

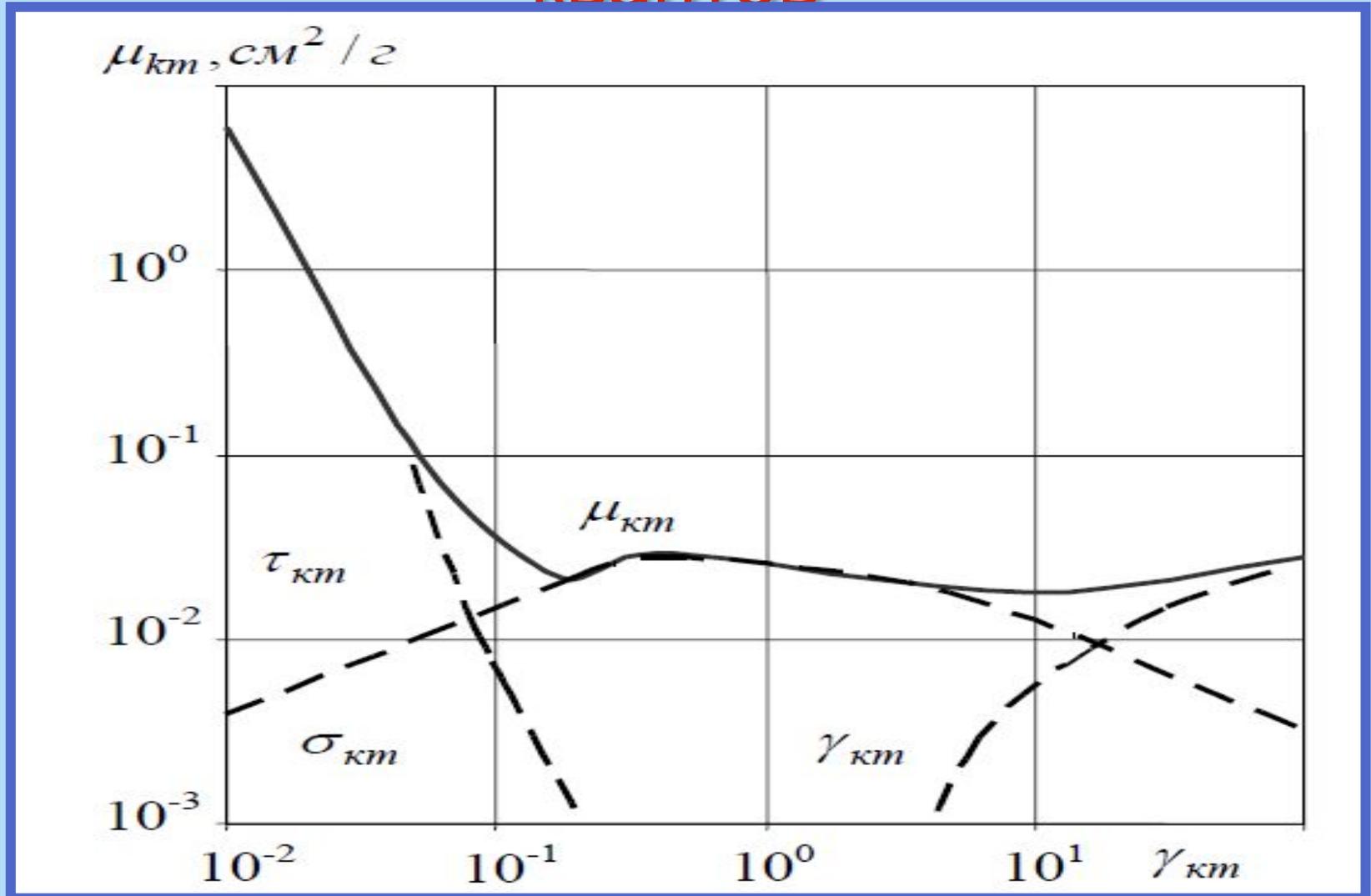
ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ И ЗАЩИТ

Закон ослабления нерассеянного γ -излучения

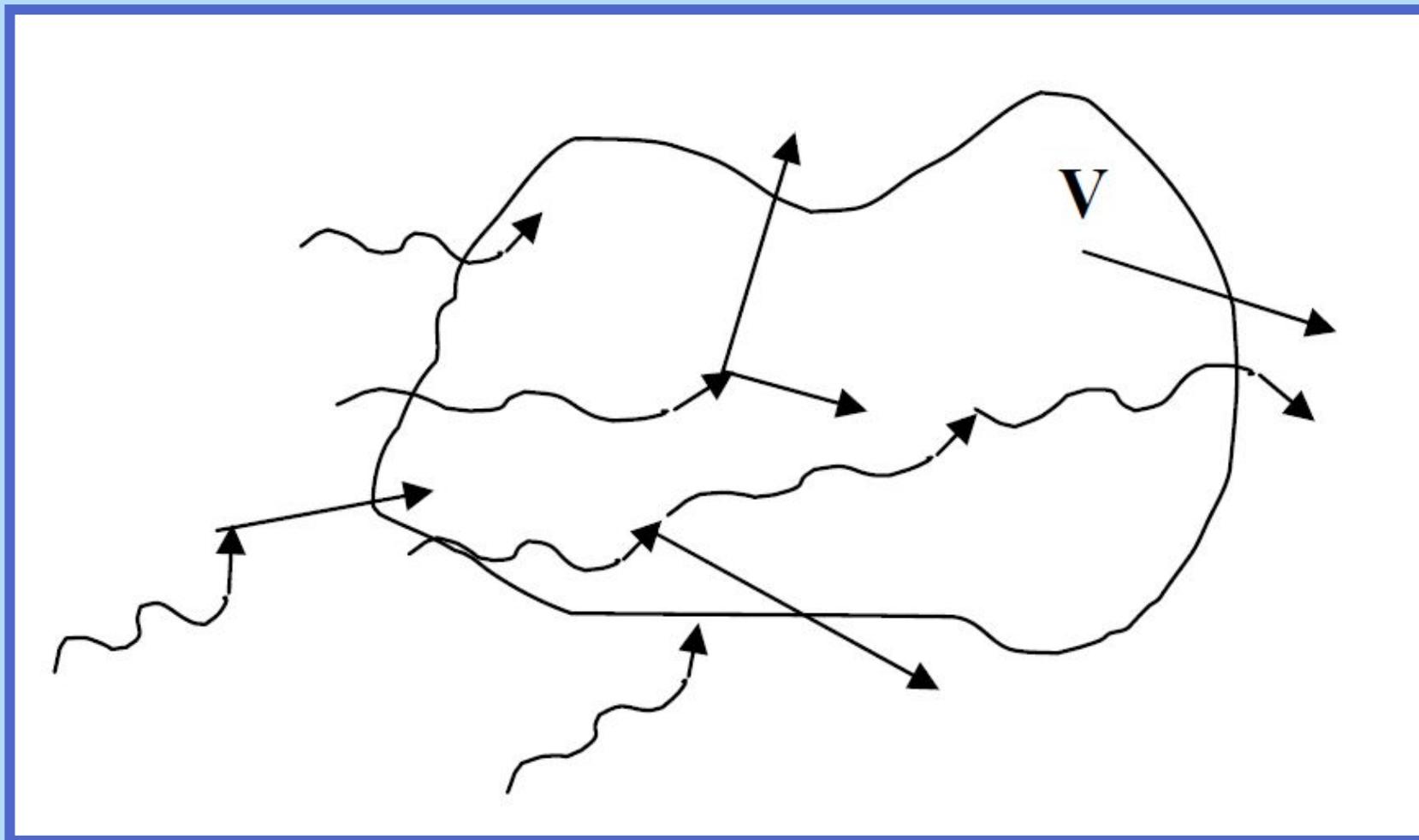
$$\Phi(x) = \Phi(0) \times \exp(-\mu x)$$

где $\Phi(0)$ — плотность потока частиц, летящих перпендикулярно к поверхности плоского слоя вещества толщиной x , $\Phi(x)$ — плотность потока частиц не испытавших взаимодействия после прохождения слоя вещества толщиной x

Зависимость коэффициента передачи энергии в воздухе от энергии гамма-квантов



Преобразование энергии гамма-квантов в энергию электронов



Формулы при нахождении мощности кермы и поглощенной дозы

- $$\dot{K} = \int_0^{E_{max}} I(E_\gamma) \mu_{km}(E_\gamma) dE_\gamma \quad (10)$$

$$P = \int_0^{E_m} I(E_\gamma) \mu_{em}(E_\gamma) dE_\gamma \quad (11)$$

где $\mu_{km}(E_\gamma)$ и $\mu_{em}(E_\gamma)$ — массовые коэффициенты передачи и поглощения, соответственно, для фотонов энергии E_γ

Объект, содержащий радиоактивный материал, или техническое устройство, испускающее или способное в определенных условиях испускать и.и., называется *источником ионизирующего излучения.*

Ядерно-технические установки обычно представляют собой сложные источники излучений. Например, у действующего реактора источником излучения является не только активная зона, но и система охлаждения, оборудование, конструкционные материалы и т. п.

Поле излучения реальных сложных источников представляют как суперпозицию полей излучения отдельных более простых источников.

ЛЮБОЙ ИСТОЧНИК ИЗЛУЧЕНИЯ ХАРАКТЕРИЗУЕТСЯ:

1. Видом излучения,
2. Геометрией источника (размером и формой),
3. Мощностью и ее распределением для протяженных источников,
4. Энергетическим спектром,
5. Угловым распределением излучения.

Радионуклиды как гамма-излучатели

Интенсивность (плотность энергии) фотонов I , МэВ/(см² · с) в точке детектирования

$$I(r) = \frac{Q \cdot 10^{-4}}{4\pi r^2} \sum_{i=1}^N (E_{oi} \cdot n_{ji}) \quad (12)$$

Поглощенная доза с учетом (11)

$$P = \frac{Q \cdot \sum_{i=1}^N [E_{oi} \cdot n_{ji} \cdot \mu_{em}^i(E_{oi})] \cdot 1,602 \cdot 10^{-13}}{4\pi r^2 \cdot 10^4 \cdot W} \quad (13)$$

где Q — активность источника, Бк; $\mu_{em}^i E$ — массовый коэффициент поглощения энергии фотонов в среде (например, в воздухе); W — энергетический эквивалент дозиметрической величины; $1,602 \cdot 10^{-13}$ — коэффициент перевода 1 МэВ в джоули

ЗАЩИТА ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Классификация защит

ПО
НАЗНАЧЕНИЮ:

биологическ

ая

радиационн

ая

теплов

ая

допустимый
уровень
облучения
обслуживающего
установку
персонала

допустимый уровень
радиационных
повреждений
конструкционных и
защитных
материалов

допустимый уровень
радиационного
энерговыведения и
температурного
распределения в
конструкционных и
защитных
материалах

ТИПЫ

защит:

Сплошная

защита

Раздельная

защита

Теневая

защита

целиком окружает источник излучения, может ослаблять излучение одинаково во всех направлениях или быть ослабленной для областей, где допустимый уровень может быть увеличен, например, для областей ограниченного доступа персонала.

когда наиболее мощные источники и.и. окружает первичная защита, а между первичной и вторичной защитами имеются также источники излучения, например, система теплоносителя (контур многократной принудительной циркуляции (КМГЦ))

устанавливается между источником излучения и защищаемой областью, размеры которой ограничиваются "тенью", "отбрасываемой" защитой. Особенно часто такая защита используется при ограничениях ее массы и габаритов.

ПО

КОМПОНОВКЕ

гомогенная
(однородная)

гетерогенная
(состоящая из слоев различных материалов)

ПО ФОРМЕ

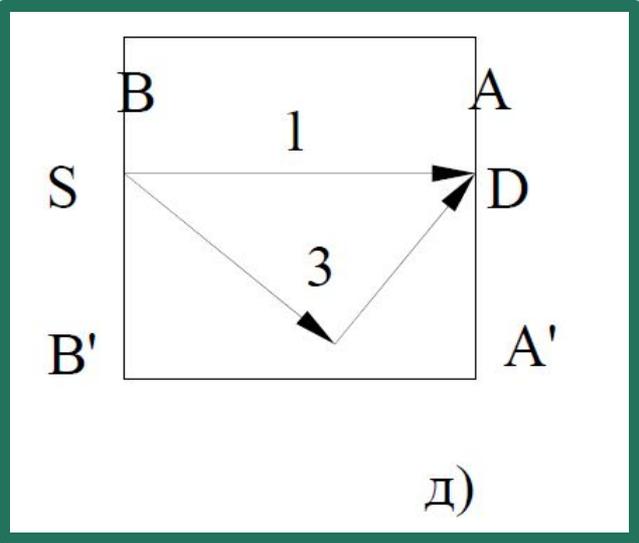
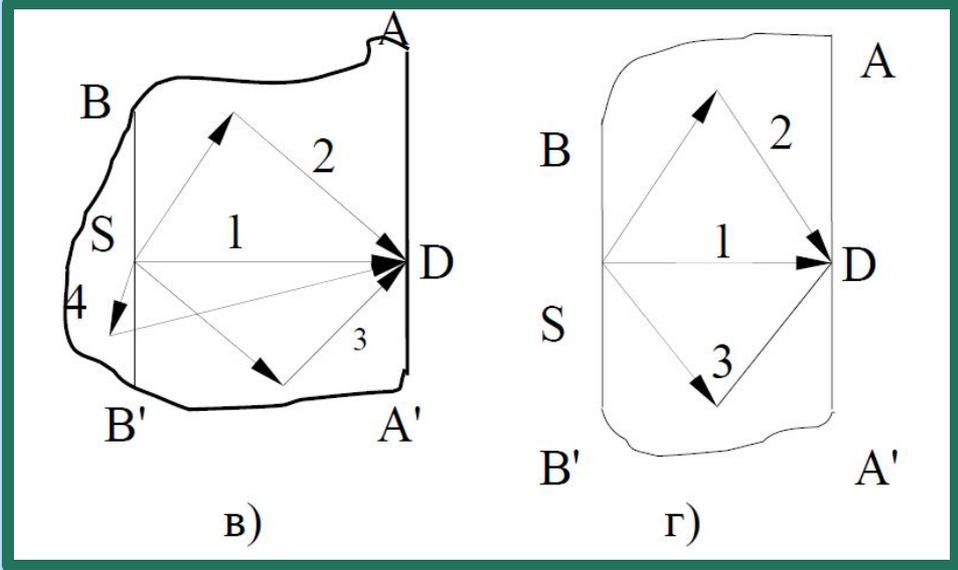
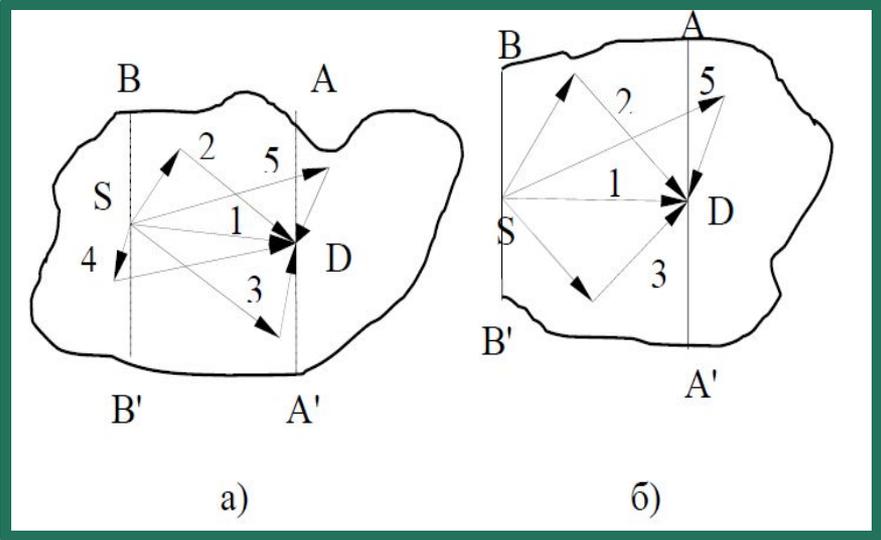
ПОВЕРХНОСТИ

плоская

цилиндрическая

сферическая

ГЕОМЕТРИЯ ЗАЩИТ



1,2,3,4,5 – типичные траектории частиц в среде

ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЗАЩИТЫ ОТ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

«ЗАЩИТА» БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКРАНОВ

Точечный изотропный источник фотонного излучения в непоглощающей среде:

$$\dot{H} = \frac{a \cdot Q \cdot \Gamma^*}{r^2}; H = \frac{a \cdot Q \cdot \Gamma^* \cdot t}{r^2}, \quad (14)$$

где Q — активность, Бк; r — расстояние, м; t — время работы в поле излучения источника, с; $a = 1,09$ Зв/Гр — переходный коэффициент от мощности кермы в воздухе к мощности эквивалентной дозы; Γ^* — в Гр м²/с Бк

«защита временем – количеством – расстоянием»

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ТАБЛИЦЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ЗАЩИТЫ

Для определения необходимой толщины защиты находят кратность ослабления K — отношение мощности дозы без защитного экрана к мощности дозы в том же месте с экраном

$$K = \frac{\dot{H}_0}{\dot{H}_d}$$

Универсальные таблицы расчета защиты из свинца в зависимости от кратности ослабления К

К	d, см, при энергии фотонов, МэВ								
	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,25	1,75	2,2
1,5	0,05	0,1	0,2	0,3	0,6	0,8	0,95	1,2	1,2
2	0,1	0,2	0,4	0,7	1,0	1,3	1,5	1,85	2,0
5	0,2	0,4	0,9	1,5	2,2	2,8	3,4	4,1	4,4
8	0,2	0,5	1,1	1,95	2,8	3,5	4,2	5,25	5,7
10	0,3	0,55	1,3	2,1	3,05	3,8	4,5	5,6	6,1
20	0,3	0,6	1,5	2,6	3,85	4,9	5,8	7,2	7,8
50	0,4	0,85	1,95	3,25	4,86	6,0	7,2	9,0	10,0
80	0,45	1,0	2,15	3,7	5,3	6,7	8,0	10,1	11,1
100	0,5	1,0	2,3	3,85	5,5	7,0	8,45	10,6	11,7
$2 \cdot 10^2$	0,6	1,25	2,9	4,4	6,3	8,0	9,65	12,2	13,4

Задачи, решаемые с помощью универсальных таблиц:

- определение необходимой толщины защиты (или её избыток к уже существующей);
- кратность ослабления по заданной толщине защиты;
- Линейные или массовые эквиваленты отдельных защитных материалов;
- Слои половинного или десятикратного ослабления излучения.

С хорошим приближением метод можно применять для оценки протяженных источников

РАСЧЕТ ЗАЩИТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЛОЕВ ПОЛОВИННОГО ОСЛАБЛЕНИЯ

Толщину защитного экрана, снижающую уровни излучения в 2 раза, называют **слоем половинного ослабления** $\Delta_{1/2}$

При расчете защиты для достижения кратности ослабления K в широком пучке (с учетом рассеянного излучения):

$$K=2^n$$

где n – требуемое число слоёв половинного ослабления.
Тогда

$$d= n \cdot \Delta_{1/2}$$

если известна $\Delta_{1/2}$ материала защиты для условий поставленной задачи

МЕТОД КОНКУРИРУЮЩИХ ЛИНИЙ

Для немонотонического излучателя с дискретным набором из разных энергий E_1, E_2, \dots, E_m :

$$\text{если } (d_{\text{гл}} - d_{\text{к}}) = 0, \quad \text{то } d = d_{\text{гл}} +$$

$$\Delta_{1/2} \\ \text{если } 0 < (d_{\text{гл}} - d_{\text{к}}) < \Delta_{1/2}, \quad \text{то } d = d_{\text{гл}} + \Delta_{1/2}$$

$$\text{если } (d_{\text{гл}} - d_{\text{к}}) > \Delta_{1/2}, \quad \text{то } d = d_{\text{гл}}$$

Широко используется при проектировании защиты от гамма-излучения смеси продуктов деления

Классификация нейтронов

Условное наименование	Энергетический диапазон нейтронов
Медленные:	$E_n < 1 \text{ кэВ}$
ультрахолодные	$E_n < 10^{-7} \text{ кэВ}$
холодные	$10^{-7} \text{ эВ} < E_n < 5 \cdot 10^{-3} \text{ эВ}$
тепловые	$5 \cdot 10^{-3} \text{ эВ} < E_n < 0,2 \text{ эВ}$
надтепловые	$0,2 \text{ эВ} < E_n < 1 \text{ кэВ}$
Промежуточные	$1 \text{ кэВ} < E_n < 0,2 \text{ МэВ}$
Быстрые	$0,2 \text{ МэВ} < E_n < 20 \text{ МэВ}$
Сверхбыстрые	$E_n > 20 \text{ МэВ}$

Взаимодействие нейтронного излучения с веществом

Нейтроны не имеют электрического заряда и поэтому не взаимодействуют с электрическим полем атома. Нейтрон без затруднений достигает ядра атома и в зависимости от энергии может вступать в различные ядерные реакции.

ТИПЫ ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НЕЙТРОНОВ

```
graph TD; A[ТИПЫ ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НЕЙТРОНОВ] --> B[Упругое рассеяние на ядрах]; A --> C[Неупругое рассеяние на ядрах]; A --> D[Поглощение (радиационный захват)];
```

Упругое рассеяние на ядрах

Неупругое рассеяние на ядрах

Поглощение (радиационный захват)

Вероятность того или иного процесса определяется энергией нейтронов, атомным весом элементов и сечениями взаимодействия: быстрые нейтроны в основном испытывают упругие и неупругие рассеяния, а тепловые и медленные нейтроны в основном захватываются ядрами атомов.

ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ НЕЙТРОНОВ

При проектировании защиты от нейтронного излучения необходимо учитывать следующее:

- при упругом рассеянии средняя потеря энергии нейтронов максимальна на легких ядрах (например на водороде, углероде) и минимальна на тяжелых;
- при неупругом рассеянии вероятность потери энергии нейтроном возрастает с увеличением заряда ядра и энергии нейтрона;
- быстрые нейтроны должны быть предварительно замедлены, так как процесс поглощения эффективен только для тепловых, медленных и резонансных нейтронов;
- поглощение тепловых и медленных нейтронов обеспечивается подбором наиболее эффективных поглотителей (кадмий, бор);
- после захвата тепловых нейтронов почти всегда возникает вторичное гамма -излучение, которое необходимо ослабить.

СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ ЗАЩИТЫ ПО ОТНОШЕНИЮ К НЕЙТРОННОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ

По характеру распределения нейтронов в средах все материалы защиты делятся на:

1. **легкие водородсодержащие** (вода, полиэтилен);
2. **легкие, не содержащие водорода** (углерод, карбид бора), используются при технических или технологических ограничениях на введение в защиту водородсодержащих сред;
3. **материалы, состоящие из элементов со средним атомным номером** (бетон, минералы);
4. **тяжелые материалы** (железо, свинец, молибден, вольфрам, титан) для снижения потоков гамма-квантов и уменьшения числа быстрых нейтронов;
5. **металловодородсодержащие среды**

МЕТОД ДЛИН РЕЛАКСАЦИИ

$$\varphi(x) = \varphi_0 \cdot \exp(-x / L), \quad (1)$$

где φ_0 — характеристика поля (плотность потока или дозы) нейтронов в точке детектирования без защиты; L — длина релаксации нейтронов в

Используется для определения мощности дозы быстрых нейтронов за защитой и для пространственного распределения источников замедляющихся нейтронов в многогрупповых расчетах

$$\varphi(x) = \varphi_0 \cdot \exp\left(-\sum_{i=1}^m \frac{\Delta x_i}{L_i}\right), \quad (2)$$

Δx_i — толщина i -того участка, L_i — его длина релаксации, m — число участков, на которые защита разбита по толщине

Для защит, представляющих смесь легких и тяжелых ядер :

$$\frac{1}{L} = \frac{C_L}{L_L} + \frac{C_T}{L_T},$$

где L_L и L_T - длины релаксации легкого и тяжелого компонентов соответственно; C_L и C_T - относительные объемные концентрации легкого и тяжелого компонентов соответственно ($C_L + C_T = 1$)

СЕЧЕНИЯ ВЫВЕДЕНИЯ

СЕЧЕНИЯ ВЫВЕДЕНИЯ ДЛЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ СРЕД

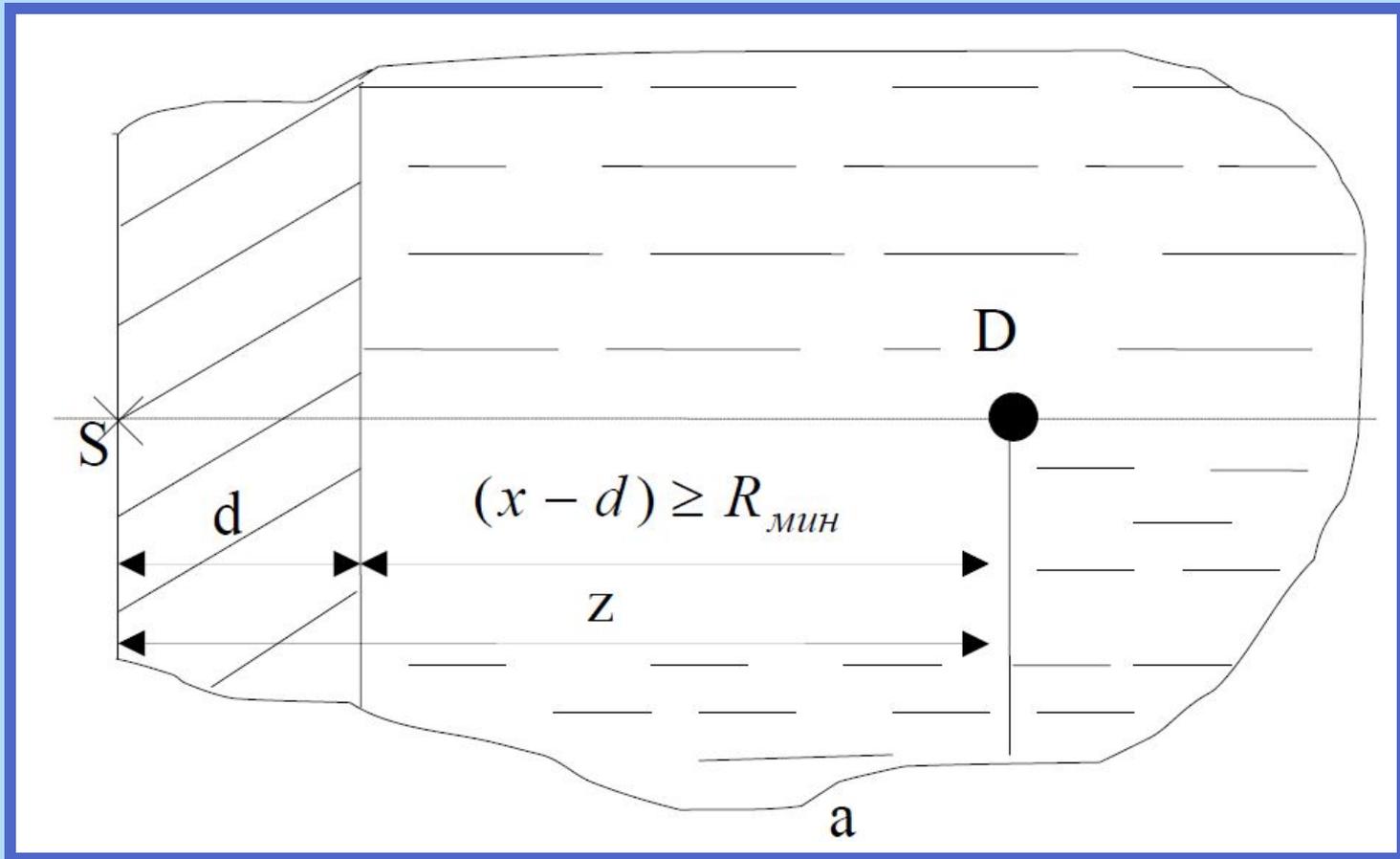


Рис. 1 Геометрия эксперимента по определению сечения выведения

МОЩНОСТЬ ДОЗЫ БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ НА РАССТОЯНИИ x ОТ ИСТОЧНИКА

$$\dot{D}(x, d) = \dot{D}_H(x - d) \cdot \exp(-\Sigma_{gem} \cdot d),$$

$\dot{D}_H(x - d)$ - мощность дозы быстрых нейтронов в водородсодержащем материале толщиной $x - d$;

Σ_{gem} - сечение выведения, см^{-1} ;

d - толщина защиты, см

СЕЧЕНИЯ ВЫВЕДЕНИЯ ДЛЯ НЕЙТРОНОВ СПЕКТРА ДЕЛЕНИЯ,

10^{-24} см^2

Элемент		Элемент	
Li	$1,01 \pm 0,05$	Fe	$1,98 \pm 0,08$
Be	$1,07 \pm 0,06$	Ni	$1,89 \pm 0,1$
B	$0,97 \pm 1,10$	Cu	$2,04 \pm 0,11$
C	$0,81 \pm 0,05$	Zr	$2,36 \pm 0,12$
O	$0,99 \pm 0,10$	Bi	$3,49 \pm 0,35$
F	$1,29 \pm 0,06$	Pb	$3,53 \pm 0,30$
Al	$1,31 \pm 0,05$	U	$3,16 \pm 0,40$
Cl	$1,2 \pm 0,80$	—	—