



Дисциплина
**«Ветеринарная
радиобиология»**

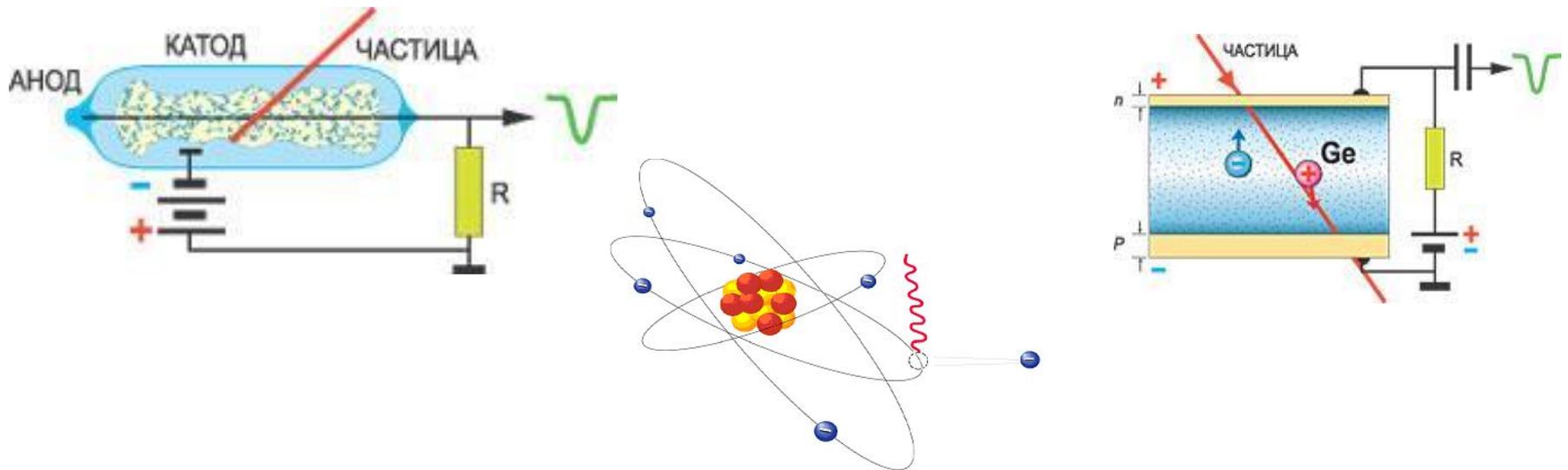
**Лектор: к.б.н., доцент Рязанцева Лариса
Тихоновна**

«Ветеринарная радиобиология»

Тема лекции:

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом. Методы обнаружения и регистрации ионизирующих излучений





Методы наблюдения и регистрации элементарных частиц

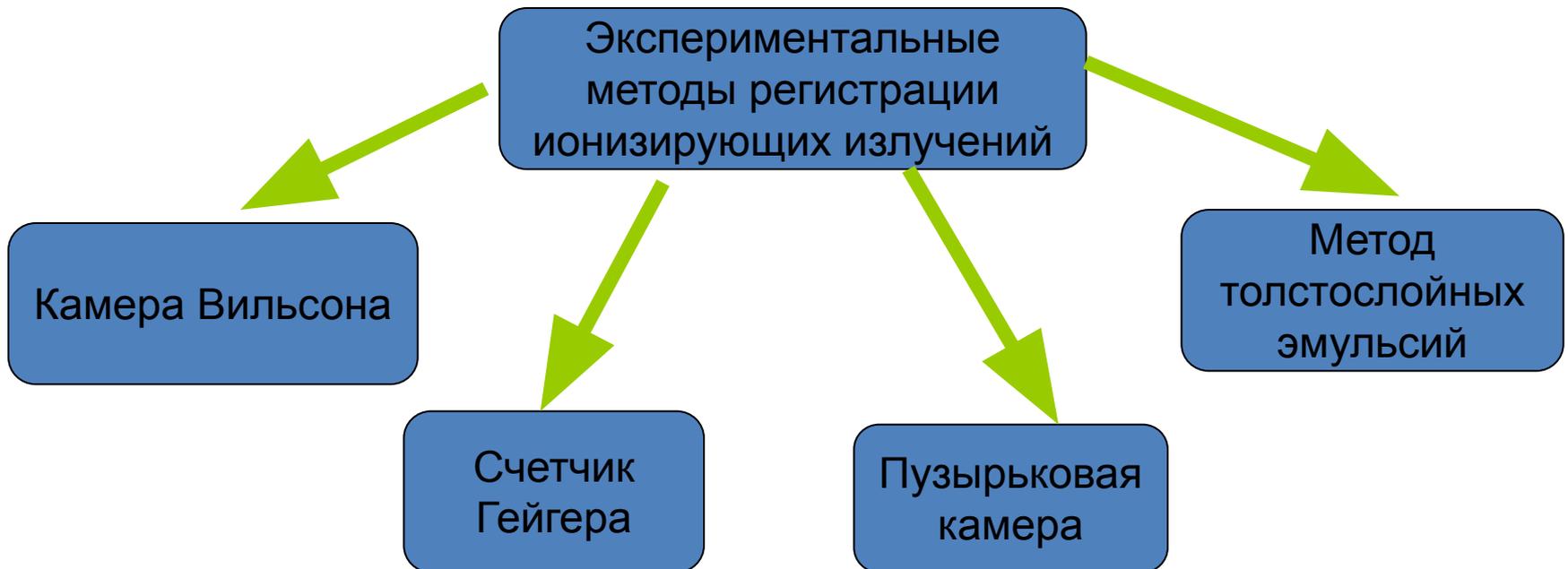
Методы наблюдения и регистрации элементарных частиц - методы, основанные на свойстве радиоактивных излучений и частиц производить ионизацию атомов.

С целью наблюдения и регистрации элементарных частиц применяются пузырьковая камера, камера Вильсона, искровая камера, газоразрядные и полупроводниковые счетчики.

В зависимости от используемого прибора различают метод толстослойных фотоэмульсий, сцинтилляционный и ионизационный методы наблюдения и регистрации элементарных частиц.

Экспериментальные методы ионизирующих излучений

- Для изучения ядерных явлений были разработаны многочисленные методы регистрации элементарных частиц и излучений.
- Рассмотрим некоторые из них, которые наиболее широко используются.



Камера
Вильсона



один из первых в истории приборов
для регистрации следов (треков)
заряженных частиц.

Год
изобретения



1910-1912

Автор
изобретения



Чарльз
Вильсон
(шотландский физик)

Принцип
действия

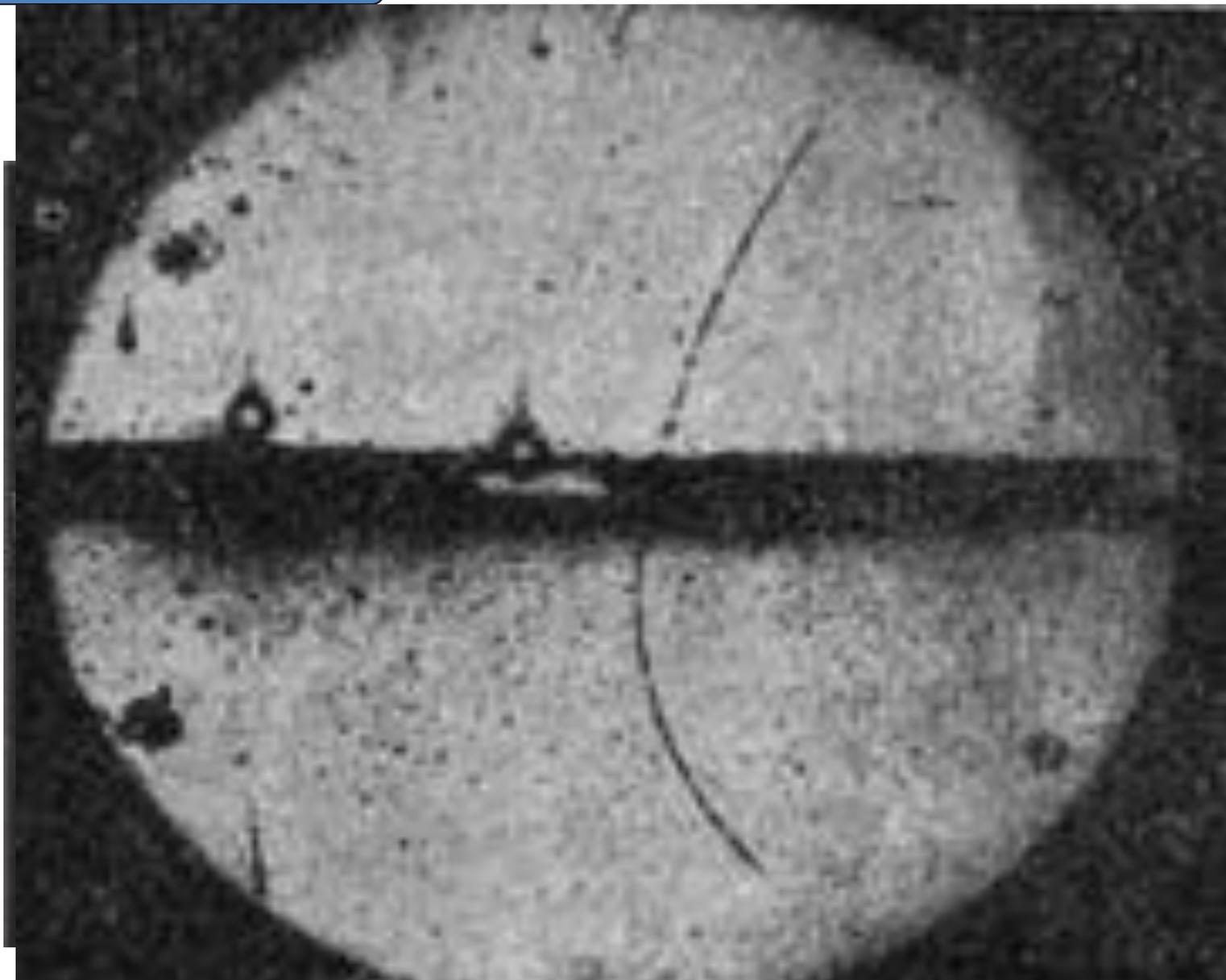


Конденсация пересыщенного пара при появлении
в паре центров конденсации – ионов, сопровождающих след
заряженной частицы

1927



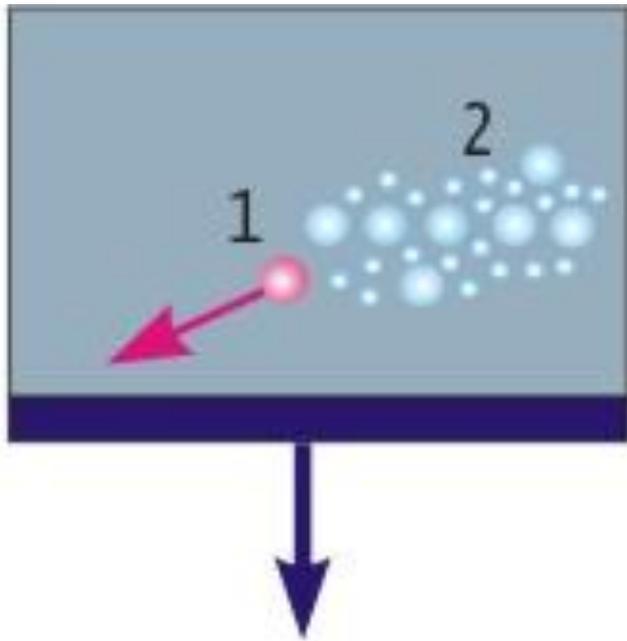
Нобелевская премия



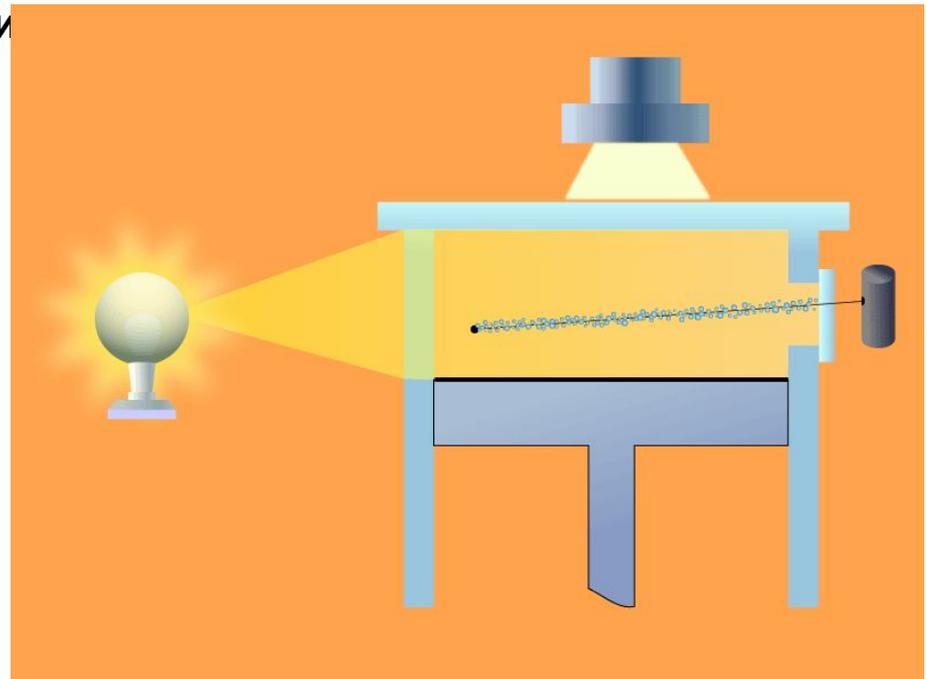
Трек позитрона в первой камере Вильсона

Камера Вильсона

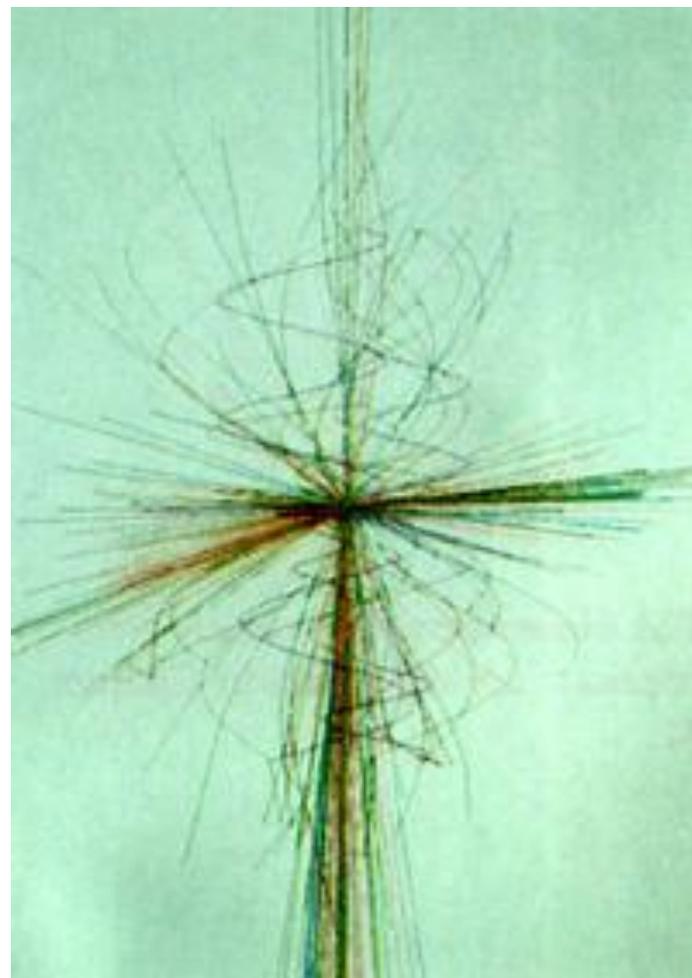
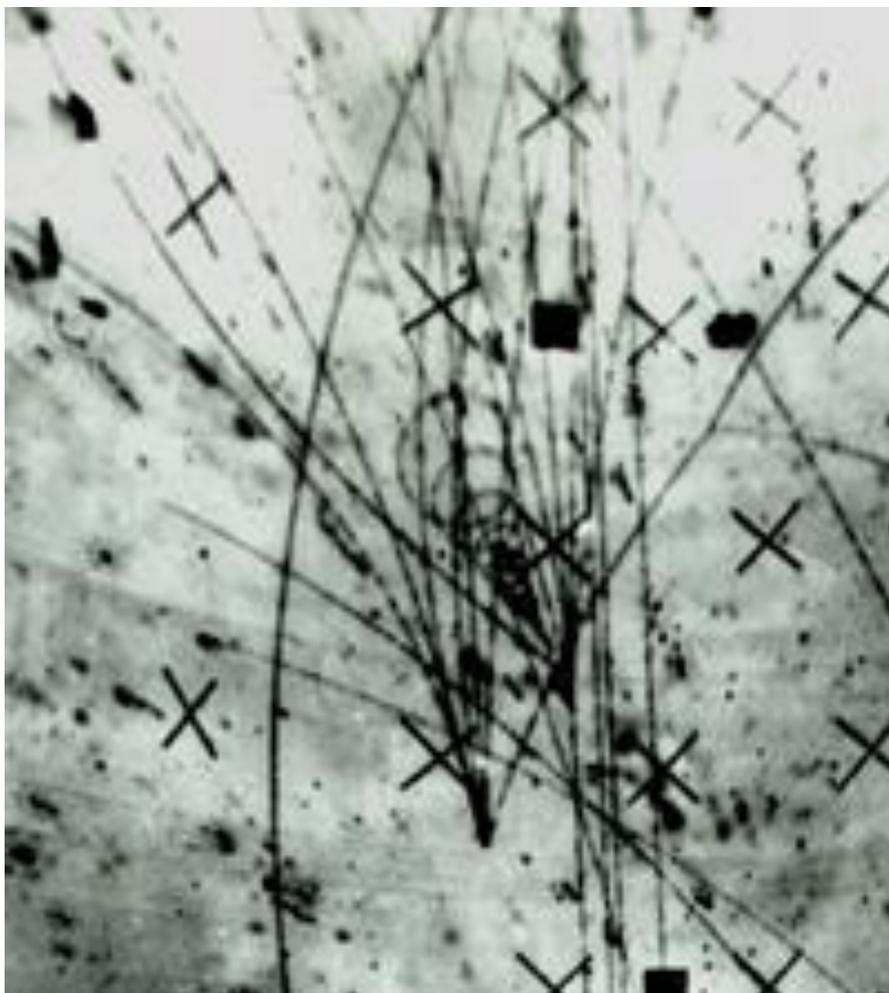
- Рабочий объем камеры заполнен газом, который содержит насыщенный пар. При быстром перемещении поршня вниз газ в объеме адиабатически расширяется и охлаждается, при этом становясь перенасыщенным. Когда в этом пространстве пролетает частица, создающая на своем пути ионы, то на этих ионах образуются капельки сконденсированного пара. В камере возникает след траектории частицы



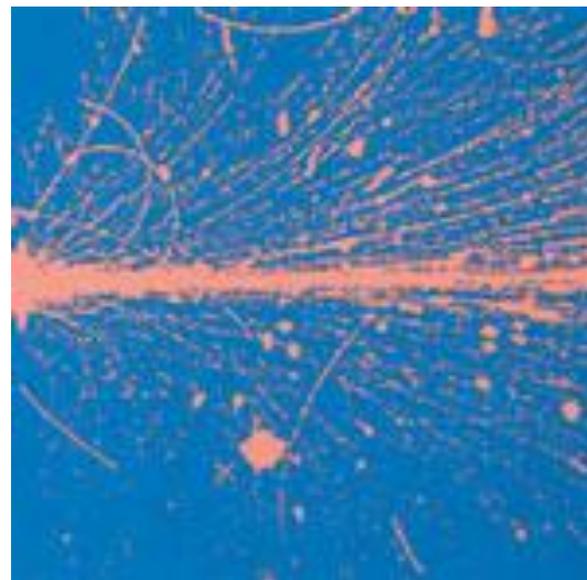
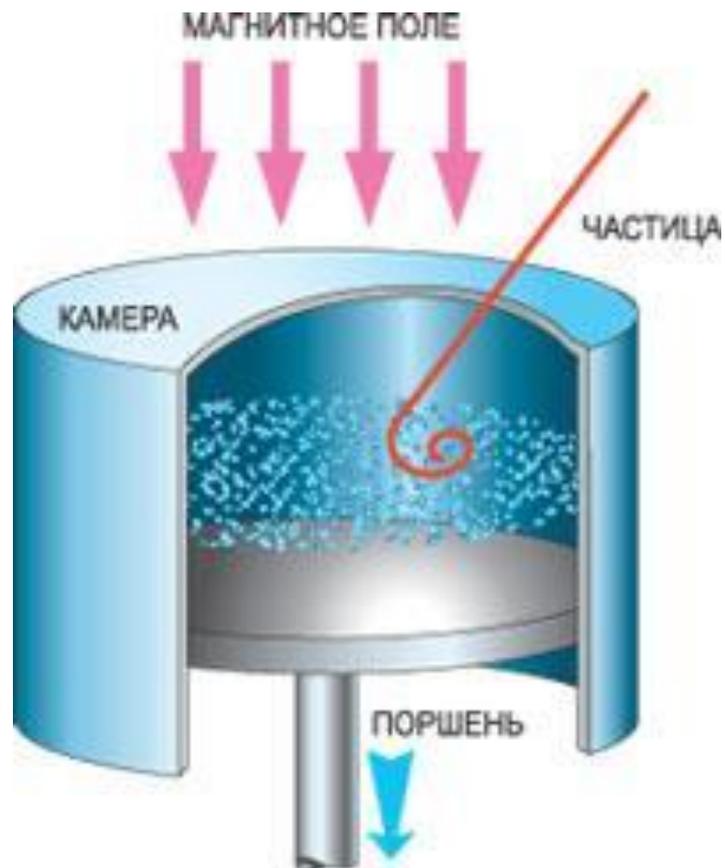
- 1-ионизирующая частица*
- 2-трек частицы*



Камера Вильсона - прибор для наблюдения движущихся с большой скоростью электрически заряженных микрочастиц, основанный на явлении конденсации паров вдоль их траекторий.



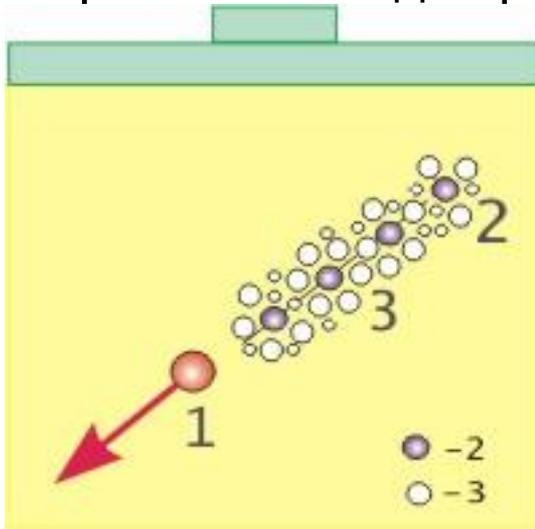
Треки частиц (рис.1), протонов (рис.2) в камере Вильсона



Камера Вильсона в магнитном поле

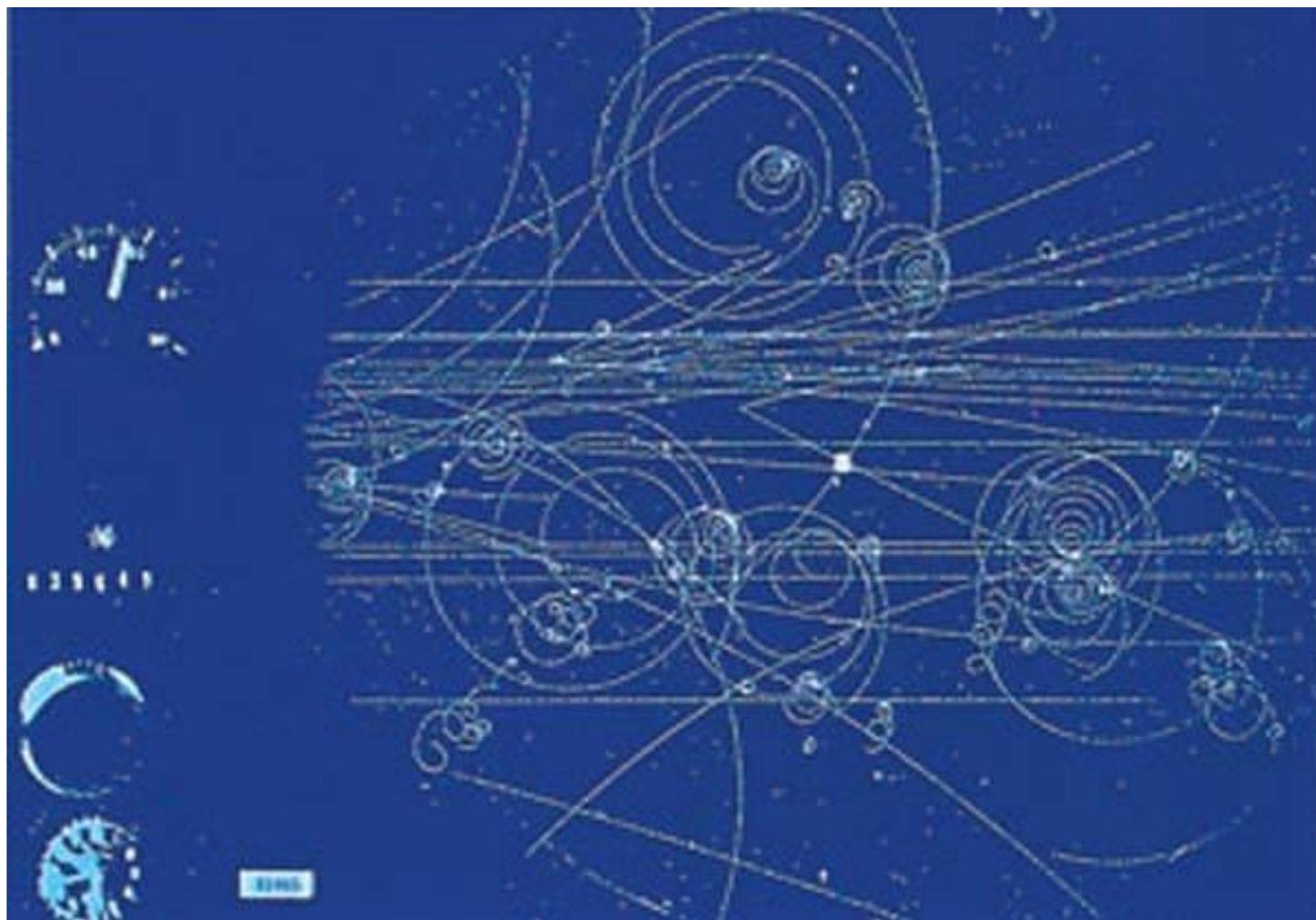
Пузырьковая камера

- Пузырьковая камера обычно заполняется пропаном, но могут применяться и другие заполнители: водород, азот, эфир, ксенон, фреон и т.д. Рабочая жидкость находится в перегретом состоянии, и заряженная частица, двигаясь в ней, создает центры парообразования. Пузырьки пара образуют видимый след движения частицы в жидкости. Пузырьковые камеры широко применяются для работы на ускорителях.



- 1-ионизирующая частица
- 2- ион-центр парообразования
- 3- пузырьки пара вскипающей жидкости





Треки в пузырьковой камере

Физические основы регистрации излучений

В зависимости от характера взаимодействия ионизирующего излучения с веществом различают следующие методы его регистрации:

- ионизационные;
- сцинтилляционные;
- полупроводниковые;
- фотоэмульсионные;
- химические;
- калориметрические и др.

Физические основы регистрации излучений

Одна из основных характеристик детектора – эффективность регистрации излучения, равная отношению энергии, поглощенной в чувствительном объеме, к энергии излучения, проходящей через этот объем.

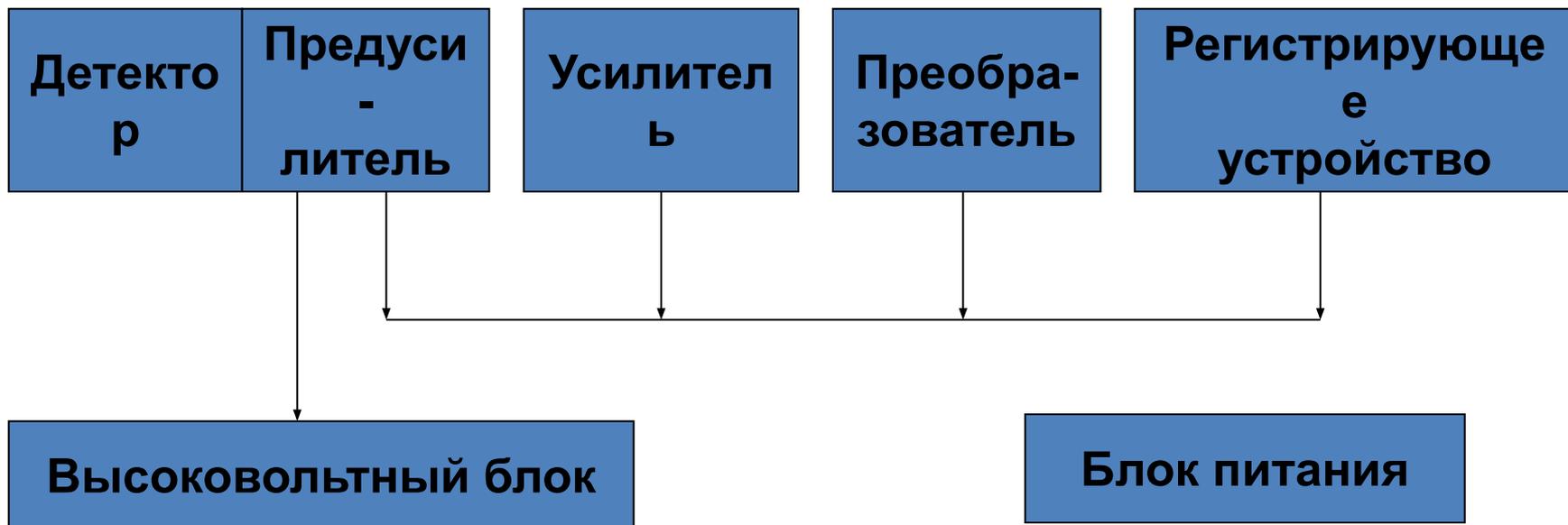
Измерительная аппаратура характеризуется чувствительностью, которая определяется минимальным уровнем регистрируемого сигнала детектора.

Физические основы регистрации излучений

Разнообразные регистрирующие устройства обязательно содержат следующие составные части:

- детектор для преобразования энергии ионизирующего излучения в другие формы энергии, более удобные для регистрации (электрическую, световую, тепловую и т. д.);**
- усилитель электрических сигналов;**
- устройство для преобразования электрических сигналов по амплитуде, форме, количеству и длительности;**
- показывающее или регистрирующее устройство для преобразования электрического сигнала в воспринимаемую человеком форму;**
- блок питания.**

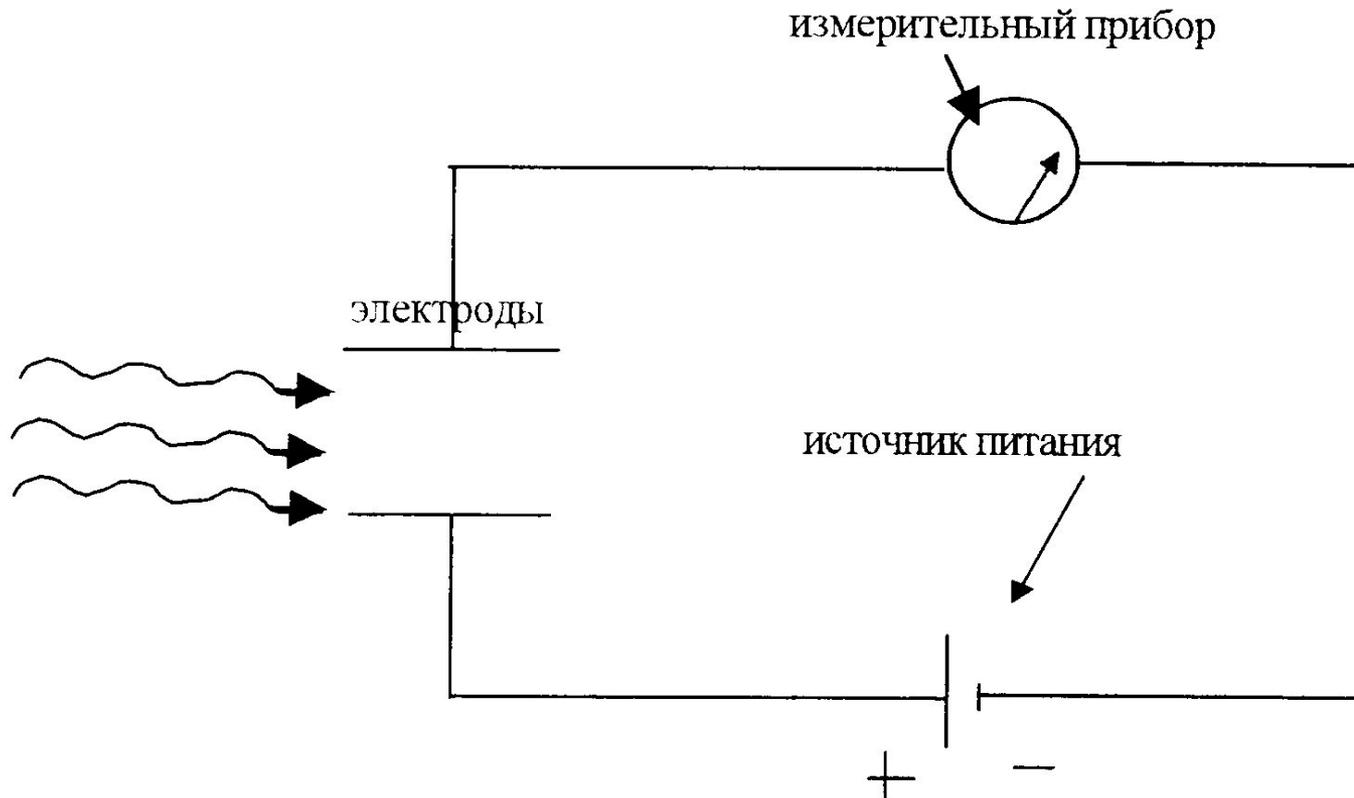
Физические основы регистрации излучений



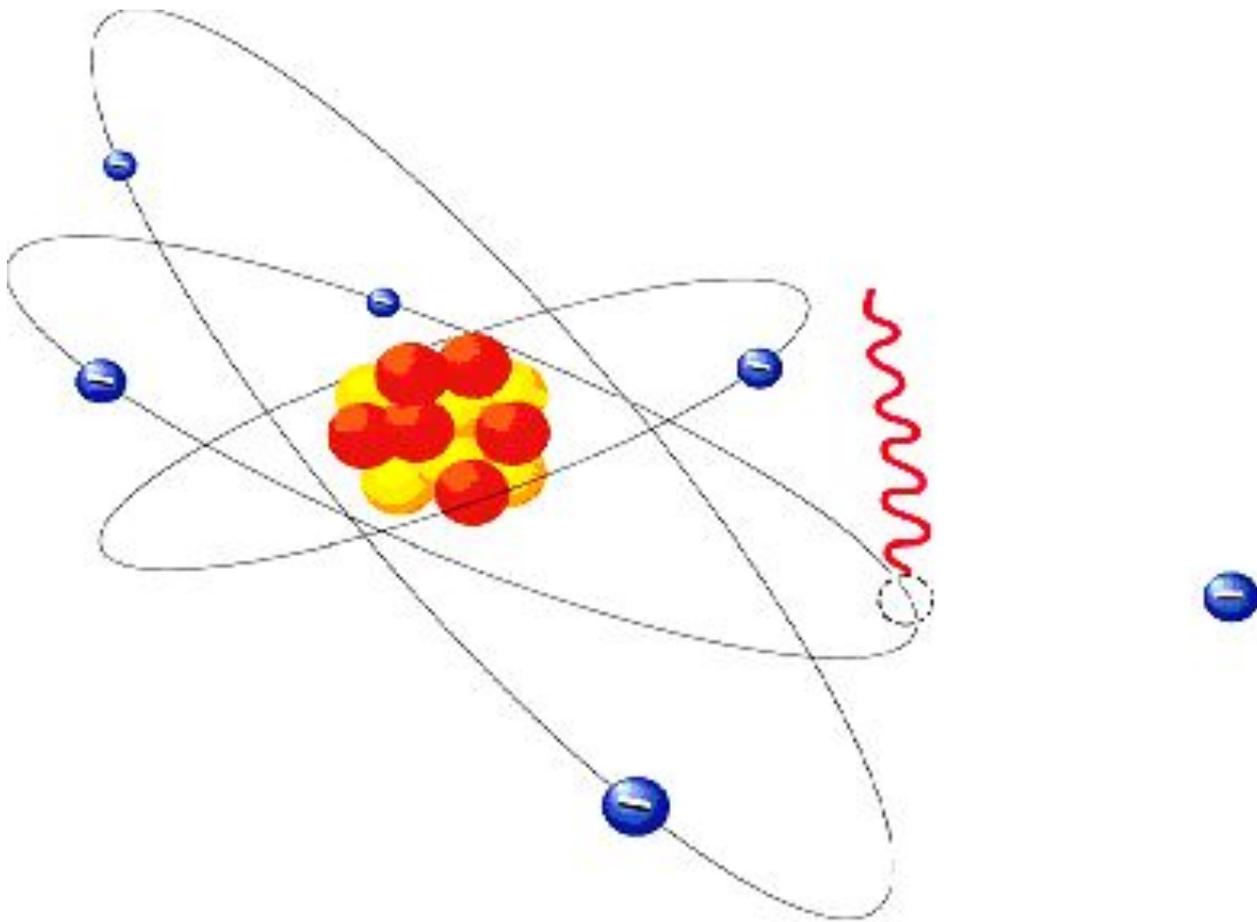
Структурная схема установки регистрации ионизирующего излучения

• **Ионизационный метод** основан на регистрации эффекта ионизации, т. е. на измерении величины заряда ионов, возникающих под действием излучения. Измерить ионизационный эффект можно при помощи электрического поля, которое препятствует рекомбинации атомов и придает ионам направленное движение к соответствующим электродам.

Ионизационный метод

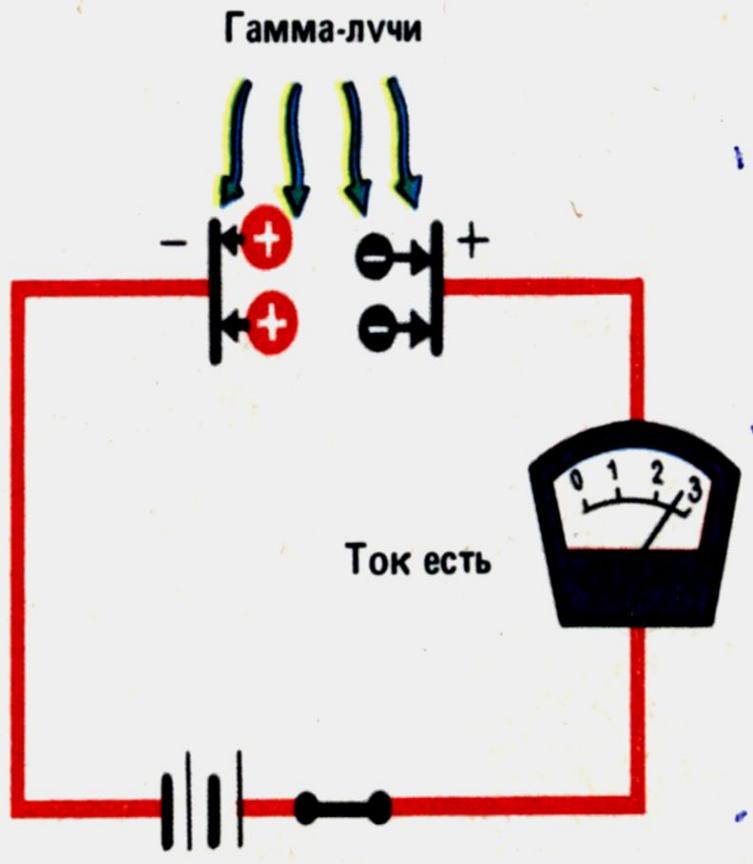
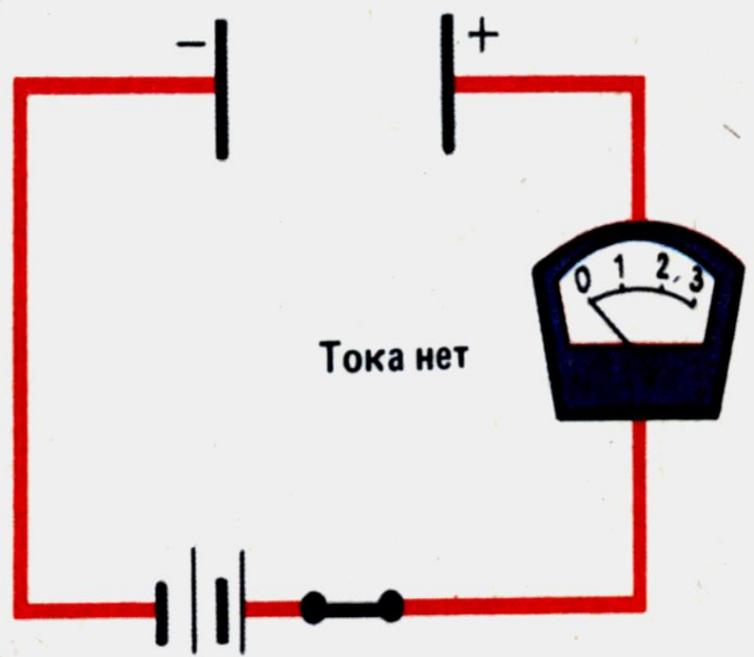


Простейшая схема ионизационного детектора



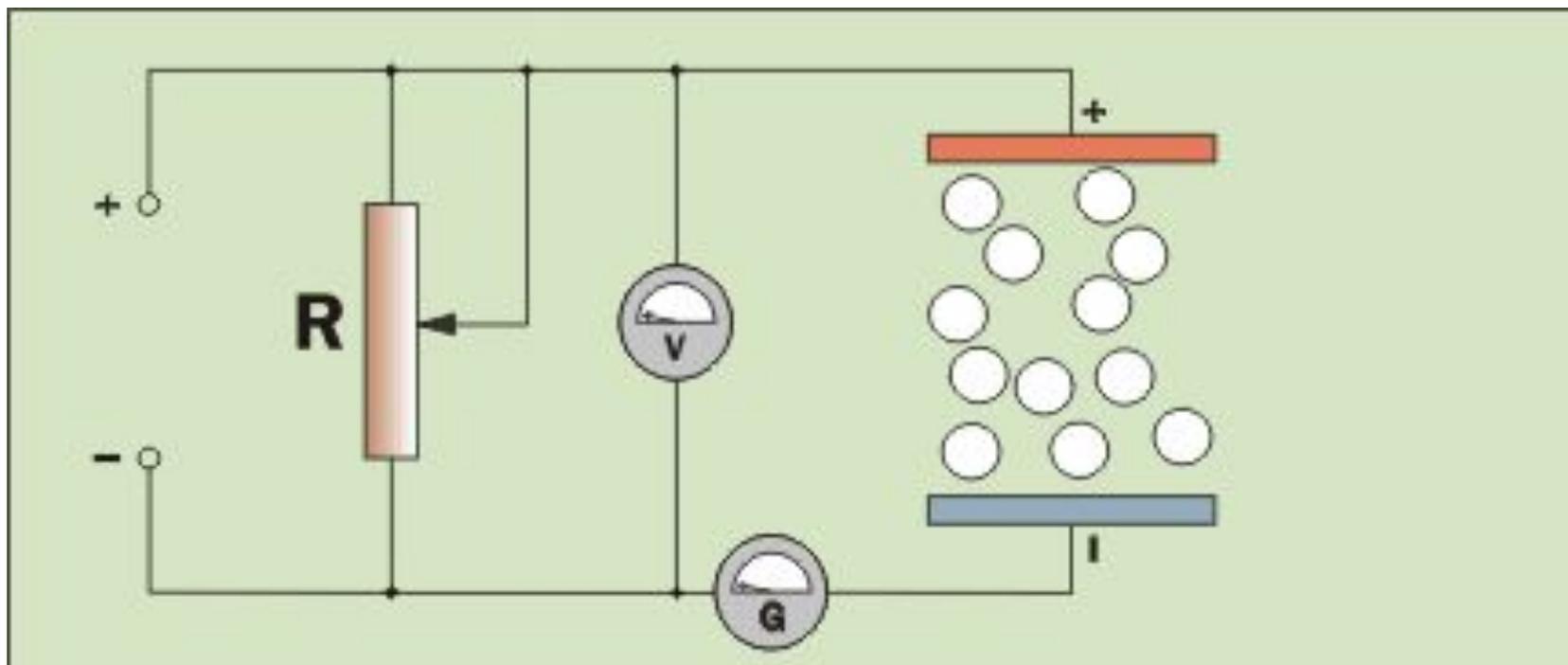
Ионизация газов излучением

ИОНИЗАЦИОННЫЙ МЕТОД



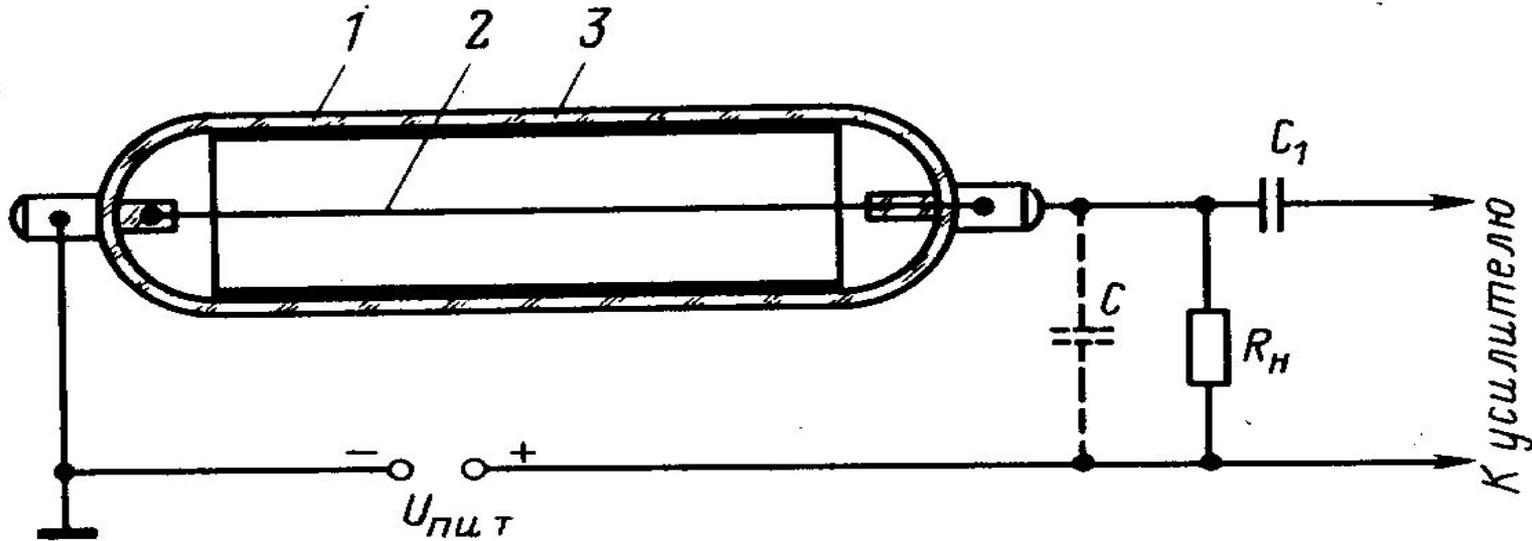
Под воздействием излучений в газовом объеме происходит ионизация молекул газа. При наличии электрического поля в ионизированном газовом объеме возникает ионизационный ток, по величине которого судят о мощности дозы. Ионизационный метод используется почти во всех современных полевых дозиметрических приборах.

В обычном состоянии многие газы не обладают проводимостью, и поэтому в цепи, в которую включены ионизационная камера или счетчик, ток не отмечается. При облучении указанных детекторов в их ионизационном пространстве возникают отрицательные и положительный ионы, приобретающие в электрическом поле направленное движение. Отрицательные ионы движутся к положительно заряженному электроду, а положительные — к отрицательному. В цепи возникает определенной величины ионизационный ток, который измеряется соответствующими приборами.



Радиоактивные излучения и частицы ионизируют газ и он становится проводящим

Ионизационный метод



Устройство и схема включения газоразрядного счетчика:

1 – стеклянный баллон (корпус); 2 – металлическая нить (анод); 3 – металлический цилиндр или металлизированное покрытие (катод).

Первый основной прибор для регистрации частиц был изобретён в 1908 году Г.Гейгером и им же усовершенствован совместно с И.Мюллером.

Счетчик Гейгера-Мюллера представляет собой газоразрядный промежуток с сильно неоднородным электрическим полем. Для регистрации ионизирующих частиц к электродам счетчика прикладывается высокое напряжение. Заряженная частица, попав в рабочий объем, ионизирует газ, и в счетчике возникает коронный разряд.

Прибор основан на ударной ионизации. Широко используют в ядерной технике, а так же при поиске слабо радиоактивных урановых и ториевых руд.

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД

Взаимодействуя с веществом, ядерное излучение наряду с ионизацией может производить возбуждение атомов и молекул. Через определенное время (в зависимости от вещества) возбужденные атомы и молекулы переходят в невозбужденное состояние с выделением энергии во внешнюю среду.

У некоторых веществ (сернистый цинк, йодистый натрий, йодистый калий, антрацен, стильбен, терфенил, нафталин и др.) такой переход сопровождается испусканием энергии возбуждения в виде квантов видимого, инфракрасного и ультрафиолетового света. Внешне это проявляется в виде вспышек света, которые можно зарегистрировать с помощью соответствующих приборов. На регистрации световых вспышек-сцинтилляций, возникающих в некоторых веществах при облучении их ядерными излучениями, и основан сцинтилляционный метод.

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД

Некоторые вещества (сернистый цинк, йодистый натрий) под воздействием ионизирующих излучений светятся. Число вспышек, пропорциональное мощности дозы излучения, регистрируется с помощью специальных приборов — фотоэлектронных умножителей.

Капсула
с сернистым
цинком



Источник
гамма-излучения

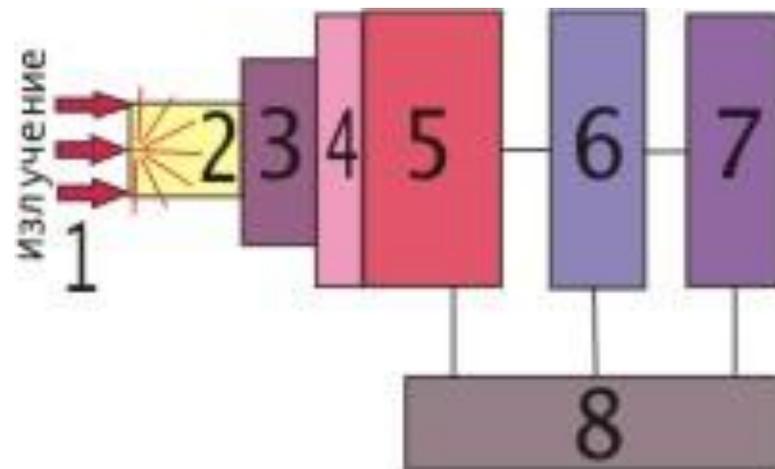


Фото-
электронный
умножитель

Сцинтилляционный метод

- Сцинтилляционный счетчик состоит из сцинтиллятора, фотоэлектронного умножителя и электронных устройств для усиления и подсчета импульсов.
- Сцинтиллятор преобразует энергию ионизирующего излучения в кванты видимого света, величина которых зависит от типа частиц и материала сцинтиллятора.
- Кванты видимого света, попав на фотокатод, выбивают из него электроны, число которых многократно увеличивается фотоумножителем. В результате этого на выходе фотоумножителя образуется значительный импульс, который затем усиливается и сосчитывается пересчетной установкой.
- Таким образом, за счет энергии α -или β -частицы, γ -кванта или другой ядерной частицы в сцинтилляторе появляется световая вспышка-сцинтилляция, которая затем с помощью фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) преобразуется в импульс тока и регистрируется.

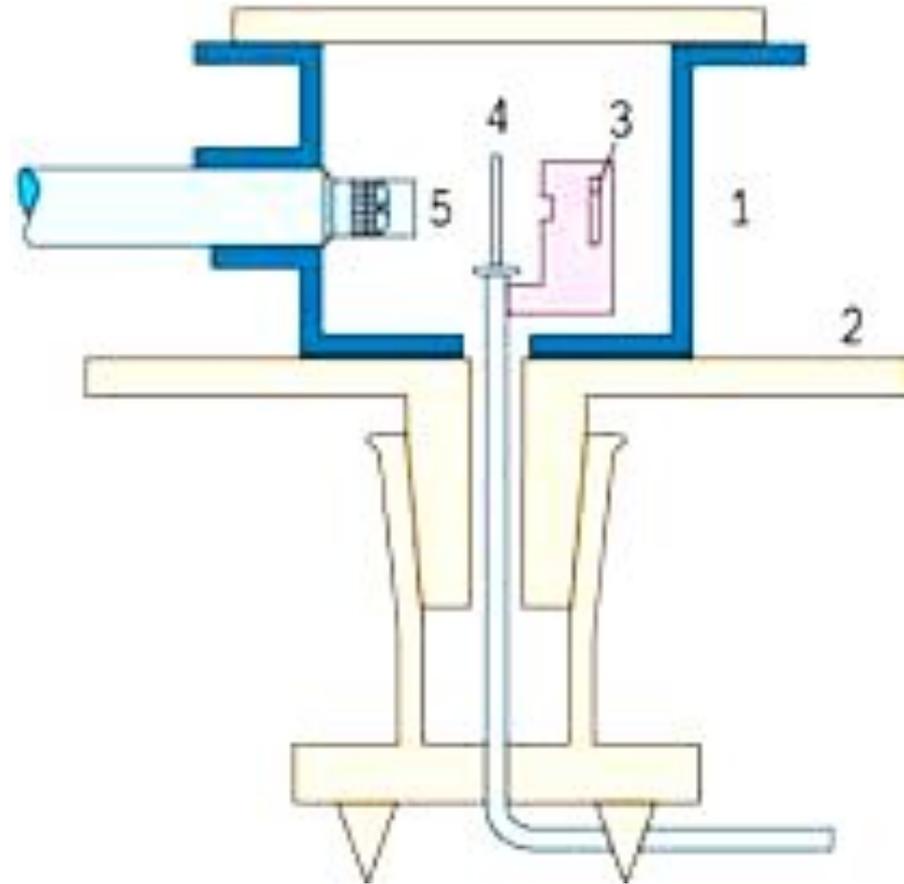
Блок-схема сцинтилляционного счетчика



- 1-поток регистрируемых частиц
- 2-сцинтиллятор
- 3-световод
- 4-фотокатод
- 5-фотоэлектронный умножитель
- 6-усилитель импульсов
- 7-пересчетный прибор(регистратор импульсов)
- 8-источник питания (высоковольтный выпрямитель)

Спинтарископ

Спинтарископ - простейший сцинтилляционный счетчик, позволяющий непосредственно наблюдать проявления отдельных альфа-частиц. Основными деталями спинтарископа является экран, покрытый слоем сульфида цинка, и лупа. Альфа-радиоактивный препарат помещен на кончике иглы вблизи экрана. При попадании альфа-частицы в кристалл сульфида цинка возникает вспышка света, которую можно зарегистрировать при наблюдении через лупу.



Метод сцинтилляций

1 – камера; 2 – основание; 3 – радиоактивный источник;
4 – люминесцирующий экран; 5 – микроскоп.

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД

Характеристики некоторых неорганических сцинтилляторов

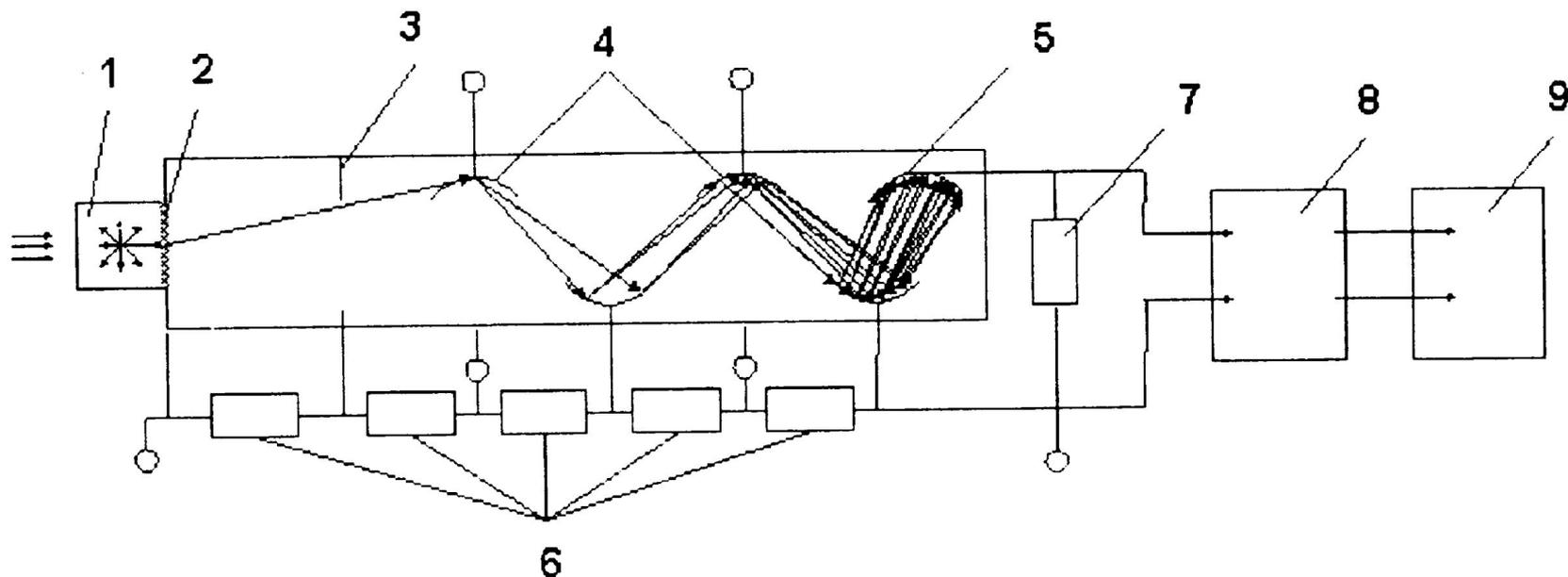
| Материал | Длина волны при максимуме испускания, нм | Постоянная спада, мкс | Плотность, г/см ³ | Гигроскопичность | Сцинтилляционная эффективность, % |
|----------------------------|--|-----------------------|------------------------------|------------------|-----------------------------------|
| NaI(Tl) | 410 | 0,23 | 3,67 | да | 100 |
| CsI(Na) | 420 | 0,63 | 4,51 | да | 85 |
| CsI(Tl) | 565 | 1,00 | 4,51 | нет | 45 |
| ⁶LiI(Eu) | 470–485 | 1,40 | 4,08 | да | 35 |
| CaF₂(Eu) | 435 | 0,94 | 3,19 | нет | 50 |

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД

Продолжение таблицы

| Материал | Длина волны при максимуме испускания, нм | Постоянная спада, мкс | Плотность, г/см ³ | Гигроскопичность | Сцинтилляционная эффективность, % |
|---|--|-----------------------|------------------------------|------------------|-----------------------------------|
| BaF ₂ | 325 | 0,63 | 4,88 | нет | 20 |
| CsF | 390 | 0,005 | 4,64 | да | 3–5 |
| Bi ₄ Ge ₃ O ₁₂ | 480 | 0,30 | 7,13 | нет | 12 |
| ZnWO ₄ | 480 | 5,0 | 7,87 | нет | 26 |
| CdWO ₄ | 540 | 5,0 | 7,90 | нет | 40 |

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД



Принципиальная схема сцинтилляционного детектора:
1 – сцинтиллятор; 2 – фотокатод ФЭУ; 3 – фокусирующая диафрагма; 4 – диноды; 5 – анод ФЭУ; 6 – делитель напряжения; 7 – выходное сопротивление; 8 – усилитель; 9 – пересчетный прибор.

Сцинтилляционный метод

Сцинтилляторы ZnS, активированные серебром или медью, применяют в виде монокристаллического порошка с толщиной слоя 25–50 мг/см² для регистрации α -частиц.

Для исследования γ -излучения лучшим сцинтиллятором является NaI(Tl).

Для регистрации β -излучения чаще всего используют кристаллы NaI (Tl).

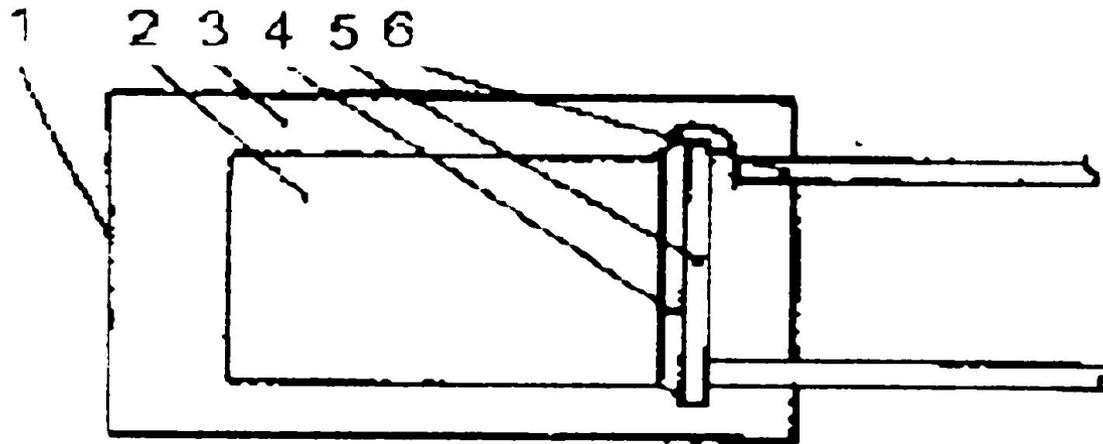
Монокристаллы LiI, LiI(Tl) применяют для регистрации нейтронного излучения. Содержание водорода в органических сцинтилляторах позволяет использовать их для регистрации быстрых нейтронов. Особенно широко для этой цели применяется стильбен.

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД

Наряду с традиционными детекторными сборками типа сцинтиллятор-ФЭУ для регистрации ионизирующих излучений применяются сцинтиэлектронные детекторы излучений (СЭЛДИ) нового поколения типа сцинтиллятор-фотодиод (С-ФД). Детектор С-ФД по сравнению с конструкцией С-ФЭУ имеет существенно более широкую область применения, что обусловлено следующими эксплуатационными преимуществами:

- широкий динамический диапазон (10^8 – 10^{12}), то есть возможность регистрации мощности дозы излучений от уровней ниже фонового (1 мкбэр/ч) до 10^4 – 10^6 бэр/ч;
- миниатюрность – (объем 0,5–2 см³), простота конструкции, надежность эксплуатации;
- отсутствие необходимости в высоковольтном питании.

Сцинтилляционный метод



Конструкция С-ФД:

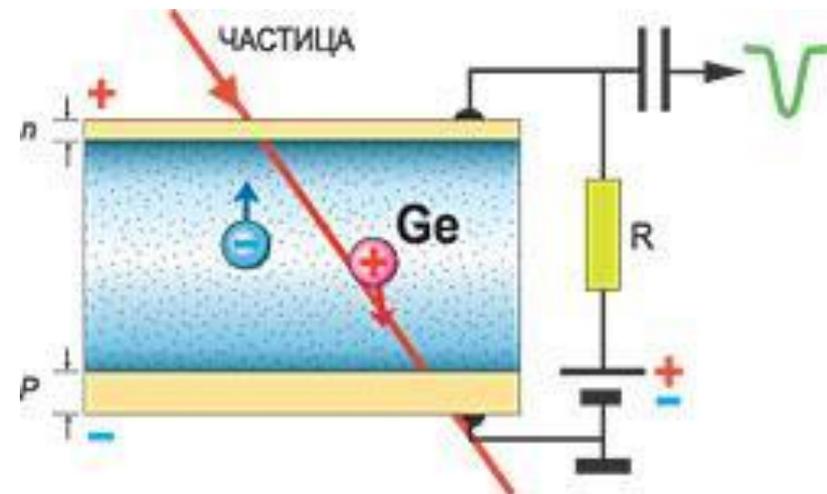
1 – светозащитный слой; 2 – сцинтиллятор (ZnSe, CdS, BGO, CWO; 3 – отражающее защитное покрытие; 4 – оптический контакт; 5 – кремниевый фотодиод; 6 – вывод.

Полупроводниковый метод

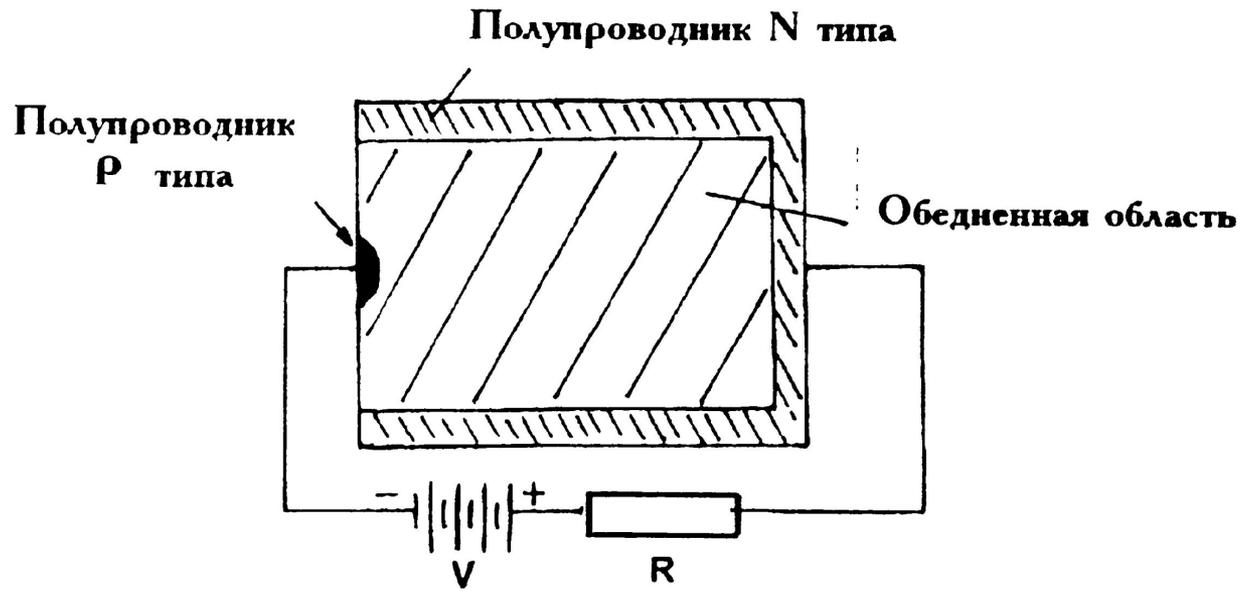
Полупроводник в качестве детектора ионизирующих излучений выступает как аналог ионизационной камеры, чувствительным объемом которой является твердое тело.

Под действием ионизирующего излучения в полупроводнике образуются свободные носители заряда.

Если к полупроводнику, находящемуся в поле ионизирующего излучения приложить разность потенциалов, то по изменению проводимости полупроводника можно сделать вывод о наличии и интенсивности ионизирующего излучения.



Полупроводниковый метод



Строение германиевого детектора

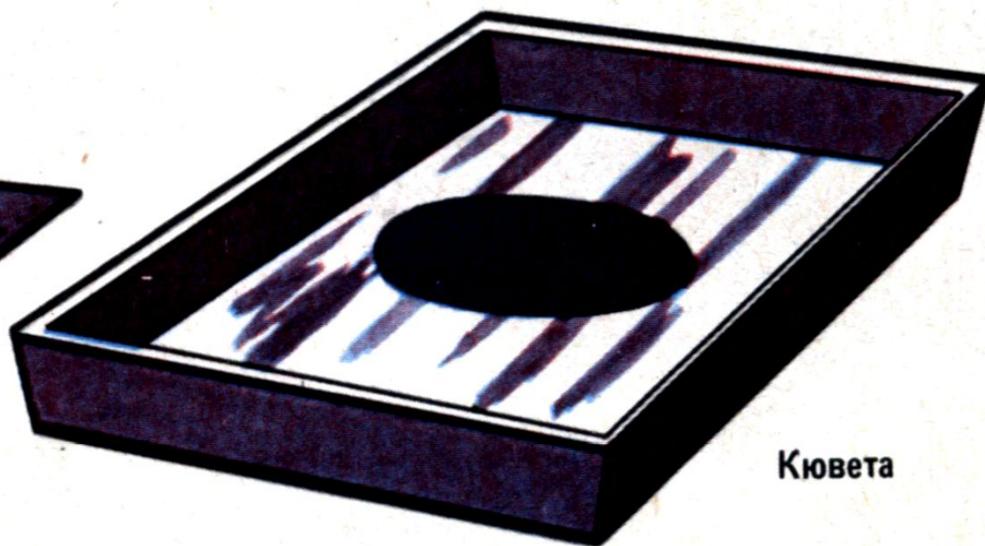
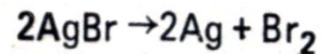
Основной недостаток германиевых детекторов – они должны использоваться при температуре жидкого азота. В детекторную сборку входит вакуумный сосуд Дьюара для хранения жидкого азота. Ge(Li) детекторы должны быть всегда охлажденными, даже при хранении, так как ионы лития уйдут и детекторы станут негодными.

ФОТОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД

Источник
гамма-излучения



Под воздействием ионизирующих излучений бромистое серебро фотозмульсии распадается на серебро и бром. О дозе излучения судят по степени потемнения пленки.



Кювета

Фотографический метод

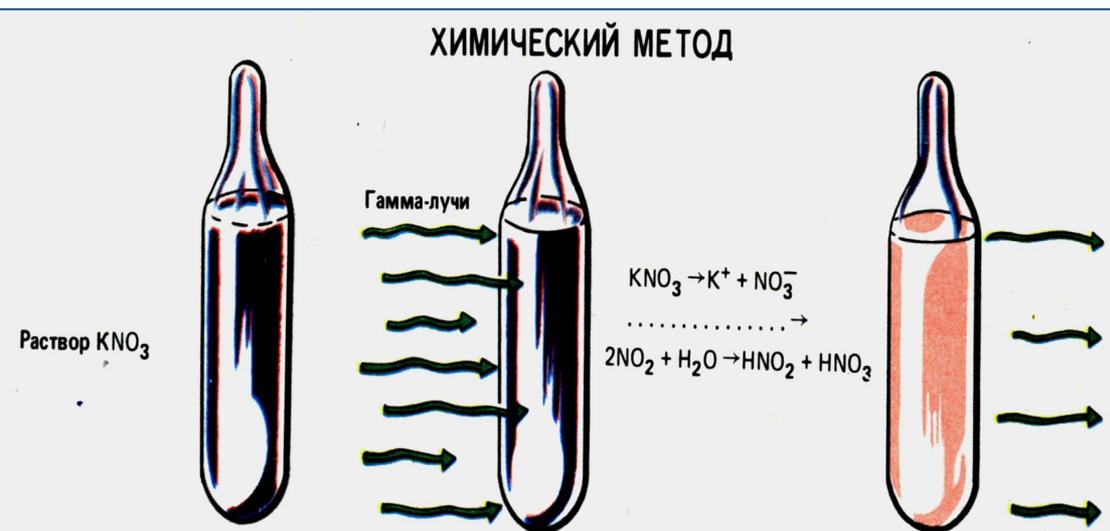
Фотографический метод был первым методом регистрации ядерного излучения. Он основан на способности излучения разлагать галогениды серебра (AgCl , AgBr), входящие в состав чувствительных фотоэмульсий, до металлического серебра. В результате такого взаимодействия вдоль трека альфа- и бета-частиц выделяются зерна серебра и при проявлении виден след пробега ядерных частиц.

Фотографический метод называется еще радиографическим и автордиографическим и по существу разделяется на макрографию и микрографию. Методом радиографии можно производить качественное изучение характера распределения радиоактивных элементов в различных объектах, а также количественные определения интенсивности излучения.

Последнее основано на принципе потемнения пленки в месте облучения. Между степенью потемнения (почернения) и дозой в определенных пределах существует линейная зависимость. Измеряют плотность потемнения путем фотометрирования проявленных пленок. Фотометрированию подвергают и эталонные пленки, облученные известной дозой соответствующего излучения.

Химический метод

Химический метод основан на том, что часть поглощенной энергии излучения переходит в химическую, что вызывает цепь химических превращений. Определение наличия излучения производится по выходу химических реакций. Так, например, при облучении раствора соли Мора ионы двухвалентного железа (Fe^{+2}) превращаются в ионы железа трехвалентного (Fe^{+3}); одновременно изменяются электрический потенциал и окраска раствора, которые можно определить соответствующими способами.



Некоторые сложные химические вещества под воздействием ионизирующих излучений распадаются. Количество образовавшейся, например, азотистой кислоты пропорционально дозе излучения и определяется по степени окраски добавляемого в раствор индикатора.

Калориметрический метод

Сущность **калориметрического метода** сводится к тому, что большая часть поглощенной энергии преобразуется в тепловую, количество последней определяется с помощью калориметров.

Доза в 5 Грей повысит температуру поглотителя всего на одну тысячную градуса.

- Необходимость измерять чрезвычайно малые изменения температуры ограничивают применение теплового метода.

Он используется в основном в лабораторных условиях для исследовательских целей.

Химические и калориметрические методы применяются главным образом при измерении больших доз и мощных потоков ионизирующих излучений.

Тепловой метод

Тепловой метод является единственным прямым абсолютным методом дозиметрии, так как он основан на непосредственном измерении поглощенной энергии в отличие от других методов, в которых измеряется косвенный эффект.

Суть теплового метода состоит в том, что при взаимодействии ионизирующих излучений с веществом вся поглощенная в веществе энергия в конечном счете преобразуется в тепло и вызовет нагрев вещества, который пропорционален дозе излучения.

Доза в 5 Грей повышает температуру поглотителя всего на одну тысячную градуса.

Доза в 5 Грей повысит температуру поглотителя всего на одну тысячную градуса.

Необходимость измерять чрезвычайно малые изменения температуры ограничивают применение теплового метода. Он используется в основном в лабораторных условиях для исследовательских целей.