

Радиометрия

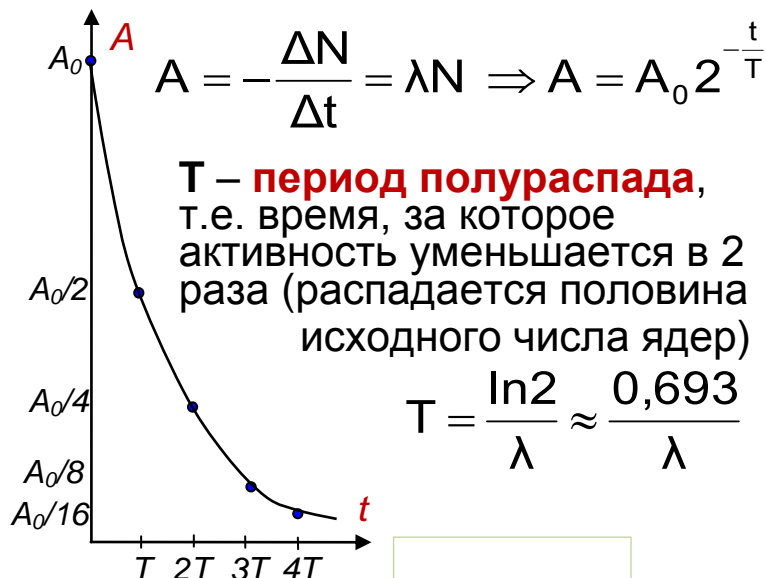
– совокупность методов измерения *активности*.

Активность A измеряется **Закон радиоактивного распада**

числом распадов в единицу времени, происходящих в образце с множеством радионуклидов

Активность A пропорциональна числу радионуклидов N в образце

$$A = -\Delta N / \Delta t, \text{ где } \Delta N = N - N_0 \text{ (} N \text{ – число радионуклидов)}$$



и **характеризует**:

- быстроту распада радионуклидов в образце,
- интенсивность излучения,
- **содержание радионуклидов в образце.**

Единица измерения активности (СИ) – 1 беккерель (Бк);

$$1 \text{ Бк} = 1 \text{ распад/с}$$

устаревшая единица – 1 кюри (Ки), $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$

Удельная активность $A_M = A/m$, **Бк/кг**

Объемная активность $A_V = A/V$, **Бк/м³**
производная единица – 1 **Бк/л** = 10^3 Бк/м^3

Поверхностная активность $A_S = A/S$, **Бк/м²**
устаревшая единица – 1 **Ки/км²** = 37 кБк/м^2

Плотность потока бета-частиц с загрязненной поверхности

$$p = \frac{\Delta N}{\Delta S \cdot \Delta t}, \text{ } 1/\text{с} \cdot \text{см}^2$$

N – число частиц, ΔS – площадь, Δt – время

Дозиметрия

– совокупность методов определения воздействия ионизирующих излучений на организм.

Поглощенная доза D (базовая величина)

– энергия, поглощенная в единице массы объекта

$$D = \Delta E / \Delta m$$

Единица измерения (СИ) – **1 грей (Гр) = 1 Дж/кг**

Эквивалентная доза $H = D \cdot w_r$,

– вводится для конкретного органа или ткани и учитывает тип излучения;

w_r – **взвешивающий множитель излучения**

Единица измерения – **1 зиверт (Зв)**

Тип излучения	w_r
Гамма-излучение	1
Бета-излучение	1
Альфа-излучение	20

Эффективная доза

$$E = w_1 \cdot H_1 + w_2 \cdot H_2 + \dots + w_t \cdot H_t$$

– вводится для всего организма и учитывает неодинаковую чувствительность разных органов или тканей к облучению;

w_t – **тканевые множители**

Единица измерения

– **1 зиверт (Зв)**

Ткань	w_t	Σw_t
красный костный мозг, толстый кишечник, легкие, желудок, молочная железа, остальные ткани	0,12	0,72
гонады	0,08	0,08
мочевой пузырь, пищевод, печень, щитовидная железа	0,04	0,16
костная поверхность, кожа, головной мозг, слюнные железы	0,01	0,04

Амбиентный эквивалент дозы $H^*(10)$

– измеряется дозиметром и дает оценку эффективной дозы внешнего гамма (или рентгеновского) излучения, которую получил бы человек, если бы он находился в том месте, где производится измерение

Мощность дозы $MД = \text{Доза} / \text{время}$

Единицы измерения – **1 Гр/с, 1 Зв/с, 1 мкГр/час, 1 мкЗв /час**

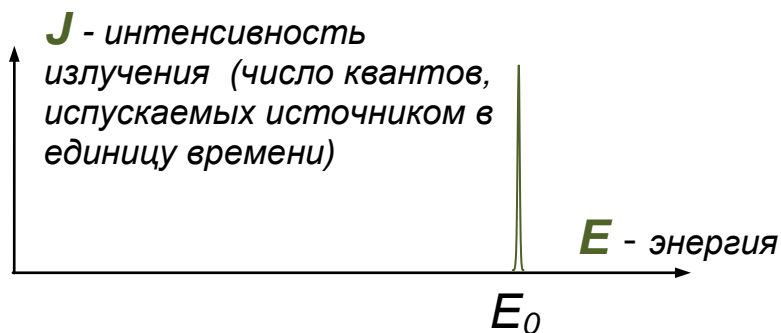
Эффективная доза облучения человека складывается из дозы **внутреннего** и дозы **внешнего** облучения

Спектрометрия

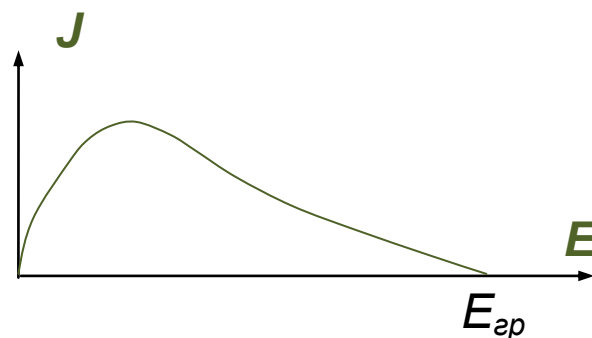
– метод качественного и количественного определения радионуклидов в образце.

Спектр – зависимость интенсивности излучения J источника от его энергии E .

Спектр гамма излучения

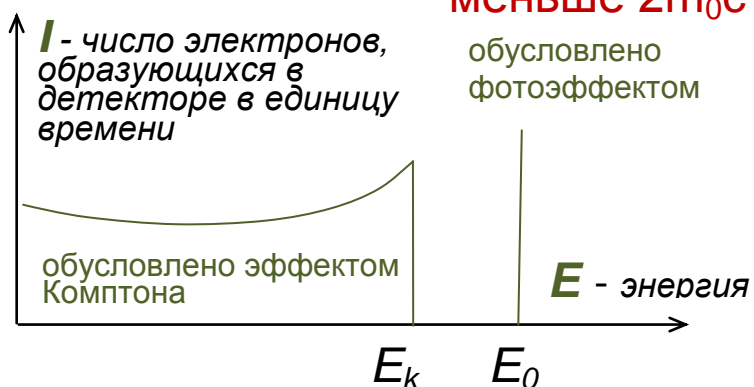


Спектр бета излучения



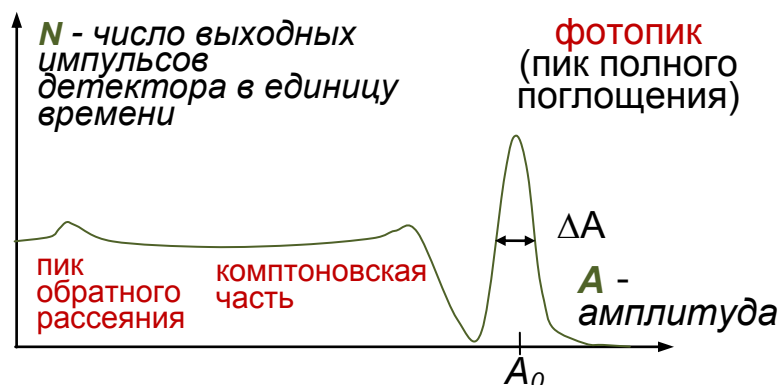
E_0 и $E_{гр}$ определяются энергией ядерного перехода и уникальны для каждого радионуклида, высота пика пропорциональна активности радионуклида.

Спектр вторичных электронов в детекторе в отсутствие эффекта образования пар (при регистрации гамма-излучения с энергией меньше $2m_0c^2 \approx 1,022 \text{ МэВ}$)



Для измерения спектра необходим детектор, обладающий энергетическим разрешением

Измеренный детектором спектр (гамма излучения)



– амплитудный спектр, (аппаратурная форма линии, функция отклика детектора на воздействие гамма-излучения фиксированной энергии).

$\Delta A/A_0, \%$ – величина энергетического разрешения детектора.

Положение пика полного поглощения A_0 несет информацию об энергии E_0 , и следовательно об измеряемом радионуклиде, высота пика – об активности радионуклида

Излучения, ионизирующие излучения

Излучение – перенос энергии от объекта (*источника*) в окружающее пространство посредством потока частиц или волн.

Источники электромагнитных излучений:

ускоренно движущиеся заряды – радиоволны; тормозное излучение;

переходы электронов в атоме – инфракрасные, световые, ультрафиолетовые, рентгеновские волны.

Ядерные излучения:

альфа, бета, гамма, протонное, нейтронное и др.

Ионизация

– образование в веществе электронов и положительных ионов под действием излучения (выбивание электронов из атомов).

Ионизирующее излучение – излучение, способное ионизировать вещество.

Средняя энергия, необходимая для ионизации атома – **30 эВ** (при меньших энергиях может происходить возбуждение атома, сопровождающееся испусканием фотона)

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

Энергия альфа-частиц – $2 \div 15 \text{ МэВ}$

Энергия бета-частиц – $2 \text{ кэВ} \div 12 \text{ МэВ}$ и выше

Энергия фотонов электромагнитных излучений:

Радиоволны	Инфракрасное	Свет	Ультрафиолетовое	Рентгеновское	Гамма
$< 0,03 \text{ эВ}$	$0,03 - 1,65 \text{ эВ}$	$1,65 - 3,10 \text{ эВ}$	$3,1 - 124,0 \text{ эВ}$	$0,62 - 207 \text{ кэВ}$	Свыше $6,2 \text{ кэВ}$

Некоторые ионизирующие излучения

корпускулярные

электромагнитные
(фотонные)

α (${}^4\text{He}_2$) β (e^-, e^+)

p

n

r (X)

γ

альфа, бета, протонное, нейтронное, рентгеновское, гамма

непосредственно
ионизирующие

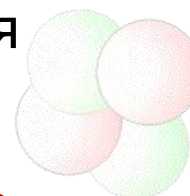
косвенно ионизирующие

α-распад и α-излучение

Причина **α-распада** – не полная компенсация кулоновских сил отталкивания протонов ядерными силами притяжения нуклонов в тяжелых ядрах.

В силу некоторых физических закономерностей ядро покидает не отдельный протон, а совокупность двух протонов и двух нейтронов.

α-частица, ${}^4\text{He}_2$ – ядро атома гелия
(два протона и два нейтрона)



Пример α-распада: ${}^{238}\text{Pu}_{94} \rightarrow {}^{234}\text{U}_{92} + {}^4\text{He}_2$

Энергия α-частиц – от 2 до 15 МэВ,
скорость вылета из ядер – от 10 до 20 км/с.

Основные процессы, происходящие с α-излучением в веществе: рассеяние, ионизация и возбуждение атомов.

Свойства α-излучения

Ионизирующая способность – очень высокая:
на 1 см пути в воздухе α-частица образует около 50 тыс. пар электрон-ион.

Проникающая способность – очень низкая:

Пробег в воздухе	Пробег в биологической ткани	Защита
единицы сантиметров	микроны	лист бумаги

В случае **внутреннего облучения** α-излучение наиболее опасно.

При **внешнем облучении** α-частицы опасны только при попадании на слизистые оболочки, ранки, в глаза.

Основные природные радионуклиды – источники α-излучения:

изотопы радона: ${}^{222}\text{Rn}$, ${}^{220}\text{Rn}$, ${}^{219}\text{Rn}$.

α-излучающие радионуклиды чернобыльского происхождения:

радионуклиды плутония и америция: ${}^{238}\text{Pu}$, ${}^{239}\text{Pu}$, ${}^{240}\text{Pu}$, ${}^{241}\text{Am}$.

β-распад и β-излучение

β-частица – электрон (e^-) или позитрон (e^+), вылетающий из ядра с огромной скоростью (до 0,99 c).

Энергия β-частиц – от 2 кэВ до 12 МэВ и выше.

Причина β-распада – т. н. **слабые взаимодействия**. В ядре происходит взаимопревращение нуклонов. Так, нейтрон превращается в протон, электрон и антинейтрино:



Поэтому нуклиды с избытком нейтронов по сравнению со стабильным ядром данного элемента испытывают **β-распад с испусканием электрона**. В их числе – **стронций-90**.

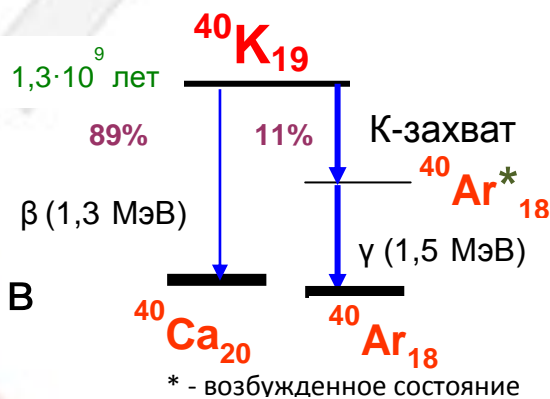
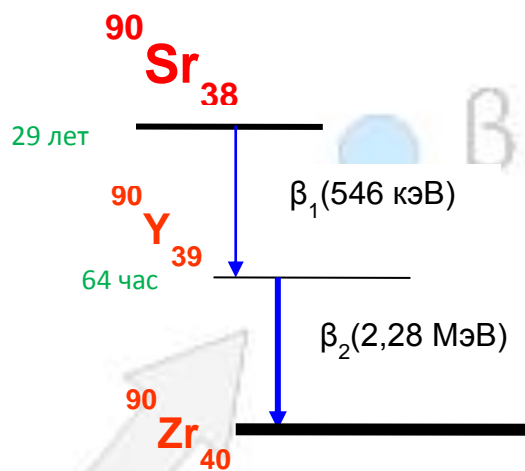
В ядрах происходит и обратный процесс: $p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$. Поэтому ядра с недостатком нейтронов обычно испытывают **позитронный распад**.

Иногда происходит захват одного из электронов атома (**К-захват**), сопровождающийся испусканием кванта, по энергии близкого к рентгеновскому или гамма. Это имеет место для распространенного в природе радионуклида **калий-40**.

Процессы, происходящие с β-частицами в веществе: рассеяние, ионизация или возбуждение атомов, а также **тормозное излучение** (по энергии близкое к рентгеновскому или гамма).

Ионизирующая способность – высокая. На 1 см пути в воздухе образуется 50-100 пар электрон-ион.

Проникающая способность – низкая



* - возбужденное состояние

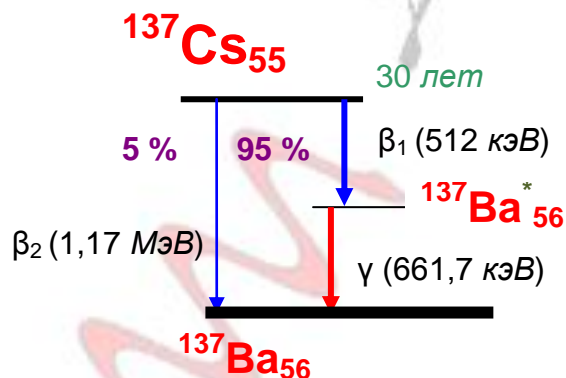
Пробег в воздухе	Пробег в биологической ткани	Защита
около метра	единицы сантиметров	лист алюминия, дерева, пластика

Гамма-излучение

γ-излучение можно рассматривать двояко, как испускание ядрами:

- **жесткого электромагнитного излучения**, либо
- **γ-квантов** – нейтральных частиц, которые не имеют массы покоя и всегда движутся со скоростью света **c**.

γ-излучение возникает в тех случаях, когда в результате α- или β-распада дочернее ядро оказывается в возбужденном состоянии, как в случае распада **цезия-137**.



Процессы взаимодействия γ-излучения с веществом

фотоэффект – γ-квант передает всю свою энергию электрону атома

Комптон-эффект – γ-квант рассеивается, часть его энергии передается электрону атома

эффект образования пар – вместо гамма кванта рождается пара: электрон и позитрон.

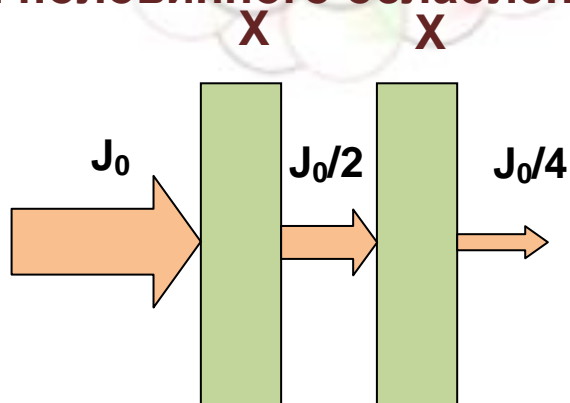
Свойства γ-излучения

Ионизирующая способность – низкая.

γ-излучение относится к косвенно ионизирующим. Ионизация происходит за счет вторичных электронов, возникающих при взаимодействии γ-излучения с веществом.

Проникающая способность – высокая.

Для γ-квантов не существует максимального пробега: они могут поглощаться, рассеиваться, но не замедляться. Поэтому ослабление их интенсивности **J** при прохождении через слой вещества толщиной **x** происходит по закону $J = J_0 2^{-x/X}$, где **X** – **слой половинного ослабления**.



Материал	X
воздух	150 м
вода	23 см
бетон	6 см
сталь	3 см
свинец	1 см

Детекторы

– устройства для обнаружения (*регистрации*) частиц излучения и измерения его основных параметров: энергии E и интенсивности J .

В **трековых детекторах** частица тем или иным образом оставляет след от своего прохождения.

К ним относятся камера Вильсона, пузырьковая камера, фотоэмульсионные, фотолюминесцентные (**ФЛД**) и термолюминесцентные (**ТЛД**) детекторы. Фотоэмульсионные детекторы используют при измерениях радона, ФЛД и ТЛД – в индивидуальных дозиметрах.

Наиболее распространены **электронные детекторы**, в которых информация о регистрируемой частице содержится в электрическом сигнале – *импульсе* тока или напряжения.

Основные параметры детекторов

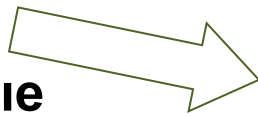
- **Эффективность регистрации** – доля зарегистрированных частиц из всех попавших в детектор.
- **Энергетическое разрешение** – способность детектора различать частицы с различной энергией. Для этого амплитуда выходного импульса электронного детектора должна зависеть от энергии частицы.

Основные разновидности электронных детекторов:

газоразрядные

сцинтилляционные

полупроводниковые



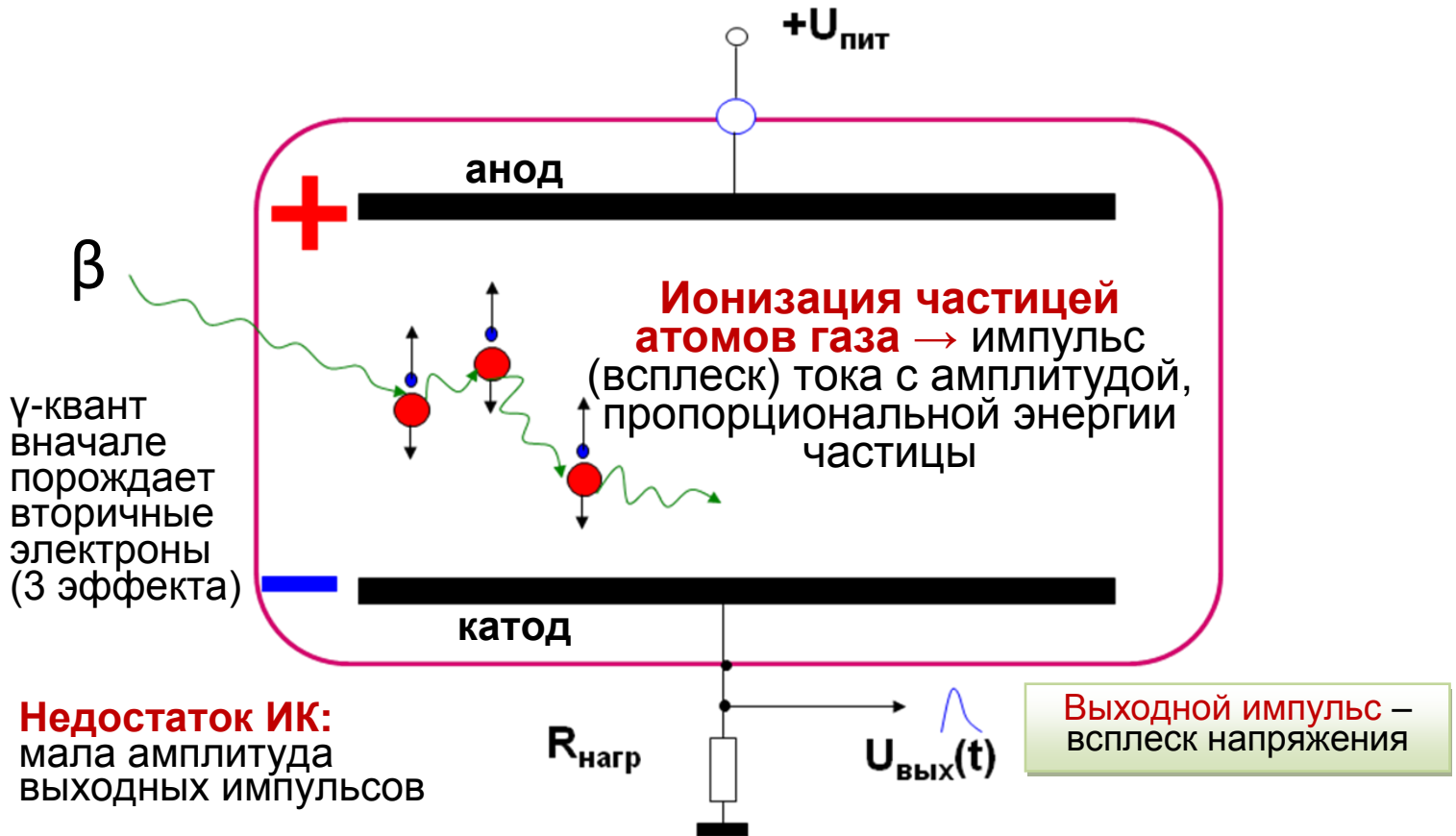
ионизационная камера
пропорциональный счетчик
счетчик Гейгера-Мюллера

Параметры распространенных детекторов

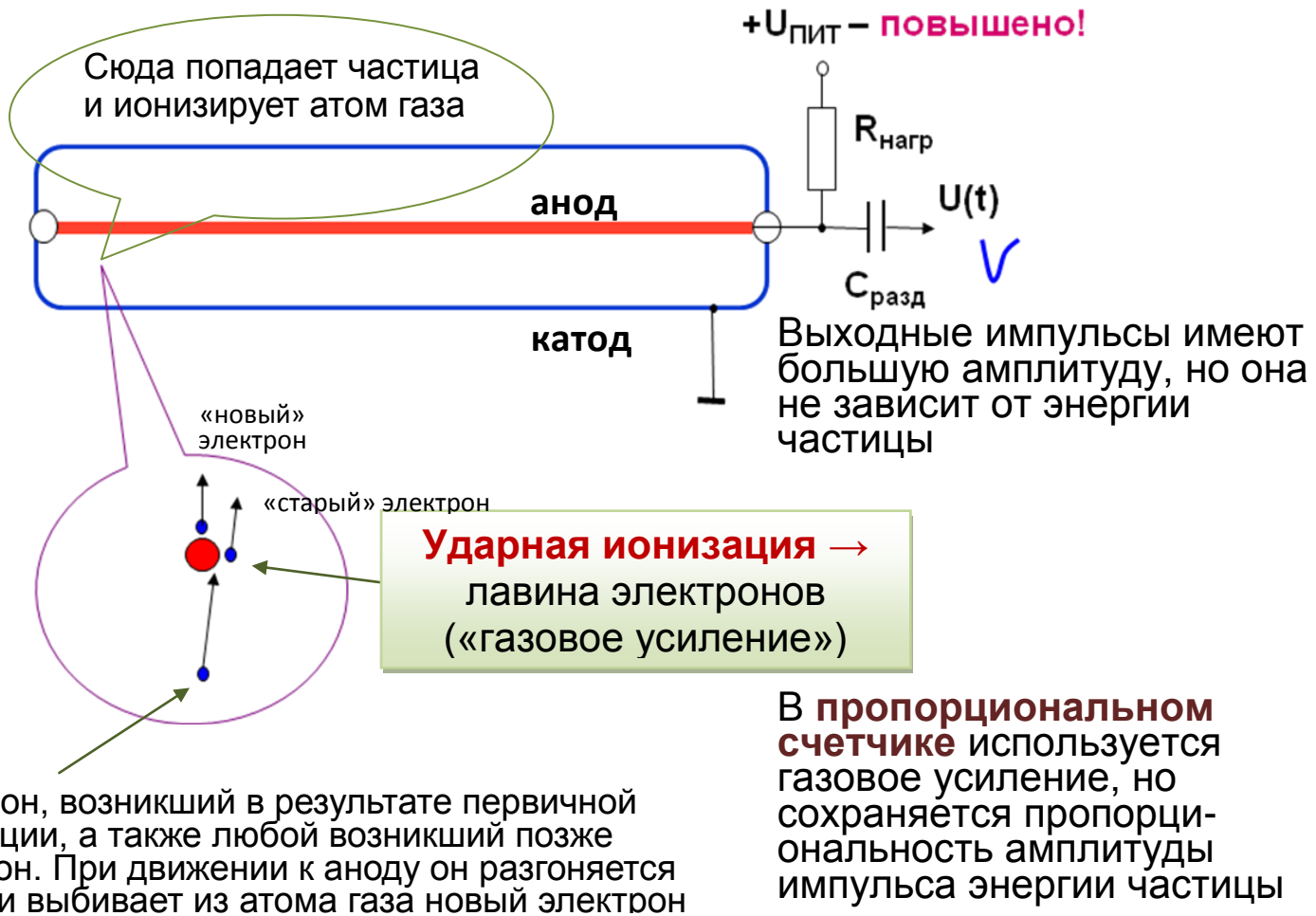
Детектор	Эффективность регистрации	Энергетическое разрешение
Гейгера-Мюллера	гамма ~ 1%, бета – 10-100 %	нет
Полупроводниковый	гамма ~ 10%, бета – 100 %	очень высокое
Сцинтилляционный	гамма ~ 10%, бета – 100 %	хорошее

Газоразрядные детекторы

Ионизационная камера (ИК)



Счетчик Гейгера-Мюллера



Сцинтилляционный детектор

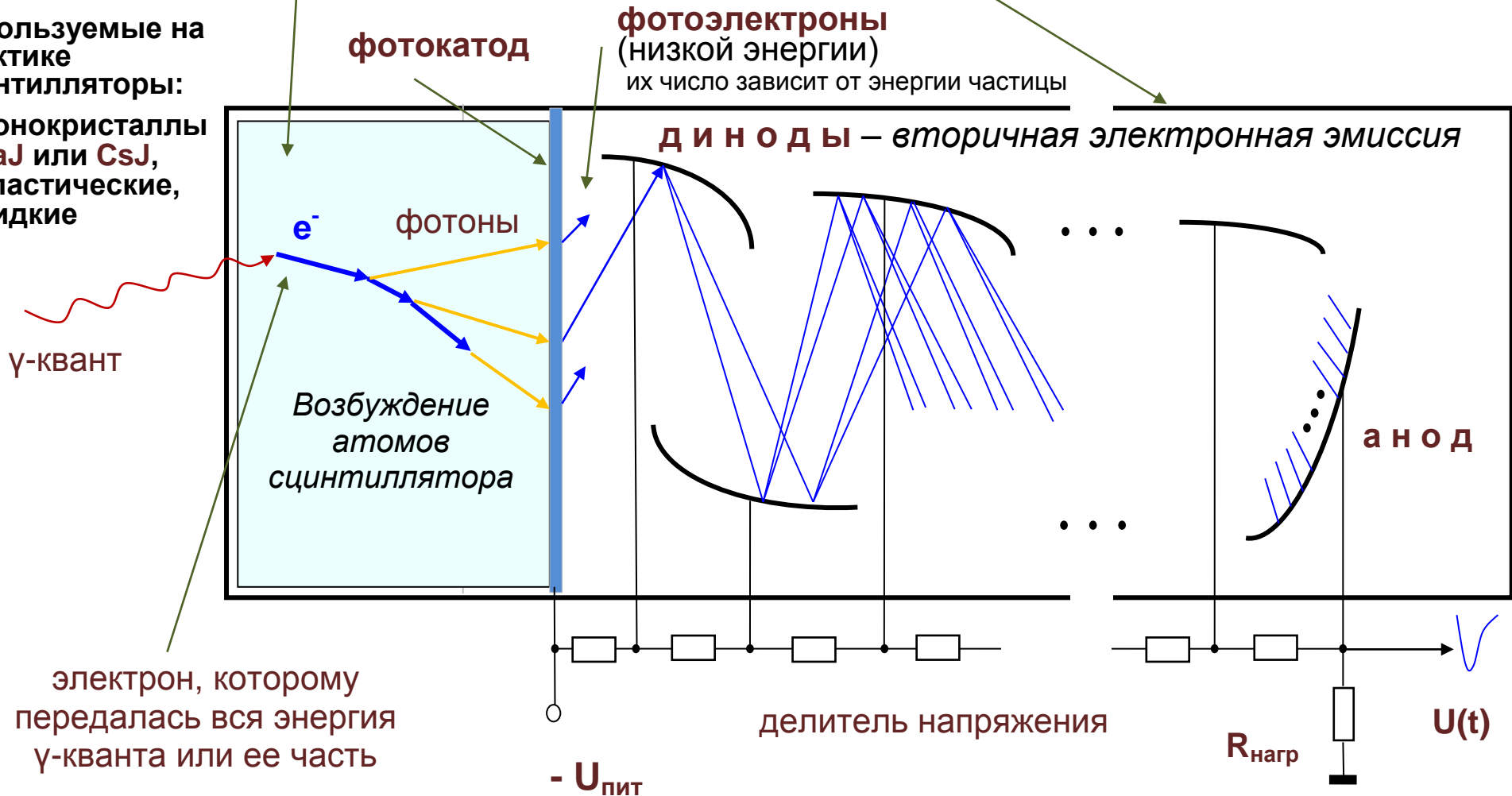
преобразует излучения во вспышки света, а затем в электрические импульсы

сцинтиллятор

фотоэлектронный умножитель (ФЭУ)

Используемые на практике сцинтилляторы:

- монокристаллы NaJ или CsJ,
- пластические,
- жидкие



γ-квант → электрон → фотоны → фотоэлектроны → лавина электронов → импульс

Основные источники радиации и их примерный вклад в среднегодовую эффективную дозу облучения человека (2,8 мЗв)

Естественные – 2,4 мЗв

1. Космическое излучение	16 %
2. Земные источники, радионуклиды:	
^{40}K	14 %
^{238}U , ^{232}Th , ^{87}Rb	17 %
^{222}Rn , ^{220}Rn , ^{219}Rn	53 %

Искусственные – 0,4 мЗв

- **Медицинская аппаратура 99%**
- Промышленные устройства и установки
- Часы и прочие изделия со свечением
- Минеральные удобрения и отходы тепловых электростанций
- Испытания ядерного и термоядерного оружия
- АЭС и сопутствующие предприятия

ЗАКОН РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ О РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ, статья 8

Устанавливаются следующие основные пределы доз облучения на территории Республики Беларусь в результате воздействия источников ионизирующего излучения:

для населения средняя годовая эффективная доза равна 1 мЗв или эффективная доза за период жизни (70 лет) – 70 мЗв; в отдельные годы допустимы большие значения эффективной дозы при условии, что средняя годовая эффективная доза, исчисленная за пять последовательных лет, не превысит 1 мЗв;...

Регламентируемые значения основных пределов доз облучения **не включают в себя дозы, создаваемые естественным радиационным и техногенно измененным радиационным фоном**, а также дозы, получаемые гражданами (пациентами) при медицинском облучении...

Дозиметр-радиометр МКС-АТ6130

Основное меню



MODE	режим
DOSE RATE	мощность дозы
DOSE	доза
BACKGROUND	фон
MEASURE	измерение
VIEW	просмотр
DIAGRAMS	диаграммы
MEASURE	измерение
VIEW	просмотр
THRESHOLD	пороги
DOSE RATE	мощность дозы
DOSE	доза
NOTEBOOK	записная книжка
READ	чтение
UNDO	отменить
CLEAR	очистить
SETTINGS	установки
TIME	время
DATE	дата
IR PORT	ИК канал

Основные параметры

Диапазон измерения мощности дозы	0,1 мкЗв/ч – 10 мЗв/ч
Диапазон измерения дозы	0,1 мкЗв – 100 мЗв
Диапазон плотности потока β -частиц	10 – 10 ⁴ част/(мин·см ²)
Энергия γ -излучения	20 кЭв – 3 МэВ
Энергия β -излучения	300 кэВ – 3,5 МэВ
Пределы допустимой основной относительной погрешности измерения	±20 % для всех режимов
Пределы допустимой дополнительной относительной погрешности измерения	±10 % - при изменении температуры от -20° до +55°, относительной влажности до 95%; ±5 % - при изменении напряжения питания от 3,3 до 2 В, воздействии синусоидальных вибраций в диапазоне частот 10–55 Гц
Объем памяти	1000 значений
Питание	2 батарейки (аккумулятора) типа ААА
Время работы от одного комплекта питания	не менее 500 час (при фоновых нагрузках)

Гамма-радиометр РКГ-АТ1320



Структура меню

Измерение	Спектр	Обработка	Настройка
набор	чтение	активность	дата
продолжить	запись	вычесть фон	контрастность
проверка	запись фона	сложить фон	прибор
контроль фона	запись контр. фона		
	информация		

Основные параметры

Геометрия измерений	Диапазон измерений ОА (УА), Бк/л (Бк/кг)			
	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	²²⁶ Ra *	²³² Th *
Сосуд Маринелли (1 л)	3,7 - 1·10 ⁵	50 - 2·10 ⁴	10 - 1·10 ⁴	10 - 1·10 ⁴
Плоский сосуд (0,5 л)	20 - 4·10 ⁵	200 - 2·10 ⁴	-	-
Сосуд Дента (0,1 л)	50 - 1·10 ⁶	500 - 2·10 ⁴	-	-
Ящик (10 л)**	20 - 1·10 ⁵	100 - 2·10 ⁴	-	-

* - для прибора РКГ АТ1320, ** - для прибора РКГ АТ1320В

Пределы допускаемой основной погрешности измерения

ОА (УА) радионуклидов **не более 20 %**

Пределы допускаемой относительной погрешности при изменении:

температуры от 0 до 40 **не более ±3%**

относительной влажности до 75 % при t°=30 и более низких температурах без конденсации влаги

не более ±3%

атмосферного давления от 84 до 106,7 кПа

не более ±3%

постоянного магнитного поля до 40 А/м

не более ±3%

Диапазон энергий регистрируемого гамма-излучения

50–3000 кэВ

Диапазон плотности проб

0,1–3,0 кг/л

Число каналов накопления спектра

512

Число сохраняемых в памяти спектров

299

Время установления рабочего режима

10 мин

Гамма-бета спектрометр МКС-АТ1315

Блок детектирования
 β -излучения (БДБ)

Блок детектирования
 γ -излучения (БДГ)



Основные параметры

Радиометрия

Диапазон измерения ОА (УА) при плотности «сырых» проб от 0,2 до 1,6 г/см³, Бк/л (Бк/кг):

для Sr-90	20 – 10 ⁶
для Cs-137	2 – 10 ⁶
для K-40	20 – 2·10 ⁴

Нижняя граница диапазона измерений ОА (УА) Sr-90 в пересчете на исходную «сырую» пробу, не более:

в питьевой воде	0,2 Бк/л
в молоке и специализированном детском питании	1,5 Бк/л (Бк/кг)
в картофеле, хлебе и хлебопродуктах	2,0 Бк/кг

Границы погрешности результатов измерений ОА (УА), $\rho = 0,95$

Cs-137 в диапазоне 2 - 10 ⁶ Бк/л (Бк/кг)	(20 – 50) %
Sr-90 в диапазоне 0,2 - 10 ⁶ Бк/л (Бк/кг)	(20 – 50) %

Спектрометрия

Диапазон энергий γ -излучения	50 – 3000 кэВ
Диапазон граничных энергий β -излучения	150 – 3500 кэВ
Число каналов	1024
Основная относительная погрешность характеристики преобразования и интегральная нелинейность (γ -излучение)	≤ 1%
Относительное энергетическое разрешение (пик Cs-137 с $E_\gamma = 661,6$ кэВ)	≤ 9,5 %
Максимальная входная нагрузка	10 ⁴ имп/с

Радиометр-дозиметр МКС-01М «Советник»

Меню прибора

НА МЕСТЕ (без отбора проб)

Мышечная ткань

Измерение УА Cs-137 в мышечной ткани скота.

Бидон

Измерение УА Cs-137 вещества в пластмассовом бидоне

Объект 10 л

Измерение УА Cs-137 вещества в пластмассовом ведре

Крупный объект

Измерение УА Cs-137 в объектах типа стог сена, насыпь зерна и т.п.

ИЗМЕРЕНИЕ ПОТОКА

Скорость счета

Измерение скорости счета в «энергетических окнах» γ излучения Cs-137 и K-40: – контроль однородности партии продукции по измерениям скорости счета; – измерение имитанта при периодической проверке работоспособности

ИЗМЕРЕНИЕ ПРОБ

В защите

Измерение УА Cs-137 в пробе (счетном образце) в сосудах 0,1 л, 0,3 л, 0,5 л, сосуде Маринелли 1 л в защите.

Без защиты

Измерение УА Cs-137 в пробе (счетном образце) в сосудах 0,5 л и Маринелли 1 л и без защиты.

ИЗМЕРЕНИЕ ДОЗЫ

Мощность дозы

Измерение мощности амбиентного эквивалента дозы; контроль однородности партии по измерениям мощности дозы

Доза – фон

Измерение мощности амбиентного эквивалента дозы с вычитанием фонового уровня

СЛУЖЕБНЫЙ

Служебные режимы работы прибора (защищено паролем). Используются для калибровки и настройки на предприятии-изготовителе.



Основные параметры

Диапазон измерения удельной активности Cs-137 в мышечной ткани, Бк/кг	40 – 4000
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений УА в мышечной ткани, %	
в диапазоне от 40 до 80 Бк/кг	± 45
в диапазоне от 80 до 4000 Бк/кг	± 28
Диапазон измерения УА Cs-137 в пробе 1 л без защиты, Бк/кг	40 – 10000
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений УА Cs-137 в пробе 1 л без защиты, %	± 22
Диапазон измерения УА Cs-137 в пробе 1 л с защитой, Бк/кг (Бк/л)	5 – 10000
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений УА Cs-137 в пробе 1 л с защитой, %	
в диапазоне от 5 до 20 Бк/кг	± 45
в диапазоне от 20 до 40 Бк/кг	± 28
в диапазоне от 40 до 10000 Бк/кг	± 22
Диапазон измерения мощности амбиентного эквивалента дозы, мкЗв/ч	0,05 – 1,0
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений амбиентного эквивалента дозы, %	± 40
Время установления рабочего режима, мин	15
Питание (аккумуляторы)	2xAA (или А)
Время непрерывной работы от батарей, ч	не менее 8
Масса прибора, кг	3

Сравнительная характеристика радиометров



Прибор	Минимальная измеряемая активность, Бк/кг (Бк/л)			Основная относительная погрешность измерения, %	Время установления рабочего режима, мин.	Масса, кг
	0,1 л	0,5 л	1,0 л			
РКГ-АТ1320	50	20	3,7	± 20%	10	130
РКГ-01А/1	180	37	7,4	± 25% (35 %)*	5	130
Алиот			10	± 35%	30	115
РУГ-92		30	18	± 35%	3	170
РУБ-01П6			20	± 25% (50 %)*	15	137
РУГ-91		18		± 30% (50 %)*	30	45
Советник			40 (5)**	± 22%	15	3

* в скобках – при значениях активности близких к $A_{\text{мин}}$

** в скобках – значение $A_{\text{мин}}$ с применением свинцового блока защиты



Сравнительная характеристика дозиметров



Прибор	Нижняя граница измерения, мкЗв/ч	Основная погрешность измерения, %	Время измерения, с	Режим «Плотность потока β-частиц»	Режим «Поиск»	Элементы питания
ДБГ-06Т	0,1	± 15	40	–	есть	Корунд
РКС-107	0,1	± 30	54	есть	–	Корунд
Белрад	0,1	± 30	20	есть	есть	Корунд
МКС-АТ6130*	0,1	± 20	**	есть	есть	2 x AAA
Советник	0,05	± 40	***	–	есть	2 x AA



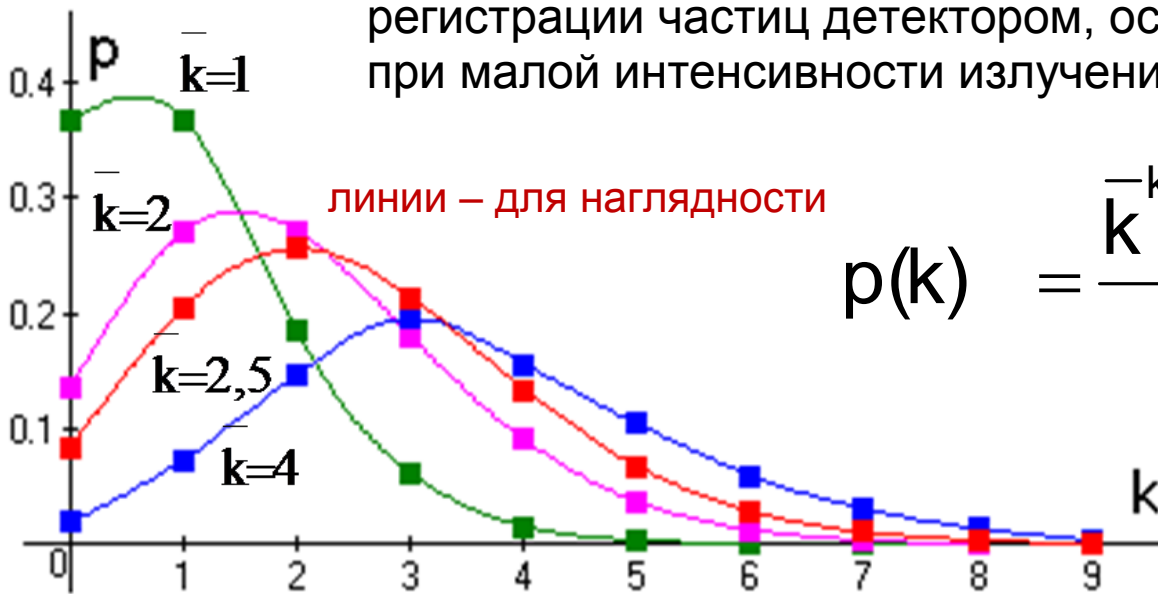
*****) Дополнительные режимы: «Записная книжка», «Диаграммы»; инфракрасный порт связи

******) 300 с для статистической погрешности ± 20 % (при измерении радиационного гамма-фона)

*******) ~ 3 с для статистической погрешности ± 20 %

Распределение Пуассона и его свойства

– хорошо описывает вероятность регистрации частиц детектором, особенно при малой интенсивности излучения



$$p(k) = \frac{\bar{k}^k e^{-\bar{k}}}{k!}$$

$P(k)$ – вероятность зарегистрировать k частиц при данном их **среднем значении** \bar{k} , которое зависит от активности источника, геометрии и времени измерений

Для характеристики разброса значений k от \bar{k} вводится величина σ – **среднеквадратичное отклонение**, или **стандартное отклонение**.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (k - \bar{k})^2}{N}}$$

Основное свойство: $\sigma = \sqrt{\bar{k}}$ \Rightarrow

относительная погрешность измерения

$$\delta \sim \frac{\sigma}{\bar{k}} = \frac{1}{\sqrt{\bar{k}}}$$

При постоянной интенсивности излучения k и \bar{k} растут пропорционально времени измерения.

Поэтому, **чем больше время измерения, тем меньше относительная статистическая погрешность**.

Если нужно уменьшить погрешность в n раз, то время измерения нужно увеличить в n^2 раз.

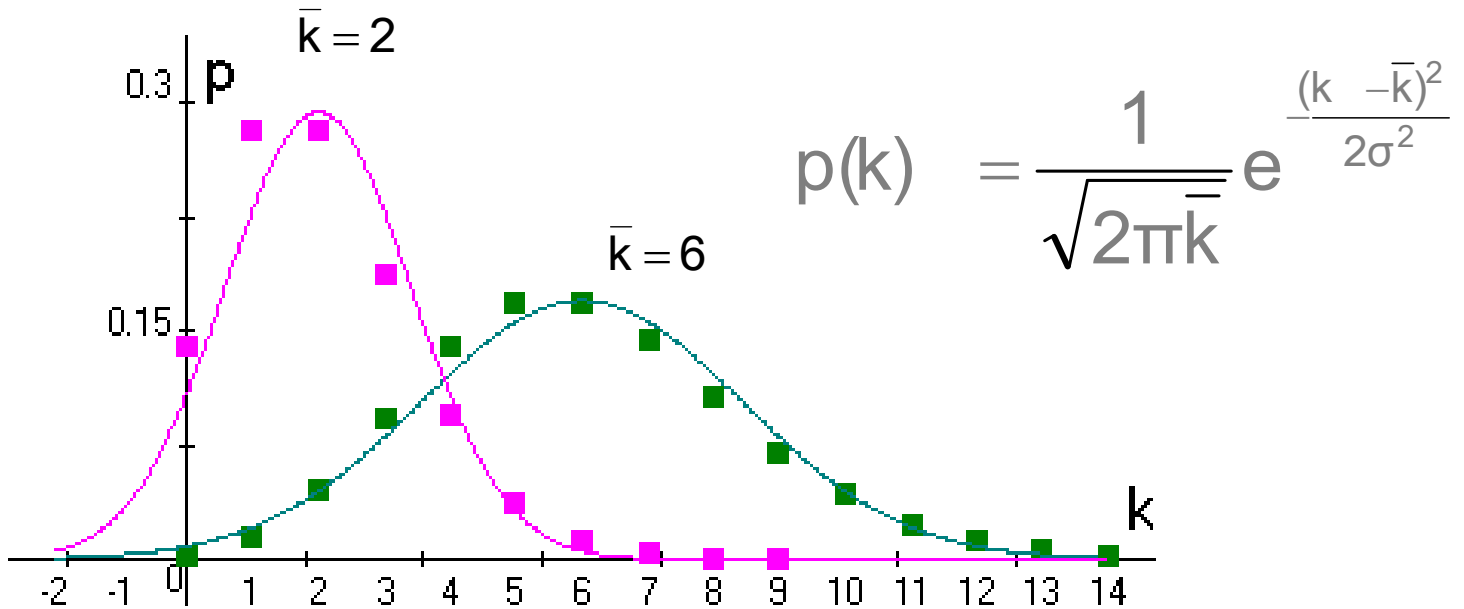
Погрешность можно снизить, если провести несколько циклов измерения и найти среднее значение, что эквивалентно увеличению времени измерения.

Если усреднить **4** и **9** результатов, то относительная погрешность уменьшится, соответственно, в **2** и **3** раза.

Распределение Гаусса (нормальное)

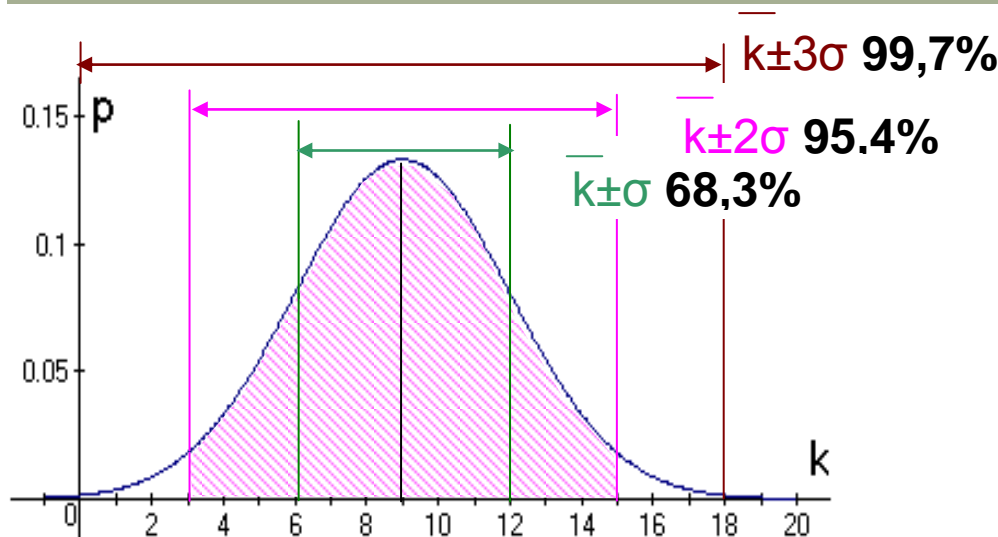
Применяется для большинства случайных величин k , которые могут принимать не только целые значения. Кроме параметра \bar{k} имеет независимый параметр σ , описывающий ширину распределения.

Сравнение распределения Пуассона (точки) и Гаусса (линии), для которого σ положено равным $\sqrt{\bar{k}}$



На практике уже при $\bar{k} = 10$ можно использовать нормальное распределение вместо распределения Пуассона.

Свойства нормального распределения (правило 3σ)



В **99,7%** случаев случайная величина лежит в границах $\pm 3\sigma$ от своего среднего значения,
в **95,4%** - $\pm 2\sigma$,
(заштриховано на рисунке)

в **68,3%** - $\pm \sigma$.

Вероятность нахождения случайной величины в некоторых интервалах; $\bar{k} = 9, \sigma = 3$

$$p(|k - \bar{k}| \leq 3\sigma) = 0,997$$

доверительный интервал

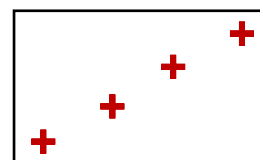
доверительная вероятность

Порядок отбора проб продукции АПК

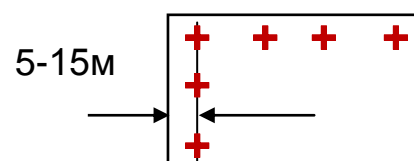
- 1) определение однородности партии;
- 2) отбор точечных проб;
- 3) составление объединенной пробы;
- 4) выделение средней пробы для анализа.

Методы отбора:

по диагонали – для вегетирующих растений, к которым имеется легкий доступ;

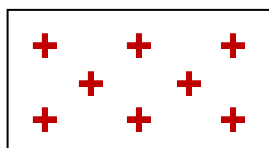


по двум смежным сторонам – для вегетирующих растений, доступ к которым затруднен (зерновые, рапс);

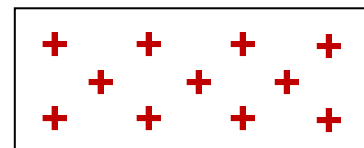


метод конверта – для материалов, хранящихся насыпью;

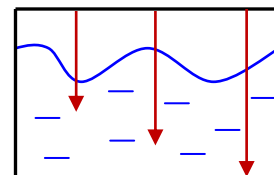
двойной конверт



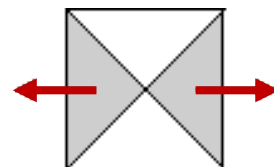
тройной конверт



с помощью пробоотборника – для материалов из складов, транспортных средств; сыпучих и жидких материалов из больших емкостей;



квартования – для выделения средней пробы из объединенной пробы сыпучего материала.



Важные понятия

Партия – совокупность единиц продукции одного наименования, типоминерала (или типоразмера) и исполнения, произведенная в течение определенного интервала времени в одних и тех же условиях и одновременно представленная для контроля (ГОСТ 158–95).

Точечная проба – проба, взятая одновременно из одного места контролируемой партии продукции (ГОСТ 158–95).

Объединенная проба – проба, состоящая из серии точечных проб (ГОСТ 158–95).

Средняя проба – часть объединенной пробы, выделенная для проведения анализа на содержание радионуклидов.

Выборка – совокупность единиц продукции, отобранной для контроля из партии.

Объем выборки – число единиц транспортной или потребительской тары с продукцией, составляющих выборку.