

радиационная защита (2017 Ver.)

NuHRDeC / JAEA

**Нобуо SASAMOTO
(Sasamoto_nobuo@yahoo.co.jp)**

Основы дизайна щита

◆ Цели радиационной защиты

- Предотвращать люди от воздействия вредных излучений
- Предотвращать конструкционные материалы и механизмы от радиационного повреждения и нагрева

◆ Три основы для внешнего снижения воздействия

- **Расстояние**: Для того, чтобы сохранить достаточное расстояния между источником излучения и рабочим местом.
- **Время**: Для того, чтобы сократить лучевую рабочее время. Для этой цели, холодный запуск заранее рекомендуется.
- **экранирование**: Для установки экранирующих материалов между источником излучения и рабочим местом.

□ Значение имеет порядок экранирование, расстояние а также время,

◆ Целевые излучения для экранирования в инженерной области ядерной

- Нейтроны и фотоны (рентгеновские лучи и γ -лучей)

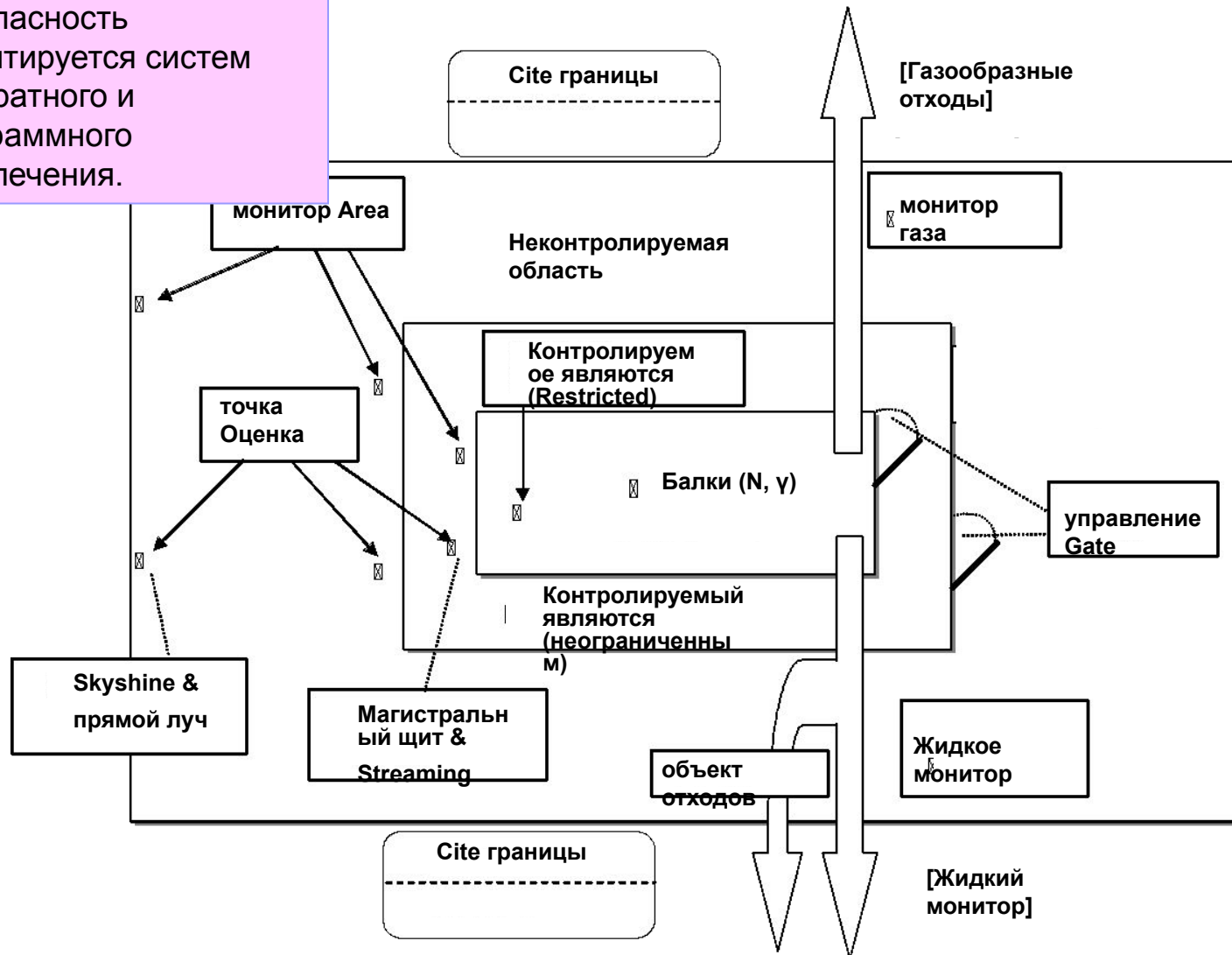
следует рассмотреть в связи с их большей

Элементы дизайна щита

- ◆ Определение критериев проектирования экранирования
- ◆ Оценка источников излучения (нейтронов, γ -лучей) по абсолютной величине
- ◆ сплошное экранирование (Расчет затухания) определить толщину стенки щита
- ◆ Поточная передача данных: Для уменьшения излучения, проходящего через воздуховод, лабиринт и т.д.
- ◆ Skyshine (воздух рассеянного излучения)
- ◆ Индуцированные радиоактивности за счет нейтронной активации конструкционных материалов и даже окружающий воздух
- ◆ Радиационное повреждение [ответ;]
- ◆ Лучевая отопление [ответ;]
 - R и $R_{\text{в}}$ являются функции отклика, такие как коэффициент преобразования DPA, массовый коэффициент поглощения энергии, соответственно.
- После того, как поток ϕ определяются, различные физические

Радиационная защита и Оценка системы безопасности

Безопасность гарантируется систем аппаратного и программного обеспечения.



Тип излучения

◆ Тип излучения

- Излучение делится на электромагнитного излучения и одной частицы.
- Рентгенологическое и γ -ray, высокие энергетические электромагнитные волны, которые могут ионизируют атомы, называются электромагнитным излучением.
- Излучение частиц классифицируются также для заряженного излучения и незаряженных одного (нейтроны). Заряженные частицы отклоняются магнитными полями.
- Применяя магнитное поле, от передней части к задней части листа, альфа-лучи будут отклоняться влево, в то время как β -лучи находятся справа. γ -ray, однако, движется прямо (левая рука правило Флеминга).

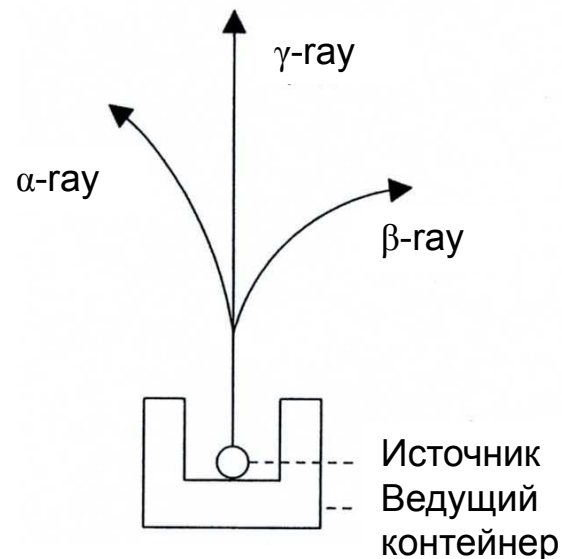


Рис. Прогиб излучения из-за магнитное поле

Излучение энергии (1)

◆ Энергия излучения частиц

- Пусть масса частиц m (кг) и скорость v (М / с) в единице СИ, кинетическая энергия частицы дается, (ньютоновская динамика)

◆ электронвольта

- Электронвольт является одним из самых основных единицы энергии излучения, что блок электронного приобретающего во время путешествия по разности потенциалов $1V$ 1 эВ.

Вот, e ($= 1,6 \times 10^{-19}$ С) является заряд электрона.

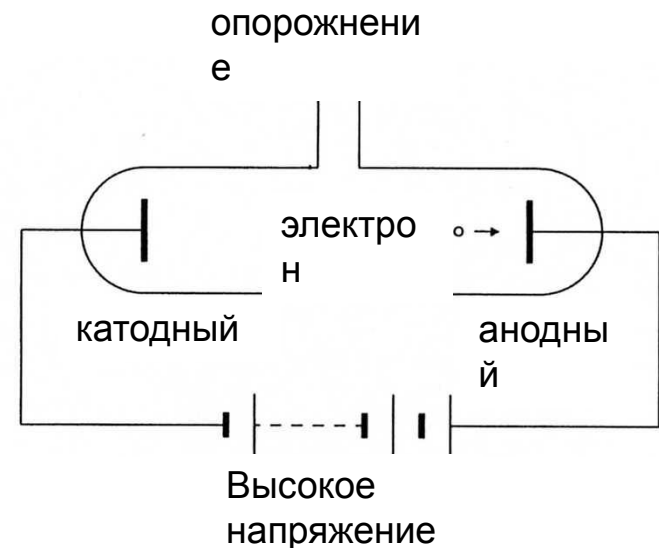


Рис. Ускорение электрона

Излучение энергии (2)

◆ Энергия и импульс электромагнитного излучения

- Электромагнитная волна (масса = 0,0), как полагают, имеют как частицы и волны природы одновременно (Двойственность света)
- Обозначим через колебаний ν (Гц) и длины волны λ (м), энергия электромагнитной волны E

Здесь h постоянная Планка

$$h = 6,628 \times 10^{-34} \text{ (Дж / с)}.$$

- Так как скорость света c выражается как
- инерция p (кг·м / с) задается как

Генерация рентгеновского излучения

◆ Генерирование механизм рентгеновских лучей

- При нагревании анода, тепловые электроны испускаются. Они будут ускоряться высоким напряжением, приложенного к рентгеновской трубке и образуют рентгеновские лучи.

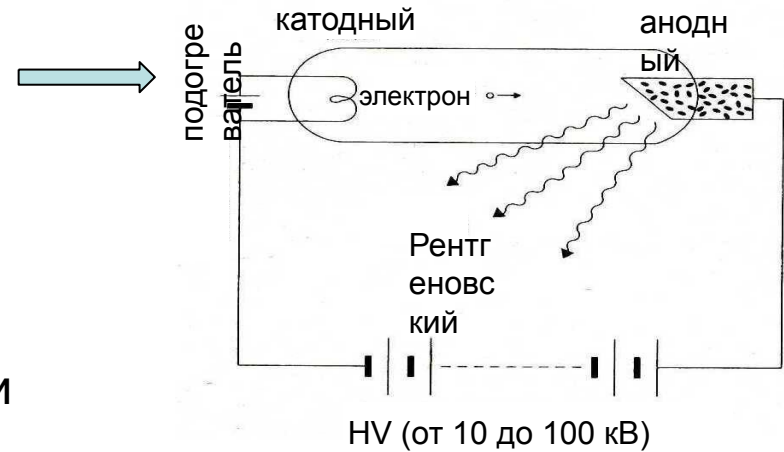


Рис. Генерация рентгеновского излучения

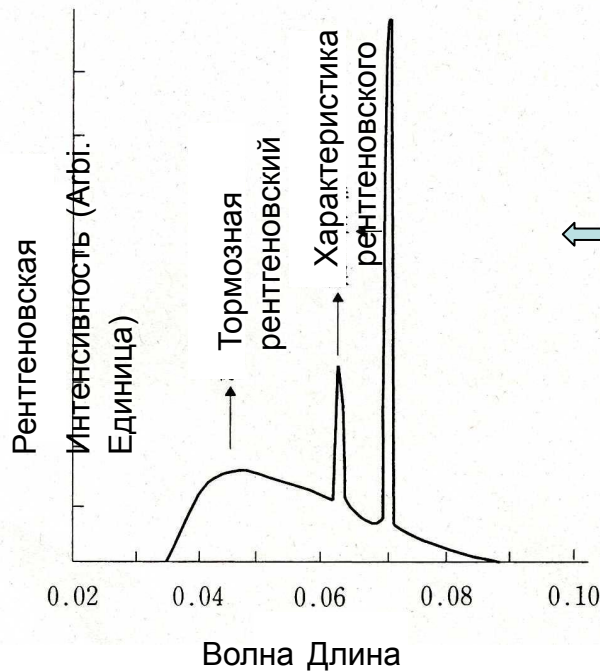


Рис. Энергетический спектр Рентгеновский из Мо

◆ Энергетический спектр рентгеновского излучения

- Получен энергетический спектр рентгеновских лучей состоит из непрерывного спектра и некоторых спектров крутой линии.
- Этот непрерывный спектр называется тормозного рентгеновского излучения и те линии, что и характеристического рентгеновского излучения Их

Генерация характеристического рентгеновского

◆ Генерирование механизм характеристического рентгеновского излучения

- Быстрый электрон путешествия через целевые материалы, он будет страдать ионизации и возбуждения процессов с материалами.
- Когда атом ионизируется или возбуждается, вакансия происходит на более низкой орбите уровня энергии.
- Один из электронов высоких уровней орбиты сразу же попытаться пополнить вакансии, с последующим испусканием характеристического рентгеновского излучения.

◆ Энергия характеристического рентгеновского излучения

- Характеристика энергия рентгеновского излучения равна разности уровня энергии орбиты до и после перехода.

◆ оже-эффект

- В возбужденном атоме состояния, энергия будет использоваться для испускания характеристического рентгеновского излучения

Генерация тормозного излучения

◆ Создание механизма

тормозного излучения

- Проходя мимо ядра, высокая энергия электроны будут ускорены при отклонении направления его полета на кулоновской силу, с последующим испусканием высокой энергии рентгеновских лучей.
- Падающий электрон потеряет свою кинетическую энергию, а затем тормозится.
- Выделяемая энергия преобразуется в электромагнитную энергию, генерации тормозного рентгеновского луча.
- Рентгеновские лучи образуют непрерывный спектр, поскольку электрон показывает различным

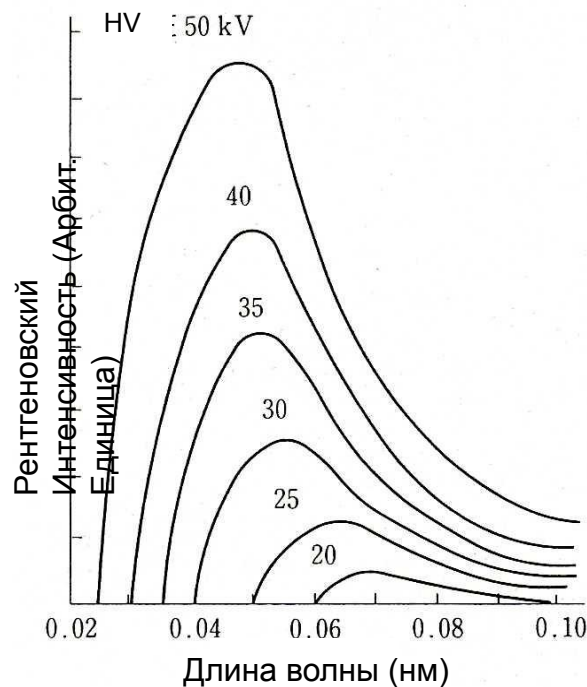


Рис. Энергетический спектр тормозного излучения от мишени W

Генерация гамма-излучения (1)

◆ создание γ -ray

- Подобно тому, как атом содержит некоторые орбиты различных энергетических уровней, ядро также имеет различные возбужденные уровни энергии, включая уровень земли.
- После того, как α и β распадов, генерируемые нуклиды обычно остаются возбужден. Возбужденные состояния могут быть стабилизированы с помощью перехода в основное состояние, испуская гамма-лучи.
- Излучаемая энергия γ -лучей равна разности энергий между

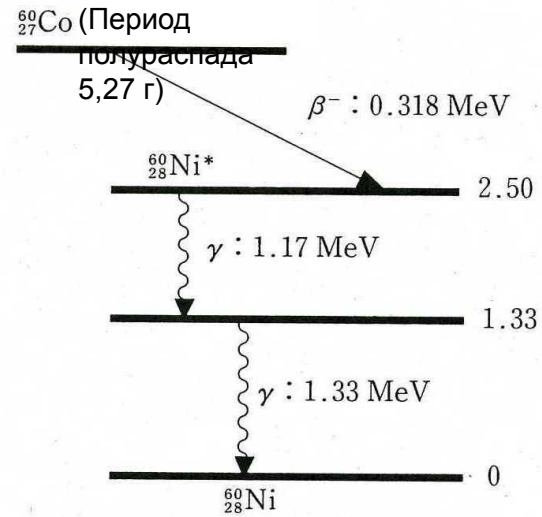


Рис. Распад схема $^{60}\text{Колорадо}$

- При распаде бета, ^{60}Co будет преобразован в $^{60}\text{Ni}^*$ с последующим испусканием бета-лучей 0.318 МэВ.
- $^{60}\text{Ni}^*$ сразу же переходит к уровню земли, через 1^{улица} возбужденный уровень, с последующим испусканием 2¹¹ гамма-лучи 1.17 МэВ и 1.33 МэВ

Генерация гамма-излучения (2)

◆ Внутренняя конверсия (ИС)

- Возбужденное ядро обычно стабилизируется путем излучения гамма-лучи, но вместо этого, ядро иногда передает свою энергию на орбитальных электронов, чтобы выгнать из атома.
- Этот процесс называется ИС. Это похоже на оже-эффект, который выгоняет орбитальные электроны вместо того, чтобы излучать характеристические рентгеновский.
- После эмиссии электронов ИС, характерные рентгеновские лучи и / или оже-электроны будут также излучаются.
- Кинетическая энергия, передаваемая ИС электрона дается как,

$$E = (E_M - E_N) - I = h\nu - I$$

Вот I является энергия ионизации орбитального электрона.

Рентгеновского и γ -излучения

◆ Разница между γ -лучей и X-ray

- Физические характеристики совершенно так же между рентгеновским и гамма-излучением
- Это, по-видимому неверная мысль, что более высокая энергия фотона является γ -лучей и нижний является рентгеновский.
- гамма-излучения испускается при нестабильных нуклидов возвращается на нижний энергетический уровень, включая уровня земли.
- Рентгеновское это электромагнитное излучение, которое излучается после перехода орбитальных электронов.
- Таким образом, γ -лучей происходит от ядра и Рентген от атома.

Генерация нейтронов (1)

◆ Создание механизма нейтрон

- Нейтронный могут быть получены только в результате ядерных реакций. Пример приведен ниже.
- Эта реакция описана в виде ${}^7\text{Li} (p, n){}^7\text{Be}$, Это реакция, ускоряющий протоны поражаются в ${}^7\text{Li}$ предназначаться для генерации ${}^7\text{Be}$ и нейтрон.
- В случаях (γ, n) реакции и (α, n) реакция на ${}^7\text{Be}$, падающие лучи не нужно ускоряться. Только попав гамма-излучения от ${}^{124}\text{Sb}$ и α -лучей из ${}^{241}\text{Am}$ на бериллиевом может генерировать нейтроны.

Генерация нейтронов (2)

◆ Генерация нейтронов деления ядер

- Так как одна реакция деления генерирует от 2 до 3 нейтронов каждый, цепная реакция возможно генерировать большое количество источника нейтронов в ядерных реакторах.

◆ энергия Neutron

- Другой тип деления, как спонтанное деление (^235U) доступен. Типичный Реакция энергия Q распределяется на оба продукты деления и нейтроны.
- Энергетический спектр нейтронов деления в диапазоне от тепловой энергии до приблизительно 15 МэВ, со средней энергией около 2 МэВ.
- Спектр точно аппроксимировать формулой Вт для диапазона энергий от 0,075 до 17 МэВ.

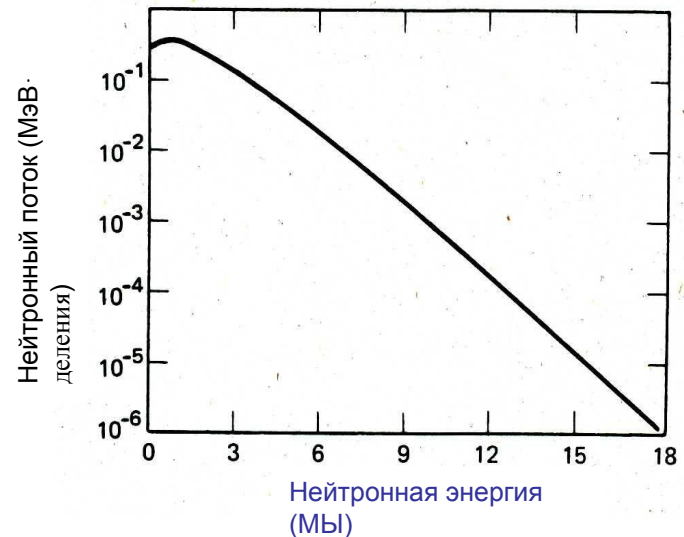


Рис. Деление спектр нейтронов

Фотон взаимодействия с веществом (1)

◆ Фотоэлектрический эффект

- Процесс, падающий фотон дает всю свою энергию орбитального электрона и выбросить его из атома. Электрон, излучаемый из атома фотоэффекта называется фотоэлектронами.
- Этот процесс можно рассматривать как своего рода процесс ионизации.
- В отличие от процесса ионизации заряженной частицы, с помощью которого она теряет свою энергию постепенно, фотоэлектрический эффект, однако, падающий фотон теряет всю энергию одним взаимодействием и исчезает.
- Таким образом, фотоэлектрический эффект иногда называют фотоэлектрическим поглощением.
- Поперечное сечение фотоэффекта дается как

- Фотоэлектрический эффект показывает очень сильную зависимость от атомного номера Z и падающей энергии.

Фотон взаимодействия с веществом (2)

◆ КОМПТОНОВСКОЕ РАССЕЯНИЕ

- Это процесс, который сталкивается падающий фотон с орбитальным электроном, откатами его и дает ему часть энергии фотона. Сам Фотон рассеивается в разных направлениях.

◆ Энергия рассеянного фотона

- Столкновения фотона с свободным электроном. (Упругое рассеяние)
Поскольку законы сохранения энергии и импульса проводить до и после взаимодействия, энергия рассеянного фотона ν' может быть получена
Энергия рассеянного фотона описывается как функция угла рассеяния θ , показывая непрерывный энергетический спектр.

◆ Поперечное сечение

- Сечение описывается формулой Клейна-Нишины (угловой дифференциальные σ). Так как формула дает сечение одного орбитального электрона, сечение атома $\sigma_{\text{КОМП}}$ Ниже приводится,

Фотон взаимодействия с веществом (3)

◆ создание электронной пары

- Процесс, который с высокой энергией фотонов исчезает в кулоновском поле ядра, и пара электрона и позитрона созданы. (Преобразование энергии к массе)

$$h\nu \rightarrow e^+ + e^-$$

- Энергия электронов, создаваемых E^+ а также E^- находятся

$$E^+ + E^- = h\nu - 2m_0c^2$$

Вот m_0c^2 это масса покоя электрона энергии.

- Распределение энергии для электрона и позитрона не может быть однозначно определено, E^+ а также E^- изменяться от 0 до $h\nu - 2m_0c^2$,
- Созданный электрон и позитрон теряют свою энергию, повторив ионизацию и возбуждение. Позитронной энергия которого исчерпаны, в сочетании с окружающей электрона, генерируя два аннигиляции гамма-лучами 0,511 МэВ. (Преобразование массы в энергию)

◆ Поперечное сечение рождения пар:

Отношения между 3 Основными фотонными взаимодействиями

- ◆ Отношения между 3 основными взаимодействиями фотонов
- На рисунке справа показана взаимосвязь между тремя основными взаимодействиями фотоэффекта, комптоновского рассеяния и создание электронных пар.
- Полезно для качественного понимания фиксированных взаимодействий.

Энергия фиксированы, доминирующие изменения взаимодействия с фотоэлектрического доминирующими к созданию парного доминантному с увеличением энергии.

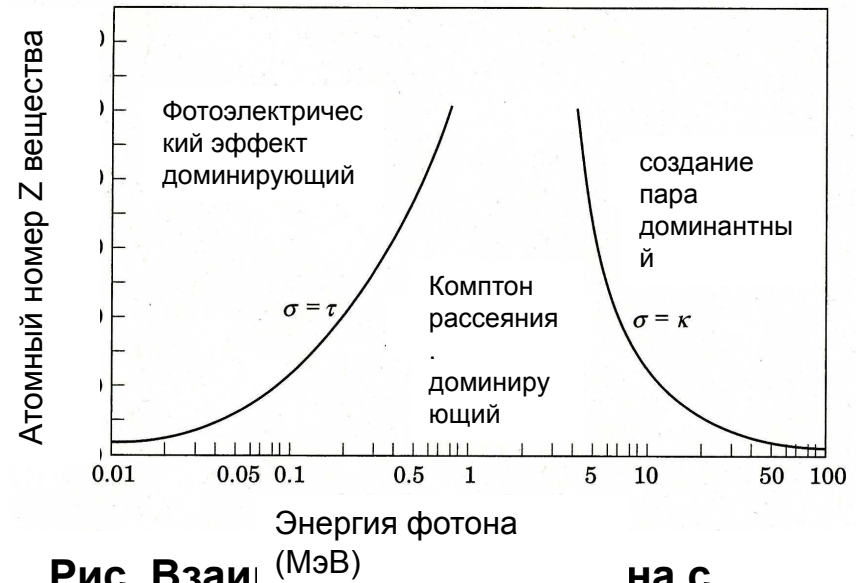


Рис. Взаимосвязь на с веществом

Энергия фиксированы, доминирующие сдвиги взаимодействия с комптоновского рассеяния на фотоэлектрические или Сопряжение с увеличением Z

Фотон Затухание Коэффициент

◆ коэффициент затухания

- μ в формуле затухания называется линейным коэффициентом ослабления.
- μ в единицах см^{-1} или м^{-1} является суммой поперечного сечения 3 основных взаимодействий микроскопического, умноженная на плотности числа атомов N

- $\mu_m (= M/\rho)$ это массовый коэффициент ослабления в единицах $\text{см}^2\text{г}^{-1}$ или $\text{м}^2\text{кг}^{-1}$

- Массовый коэффициент ослабления, в области где комптоновское рассеяние является доминирующим, показывает небольшую материальную зависимость.

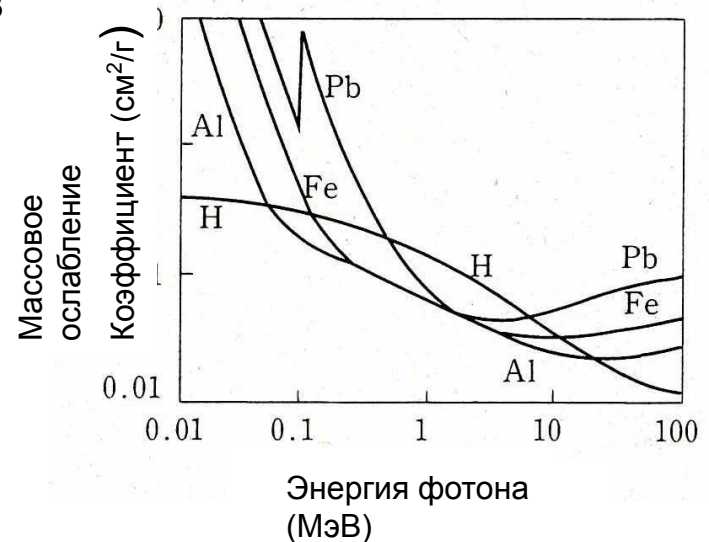


Рис. коэффициент затухания Масс
вопросов

Фотон Затухание с расстоянием

- ◆ Давайте предположим, что точка изотропным γ -ray источник (Бк) в интенсивности, испускающие S γ -лучей каждый второй.
- ◆ Плотность потока (поток) ϕ на месте d (М) друг от друга с точки источника выражается как

S : Количество γ -ray
испускаемый

- Формула, называется закон обратных квадратов расстояний,
Объясняется следующим образом;

за единицу времени [γ -
лучей / с]

- Давайте предположим, что шар радиуса d вокруг источника.
- Так как скорость флюенса ϕ определяется как число частиц, проходящих через единицу площади (1 м^2) От общей площади поверхности сферической $4\pi d^2$, ϕ пропорциональна $1 / (4\pi d^2)$
- Таким образом, умножая $1 / (4\pi d^2)$ К интенсивности источника делает приведенную выше формулу.

Внимание! Закон обратных квадратов из Расстояние справедливо только для точечного изотропного источника.

Затем, что справиться с проблемой исходного объема?

Фотон Затухание в веществе (1)

◆ Затухание из-за взаимодействия

- Давайте исследуем затухание фотонов из-за поглощения и рассеяния для геометрии в рисунке.

- Установив свинцовые

коллиматоры на обеих сторонах

- Фотоны потерял $-dI$ из-за взаимодействия в бесконечно экранировании, только uncollided малой области dx пропорциональна как dx и фотоны достигают детектора.

интенсивность падающих фотонов на области,

представляющей интерес μ является коэффициент линейного ослабления (Уже определен)



- Интеграция с обеих сторон по толщине щита

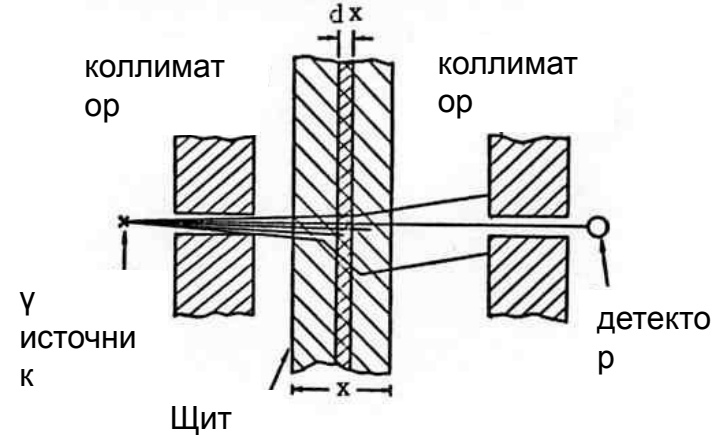


Рис. Геометрия коллимированного пучка (Узкие геометрии луча)

Это интересно знать, что приведенная выше формула имеет тот же формат формулы излучения распада

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Фотон Затухание в веществе (2)

- ◆ **Ослабление неколлимированного пучка**
 - В правой фигуре, как нерассеянный и рассеяны γ -лучей может достигать детектор.
 - Для того, чтобы рассмотреть рассеянные составляющая γ -лучи для расчета затухания, параметр B , Фактор накопления, вновь введен.
 - Определение коэффициента нарост

Здесь учащихся начальной γ означает нерассеянный γ -ray. B

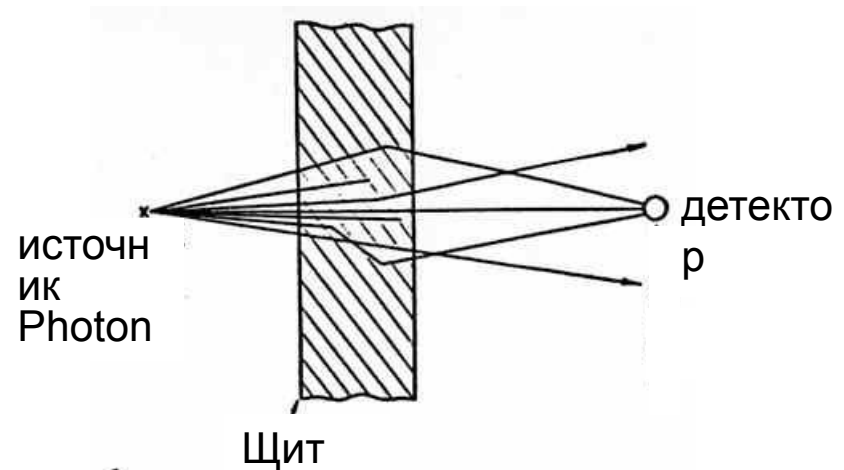
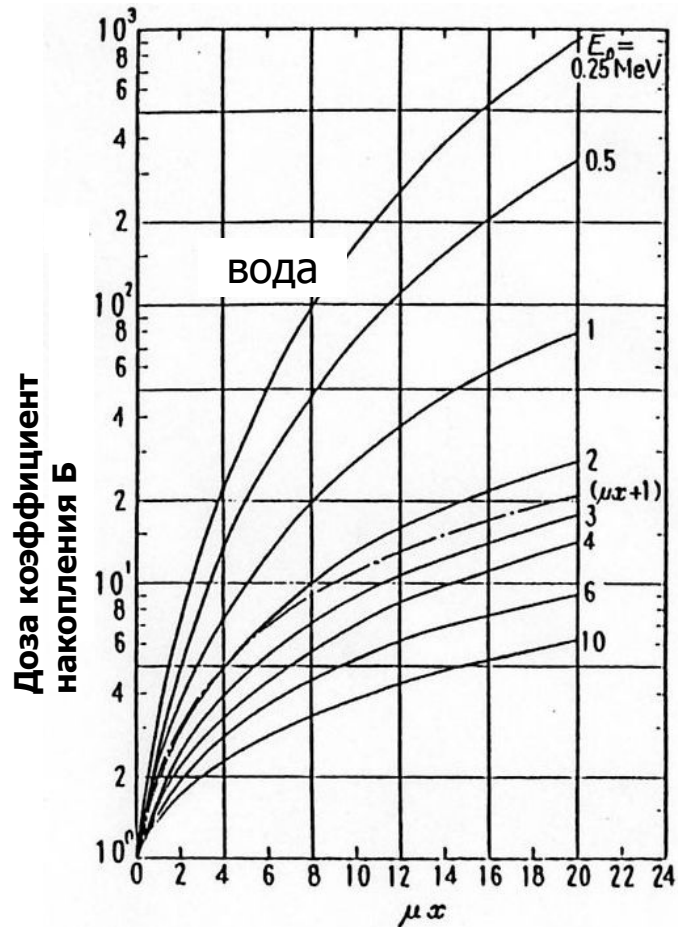


Рис. Геометрия Широкий луч
(Без коллиматоров)

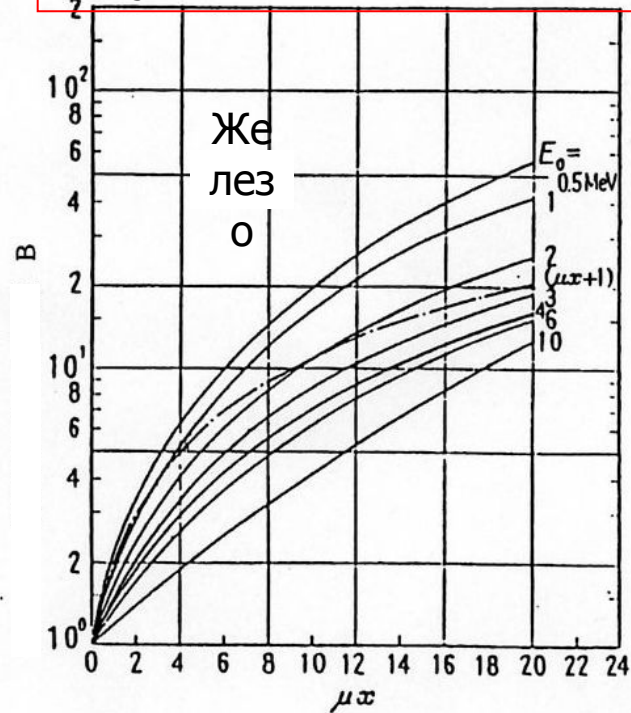
Затухание ядро γ -ray
Два фактора затухания (расстояние и взаимодействия) объединяются, чтобы сделать ядро затухания K фотонов, основное уравнение упрощенного метода расчета.

Пример фактор накопления



Толщина щита в мфу

Обратите внимание, что горизонтальная ось обозначает толщину экрана в **мфу**



Толщина щита в мфу

Рис. Коэффициент дозы накопление воды и железа

Интерполяция Формула раскочки Factor с толщиной

(1) формула Тейлора»(x в см)

$\mu_{Икс}$: Толщина в см

(2) формула Бергера (x в см)

$A, \alpha, \beta, A, \beta$;

подгоночных
параметров

(3) формула ГП (X в MFP)

быть определенным

$Икс$: Толщина в мфу

B, a, v, g, X_K ;

подгоночных
параметров

быть
определенным

формула GP, казалось бы, сложной, дает очень точные результаты до толщины 40 мфу или более.

Half-Value Толщина

На основе формулы затухания, некоторые полезные параметры экранирования являются производными.

Затухание задается

Тогда логарифмирование обеих сторон,

- ◆ Длина свободного пробега (МФФ):

Подставляя $1/e$ для I/I_0 , То можно получить

- ◆ Толщина Половины значения ($d_{1/2}$):

Аналогичным образом, подставляя $1/2$ до I/I_0 , То можно получить

- ◆ Толщина Десятого значения ($d_{1/10}$):

Далее, подставляя $1/10$ до I/I_0 , То можно получить

Расчет поглощенной дозы (1)

◆ Energy absorption coefficient

- With μ , we can calculate photon attenuation.
- Next, let's consider how to evaluate the absorbed dose using μ .
- The absorbed dose is a very basic data for evaluation of radiation effect on human body. Absorbed dose D (Gy) is defined as the energy absorbed in matter per unit mass in (J/kg).
- Incident photon energy $h\nu$
 - To electron → Absorbed in matter
 - To photon → Escaped from matter
- μ is a probability of photon interaction with matter. But when colliding, photon does not always transfer all its energy to electrons.
- Energy transfer coefficient μ_{tr} is defined as the probability that the energy is transferred to secondary electrons.
- Among the energy transferred to electrons, the bremsstrahlung component must also be excluded.
- The energy absorption coefficient μ_{en} , also called the true absorption coefficient, is obtained by subtracting the bremsstrahlung part from μ_{tr} .

Расчет поглощенной дозы (2)

◆ Расчет поглощенной дозы

- Поглощенной дозы на единицу массы и единицу времени ЧАС (МэВ · кг⁻¹ · с⁻¹) Получается;

Вот, E (МэВ) и φ (м⁻²с⁻¹) Являются энергия и поток гамма-лучей, соответственно.

- Подставляя следующую связь для приведенных выше формул,
 $1 \text{ МэВ} = 1,602 \times 10^{-13} \text{ J}$
поглощенная доза D (Гр / ч) получают следующим образом.

Виды ядерной реакции (1)

◆ Что такое ядерная реакция?

- Процесс, который маленькая частица взаимодействует с ядром для создания другого ядра.
- Бывшие один монументальная ядерная реакция, что Резерфорд открыл в первый раз в 1919 году последним является реакция, Соксфорт и др. обнаружен в 1932 году с помощью ускорителя.
- Ядерная реакция описана как
$$A + a \rightarrow B + b \text{ или } A (a, b) B$$
До и после реакции, как общее массовое число A и атомным номером Z сохраняются.
- После столкновения частицы a с ядром мишени A Ядро сразу формирует a Соединение один. Будучи очень нестабильным, составное ядро мгновенно испускает частицу b для

Виды ядерной реакции (2)

◆ Виды ядерной реакции

- Ядерная реакция классифицируется на рассеяние и поглощение.
- Рассеяние и поглощение классифицируются более подробно.
- Ниже приведено схематические чертежи основных ядерных реакций

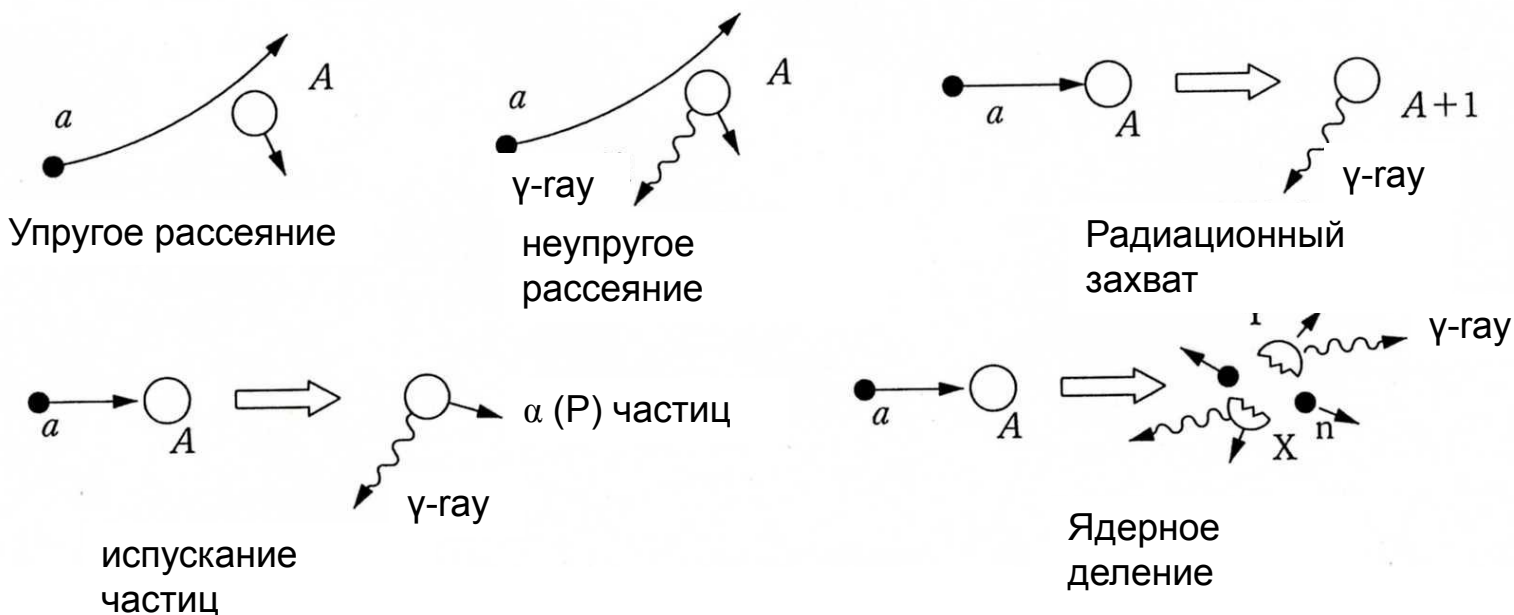


Рис. Концептуальная схема ядерных реакций

Упругое рассеяние

- Это взаимодействие так же, как «бильярдный шар» типа столкновения.
- В этом процессе ядро-мишень не возбуждается.
- Кинетическая энергия и импульс сохраняются до и после столкновения, следовательно, энергия нейтронов после формулируется

E_p : Recoil нуклида энергия

- Если мишень представляет собой водород ($A= 1$) и $\theta= 0^\circ$ (*лобовое столкновение*), Вся падающая энергия нейтронов может быть придана ядрами-мишени.
- После взаимодействия, отдача нуклид ведет себя как тяжелый ион в связи с тем, что отдачей нуклид летит на высокой скорости, в результате чего ее орбитальные электроны позади.

неупругое рассеяние

- Эта реакция представляет собой явление, падающая частица возбуждает ядра-мишени.
- Возбужденное ядро возвращается в основное состояние, испуская гамма-лучи (неупругого рассеяния гамма-лучей). Эта реакция называется

A (a, b) B

- Пороговое взаимодействие (около 6 МэВ для кислорода до менее чем 20 кэВ для урана)
- Выше энергия падающего нейтрона, происходит более легко эта реакция.
- Замедление нейтронов
 - Выше несколько МэВ, оба упругих и неупругих процессов рассеяния способствуют замедлению нейтронов.
 - Ниже 1 МэВ, основной вклад от упругого рассеяния.

Neutron Capture Reaction

- В нижней области энергий нейтронов, процесс захвата нейтронов является наиболее доминирующей ядерной реакцией.
 - Захват нейтронов, ядро-мишень остается в возбужденном состоянии и возвращается в стабильное состояние, испуская захвата гамма-лучи.
 - При более низкой энергетической области нейтронов, сечение пропорционально $1 / v$, теоретически подтвердил:
-
- Если поперечное сечение в E_0 является σ_0 , σ при v даются как

Деление реакции

◆ реакция Деление

- когда ^{235}U бомбардировке нейтрона, после формирования составного ядра, ядро разделяется на две частицы, вместе с излучением от 2 до 3 нейтронов.

- Во время процесса деления, как сумма атомных номеров и сумм массовых чисел сохраняется.
- На рисунке справа изображает концепцию цепной реакции деления, показывая, как реакция деления продолжается, и, как нейтроны, увеличиваются в каскадной образом.

$$a + b = 92$$

$$A + B + (2 \sim 3) = 236$$

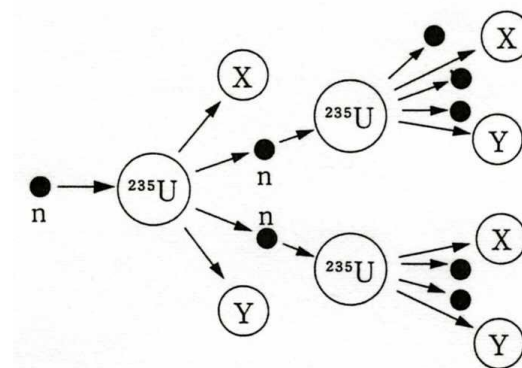
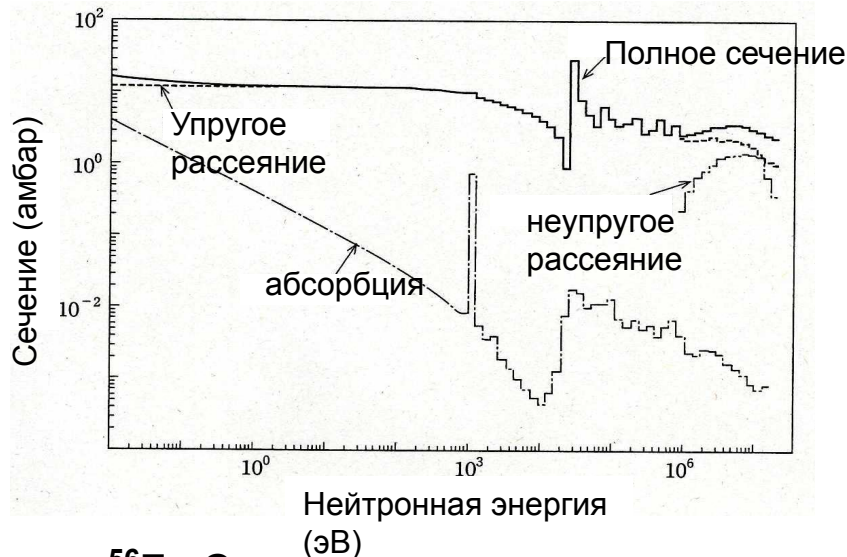


Рис. Деление реакция ^{235}U и его цепная реакция

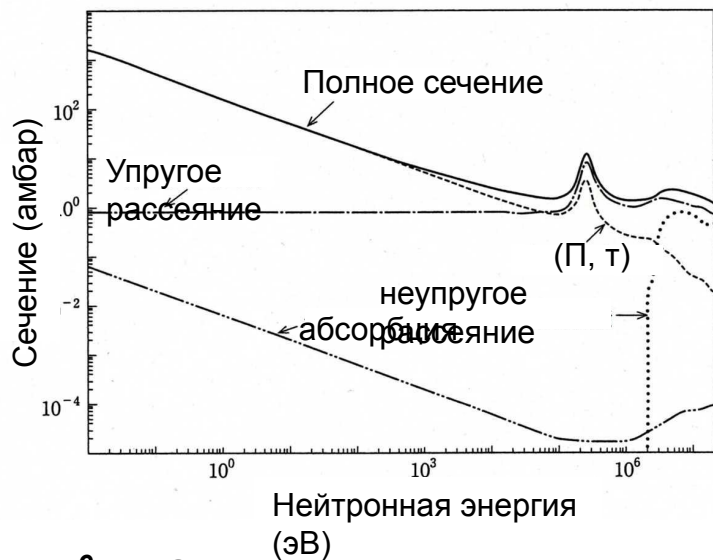
Ядерные реакции Сечение нейтронов



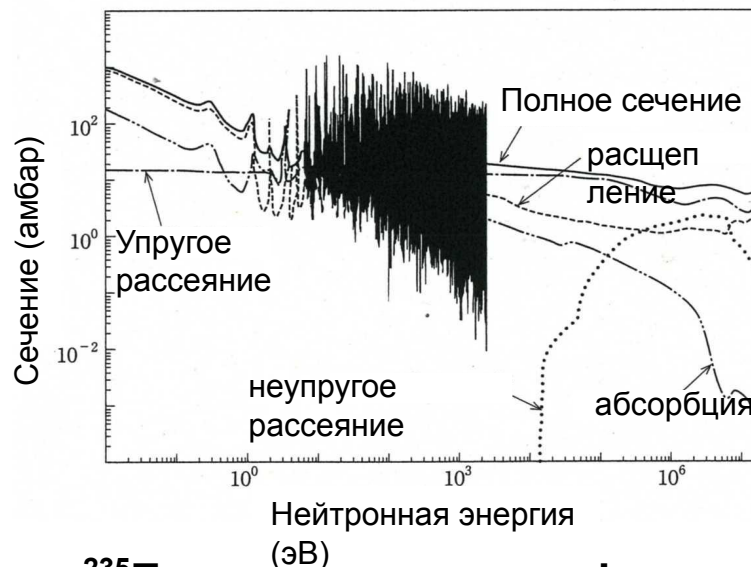
¹⁴C Сечение (JENDL-3.3)



⁵⁶Fe Сечение (JENDL-3.3)



⁶Li Сечение (JENDL-3.3)

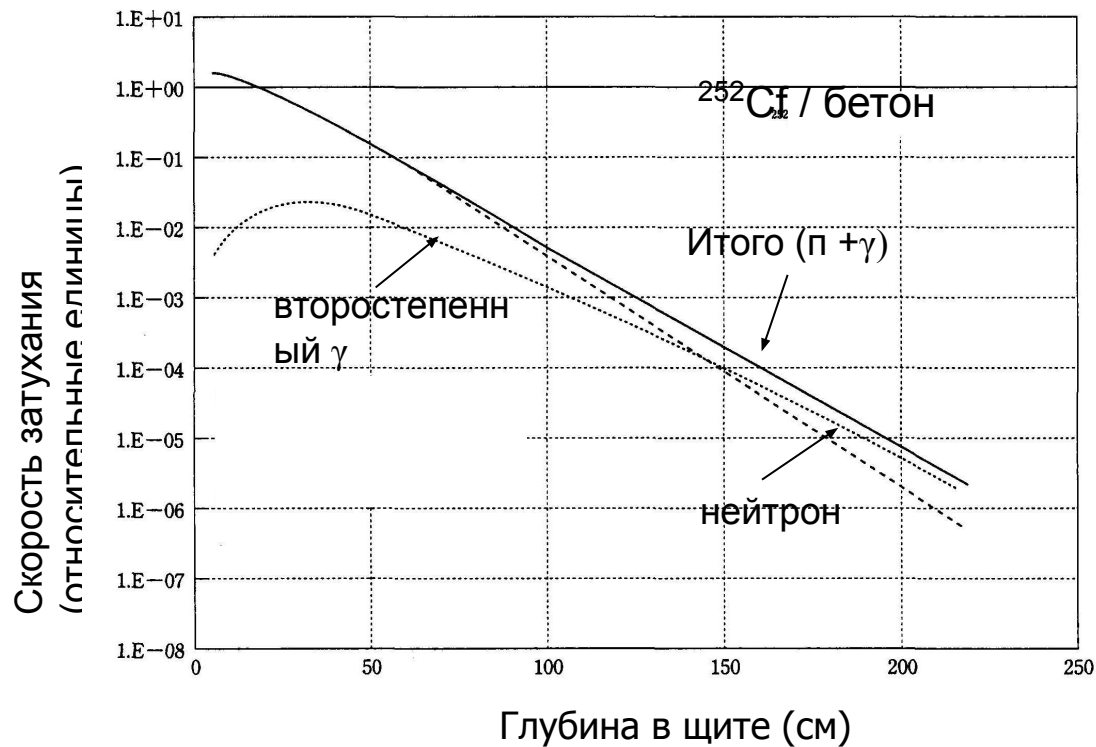


²³⁵U Поперечное сечение Σ (JENDL-3.3)

Основная идея быстрого Экранирование Neutron

- ◆ затухания гамма-излучения может быть вычислена на основе достаточно упрощенной формулы, такие как γ -гау ядра затухания, так как энергетическая зависимость его сечения довольно просто.
- ◆ В противоположность этому, нейтрон сечение энергетическая зависимость является очень сложным с таким количеством резонансных пиков. Поэтому вы не можете ожидать простой формулой расчета γ -гау.
- ◆ Следующее описание о поведении нейтронов в веществе не может помочь, но становится качественным.
 - Для замедления быстрых нейтронов выше несколько МэВ (например, источник реактора), через как упругие и неупругие рассеяния при относительно тяжелых материалов, таких как железо.
 - Для того, чтобы замедлить нейтроны ниже ~ 1 МэВ через упругое рассеяние с богатым водородом материалами.
 - Тепловые нейтроны легко захвачены активной зона реактора конструкционных материалов.
 - Необходимо учитывать экранирования вторичных γ -лучи, порожденные захват и неупругие процессы рассеяния.

Нейтронный Поведение в Материи

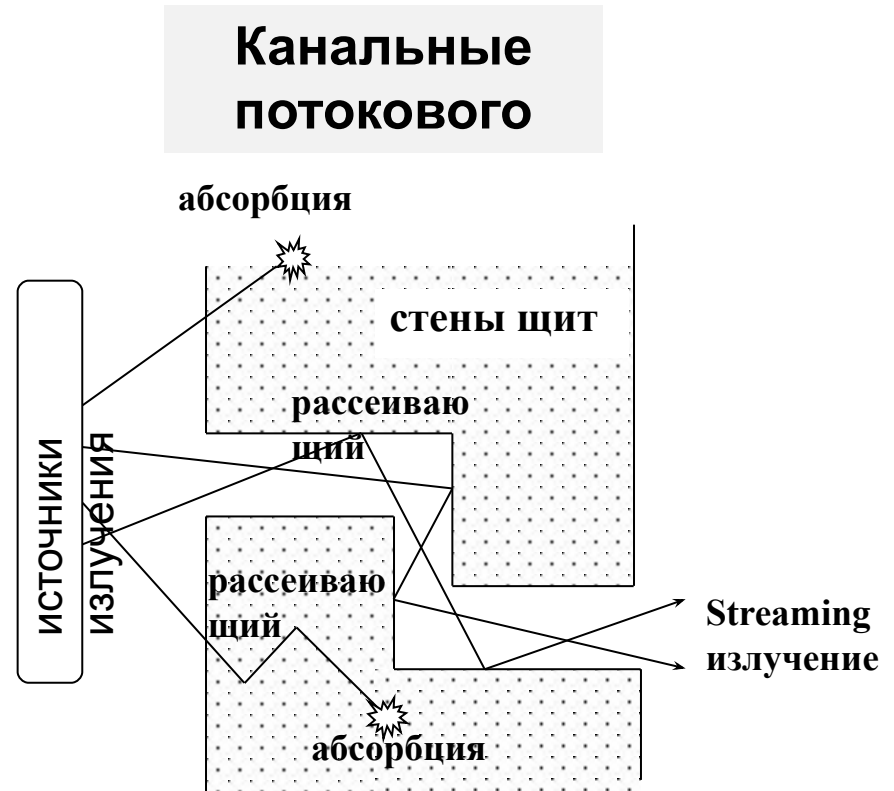


Важным моментом является то, что доза нейтронов и вторичного γ -гау доза всегда сопоставимы друг с другом для области относительно более тонкой глубине щита, за исключением.

Streaming Расчет

◆ Что такое потоковое?

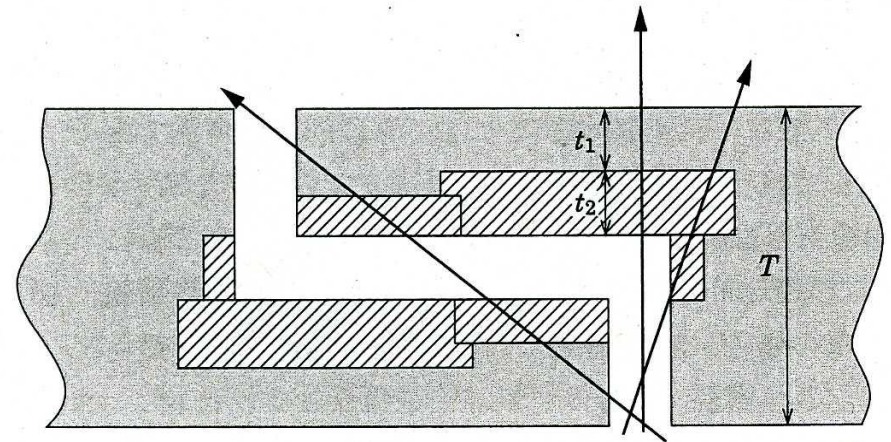
- Это явление, при котором излучение утечки через каналы или лабиринтов, пронизывающих стену щитов.
- Излучение проходит через проток повторяющегося рассеяния на поверхности канала или лабиринта.
- Изгиба частью воздуховода или лабиринт является очень полезным для уменьшения излучений, особенно для γ -лучей.
 - Грубая оценка показывает, что γ -гау как ожидается, будет снижена примерно на



Компенсация экранирование γ -лучей

◆ Понятие компенсации щита

- Воздуховод может быть дефицит экранирования проникновения в стену щитов.
- В потоковых вычислениях, оценка утечки через дефицит защитного также требуется.
- На чертеже показан расположение компенсационного экранирования сделано из стали, встроенное в бетонную стену
- Все различные пути проникновения через дефицит должны быть



- Обычный бетон: μ_1 [см⁻¹]
- Стальная защита: μ_2 [см⁻¹]

Рис. Компенсация экранирования для 2 изгибов канала

μ а также T являются линейным коэффициентом ослабления и проникновение

Skyshine Расчет

◆ Что такое Skyshine?

- Явление, когда часть излучения просочилась вверх от объектов вернуться обратно на землю за счет рассеяния с атомами или молекулами воздуха (Skyshine).
- В целом доза skyshine в месте, вдали от объекта выше, чем вблизи объекта.
- Поэтому оценка Skyshine является более важной, на границе площадки для широкой общественной безопасности.
- Дозы на границе сайта является суммой skyshine дозы и постоянной составляющей.

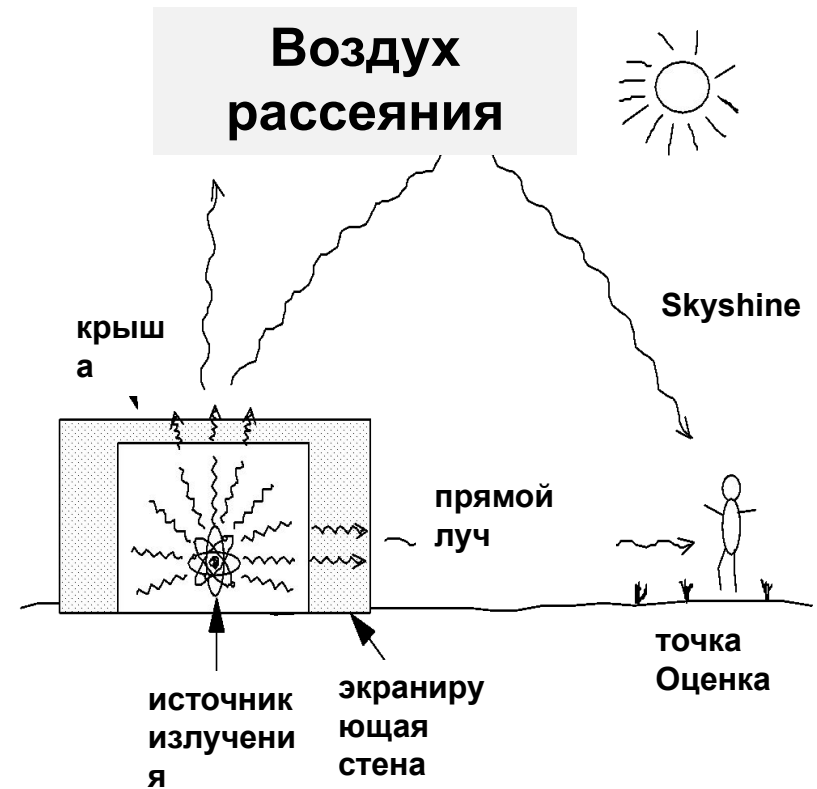


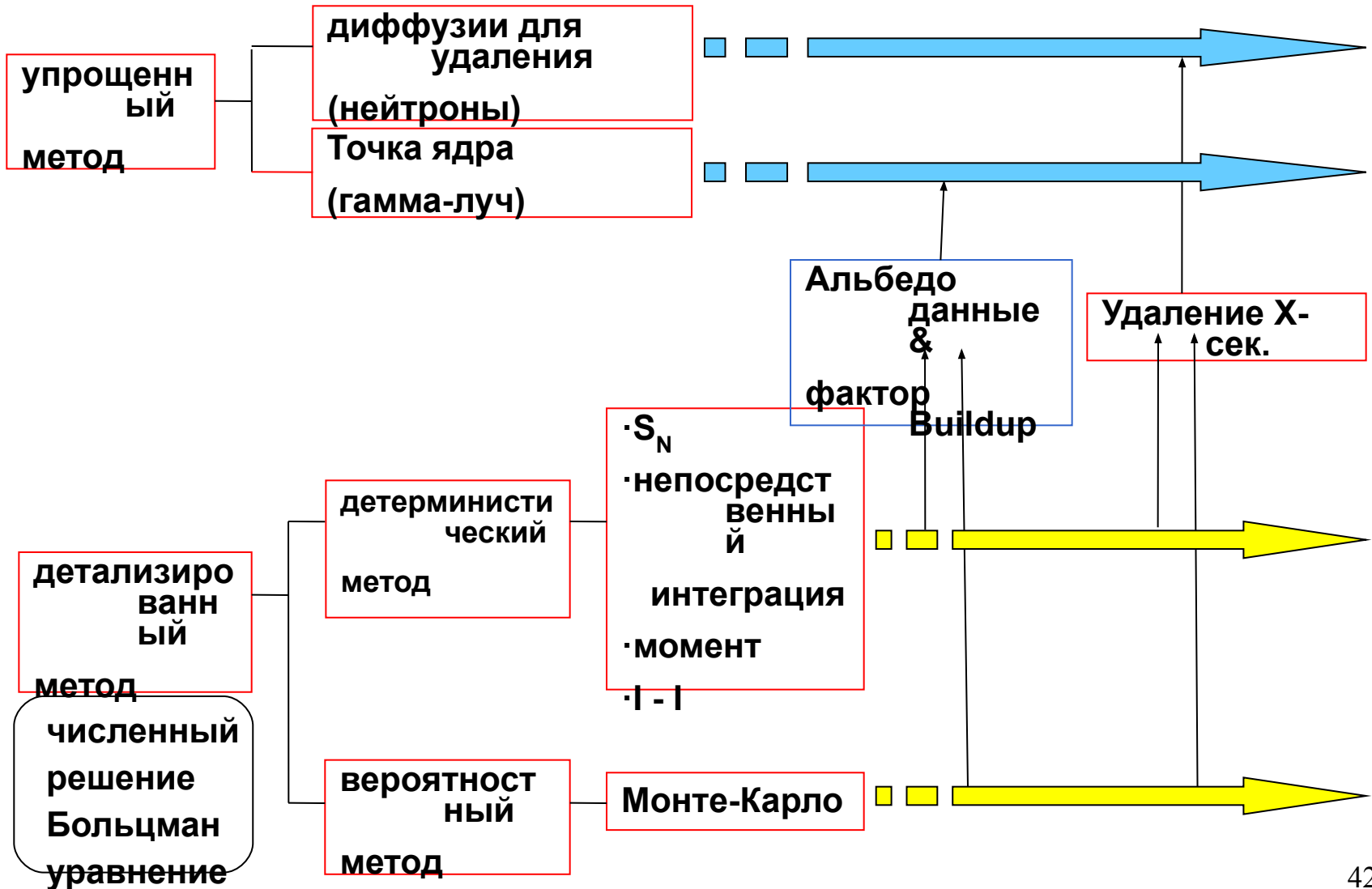
Рис. Геометрия для расчета skyshine

Экранирование Метод расчета

◆ Классификация метода

- Упрощенный метод (только для фотона)
 - Последние тенденции в том, что метод объединен с основными параметрами экранирования оценивали с помощью подробных методов. В прежние времена, эти параметры должны быть получены только экспериментальными способами.
 - Сказанное означает, что в последнее время упрощенный метод дает достаточно точные результаты.
 - QAD код, G33 код - расчет затухания Photon
- Подробный метод (для нейтрона и фотона), который иногда называют как сложный метод.
 - Способ решить уравнение переноса Больцмана, принимая все процессы взаимодействия излучения с учетом вопросов строго.
 - S_N Метод - Детерминированный метод
 - Метод Монте-Карло - вероятностный метод

классификация методы расчета



Упрощенный метод Photon (1)

◆ Метод ядра точки (QAD код)

- QAD код имеет сильную точку, которая может иметь дело с 3-D сложной геометрией, не ограничиваясь какими-либо системам координат.
- В основном он состоит из расчета uncollided потока, умноженной на фактор накопления.
- Uncollided поток $d\Phi$ дифференциальный источник Sdr дано

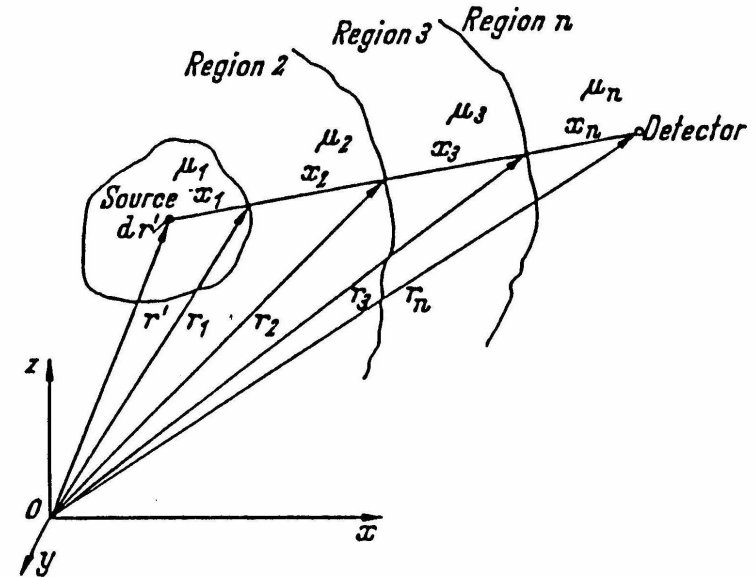


Рис. Геометрическая модель для QAD

Упрощенный метод Photon (2)

◆ Метод ядра точки (QAD код)

- Умножив $d\Phi_{\text{функции}}$ на коэффициент и коэффициент преобразования дозы, вы можете получить дифференциальную дозу ∂O из-за дифференциальный источник Sdr в виде
- Затем доза на детекторе получается путем интегрирования выше уравнения по всей энергии и пространству конечного объема источника.

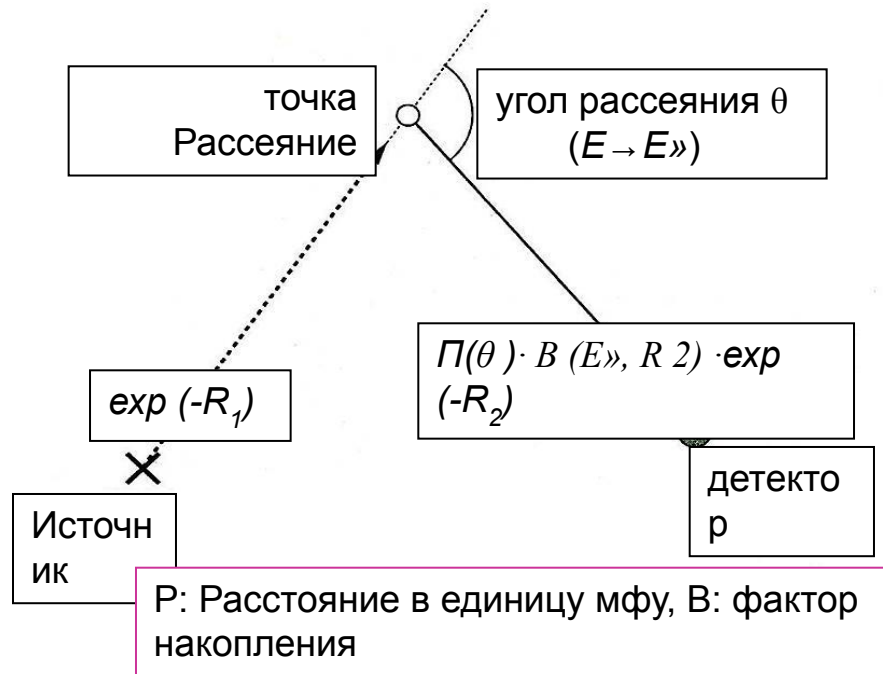
Упрощенный метод Photon (3)

◆ Метод однократного рассеяния (G33 код)

- Для γ -ray Расчет skyshine, более чем на 80% γ -лучей вернется к земле одной Процесс рассеяния.
- Таким образом, код однократного рассеяния G-33, как правило, применим к skyshine расчетов.
- Рисунок показывает процедуру расчета skyshine G-33.

◆ методика расчета

- Вычислить uncollided поток на точка рассеяния указано.
- Вычислить вероятность излучения, проходящее от точки рассеяния до детектора, используя формулу Клейна-Нишин.
- Вычислить uncollided поток излучения на детекторе, и умножить его на коэффициент нарастания.
- Вклады от всех точек рассеяния на детектор интегрированы, чтобы получить дозу skyshine.



Расчет рис. Skyshine на основе однократное рассеяние приближение

Подробный метод расчета

Почему анизотропный поток углового так важно

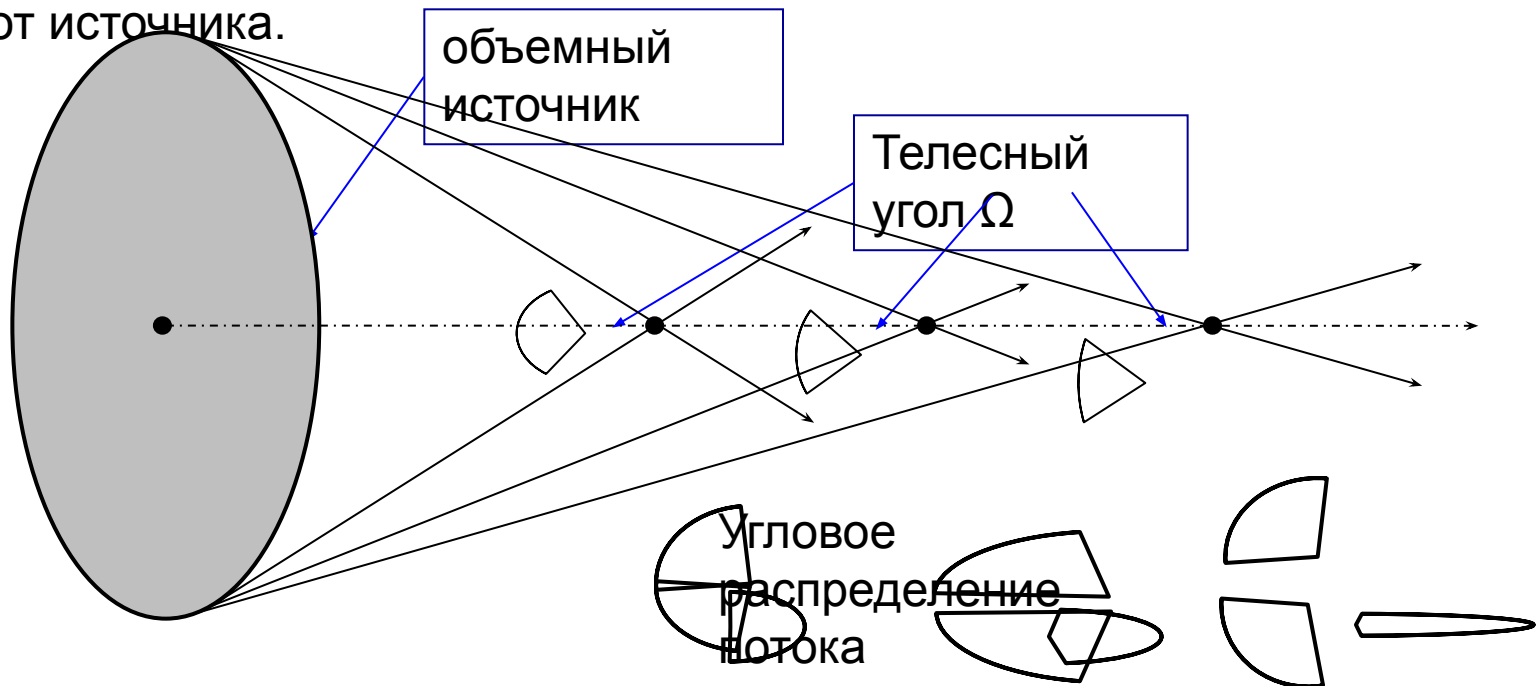
Почему кинетическое уравнение

необходимо в экранировании

- ◆ **Возьмем** расчеты для излучения реакторной установки, например.
 - В пределах активной зоны реактора региона, изотропное поведение излучения можно предположить, **Расчет Diffusion** применены
 - В области экрана, однако, существует анизотропное угловое распределение излучения **Расчет транспорта** необходимо
- ◆ Если анизотропное угловое распределение пренебрегали в экране, поток, полученный всегда следует недооценивать.
- ◆ Для того, чтобы рассмотреть анизотропию, абсолютно необходимо решить **уравнение переноса Больцмана**, Подробный метод состоит в получении углового зависимый потока путем решения уравнения переноса Больцмана численно.

Происхождение вперед достигло максимум углового распределения

- ◆ Давайте предположим, что поток в основном определяется uncollided потоком. Телесный угол Ω расширение над конечным источником объема, такими как реактор, становится все меньше и меньше, поскольку расстояние становится большим, угловое распределение потока излучения имеет тенденцию становиться все больше и больше вперед достиг своего пика в щите с увеличением расстояния от источника.



История метода детального расчета (1)

- ◆ Подробный метод используется для получения численного решения уравнения переноса Больцмана. Из всех методов, наиболее значимых с точки зрения настоящего практического использования являются **Метод дискретных согласовывает и методом Монте-Карло**,
- ◆ **Дискретные координаты S_N метод**
 - Б. Карлсон из LASL разработал метод дискретно-ординаты в 1955 году, позже известный как **S_N метод**,
 - На основе метода дискретных ординат, У. Энгл из ОРНЛ разработан **ANISN** в 1956 г. Кроме того, двумерная версия ANISN, названная **DOT**, Был описан годом позже Ф. Mynatt и др. также ОРНЛ.
 - Эти усилия были наследовали двумерный **DORT** кода, а также трехмерный **TORT** код. Эти коды в настоящее время успешно применяется для практического проектирования щита работ.

История метода детального расчета (2)

◆ Метод Монте-Карло

- Теория метод **Монте-Карло** для решения уравнения переноса было впервые установлено в 1950 году.
- **O5R** Система была завершена Р. Coveyou из ОРНЛА в 1958 году
- Общее назначение **Морзе** Код Монте-Карло Е. Straker и др. было завершено в 1969 году также в ORNL.
- Совсем недавно, непрерывная энергетическая модель кода Монте-Карло **MCNP** разработанная в LASL сейчас наиболее широко используются для анализа экрана во всем мире.
- Кроме того, непрерывный энергетический код Монте-Карло **MVP** разработанный в JAEA теперь доступен в основном для расчетов реакторов.

Больцмана Транспорт Уравнение (1)

- Уравнение переноса Больцмана описывает перенос излучения в фазовом пространстве энергии, пространство и направление.
- Решение уравнения переноса для расчета потока излучения $\Phi(r, \Omega, E)$ в 6 мерном фазовом пространстве (3 пространственной переменной, 2 угловых единиц и 1 энергии один).
- Уравнение переноса происходит на основе сохранения потока в 6-мерном фазовом пространстве.
- Это означает, что существует баланс притока в и отток из бесконечно малых ячеек

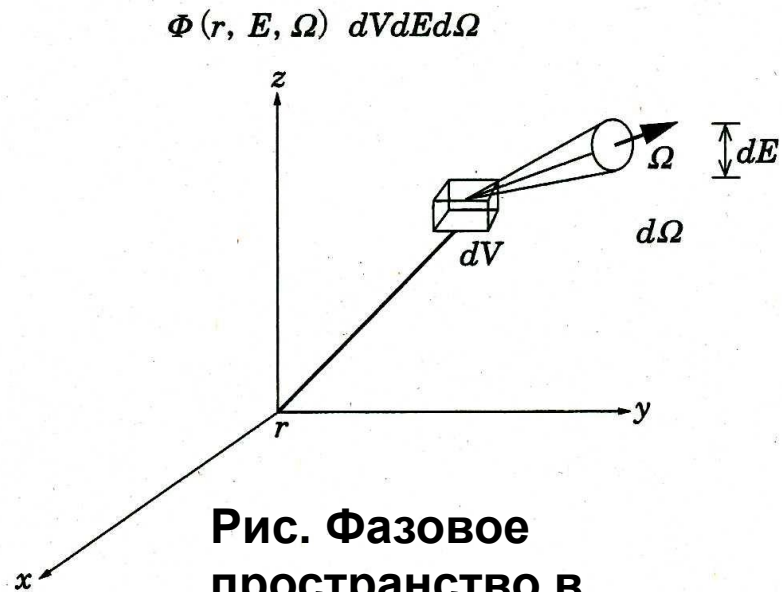


Рис. Фазовое пространство в уравнении переноса

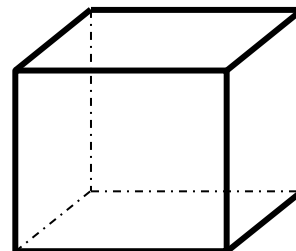


Рис. Пространство клеток Фаза

Больцмана Транспорт Уравнение (2)

◆ Введение частицы в и удаление из фазового пространства

- Частицы определенной энергии (LE около E) И направление ($d\Omega$ около Ω) Могут быть введены в $DVD\Omega LE$ с помощью

1) следующих процессов.

1) Родился в ∂U на фиксированный (или внешний источник)

2) Втекает ∂U из соседнего региона

3) Проходят взаимодействие в рамках ∂U так, чтобы поток частиц рассеивается в

$DVD\Omega LE$ уравнение, описывающее ведение бухгалтерского учета дается как

- Частицы в пределах $Dvd\Omega dE$ могут быть удалены из дифференциального элемента с помощью следующих процессов

1) Подвергнуться взаимодействию, которое заставляет частицы всасываться или измененные в направлении или энергии или оба

2) Поток из ∂U в соседние регионы

NL (нетто утечки) + IL (Взаимодействие Loss)

знак равно IS (Inscattering) + S (внешний источник)

Транспорт Больцмана Уравнение (3)

- ◆ Интегро-дифференциальный типа транспортных э.

Φ : Flux,

S : Термин Источник,

l : Матрица передачи,

Σ_T : Макро полное сечение,

Σ_s : Макро сечение рассеяния

- ◆ уравнение переноса интегрального типа

Q : Сумма рассеяния источника выброса и внешнего источника

Основное уравнение для метода Монте-Карло

Обзор S_N Способ транспортировки (1)

- S_N Способ транспортировки классифицируются как детерминированный способ, чтобы решить уравнение переноса Больцмана численно.
- Дискретизация переменных является важным моментом для S_N метод.
 - **энергии**- делится на ряд интервале энергий (группы). Сечение группы (группа константа) получают в виде усредненных значений.
 - **Угол** - в S_N Способ, направление полета излучений представлено заранее определенным дискретным угол бункер Ω_m .
 - **Космос** - делятся на пространственные интервалы сетки, указанных пользователями кода.
- Выражение углового распределения является еще одним важным моментом. Угловой поток и угловое дифференциальное сечение рассеяния аппроксимированы полиномами Лежандра для рассеяния интегрирования первого члена в правой части уравнения переноса

Обзор S_N Способ транспортировки (2)

- Целью решения Больцмана уравнения переноса, чтобы определить поток излучения $\Phi(p, \Omega, E)$ как функция пространства, угла и энергия
- Оригинальное уравнение переноса Больцмана выражаются в предположении непрерывного изменения энергии.
- В S_N Способ транспортировки, однако, энергия дискретизируется на конечное число энергетических групп. Постоянные группы необходимы, чтобы быть сгенерированы.
- Постоянная группа представляет собой усредненное значение ядерного сечения в каждой группе энергии

- Σ_g : Группа постоянной энергетической группы g -го
- E_g а также E_{g+1} : Максимальная энергия g -го группы, и $(g + 1)$ -й группы, соответственно.
- $\phi(E)$: Энергетический спектр, как правило, используется для весовой функции.

Лежандра полиномиальной аппроксимации

- $d\Sigma_s / d\Omega$, дифференциальное сечение рассеяния относительно угла (или направления) играет важную роль в расчете углового потока.
- Она аппроксимируется с помощью многочлена Лежандра Прибл. Здесь косинус угла рассеяния $\mu (= \cos\theta)$ используется в качестве угловой переменной вместо θ сам.
- Левый показывает угловое распределение для каждого члена разложения P_L и право один для $\Sigma(L)$, это угловое
- ~~распределение~~ ~~функции~~ ~~приближения~~ не показывают ~~виде~~ ~~суммы~~ ~~практически~~ ~~разности~~ На самом деле P_3 ~~приближение~~ достаточно для целей общих расчетов экранирования для частного случая, за исключением хорошо, такие как проблема потоковой передачи.

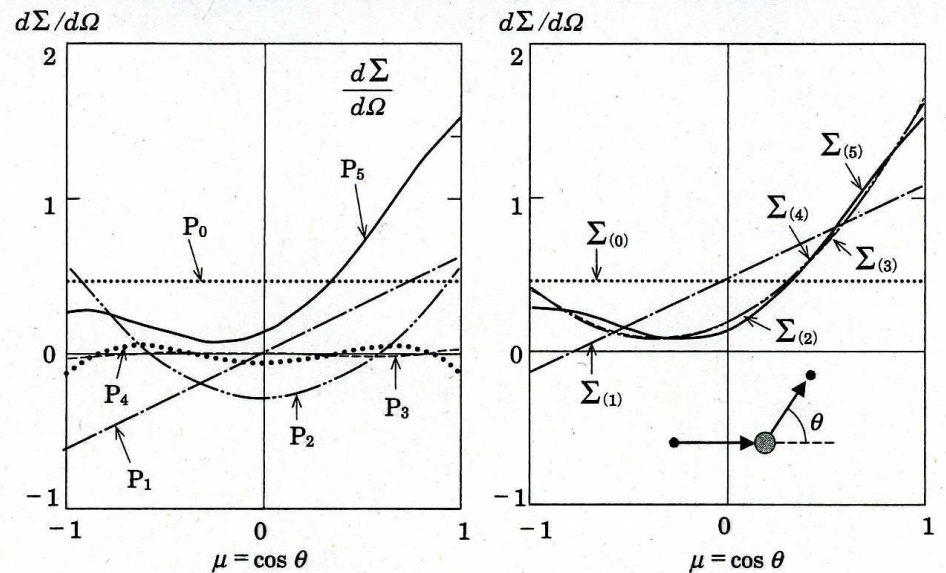


Рис. Приближение расширения Лежандра дифференциального сечения рассеяния

Дискретизация угловой переменной

◆ Дискретизация угловой переменной

- Первоначально непрерывный угловой переменный, также дискретизируются с помощью ограниченного числа угловых бункеров Ω_M
- Ω_M определяется как полярный угол θ и азимутальный угол ψ ,
- Именованное S_N Метод исходит из этого углового сегмента S .

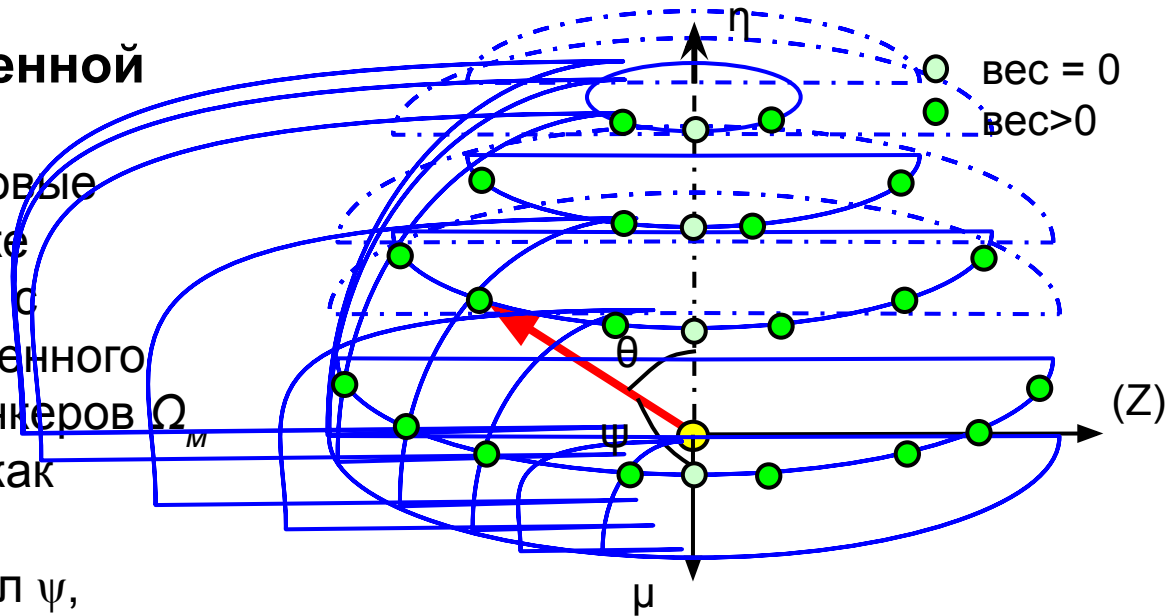
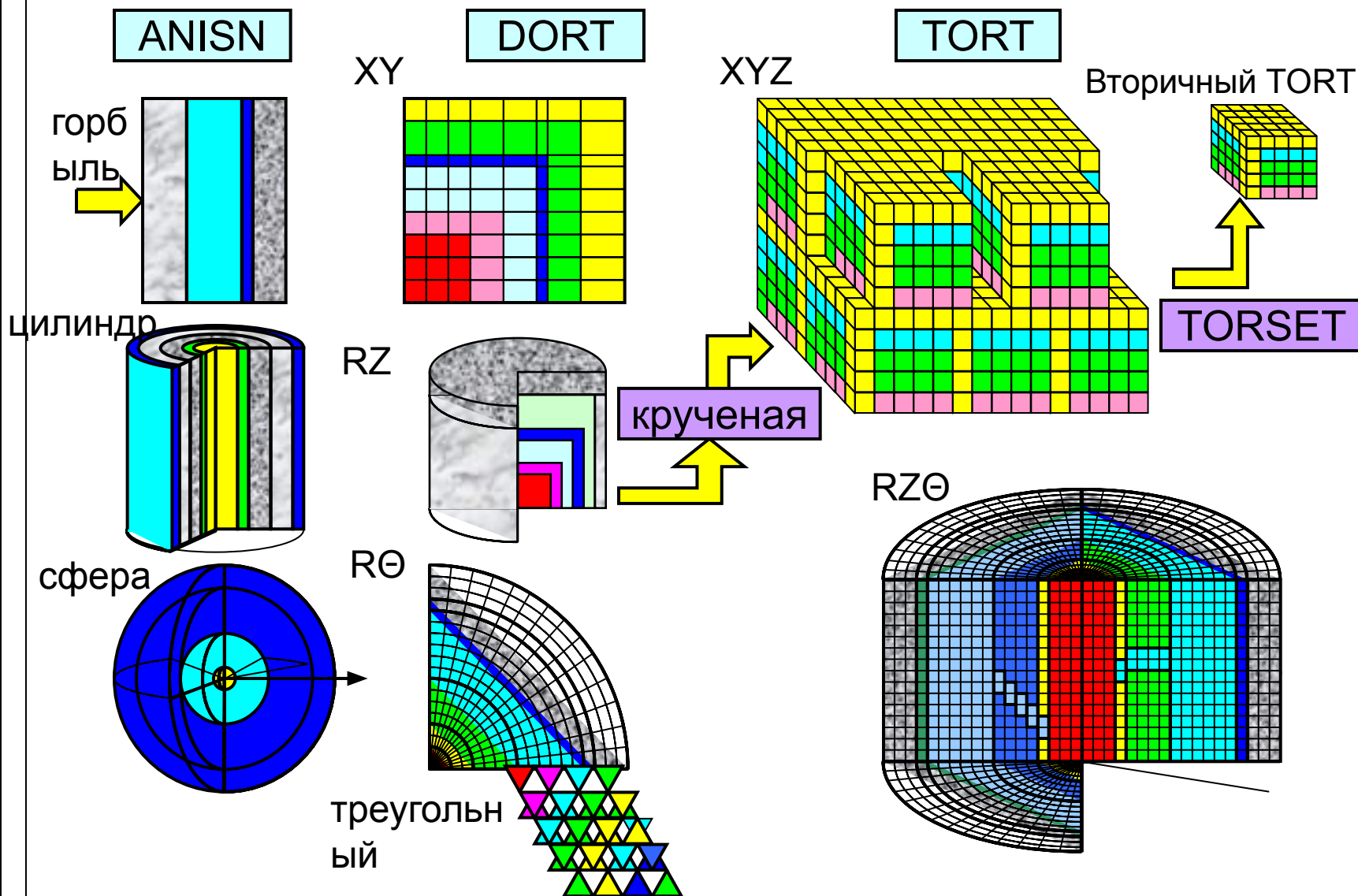


Рис. Угловой сегмент для S_N метод

S_N транспортный код

- Одно- (1D), двух- (2D) и трехмерных (3D) S_N транспортные коды были разработаны для практического использования конструкции экранирования.
- Они есть;
 - ✓ **ANISN** код 1D геометрии
 - ✓ **DORT** Код для 2D геометрии, который широко используется для расчетов энергетических реакторов, так как он может иметь дело с 2D конечных систем, таких как RZ цилиндрической геометрии
 - ✓ **TORT** Код для 3D-геометрии которых применение ограничивается анализом локальной системы и верификации 1D и / или 2D результатов.
- Комбинационный расчет между **DORT - TORT** а также **TORT - TORT** также доступны. Эти коды соединены через интерфейс коды **поддержали** а также **крученая**,

Geometries принята 1-, 2- и 3-ДС_N коды



Преимущества и недостатки S_N метод

преимущества

1. Пространственные и угловые распределения излучения по всей конфигурации интереса, может быть вычислены
2. Относительно меньшее время вычислений требуется.
3. Вышеуказанные пункты имеют решающее значение для фактического расчета конструкции защитного

Недостатки

1. Она, возможно, рассчитывает отрицательные потоки при определенном условии расчета, что это нереально.
2. Расчет с курсом шириной пространственной сетки вызывает серьезную ошибку на результатах.
3. Излучение вдоль некоторой угловой сетки подчеркивается при определенном условии (Ray-эффект).

Метод Монте-Карло

- Способ решить уравнение переноса с методами Монте-Карло с использованием случайных Номер
 - Интегральное уравнение переноса Больцмана переписано в виде,

Здесь $X(P)$ представляет собой плотность излучения при l , $S(P)$ это термин источник в l , l показывает фазовое пространство.

Вот

Транспорт ядра:

Столкновение ядра:

- Расчеты транспортного ядра и ядра столкновения сделаны на основе выборки случайных чисел

Решение методы (1)

◆ Два вида метода доступен в качестве метода решения

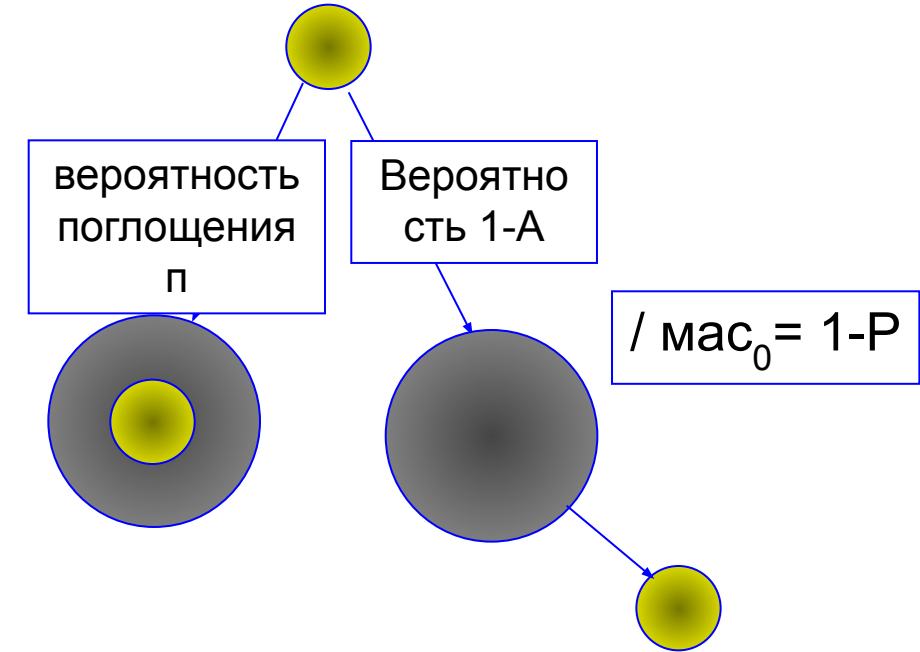
□ Метод Монте-Карло Analog:

- Если происходит реакция поглощения, частица излучения будет исчезать там.
- Тогда расчет будет прекращен, а затем перейти к следующей исходной частице для запуска нового расчета.
- Если, кроме поглощения ядерных реакций происходят, частицы излучения выживут, а расчет будет продолжаться.

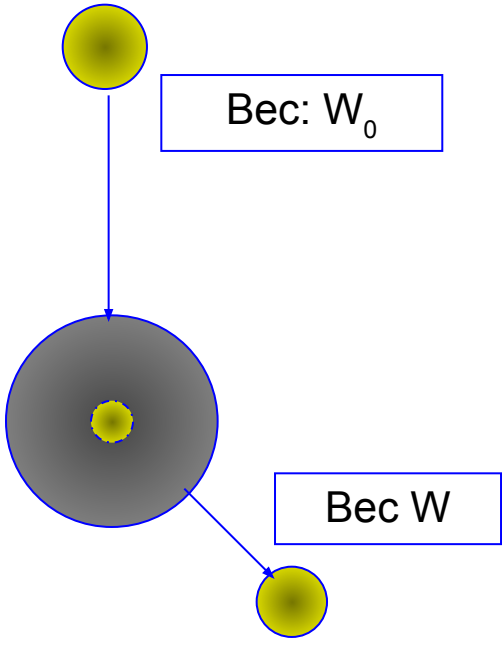
□ Взвешенный метод Монте-Карло:

- Даже если излучение частицы вызывают реакцию поглощения, само излучение до сих пор существует с уменьшенным весом, и вычисление продолжается. (Выжил)
- С точки зрения уменьшения дисперсии, этот метод является более предпочтительным, так как он не уменьшает количество частиц, хотя вес частицы уменьшается, что приводит к улучшению статистической погрешности результатов.

Решение метода (2)



с поглощением
Метод Монте-Карло Analog



Взвешенный метод Монте-Карло

Статистическая погрешность и дисперсия

- ◆ Статистическая погрешность и дисперсия в методе Монте-Карло
 - Ошибка описана с использованием стандартного отклонения (σ).
 - Дисперсия представляет собой квадрат стандартного отклонения (σ^2), и выражается с использованием обнаруженное значение, \bar{X} = Среднее Икс
- ◆ Вводные стандарты (стандарты частиц N , отклонение) приведены ниже

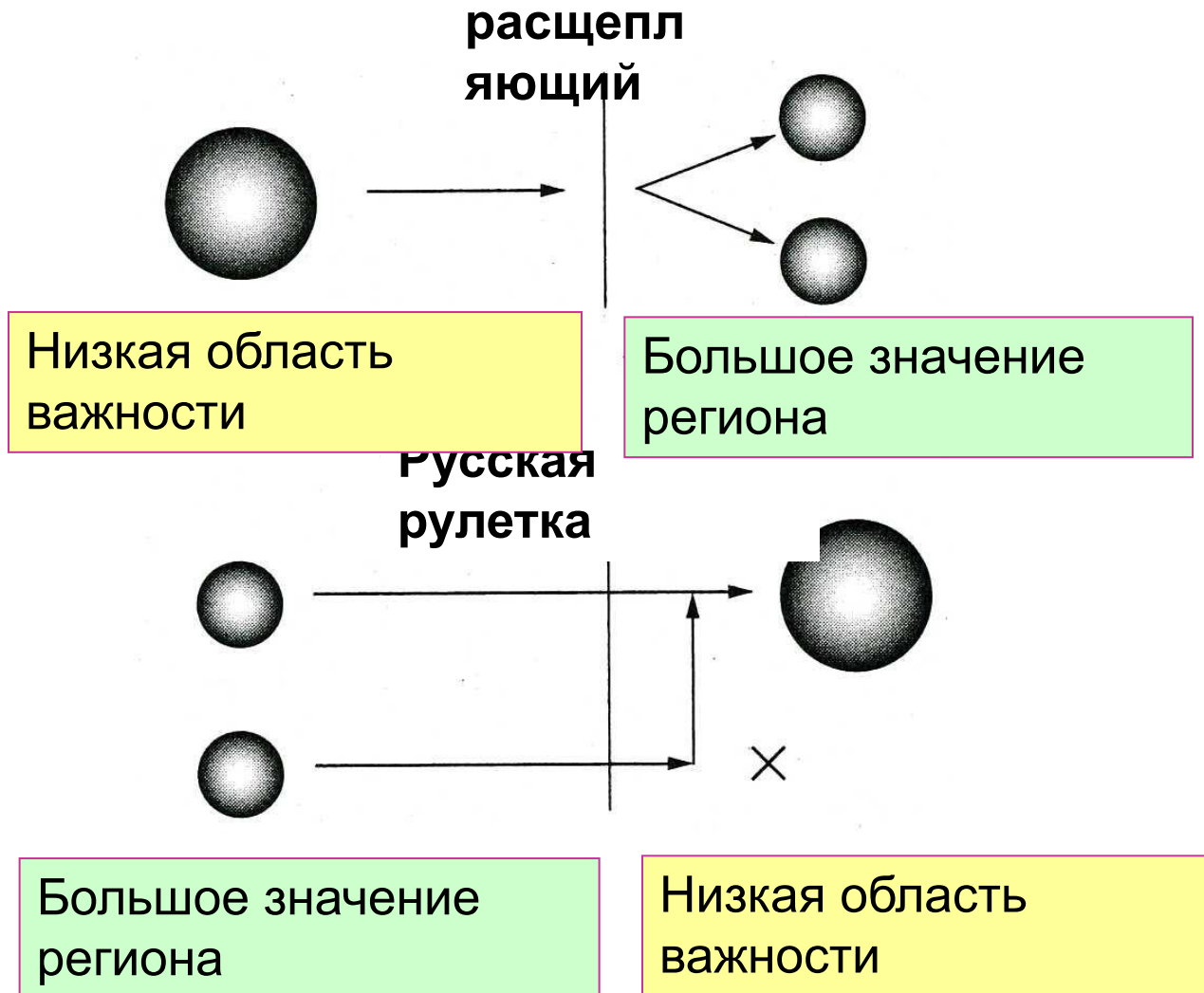
FSD	Качество бирки
0,5 - 1,0	отбросы
0,2 - 0,5	Коэффициент немного
0,1 - 0,2	Под вопросом
<0,10	Надежный, но и для точечного детектора
<0,05	Расписание для точечного детектора

- Критерии точности FSD для кода MCNP дается в правой таблице.
 - ФСД обратно пропорциональна квадратному корню из числа частиц N .
 - Простое увеличение числа частиц источника никогда не является разумным способом для повышения точности расчета.
- ◆ Методы снижения дисперсии были изучены до сих пор и все еще изучаются.

Способ снижения Дисперсия

- Как и в следующем рисунке, когда частицы двигаются от нижнего фазового пространства важности к более высокому,
 - ✓ Число частиц увеличивается путем разделения частиц, что приводит к улучшение дисперсии, [Расщепление]
 - Здесь понятие важности, чтобы показать степень вклада излучения частицы в детектор.
 - В противоположность этому, когда частицы движутся с более высокой значимости пространства в нижней одной частицы интегрированы и уменьшить их количество.
 - ✓ Это позволит избежать бесполезного расчета и приводит к повышение эффективности вычисления, [Русская рулетка]
 - В обоих расщеплении и российских дел в рулетку, общий вес частиц сохраняются до и после этих процессов
 - В способе оконной вес, однако, расщепление и русская рулетка наносятся на фазовом пространстве обоих космических и энергетических переменных.

Концепция расщепления и русская рулетка



Вес Метод окна

◆ Метод окна Веса

- Расщепление или русская рулетка производится всякий раз, когда частицы проходят через окно, в соответствии с W_L а также W_U , нижний предел и верхний предел веса частиц.
- Расщепление делается, когда вес частиц больше, чем W_U ,
- Русская рулетка сделана, когда масса частиц ниже W_L ,
- Никаких действий не будет сделано, когда вес частиц между W_L а также W_U ,
- Методика расчета метода показана на следующем рисунке. В этой геометрии, значение увеличивается в направлении от источника до точки детектора.
- Когда частицы движутся слева направо, частицы разбиваются, когда они пересекают границы. И наоборот, если они движутся в противоположном направлении, русская рулетка прикладывается к ним.

Доза Оценка для JCO критичности аварии - Моделирование расчета геометрии -



**Рис. Оценка дозы экспозиции
Для критичности аварии JCO**

- 30 сентября 1999 года в Токай-мура, Япония, авария произошла во время незаконного обращения с высоко-обогащенным раствором урана
- Трое рабочих были выставлены нейроны и два из них умерли.
- Анализ был необходим для оценки дозы внутренних органов работника.
- Метод Монте-Карло был применен для описания точного моделирования сложной геометрии и положения рабочих. (См рисунок)

Преимущества и недостатки Монте-Карло

преимущества

1. Он может иметь дело с 3-D сложной геометрией без привязки к каким-либо системам координат (наиболее выдающиеся заслуги).
2. Непрерывный код энергетической модели, MCNP, может быть свободен от ошибок, связанных с выработкой групповых постоянная.

Недостатки

1. Обычно это занимает довольно больше машинного времени по сравнению с другими сложными методами. (—► срочно разработать методы снижения дисперсии методы --Вес-Window и т.д.)
2. В основном он вычисляет потоки в указанных точках оценки, а не поток распределения по геометрии.