

## 6.5.2. Альbedo гамма-излучения

Для решения многих задач физики защиты и радиационной техники необходимо знание не только нерассеянного, но и рассеянного излучения, в том числе и **обратно рассеянного (альbedo)**. Альbedo в переводе с латинского языка означает «белизна». Понятие альbedo связано со свойствами «белого» тела отражать излучение. В оптике величина альbedo показывает, какую часть падающего света отражает данная поверхность, в ядерной физике и радиационной технике альbedo характеризует отражение ионизирующих излучений от рассеивающих тел.

Информация по обратному рассеянию необходима для расчета поля излучения от незащищенных источников в ограниченных помещениях, при решении задач прохождения излучений через неоднородности в защите (щели, каналы, лабиринты и т. д.), распространения излучений вдоль границы раздела двух сред, при расчетах теневых защит, для оценки вклада рассеянного излучения в показания приборов при проведении градуировочных работ, при проектировании технологических процессов, приборов и установок, осуществленных на принципе отраженного излучения, и т. д.

**Основные понятия и определения.** В наиболее общем виде поле обратно рассеянного излучения определяется энергией, угловым распределением излучения и геометрией источника, формой, составом и толщиной рассеивателя, взаимным расположением источника, рассеивателя и точки детектирования, а также граничащей с рассеивателем средой, в которой находятся источник излучения и детектор.

Ниже рассмотрим случай, когда рассеиватель находится в воздухе (поглощением в воздухе будем пренебрегать).

Если критерием классификации выбрать характеристику источника, то для наиболее важной полубесконечной геометрии рассеивателя можно указать следующие три основных часто встречающихся варианта задач:

– на рассеиватель под произвольным углом  $\theta_0$  падает гамма-излучение точечного мононаправленного источника (тонкого луча) (рис. 67):

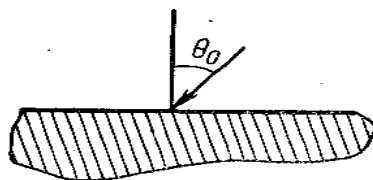


Рис. 67. Альbedo точечного мононаправленного источника.

– на рассеиватель под произвольным углом  $\theta_0$  падает гамма-излучение бесконечного плоского мононаправленного источника (рис. 68,а);

– на некотором расстоянии от рассеивателя находится точечный изотропный источник (рис. 68,б)

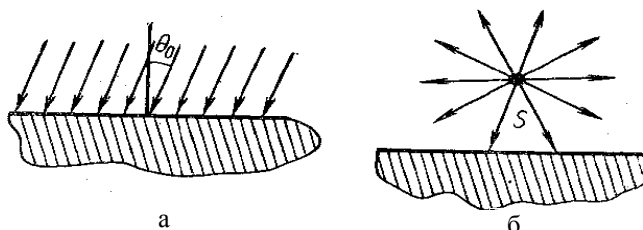


Рис. 68. Геометрии задач отражения гамма-излучения от полубесконечных рассеивателей.

Наиболее элементарной является первая задача, так как по полю обратного рассеяния тонкого луча при помощи преобразований можно сформировать поле

отраженного излучения и для других поверхностных источников (рис. 69).

В самом деле, информация для любого произвольного источника может быть получена, если определить его поле как суперпозицию полей тонкого луча по угловому распределению излучения источника и по пространству, ограничивающему его размеры.

Поэтому дадим основные определения применительно к задаче обратного рассеяния тонкого луча; для других задач определения могут быть сформулированы аналогичным образом.

Наиболее подробная информация о поле обратного рассеяния задается дифференциальными характеристиками альbedo.

Под **дифференциальным альbedo тонкого луча**, гамма-излучение которого с энергией  $E$  падает на полубесконечный рассеиватель в точку в начале координат под углом  $\theta_0$  к нормали (рис.69), будем понимать отнесенную к одному падающему гамма-кванту **вероятность выхода из рассеивателя вторичного гамма-излучения через единичную площадку вблизи точки с координатами  $(x, y, z = 0)$  с энергией  $E'$  на единичный интервал энергии в единичный телесный угол в направлении  $(\theta, \phi)$ .**

Обозначим эту величину  $a(E, \theta_0; E', \theta, \phi, x, y)$ . Угол  $\theta$  обычно называется полярным,  $\phi$  – азимутальным.

Под вторичным гамма-излучением в определении дифференциального альbedo понимается как однократно или многократно обратно рассеянное гамма-излучение источника, так и собственно вторичное гамма-излучение (аннигиляционное, тормозное, флуоресцентное излучения).

Площадку, через которую вторичное гамма-излучение покидает рассеиватель, называют областью рассеяния или **рассеивающим пятном**. Эта область всегда больше площадки, образуемой пересечением пучка с поверхностью рассеивателя.

Геометрическими размерами рассеивающего пятна для многих задач можно пренебречь, считая, что обратно рассеянное излучение покидает рассеиватель в той же области, где оно входит в него. Это предположение в эксперименте справедливо, когда максимальные линейные размеры области рассеяния значительно меньше расстояния до точки детектирования. В этих задачах достаточно знать величину, которую называют дифференциальным спектральным альbedo (спектрально-угловое распределение обратно рассеянного излучения).

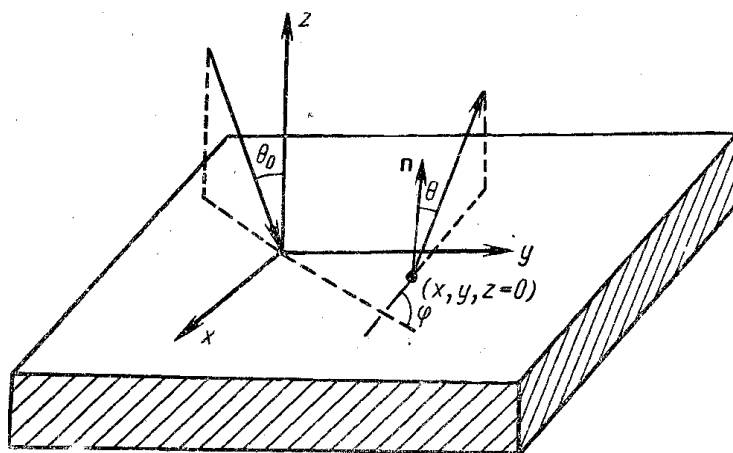


Рис. 69. К определению понятия дифференциального альbedo тонкого луча гамма-излучения.

Для решения практических задач вводятся также следующие дифференциальные характеристики альbedo:

- дифференциальное числовое альbedo (угловое распределение числа обратно рассеянных квантов);
- дифференциальное энергетическое альbedo (угловое распределение обратно

рассеянной энергии);

– дифференциальное дозовое альbedo (угловое распределение обратно рассеянной дозы).

Важно заметить, что дозовое токовое альbedo по существу не является отношением экспозиционной дозы отраженного гамма-излучения к экспозиционной дозе падающих на рассеиватель гамма-квантов, так как доза является потоковой величиной.

Часто для плоского мононаправленного источника обратное рассеяние характеризуют величиной фактора накопления при отражении, который представляет собой потоковое интегральное альbedo плюс единица.

Таким образом, для полной характеристики величины альbedo следует всегда четко оговаривать условия, для которых определена эта величина. Среди условий необходимо отмечать, токовая или потоковая приводится характеристика, дифференциальная или интегральная, спектральная, числовая, энергетическая или дозовая; необходимо указывать геометрию и угловое распределение излучения источника, компоновку отражателя и геометрию системы.

Отметим, что при помощи преобразований можно показать, что дифференциальное альbedo плоского мононаправленного источника совпадает с дифференциальным альbedo тонкого луча, когда эффективными размерами рассеивающего пятна на поверхности рассеивателя для тонкого луча можно пренебречь.

**Основные закономерности процесса рассеяния.** Определяющую роль в механизме образования рассеянного излучения в веществе играет комптоновский процесс, а при энергиях квантов  $E > 2 Mэв$  – образование пар. Вероятность выхода рассеянного излучения назад определяется в основном комптоновским рассеянием и фотоэлектрическим поглощением. В зависимости от условий задачи изменяются соотношения между процессами, формирующими обратное рассеяние, а вместе с ними изменяются и величины альbedo.

Рассмотрим основные закономерности формирования поля обратного рассеяния на примере отражения гамма-излучения тонкого луча, так как другие источники могут быть рассмотрены как суперпозиция тонких лучей. Иными словами, рассмотрим дифференциальные характеристики альbedo тонкого луча гамма-излучения.

**Спектральное распределение**, как и другие характеристики обратного рассеянного излучения, определяется условиями конкретной задачи. Однако во всех случаях в спектре рассеянного излучения, как правило, наблюдаются два компонента, соответствующие однократному и многократному рассеянию в данный телесный угол. Энергия жесткого компонента определяется однократным комптоновским рассеянием на заданный угол рассеяния  $\theta_s$ .

Средняя энергия гамма-квантов мягкого компонента обычно в несколько раз меньше. Соотношение интенсивностей этих компонентов различно для разных условий задачи. Так, с увеличением порядкового номера вещества рассеивателя  $Z$  вклад в общую интенсивность мягкого компонента уменьшается вследствие увеличения сечения фотоэффекта пропорционально  $Z^4 - Z^5$  по сравнению с увеличением сечения комптоновского рассеяния пропорционально « $Z$ ».

Нижняя граница энергии многократно рассеянных квантов определяется фотоэффектом.

При высоких энергиях гамма-квантов ( $E > 3Mэв$ ) для спектрального распределения существенно появление гамма-квантов аннигиляции, которые определяют соответствующий пик в спектральном распределении. Однако часто этот пик сливается с распределением многократно рассеянных гамма-квантов.

**Зависимость от угла падения.** С увеличением угла падения « $\theta_0$ » для любого фиксированного направления отражения возрастает величина дифференциального альbedo. Это объясняется следующими физическими обстоятельствами: во-первых, при увеличении угла « $\theta_0$ » уменьшается расстояние от места рассеяния до отражающей

поверхности примерно пропорционально « $\cos\theta_0$ », т. е. уменьшается путь, проходимый рассеянным квантом до выхода из рассеивателя; во-вторых, при увеличении угла « $\theta_0$ » для данного  $\theta_0$  уменьшается угол рассеяния « $\theta_S$ » и, следовательно, возрастают вероятность комптоновского рассеяния (исключая область низких энергий) и энергия рассеянных гамма-квантов. Это также увеличивает вероятность того, что квант достигнет поверхности отражателя, не поглотившись.

**Зависимость от угла отражения.** Характер угловой зависимости интенсивности обратно рассеянного излучения определяется конкуренцией двух процессов. С одной стороны, для данного угла падения  $\theta_0$  вероятность рассеяния и жесткость рассеянных гамма-квантов возрастают с уменьшением угла рассеяния, с другой стороны, при этом возрастает путь, проходимый рассеянным излучением в веществе, и, следовательно, вероятность поглощения, которое тем больше, чем больше порядковый номер материала рассеивателя. Поэтому угловое распределение обратно рассеянного излучения носит анизотропный характер.

При нормальном падении гамма-излучения мононаправленных источников на полубесконечный рассеиватель количество обратно рассеянного излучения монотонно убывает с увеличением полярного угла отражения по закону, близкому к  $\cos \theta$ . При наклонном падении гамма-излучения наибольшая интенсивность отраженного излучения наблюдается по направлениям, составляющим небольшие углы с направлением падающего излучения.

При существенном вкладе аннигиляционных гамма-квантов в полную величину альbedo форма углового распределения определяется суперпозицией угловых распределений комптоновского и аннигиляционного излучений.

**Зависимость от энергии гамма-излучения источника.** При увеличении энергии гамма-излучения источника в диапазоне от нескольких десятков килоэлектронвольт до 10 Мэв для легких рассеивателей наблюдается уменьшение дифференциального альbedo. Для рассеивателей со средними и большими значениями порядковых номеров  $Z$  в области низких энергий за счет фотоэффекта происходит уменьшение альbedo при уменьшении энергии. Характерно также и то, что при увеличении энергии гамма-излучения выше порога эффекта образования пар необходимо учитывать вклад в поле радиации аннигиляционного излучения. За счет аннигиляционных квантов величина альbedo для рассеивателей со средними и большими значениями порядковых номеров  $Z$  может возрастать с увеличением энергии при  $E > 4-5$  Мэв. Отметим, что при увеличении энергии гамма-излучения источника увеличивается угловая анизотропия дифференциального альbedo.

**Зависимость от порядкового номера материала рассеивателя.** В диапазоне энергий  $E$  до 3 Мэв наблюдается уменьшение дифференциального альbedo при увеличении  $Z$  вследствие возрастания фотоэлектрического поглощения рассеянных квантов. Для  $E$  намного больших 3 Мэв и малых  $Z$  идет медленный спад величины дифференциального альbedo с увеличением  $E$ ; для больших  $Z$  может наблюдаться рост альbedo за счет аннигиляционных квантов.

**Зависимость от толщины отражателя.** Большая часть обратно рассеянных квантов отражается в достаточно тонком поверхностном слое вещества.

При увеличении толщины отражателя « $d$ » величина альbedo монотонно растет по закону  $(1 - e^{-d/b})$ , где  $b$  — константа, и начиная с толщины 1–2 длины свободного пробега в направлении движения первичных квантов достигает постоянного предельного значения. Для данного угла падения первичного излучения « $\theta_0$ » толщина предельного слоя, отсчитываемая по нормали к поверхности, связана с длиной свободного пробега « $\lambda$ » примерно соотношением:  $\lambda_{\text{пред}} = 2 \lambda \cos \theta_0$ .

**Количественная информация.** Имеется большое количество работ, посвященных изучению дифференциальных и интегральных характеристик альbedo. Наиболее подробная информация о дифференциальном альbedo рассчитывается методом Монте-

Карло.

Обилие получаемой информации при изучении обратного рассеяния заставило исследователей усиленно искать пути обобщения и сжатого представления результатов исследований. Наиболее широко применяются следующие методы определения альbedo:

- полуэмпирическая формула;
- эмпирическая формула;
- метод экономии исследований.

## **6.6. Защита от ионизирующего излучения**

### **6.6.1. Классификация защит**

**Защитой** называют любую среду (материал), располагаемую между источником и зоной размещения персонала или оборудования для уменьшения потоков ионизирующего излучения.

Защиту принято классифицировать по следующим признакам: **назначению, типу, компоновке и геометрии.**

**Назначение защиты:** уменьшение дозы облучения персонала до предельно допустимых уровней (**биологическая защита**), уменьшение степени радиационных повреждений различных объектов, подвергающихся облучению, до допустимых уровней (**радиационная защита**) и снижение радиационного энерговыделения в защитных композициях до допустимых уровней (**тепловая защита**).

Классификация защиты по типу:

- **сплошная** защита – полностью окружает источник излучения;
- **раздельная** защита – состоит из **первичной**, окружающей источник излучения (например, активную зону ядерного реактора), и **вторичной**, предназначенной для защиты от источников излучения, находящихся между ней и первичной защитой (например, система теплоносителя ядерного реактора);
- **теньевая** защита – размещается между источником излучения и защищаемой областью, размеры которой определяются "тенью", "отрабатываемой" защитой;
- **частичная** защита – ослабленная защита в направлениях с повышенными допустимыми уровнями облучения (например, для областей ограниченного доступа персонала).

По компоновке защита классифицируется:

- **гомогенная** защита – состоит из одного материала;
- **гетерогенная** защита – состоит из набора различных материалов.

**Форма** внешней поверхности защиты наиболее часто бывает: **плоской, цилиндрической и сферической.**

**Геометрия** защиты подразделяется на: **бесконечную, полубесконечную, барьерную и ограниченную.**

Критерием для классификации защит обычно служит геометрия защиты и взаимное расположение защиты, источника и детектора.

Часто встречающиеся варианты защитных экранов рассмотрены на примере гомогенной защиты и точечного изотропного источника. Очевидно, общность рассмотрения не изменится для гетерогенных защит и источников других форм, размеров и угловых распределений.

**Бесконечная** защита (рис.70). Источник S и детектор D погружены в бесконечную защитную среду. Критерием бесконечности является то, что окружение защитной среды дополнительным материалом произвольной толщины, состава и плотности не изменяет характеристик поля излучения, измеряемых детектором. В практических расчетах принимается, что условие бесконечности выполняется, если источник и детектор находятся в среде и расстояния от границ до источника и детектора составляют 4–6 длин

свободного пробега для начальной энергии излучения.

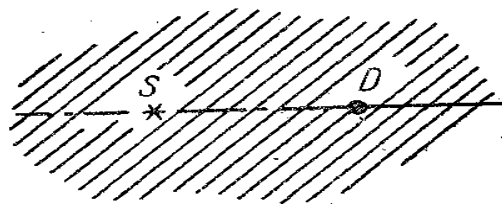


Рис. 70. Бесконечная защита.

**Полубесконечная защита** (рис.71). Защитная среда полубесконечна в направлении источник – детектор с бесконечными поперечными размерами. Под поперечными понимаются размеры в плоскости, перпендикулярной прямой источник – детектор.

В полубесконечной защите возможны два случая:

- источник помещен на границе среды, детектор – в среде;
- источник помещен в среде, детектор находится на границе среды.

Физическое отличие полубесконечной защиты от бесконечной состоит в том, что при геометрии нет обратно рассеянного излучения от заднего по отношению к источнику полупространства или нет обратно рассеянного излучения от заднего по отношению к детектору полупространства.

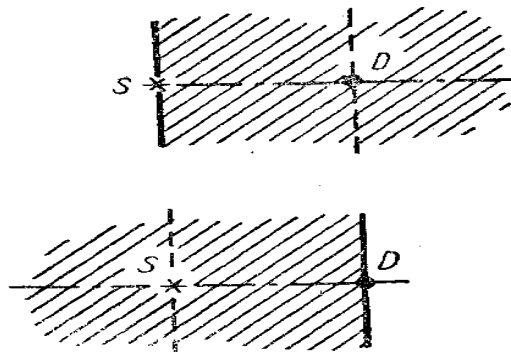


Рис. 71. Полубесконечная защита.

В обеих геометриях показания детекторов, измеряющих характеристики поля, будут меньше, чем соответствующие показания для бесконечной защиты в геометрии (рис.72).

**Барьерная защита** (рис.72,а). Источник (S) и детектор (D) расположены по разные стороны защитного слоя с бесконечными поперечными размерами.

**Ограниченная защита** (рис. 72,б). Если хотя бы один из поперечных размеров защиты не может считаться бесконечным, то защита называется ограниченной. К этой относятся и теньевые защиты, представляющие собой ограниченные барьерные среды.

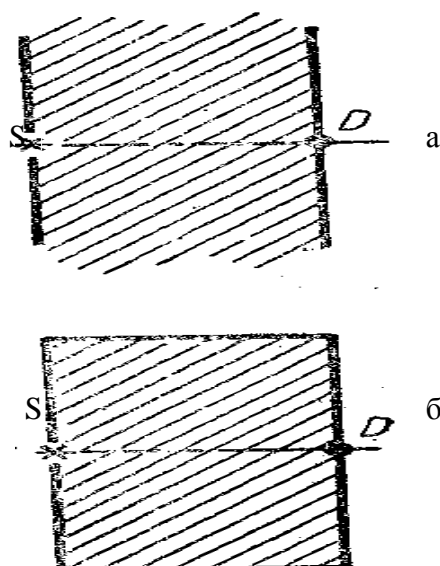


Рис.72. Барьерная (а) и ограниченная защита (б).

Изменения в геометрии защиты при фиксированных других параметрах влияют лишь на рассеянное излучение, так как вклад в показание детектора нерассеянных частиц зависит только от количества вещества, находящегося на прямой источник–детектор. Наибольшее значение регистрируемой величины излучения, обусловленной рассеянными частицами, будет иметь место в бесконечной геометрии, несколько меньшим – в полубесконечной среде, еще меньшим – в барьерной геометрии, минимальным – в ограниченной среде.

### 6.6.2. Основные методы и способы защиты от ионизирующих излучений

**Методы и средства индивидуальной защиты.** В состав основного комплекта средств индивидуальной защиты входит: спецбелье, носки, комбинезон или костюм (куртка и брюки), спецобувь, шапочка или шлем, перчатки, полотенце и носовые платки разовые, средства защиты органов дыхания.

Для приема пищи используется специальное помещение, изолированное от рабочих помещений оборудованное умывальником.

Для работы с эманулирующими и летучими радиоактивными веществами должна быть постоянно действующая система вентиляции с фильтрами.

Помещения для хранения и выдачи спецодежды размещаются в чистой зоне.

Обязателен пункт радиометрического и дозиметрического контроля (между душевой и гардеробной).

**Основные методы защиты от ионизирующих излучений:**

- химическая;
- физическая: применение различных экранов, ослабляющих материалов и т. п.;
- биологическая: представляет собой комплекс репарирующих энзимов и др.

**Основными способами защиты от ионизирующих излучений являются:**

- защита расстоянием;
- защита временем;
- защита экранированием.

В практических задачах для расчета толщины защитных материалов используют значение слоев полуослабления, которые приводятся в справочной литературе.

В таблице 13 указан слой полуослабления гамма-излучения для некоторых материалов.

Таблица 13. Слой полуослабления гамма-излучения для некоторых материалов.

Материал защиты	Слой половинного ослабления, см	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Масса 1 кв.см слоя половинного ослабления, г
Свинец	1,0	11,3	12
Бетон	6,1	3,33	20
Сталь	2,5	7,86	20
Слежавшийся грунт	9,1	1,99	18
Вода	18,0	1,00	18
Древесина	29,0	0,56	16
Обедненный уран	0,2	1,1	4
Воздух	15000	0,0012	18

**Химическая защита от ионизирующего излучения** – это ослабление результата воздействия излучения на организм при условии введения в него химических веществ, называемых **радиопротекторами**.

**Защита от альфа-и бета-источников.** Для определения толщины защитного слоя от альфа-излучения необходимо знать пробег альфа-частиц в данном веществе. В воздухе путо альфа-частицы с энергией 5,5 МэВ составляет 4 см. Тем не менее, при энергии более 7,5 МэВ пробег альфа-частицы в биоткани может превысить толщину слоя эпидермиса кожи (70мкм) и достичь чувствительных клеток базального слоя. Таким образом, **для защиты от внешних потоков альфа-излучения** достаточно тонких защитных экранов: **тонкий слой фольги, листа писчей бумаги, хирургических перчаток и т.п.**

Основная проблема здесь возникает при работе с открытыми альфа-излучателями. В этом случае необходима защита внешней среды от загрязнения ее радиоактивными веществами и предотвращения их попадания внутрь организма (спецодежда, защитное оборудование).

Защита от бета-излучения в диапазоне энергий радионуклидных источников связана с определением их наибольшего пробега в защитной среде. Главная задача состоит в защите от вторичного тормозного излучения, выход которого зависит от энергии бета-частиц и атомного номера защитной среды. В связи с этим, в качестве материала для защитных экранов используют материалы с малым атомным номером: **текстолит, эбонит, плексиглас, полистирол, алюминий, стекло или многослойные материалы, состоящие из веществ с разным атомным номером** (просвинцованные стекло или резиновые перчатки).

При работе с открытыми бета-излучателями также необходима защита внешней среды от загрязнения ее радиоактивными веществами и предотвращения их попадания внутрь организма (спецодежда, защитное оборудование).

Для защиты от гамма-излучения применяют материалы с большим атомным номером: свинец, железо, вольфрам, чугун и т.п. Для защиты от нейтронного излучения применяют водородосодержащие материалы: вода, парафин, бетон, полиэтилен, пластмассы и т.п.

**Защитный контейнер (З.к.).** – устройство для временного хранения или транспортировки радиоактивных веществ, обеспечивающее безопасность обслуживающего персонала в пределах принятых норм. Конструктивно З. к. обычно выполняется в виде свинцовой камеры, облицованной сталью, или стальной камеры (рис.73). В торцовой части З. к. имеется герметичная пробка или крышка. Для отвода тепла, выделяющегося в свинце при поглощении излучения, в некоторых З. к. предусматривается водяное или воздушное охлаждение. Лёгкие лабораторные З. к. выполняют переносными или на поворотных роликах. Специальные тяжёлые З. к. для транспортировки выгоревших топливных элементов ядерных реакторов монтируют на передвижных платформах.

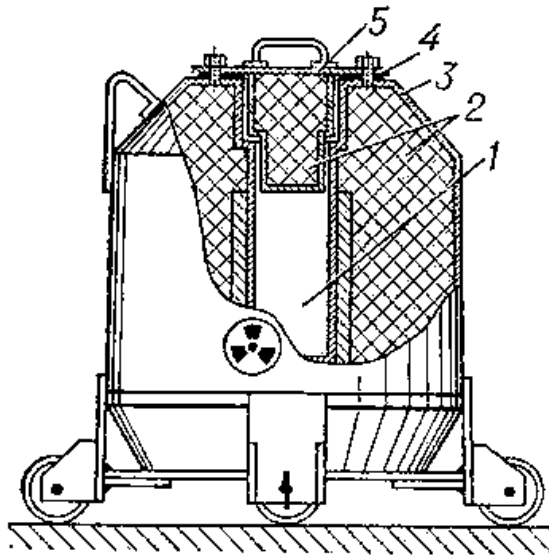


Рис.73. Герметичный защитный контейнер: 1 – камера для радиоактивных веществ; 2 – радиационная защита (свинец); 3 – стальной кожух; 4 – прокладка; 5 – крышка.

Защита от гамма-и нейтронного-излучений, выбор материалов для защиты от всех видов излучений, химический метод защиты и основы противорадиационного питания, методы и способы дезактивации, защитное оборудование, а также методы расчета защит временем, расстоянием и защитными экранами подробно рассмотрены в следующих разделах учебно-методического комплекса.

## ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

### Виды ионизирующих излучений

**ионизирующее излучение:** Излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию ионов разных знаков.

**непосредственно ионизирующее излучение:** Излучение, состоящее из заряженных частиц, кинетическая энергия которых достаточна для ионизации при столкновении с атомами вещества.

**косвенно ионизирующее излучение:** Излучение, состоящее из незаряженных частиц, взаимодействие которых со средой приводит к возникновению заряженных частиц, способных непосредственно вызвать ионизацию.

**моноэнергетическое ионизирующее излучение:** Излучение, состоящее из фотонов одинаковой энергии или частиц одного вида, имеющих одинаковую кинетическую энергию.

**немоноэнергетическое ионизирующее излучение:** Излучение, состоящее из фотонов различной энергии или частиц одного вида, имеющих различную кинетическую энергию.

**смешанное ионизирующее излучение:** Излучение, состоящее из частиц различного вида или из частиц и фотонов.

**направленное ионизирующее излучение:** Излучение с выделенным направлением распространения.

**изотропное ионизирующее излучение:** Излучение, все направления распространения которого равноценны.

**непрерывное излучение:** Излучение, длительность которого больше времени наблюдения.

**непрерывное излучение:** Излучение, длительность которого больше времени

наблюдения.

**импульсное излучение:** Излучение, длительность которого много меньше времени наблюдения.

**фотонное излучение:** Электромагнитное косвенно ионизирующее излучение.

**гамма-излучение:** Фотонное излучение, возникающее в процессе ядерных превращений или при аннигиляции частиц.

**рентгеновское излучение:** Фотонное излучение, состоящее из тормозного и характеристического излучений.

**тормозное излучение:** Фотонное излучение с непрерывным энергетическим спектром, возникающее при уменьшении кинетической энергии заряженных частиц.

**характеристическое излучение:** Фотонное излучение с дискретным энергетическим спектром, возникающее при изменении энергетического состояния электронов атома.

**альфа-излучение:** Корпускулярное излучение, состоящее из альфа-частиц, испускаемых в процессе ядерных превращений.

**бета-излучение:** Корпускулярное излучение, состоящее из отрицательно заряженных электронов или позитронов, возникающее при радиоактивном распаде ядер.

**фон (ионизирующего излучения):** Ионизирующее излучение, состоящее из естественного радиационного фона и ионизирующего излучения посторонних источников излучения.

## Физические величины

**активность радионуклида в источнике;**  $A$ : Отношение числа спонтанных ядерных переходов  $dN$  из определенного энергетического состояния ядра радионуклида в источнике за интервал времени  $dt$ , к этому интервалу

$$A = \frac{dN}{dt},$$

единица: Бк.

**удельная активность радионуклида в источнике;**  $A_m$ : Отношение активности радионуклида  $A$  в источнике к массе источника  $m$

$$A = \frac{A}{m},$$

единица: Бк·кг<sup>-1</sup>.

**объемная активность радионуклида в источнике;**  $A_V$ : Отношение активности радионуклида  $A$  в источнике к объему источника  $V$

$$A_V = \frac{A}{V},$$

единица: Бк·м<sup>-3</sup>.

**поверхностная активность радионуклида в источнике**  $A_S$ : Отношение активности радионуклида  $A$  в плоском источнике к площади источника  $S$

$$A_S = \frac{A}{S},$$

единица: Бк·м<sup>-2</sup>.

Примечание - Неактивные части подложки источника в площадь  $S$  не включают.

**поток частиц [фотонов];**  $N$ : Отношение числа частиц [фотонов]  $dN$ , пересекающих заданную поверхность за интервал времени  $dt$ , к величине этого интервала,

$$N = \frac{dN}{dt},$$

единица: с<sup>-1</sup>.

**плотность потока частиц [фотонов];  $\varphi$ :** Отношение числа частиц [фотонов]  $dN$ , пересекающих заданную поверхность за интервал времени  $dt$ , к площади этой поверхности  $dS$  и величине временного интервала

$$\varphi = \frac{dN}{dS \cdot dt},$$

единица: м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>.

**внешнее излучение источника нейтронов [поток нейтронов];  $N_n$ :** Отношение полного числа нейтронов  $dN$ , испускаемых источником за интервал времени  $dt$ , к величине этого интервала

$$N_n = \frac{dN}{dt},$$

единица: с<sup>-1</sup>.

**экспозиционная доза фотонного излучения;  $X$ :** Отношение суммарного заряда  $dQ$  всех ионов одного знака, созданных в воздухе при условии, когда все электроны и позитроны, освобожденные фотонами в элементарном объеме воздуха с массой  $dm$ , полностью остановились в воздухе, к массе воздуха в этом объеме

$$X = \frac{dQ}{dm},$$

единица: Кл·кг<sup>-1</sup>.

**керма;  $K$ :** Отношение суммы первоначальных кинетических энергий всех заряженных ионизирующих частиц  $dE_{tr}$ , возникающих под действием косвенно ионизирующего излучения в элементарном объеме специального вещества, к массе  $dm$  этого вещества

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm},$$

единица: Дж·кг<sup>-1</sup>.

Специальное название единицы кермы - грей (Гр).

Примечания – 1. В качестве специального вещества применяют: воздух – для фотонного излучения; биологическую ткань – для косвенно ионизирующих излучений, используемых в медицине и биологии; любой подходящий материал – при изучении радиационных эффектов.

2. Для ионизирующего излучения, состоящего из незаряженных частиц, распределенных по энергиям,

$$K = \int \Phi_E \left( \frac{\mu_{tr}}{\rho} \right) dE,$$

где  $\Phi_E$  - распределение флюенса незаряженных частиц по энергиям в диапазоне от  $E$  до  $E+dE$ ;

$\frac{\mu_{tr}}{\rho}$  - массовый коэффициент передачи энергии в материале для незаряженных частиц с энергией

$E$ .

**поглощенная доза;  $D$ :** Отношение средней энергии  $dE$ , переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме, к массе  $dm$  вещества в этом объеме

$$D = \frac{dE}{dm},$$

единица: Дж·кг<sup>-1</sup>.

Специальное название единицы поглощенной дозы - грей (Гр).

## Энергетические характеристики излучения

**энергия излучения;  $R$ :** Энергия частиц, испущенная, переданная или полученная частицами, исключая энергию покоя, единица: Дж.

**энергия передачи;  $\varepsilon_i$ :** Энергия, сообщенная веществу при одном акте взаимодействия  $i$  частицы с веществом, равная разности энергии падающей частицы  $\varepsilon_{\text{вх}}$ , исключая энергию покоя, и суммы энергий всех ионизирующих частиц, покидающих локальную область взаимодействия  $\varepsilon_{\text{вых}}$ , плюс изменение энергий покоя  $Q$  ядер и всех элементарных частиц при любых превращениях, имевших место при данном взаимодействии

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{\text{вх}} - \varepsilon_{\text{вых}} + Q,$$

где  $Q > 0$  при уменьшении энергии покоя,

$Q < 0$  при увеличении энергии покоя,

единица: Дж.

**переданная энергия;  $\varepsilon$ :** Энергия, переданная веществу в данном объеме, равная сумме энергий передач  $\varepsilon_i$  всех актов взаимодействия частиц с веществом в этом объеме

$$\varepsilon = \sum_i \varepsilon_i,$$

единица: Дж.

**средняя переданная энергия;  $\bar{\varepsilon}$ :** энергия, переданная веществу в данном объеме, равная энергии излучения  $R_{\text{вх}}$  всех заряженных и незаряженных ионизирующих частиц, которые входят в данный объем, минус энергия излучения  $R_{\text{вых}}$  всех заряженных и незаряженных частиц, которые покидают данный объем, плюс сумма  $\sum Q$  всех изменений [превращений] энергий, связанных с массой покоя ядер и элементарных частиц, в процессе ядерных превращений, происходящих в данном объеме

$$\bar{\varepsilon} = R_{\text{вх}} - R_{\text{вых}} + \sum Q$$

где  $Q > 0$  при уменьшении энергии покоя,

$Q < 0$  при увеличении энергии покоя;

единица: Дж.

**линейная передача энергии [ЛПЭ];  $L_A$ :** Отношение энергии  $dE$ , локально переданной среде заряженной частицей вследствие столкновения на элементарном пути  $dl$ , к длине этого пути

$$L_A = \left( \frac{dE}{dl} \right)_A,$$

единица: Дж.

Примечание – Выражение «энергия, локально переданная среде» означает, что в акте взаимодействия частицы с веществом передается энергия, не превышающая некоторого определенного значения  $A$ .

**удельная энергия (переданная);  $z$ :** Отношение энергии  $\varepsilon$ , переданной веществу массой  $m$ , к массе этого вещества

$$z = \frac{\varepsilon}{m},$$

единица: Дж·кг<sup>-1</sup>.

**поток энергии;  $R$ :** Отношение изменения энергии излучения  $dR$  за интервал времени  $dt$  к величине этого интервала

$$R = \frac{dR}{dt},$$

единица: Вт.

**флюенс энергии;  $\psi$** : Отношение энергии излучения  $dR$ , падающей на сферу с площадью поперечного сечения  $dS$ , к площади этого сечения

$$\psi = \frac{dR}{dS},$$

единица: Дж·м<sup>-2</sup>.

**плотность потока энергии;  $\dot{\psi}$** : Отношение изменения флюенса энергии  $d\psi$  за интервал времени  $dt$  к величине этого интервала

$$\dot{\psi} = \frac{d\psi}{dt} = \frac{d^2R}{dS \cdot dt},$$

единица: Вт·м<sup>-2</sup>.

**линейный коэффициент передачи энергии;  $\mu_{tr}$** : Отношение доли падающей энергии  $\frac{dR_{tr}}{R}$  косвенно ионизирующего излучения, которая преобразуется в кинетическую энергию заряженных частиц при прохождении элементарного пути  $dl$  в веществе, к длине этого пути

$$\mu_{tr} = \frac{1}{dl} \frac{dR_{tr}}{R},$$

единица: м<sup>-1</sup>.

**массовый коэффициент передачи энергии;  $\mu_{tr,m}$** : Отношение линейного коэффициента передачи энергии  $\mu_{tr}$  к плотности вещества  $\rho$ , через которое проходит косвенно ионизирующее излучение

$$\mu_{tr,m} = \frac{\mu_{tr}}{\rho} \frac{dR_{tr}}{R},$$

единица: м<sup>2</sup>·кг<sup>-1</sup>.

**линейный коэффициент поглощения энергии;  $\mu_{en}$** : Произведение линейного коэффициента передачи энергии  $\mu_{tr}$  на разность между единицей и долей  $g$  энергии вторичных заряженных частиц, которая расходуется на тормозное излучение в этом веществе

$$\mu_{en} = (1-g)\mu_{tr}$$

единица: м<sup>-1</sup>.

**массовый коэффициент поглощения энергии;  $\mu_{en,m}$** : Отношение линейного коэффициента поглощения энергии  $\mu_{en}$  к плотности вещества  $\rho$ , в котором произошла передача энергии

$$\mu_{en,m} = \frac{\mu_{en}}{\rho},$$

единица: м<sup>2</sup>·кг<sup>-1</sup>.

**энергетический спектр ионизирующего излучения;  $N_E$** : Распределение по энергиям с  $dE$  числа частиц [фотонов]  $dN$  с энергией  $E$  между  $E$  и  $E + dE$

$$N_E = \frac{dN}{dE},$$

единица: Дж<sup>-1</sup>.

**средняя энергия бета-частиц:** Средняя энергия бета-частицы на один акт распада данного нуклида, определяемая по энергетическому спектру бета-частиц.

**граничная энергия бета-излучения:** Наибольшая энергия бета частиц в непрерывном спектре бета-излучения данного радионуклида.

**эффективная энергия фотонного излучения:** Энергия фотонов моноэнергетического фотонного излучения, относительное ослабление которого в поглотителе определенного состава и определенной толщины соответствует энергии фотонов рассматриваемого немонаэнергетического фотонного излучения.

**слой половинного ослабления:** Толщина слоя среды, ослабляющего направленное излучение в два раза.

**коэффициент гомогенности:** Коэффициент, равный отношению первого слоя половинного ослабления ко второму слою половинного ослабления.

### Эквидозиметрия

**средняя поглощенная доза в органе или ткани;  $D_{T,R}$ :** Отношение поглощенной дозы  $D$  в элементе массы  $dm$  определенного органа или ткани человека к массе  $m_T$  этого органа или ткани

$$D_{T,R} = \frac{\int D dm}{m_T},$$

единица: Дж·кг<sup>-1</sup>.

Специальное название единицы средней поглощенной дозы в органе или ткани - грей (Гр).

**эквивалентная доза в органе или ткани ;  $H_{T,R}$ :** Средняя поглощенная доза в органе или ткани  $D_{T,R}$ , умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент  $W_R$  для данного вида излучения

$$H_{T,R} = W_R D_{T,R},$$

единица: Дж·кг<sup>-1</sup>.

Специальное название единицы эквивалентной дозы в органе или ткани - зиверт (Зв).

Примечание – При взаимодействии с органом или тканью различных видов излучения, отличающихся взвешивающими коэффициентами, эквивалентная доза определяется как сумма эквивалентных доз для этих видов излучения

$$H_T = \sum_R H_{T,R},$$

**эквивалентная доза, ожидаемая при внутреннем облучении;  $H_T(\tau)$ :** Эквивалентная доза за время  $\tau$ , прошедшее после времени  $t_0$  поступления радиоактивных веществ в организм

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \dot{H}_T(t) dt,$$

где  $H_T(t)$  - мощность эквивалентной дозы к моменту времени  $t$  в органе или ткани;

единица: Дж·кг<sup>-1</sup>.

Специальное название эквивалентной дозы, ожидаемой при внутреннем облучении, – зиверт (Зв).

**эквивалент дозы;  $H$ :** Произведение поглощенной дозы  $D$  в точке ткани на средний коэффициент качества излучения  $Q$ , действующего на биологическую ткань в данной точке

$$H = \bar{Q}D,$$

единица: Дж·кг<sup>-1</sup>.

Специальное название эквивалента дозы - зиверт (Зв).

**мощность эквивалента дозы;  $H$ :** Отношение приращения эквивалента дозы  $dH$  за интервал времени  $dt$  к величине этого интервала

$$H = \frac{dH}{dt},$$

единица: Зв·с<sup>-1</sup>.

**амбиентный эквивалент дозы [доза амбиентная];  $H^*(d)$ :** Эквивалент дозы, который был бы создан в шаре диаметром 30 см из тканеэквивалентного материала плотностью 1 г/см<sup>3</sup> на глубине 10 мм от поверхности по радиусу, параллельному направлению излучения, но противоположно ему направленному, в поле излучения, идентичном рассматриваемому по составу, флюенсу и энергетическому распределению, но мононаправленному и однородному;

единица: Дж·кг<sup>-1</sup>.

Специальное название амбиентного эквивалента дозы - зиверт (Зв).

**мощность амбиентного эквивалента дозы [мощность амбиентной дозы];  $H^*(d)$ :** Отношение приращения амбиентного эквивалента дозы  $dH^*(d)$  за интервал времени  $dt$  к величине этого интервала

$$H^*(d) = \frac{dH^*(d)}{dt},$$

единица: Зв·с<sup>-1</sup>.

**направленный эквивалент дозы [направленная доза];  $H'(d, \Omega)$ :** Эквивалент дозы, который был бы создан в шаре диаметром 30 см из тканеэквивалентного материала плотностью 1 г/см<sup>3</sup> на глубине  $d$ , мм, от поверхности по радиусу, ориентированному в выбранном направлении  $\Omega$ , в поле излучения, идентичном рассматриваемому по составу, флюенсу и энергетическому распределению, но однородному;

единица: Дж·кг<sup>-1</sup>.

Специальное название направленного эквивалента дозы - зиверт (Зв).

**индивидуальный эквивалент дозы [индивидуальная доза];  $H_p(d)$ :** Эквивалент дозы в мягкой биологической ткани, определяемый на глубине  $d$ , мм, под рассматриваемой точкой на теле;

единица: Дж·кг<sup>-1</sup>.

Специальное название индивидуального эквивалента дозы – зиверт (Зв).

### Источники ионизирующего излучения

**радионуклидный источник:** Радиоактивное вещество в определенном конструктивном оформлении – на подложке, в капсуле, ампуле, кювете.

**радионуклидный радиометрический источник:** Радионуклидный источник, предназначенный для использования в качестве меры активности, потока или плотности

потока частиц или фотонов.

**радионуклидный закрытый источник:** Радионуклидный источник, конструкция которого гарантирует отсутствие загрязнения окружающей среды и оборудования при использовании его в предусмотренных условиях эксплуатации.

**радионуклидный открытый источник:** Радионуклидный источник, конструкция которого не исключает возможности загрязнения оборудования и окружающей среды.

**радионуклидный точечный источник:** Радионуклидный источник, линейными размерами активной части которого можно пренебрегать по сравнению с расстоянием до устройства, с помощью которого проводят измерения.

**радионуклидный эталонный источник:** Радионуклидный источник унифицированной конструкции, являющийся мерой одной или нескольких физических величин, предназначенный для передачи размера единиц однотипным источникам или для градуировки и поверки приборов.

**эталонный раствор радионуклидов:** Раствор радионуклида, применяемый как мера удельной активности радионуклида, унифицированная по номиналу, химическому составу, кислотности для обеспечения хранения и передачи размера единицы удельной активности.

**радиометрический эталонный источник альфа-излучения:** Закрытый радиометрический источник, унифицированной конструкции на металлической подложке стойким герметизирующим покрытием, являющийся мерой внешнего альфа-излучения, а в отдельных случаях мерой активности радионуклидов, предназначенный для поверки средств измерений.

**радиометрический эталонный источник бета-излучения:** Закрытый радиометрический источник унифицированной конструкции на металлической подложке стойким герметизирующим покрытием, являющийся мерой внешнего бета-излучения, а в отдельных случаях, мерой активности радионуклидов, предназначенный для поверки средств измерений.

**радионуклидный эталонный источник специального назначения:** Закрытый радионуклидный источник узкого целевого назначения, отличающийся от унифицированных источников, предназначенный для градуировки средств измерений при испытаниях.

**спектрометрический эталонный источник гамма-излучения:** Закрытый радионуклидный точечный источник унифицированной конструкции, предназначенный для использования в качестве меры активности радионуклидов, а с использованием табличных данных схем распада нуклида - в качестве меры потока фотонов определенной энергии.

**объемный источник [проба, образец]:** Непереработанная проба промышленной или окружающей среды или источник, имитирующий пробу среды.

**радионуклидный дозиметрический источник фотонного излучения:** Закрытый радионуклидный источник, предназначенный для использования в качестве меры мощности кермы в воздухе (мощности экспозиционной дозы) рентгеновского и/или гамма-излучения в установленной геометрии измерения.

**радионуклидный дозиметрический источник бета-излучения:** Закрытый радионуклидный источник, предназначенный для использования в качестве меры мощности поглощенной дозы бета-излучения в установленной геометрии.

**устройство [источник], генерирующее ионизирующее излучение:** Электрофизическое устройство, в котором ионизирующее излучение возникает за счет изменения скорости заряженных частиц, их аннигиляции или ядерных реакций.

**радионуклидный источник нейтронов спонтанного деления:** Радионуклидный источник нейтронов, в котором нейтроны образуются в результате актов спонтанного деления ядер радиоактивного препарата.

**фотонейтронный радионуклидный источник нейтронов:** Радионуклидный

источник нейтронов, в котором нейтроны образуются в результате ядерных реакций взаимодействия гамма-излучения радиоактивного препарата с нерадиоактивным материалом мишени.

**радионуклидный источник нейтронов [a-n]:** Радионуклидный источник нейтронов, в котором нейтроны образуются в результате ядерных реакций взаимодействия альфа-излучения радиоактивного препарата с нерадиоактивным материалом мишени.

## Методы измерений ионизирующих излучений

**метод счета ионизирующих частиц:** Метод, основанный на измерении числа отдельных актов взаимодействия ионизирующих частиц с веществом чувствительного объема детектора.

**метод  $4\pi\alpha$ -счета:** Метод измерения активности альфа-излучающих нуклидов в источнике, при котором источник альфа-излучения на тонкой электропроводящей пленке-подложке помещают внутрь чувствительного объема пропорционального газоразрядного  $4\pi$ -счетчика.

**метод  $\alpha$ -счета в определенном телесном угле:** Метод измерения активности источников альфа-излучающих нуклидов, осуществляемый в вакууме с помощью альфа-счетчика, регистрирующего частицы, испускаемые источником внутри телесного угла, заданного диафрагмой и расстоянием от входного окна счетчика до источника.

**метод  $4\pi\beta$ -счета:** Метод измерения активности бета-излучающих нуклидов в источнике, при котором источник бета-излучения на тонкой электропроводящей пленке-подложке помещают внутрь чувствительного объема пропорционального газоразрядного  $4\pi$ -счетчика.

**метод  $2\pi$ -счета в большом пропорциональном счетчике:** Метод измерения внешнего излучения (потока частиц) альфа- или бета-источников с помощью пропорционального газоразрядного  $2\pi$ -счетчика с большой чувствительной поверхностью, при котором источник устанавливают вместо окна счетчика.

**метод совпадений:** Метод измерения активности радионуклида в источнике, применяемый для радионуклидов, испускающих при распаде одновременно два вида частиц или фотонов, и основанный на счете импульсов от двух детекторов в каждом канале раздельно и импульсов, совпадающих по времени.

**метод  $4\pi\beta\text{-}\gamma$  совпадений:** Метод совпадений, используемый для измерений активности бета-гамма излучающих нуклидов в источниках, при котором для регистрации бета-частиц применяют пропорциональный газоразрядный или сцинтилляционный  $4\pi$ -счетчик.

**метод  $4\pi(2\pi)$   $\alpha\text{-}\gamma$  совпадений:** Метод совпадений, используемый для измерений активности альфа-гамма излучающих нуклидов в источниках, при котором для регистрации альфа-частиц применяется пропорциональный газоразрядный или сцинтилляционный  $4\pi$ -счетчик (или  $2\pi$ -счетчик).

**индикаторно-экстраполяционный метод:** Метод измерения активности электронно-захватных или «чистых» бета-излучающих радионуклидов в растворах, заключающийся во введении в растворы радионуклида - метки в виде аликвоты эталонного раствора бета-гамма-излучающего нуклида и последующем применении метода  $4\pi\beta\text{-}\gamma$  совпадений с экстраполяцией результатов к эффективности бета-счетчика, равной 1.

**метод  $4\pi\gamma$ -счета:** Метод измерения активности гамма-излучающих радионуклидов в источниках, заключающийся в помещении источника в колодец сцинтилляционного детектора больших размеров для обеспечения высокой эффективности регистрации излучения.

**сцинтилляционный метод:** Метод измерений, основанный на регистрации

световых вспышек - сцинтилляций, возникающих в сцинтилляционном детекторе под воздействием ионизирующего излучения.

**метод жидкого сцинтилляционного счетчика:** Метод измерения удельной активности растворов альфа- и бета-излучающих нуклидов, заключающийся во введении аликвоты раствора в жидкий сцинтиллятор и последующем измерении скорости счета импульсов сцинтилляционного счетчика с экстраполяцией результатов к эффективности счетчика, равной 1.

**метод внутреннего газового заполнения:** Метод измерения активности или удельной активности газообразного радионуклидного образца путем его введения в рабочий газ газоразрядного пропорционального счетчика или системы счетчиков разной длины и последующего счета импульсов регистрации частиц.

**ионизационный метод:** Метод, основанный на измерении ионизационного эффекта, возникающего в веществе чувствительного объема ионизационного детектора под воздействием ионизирующего излучения.

**метод градуированной ионизационной камеры:** Метод измерения активности радионуклидов в унифицированных образцах (ампулах) с помощью ионизационной камеры, отградуированной для этих нуклидов.

**спектрометрический метод:** Метод, основанный на измерении распределения измеряемой характеристики ионизирующего излучения, обычно энергии частиц или фотонов, по заданному параметру.

**метод градуированного  $\gamma$ -спектрометра:** Метод измерения активности радионуклидов в источнике (образце, пробе) с помощью  $\gamma$ -спектрометра, градуированного в единицах активности радионуклидов.

**калориметрический метод:** Метод измерения активности нуклида в образце, ампуле, основанный на измерении в калориметре тепловой энергии полного поглощения частиц и фотонов с использованием табличного значения средней энергии на распад для измеряемого радионуклида.

**термолюминесцентный метод:** Метод измерения, основанный на измерении люминесценции при термостимулированном высвобождении энергии, возникающей в люминофоре под воздействием ионизирующего излучения.

**фотографический метод:** Метод, основанный на измерении изменения оптической плотности светочувствительного материала под воздействием ионизирующего излучения.

**химический метод:** Метод, основанный на измерении концентрации продуктов радиационно-химических реакций в химическом детекторе под воздействием ионизирующего облучения.

**фотолюминесцентный метод:** Метод, основанный на измерении люминесценции детектора при фотостимулированном освобождении энергии, возникающей в люминофоре под воздействием ионизирующего излучения.

**метод ядерных реакций:** Метод, основанный на измерении активности радионуклидов или числа и/или энергии ионизирующих частиц, образующихся в результате ядерной реакции между ионизирующим излучением и веществом чувствительного объема детектора.

**метод активации:** Метод измерения плотности потока нейтронов, основанный на измерении активности радионуклида, образовавшегося в результате взаимодействия нейтронов с материалом детектора.

**метод осколков деления:** Метод измерения плотности потока нейтронов, основанный на измерении числа осколков деления, образующихся под воздействием нейтронов в ионизационной камере с известным количеством делящегося материала.

**метод регистрации сопутствующих частиц:** Метод измерения потока нейтронов, основанный на измерении числа заряженных частиц, образующихся в ядерных реакциях одновременно с нейтронами.

**метод протонов отдачи:** Метод измерения плотности потока нейтронов,

основанный на измерении числа протонов, образовавшихся в результате упругого рассеяния нейтронов на ядрах материала водородосодержащего детектора.

**метод интегрирования пространственного распределения плотности потока нейтронов:** Метод измерения потока нейтронов радионуклидных источников, основанный на измерении и последующем интегрировании пространственного распределения плотности потока нейтронов.

**метод замедлителя:** Метод измерения потока нейтронов, основанный на регистрации тепловых нейтронов, образовавшихся в результате термализации быстрых нейтронов, испущенных из источника, помещенного в протяженный замедлитель.

### **Средства измерений ионизирующих излучений**

**радиометр:** Прибор, предназначенный для измерения радиометрических физических величин – плотности потока частиц или фотонов, объемной, удельной активности радионуклидов в аэрозолях, газах, жидкостях.

**спектрометр:** Прибор, предназначенный для измерения энергии частиц или фотонов, испускаемых радиоактивными веществами.

**измеритель дозы:** Прибор, предназначенный для измерения дозы: экспозиционной, поглощенной в воздухе, воде, ткани; эквивалентной, амбиентной, направленной, индивидуальной, кермы в воздухе.

**измеритель мощности дозы:** Прибор, предназначенный для измерения мощности дозы.

**дозиметр:** Прибор, объединяющий функции измерителя дозы и мощности дозы.

**дозиметр индивидуальный:** Измеритель дозы или дозиметр, носимый на туловище или на конечности тела человека, предназначенный для измерения индивидуального эквивалента дозы  $H_p(10)$ ,  $H_p(3)$ ,  $H_p(0,07)$ , получаемой человеком.

**монитор ионизирующего излучения:** Средство измерений, предназначенное для контроля изменения радиационных параметров окружающей среды и техногенных источников излучений.

**индикатор ионизирующего излучения:** Устройство, не являющееся средством измерения, отображающее изменение какого-либо радиационного параметра контролируемого технического процесса или объекта посредством светового или звукового сигнала или аналоговой индикации в форме, удобной для непосредственного восприятия человеком.