

РАЗДЕЛ 3. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОСЛАБЛЕНИЯ ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

3.1. Интенсивность излучения точечного изотропного моноэнергетического источника

Прежде чем приступить к рассмотрению характера взаимодействия излучений с веществом, введем некоторые понятия и определения, которые нам придется использовать далее.

Монохроматическое излучение (моноэнергетическое) – это поток, состоящий из фотонов одинаковой энергии. Лишь у некоторых радионуклидов спектр гамма-излучения монохроматический (цезий-137).

Если в состав потока излучения входят фотоны различных, но вполне определенных энергий, то спектр излучения называется **линейчатым** (Со-60).

Непрерывный спектр – излучение в состав которого входят фотоны всевозможных энергий, начиная от нуля до некоторой максимальной величины (тормозное излучение).

Наиболее важной характеристикой излучения является его энергия, поэтому в большинстве случаев, говоря об ослаблении излучения, подразумевают уменьшение интенсивности излучения. Интенсивностью излучения называется энергия ионизирующего излучения, проходящая за единицу времени через единичную площадку, расположенную перпендикулярно к направлению распространения излучения. Такое определение интенсивности годится как для электромагнитного, так и для корпускулярного излучения. При этом энергия, связанная с массой покоя частиц не учитывается. Если поток энергии распространяется в пустоте, то в этом случае интенсивность хорошо описывает все изменения, происходящие в этом потоке. Если мы имеем дело с однородным и не расходящимся пучком излучения, интенсивность будет везде постоянна. Для определения интенсивности в этом случае достаточно измерить количество энергии, проходящей за произвольный промежуток времени через произвольную площадку, расположенную внутри потока перпендикулярно к направлению распространения излучения, и разделить полученную величину на размер площадки и на величину промежутка времени.

Проследим, как изменяется интенсивность излучения на расстояниях R_1 и R_2 от источника S . Округлим мысленно точечный источник сферами с радиусами R_1 и R_2 , (рис. 15).

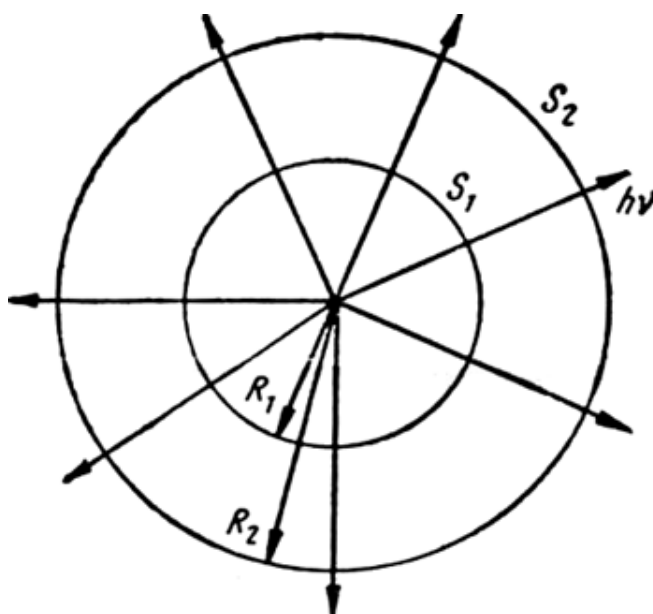


Рис. 15. Ослабление интенсивности излучения по закону квадрата расстояния.

Если между сферами не происходит поглощения, то поскольку излучение распространяется прямолинейно, энергия E , испускаемая источником, будет проходить через поверхность сферы S_1 и S_2 . Энергия излучения, проходящая через единицу поверхности сферы радиусом R_1 , т.е. интенсивность излучения I_1 на расстоянии R_1 от источника, будет равна:

$$I_1 = E / 4 \pi R_1^2 ,$$

где E – суммарная энергия излучения, испускаемая точечным источником в 1 с,

а $S_1 = 4 \pi R_1^2$ – поверхность сферы с радиусом R_1 , соответственно для сферы радиусом R_2 :

$$I_2 = E / 4 \pi R_2^2 , \text{ откуда } \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2} .$$

Если для точечного источника известна интенсивность излучения I_1 на каком-либо расстоянии R_1 , то можно определить интенсивность I , которую создает источник на любом расстоянии R :

$$I = \frac{I_1 R_1^2}{R^2} , \text{ а для случая, когда } R_1 = 1 \text{ см (или 1 м)} \quad I_R = \frac{I_1}{R^2} .$$

Все источники излучения, используемые на практике, имеют конечные размеры, следовательно, их нельзя считать точечными. Однако, когда линейные размеры источника значительно меньше расстояния, на котором производится измерение его интенсивности, с достаточной степенью точности выполняется закон обратной пропорциональности квадрату расстояния, т.е. в данных условиях источник точечный. Обычно это когда: **$a \ll (10-15) R$. Это закон обратных квадратов.**

Для моноэнергетического излучения $I = N h \nu$, где N – число фотонов, падающих в 1 с на площадку в 1 см^2 , $h \nu$ – их энергия.

Интенсивность излучения точечного источника излучения, (тонкий луч). Проследим, как изменяется интенсивность излучения вдоль пучка, расходящегося от точечного источника в пустоте. Если магнитные, электрические и другие поля отсутствуют или достаточно слабы и взаимодействием между собой частиц, из которых состоит излучение, можно пренебречь (а это всегда можно сделать для достаточно быстрых частиц), то все эти частицы будут распространяться прямолинейно, (рис. 16).

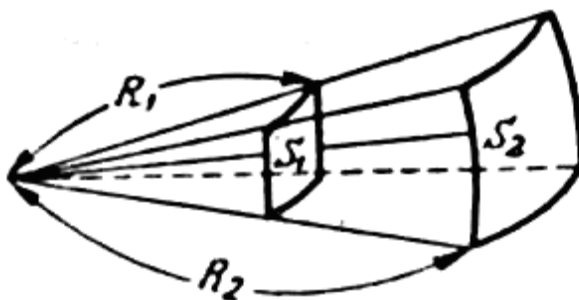


Рис. 16. Расходящийся пучок излучения.

Из рисунка видно, что интенсивность излучения вдоль потока из чисто геометрических соображений будет меняться обратно пропорционально квадрату расстояния от источника излучения:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2} .$$

Для не слишком больших расстояний от точечного источника, интенсивность I_R на расстоянии R от источника будет равна:

$$I_R = \frac{I_0}{R^2},$$

где I_0 – интенсивность на поверхности источника.

Однако, для достаточно больших R в веществе этот закон будет нарушаться. Величина R на которой нарушается закон, зависит от природы частиц, проникающей способности излучения и плотности вещества. Но даже на небольших расстояниях от точечного источника понятие «интенсивность» не годится для описания бета-излучения вследствие их сильного рассеяния. Поэтому обычно этим понятием пользуются только для рентгеновского и гамма- излучения, причем под интенсивностью понимают лишь энергию первичного пучка излучения, проходящую в единицу времени через единичную площадку. Энергия рассеянного излучения и вторичных электронов, проходящих через площадку, при этом не учитывается.

Интенсивность в точке. Если поток энергии неоднородный, то интенсивность излучения вдоль перпендикулярного сечения меняется. В этом случае для характеристики потока излучения вводят понятие интенсивности в точке. Интенсивностью в точке называется предел отношения энергии $E(S)$, проходящей за единицу времени через площадку, перпендикулярную к потоку излучения, к площади S , когда эта площадь неограниченно уменьшается (стремится к нулю):

$$I = \lim_0 \frac{E(S)}{S}.$$

Это определение годится и для случая однородного пучка излучения. На практике обычно приходится иметь дело с неоднородными и расходящимися пучками излучения.

3.2. Ослабление потока фотонного излучения

Рассмотрим узкий монохроматический пучок гамма-лучей. Пусть интенсивность излучения в точке (**К**) зарегистрированная прибором в отсутствии поглотителя, равна I_0 (рис. 17).

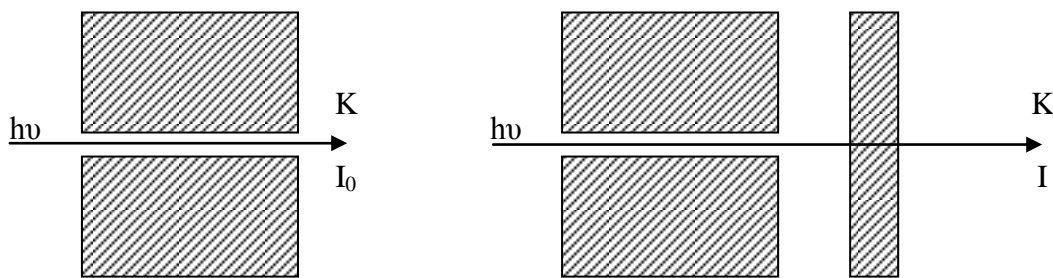


Рис. 17. Излучение в отсутствии поглотителя и с поглотителем.

Если, между источником излучения и прибором (детектором) поместить очень тонкий слой вещества толщиной (Δx), то интенсивность излучения в точке (**К**) изменится на малую величину и станет равной (**I**). Малое изменение интенсивности обозначим через (ΔI), то есть $I_0 - I = - \Delta I$. Знак минус указывает на то, что происходит уменьшение интенсивности излучения. Практические измерения показали, что $-\Delta I = \mu I \Delta x$, то есть

при прохождении излучения через тонкие слои поглотителя изменение интенсивности излучения пропорционально толщине слоя вещества и его первоначальной интенсивности, а также зависит от величины (μ), которая является функцией энергии падающего излучения и рода вещества и называется **линейным коэффициентом ослабления**. Если (Δx) измеряется в (см), то (μ) будет измеряться в см^{-1} . Если $\Delta x = 1$, тогда $\mu = \Delta I / I$. Таким образом, линейный коэффициент ослабления характеризует отношение

изменение интенсивности излучения при прохождении через слой вещества толщиной равной единице.

Разделив и умножив правую часть уравнения (1) на (ρ) плотность поглотителя, получим:

$$\Delta I = \mu I \Delta x \rho / \rho.$$

Рассмотрим, что представляет $(\Delta x \rho)$. Плотность (ρ) , масса вещества в единице объема выражается в $(\text{г}/\text{см}^3)$. Таким образом $(\Delta x \rho)$ – это масса вещества в цилиндре с площадью основания 1 см^2 и длиной (Δx) см. Если $\Delta x \rho = 1$, то $\mu / \rho = \Delta I / I$. Отношение μ / ρ называется **массовым коэффициентом ослабления излучения** и характеризует относительное ослабление интенсивности потока излучения при прохождении слоя вещества массой 1 г , заключенного в цилиндре или параллелепипеде с площадью основания, равной 1 см^2 , то есть

$$\mu / \rho = \frac{\text{см}^2}{\text{г}}.$$

Из выражения (1) путем интегрирования можно получить соотношение между интенсивностью излучения I_0 и I_1 в отсутствие поглотителя и после прохождения слоя поглотителя толщиной $(d, \text{см})$ соответственно (рис.18):

$$I_1 = I_0 \cdot e^{-\mu d},$$

где $e = 2,72$; d – толщина поглотителя.

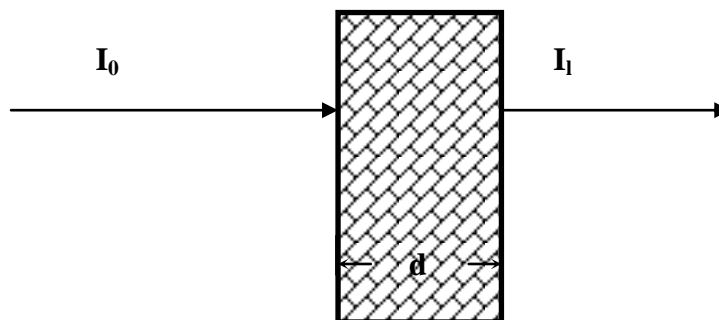


Рис.18 . К понятию закона ослабления излучения в поглотителе.

Экспоненциальная зависимость закона ослабления фотонного излучения в веществе имеет вид, показанный на рис. 19.

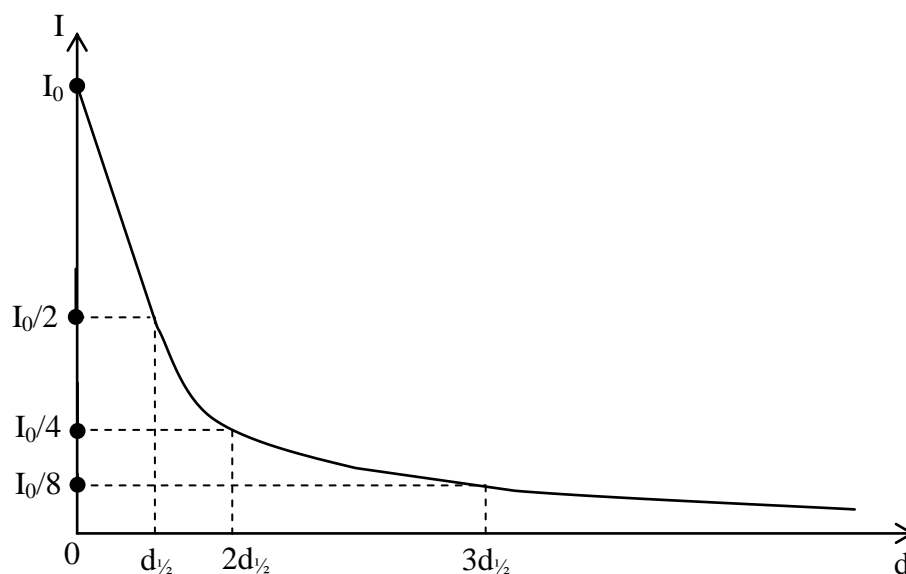


Рис. 19. Экспоненциальная зависимость ослабления фотонного излучения.

График не соединяется с горизонтальной осью, это означает, что гамма-лучи нельзя полностью поглотить, а можно лишь только ослабить до сколь угодно малой величины.

Толщина поглотителя, после прохождения которого интенсивность излучения уменьшается вдвое, называется **слоем половинного ослабления (полуослабления) $d_{1/2}$** и измеряется в «см». Связь между слоем полуослабления и линейным коэффициентом ослабления имеет вид:

$$d_{1/2} = 0,693 / \mu.$$

Для расчета толщины поглотителя необходимо знать кратность ослабления (k) раз, то есть $k = I / I_{\text{доп}}$, где I_0 – интенсивность излучения (мощность дозы, доза) на поверхности источника, $I_{\text{доп}}$ – допустимая интенсивность (мощность дозы, доза) излучения на рабочем месте (НРБ-2000). Таким образом, необходимо взять столько слоев полуослабления, сколько раз число 2 входит сомножителем в число (k). Часто используют слой десятикратного ослабления. Это толщина поглотителя, после прохождения которого интенсивность излучения уменьшается в 10 раз, то есть $I = I_0 / 10$ и обозначается $\Delta_{0,1}$ или $d_{0,1}$. Этой величиной удобно пользоваться при расчете защиты для источников большой активности, интенсивность излучения которых необходимо ослабить в сотни и тысячи раз. То есть, чтобы ослабить излучение в 10^n раз ($I/I_0 = (I/10)^n$) необходимо, чтобы толщина поглотителя равнялась « n » слоям десятикратного ослабления. Иногда используют величину стократного или тысячекратного ослабления и соответственно обозначаются $\Delta_{0,01}$ или $d_{0,01}$ и $\Delta_{0,001}$ или $d_{0,001}$. В практических расчетах физических защит часто используют универсальные таблицы, номограммы и графики.