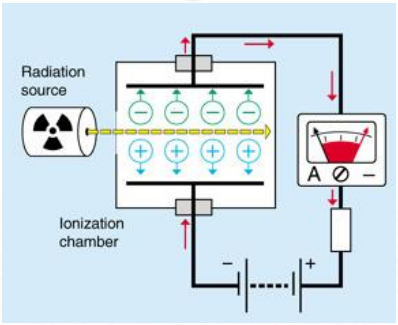


ГАЗОНАПОЛНЕННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ

Область (I) - область рекомбинации.
Область (II) - область насыщения.
Область (III) - область работы пропорциональных счетчиков (камер).
Область (IV) - область ограниченной пропорциональности.
Область Гейгера – Мюллера (V). Область непрерывного разряда (VI)

ИОНИЗАЦИОННАЯ КАМЕРА





Ионизационная камера - простейший газонаполненный детектор. Она представляет собой систему из двух или трёх электродов в объеме, заполненном газом (He+Ar, Ar+C_2H_2, Ne).

Время собирания зарядов, образованных частицей в газе камеры, зависит от скорости их движения к электродам (скорости дрейфа), причем скорость дрейфа электронов и ионов различна из-за разницы в их массах (так, скорость дрейфа электронов в ~ 10^3 раз больше, чем ионов, а время собирания электронов в ~ 10^3 раз меньше). Амплитуда импульса обусловлена двумя составляющими - электронной и ионной, причем вклад в полную амплитуду импульса зарядов того или иного знака определяется отношением пройденной ими разности потенциалов к полной разности потенциалов, приложенной к электродам камеры. Характер работы ионизационной камеры существенно зависит от величины напряжения U, приложенного к электродам. Ионизационные камеры бывают интегрирующие (токовые) и импульсные. В интегрирующих камерах при больших потоках частиц импульсы сливаются и регистрируется ток пропорциональный среднему энерговыделению. В импульсных камерах регистрируются отдельные импульсы от каждой ионизирующей частицы.

2. Ионизационные детекторы

ПРИМЕР 1

Оценить величину тока от α -частицы с энергией E = 5 МэВ, полностью остановившейся в объёме ионизационной камеры (пробег такой α -частицы в воздухе около 4 см). **Оценку сделаем для электронной компоненты тока.**

Вычислим число электронов, образовавшихся в объёме ионизационной камеры

$$n_e = E/\varepsilon \quad 5\ МэВ/35\ эВ = 1.5\cdot10^5.$$

Это соответствует собранному заряду $1.5\cdot10^5$ x $1.6\cdot10^{-19}$ Кулон = $2.4\cdot10^{-14}$ Кл.

Средняя величина электронного тока $\langle i_e \rangle$ получается делением n_e на время сбора электронов $t_e = 10^{-6}$ с:

$$\langle i_e \rangle = n_e / t_e = 2.4\cdot10^{-14}\ Кл/10^{-6}\ с = 2.4\cdot10^{-8} А.$$

n_e-число электронов, ε –энергия необходима на образование пары электрон - ион, t_e – время сбора электронов-нов 10^{-6} с,

Такая величина тока требует усиления. Это недостаток.

ПРИМЕР 2

Амплитуда сигнала U_c ионизационной камеры,

работающей в импульсном режиме при измерении излучений сравнительно малой интенсивности, можно оценить следующим уравнением:

$$U_c = Ne/C_M$$

Оценить амплитуду сигнала если частица всю свою энергию E теряет газонаполненном промежутке камеры.

Так как $U_c = Ne/C_M$, а $N = E/\varepsilon$

Получаем $U_C = eE/C_M\varepsilon$

где U_c – амплитуда сигнала, N- число пар ионов, e – заряд электрона в кулонах, C_M – суммарная емкость, ε – средняя энергия, необходимая для образование одной пары ионов в эВ в газе (30-40эВ), E – энергия частицы потраченная на ионизацию в камере.