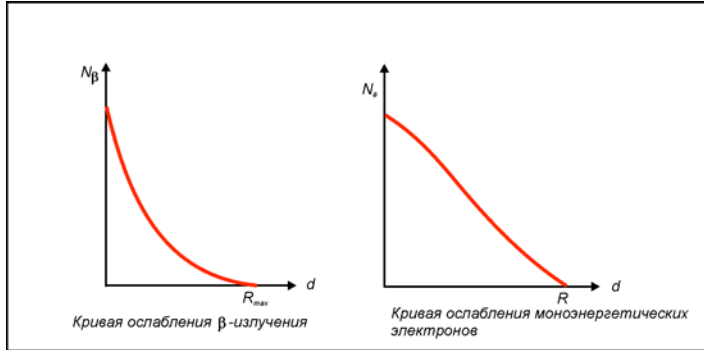


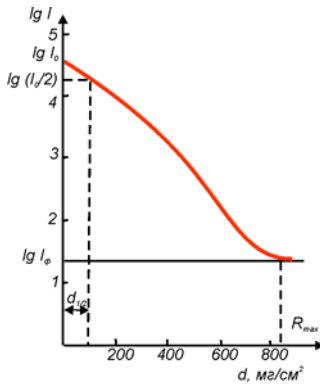
### 3.3 Поглощение $\beta$ -излучения веществом

При прохождении через вещество  $\beta$ -частицы легко рассеиваются в веществе, в связи с чем траектория  $\beta$ -частицы в 1,5 - 4 раза превышает пройденную толщину слоя вещества. Поэтому пробегом  $\beta$ -частиц данной энергии в веществе называют не длину траектории (как для  $\alpha$ -частиц), а минимальную толщину поглотителя (вещества) при которой практически полностью задерживаются все электроны начального потока  $\beta$ -частиц. Поскольку  $\beta$ -излучение имеет непрерывный энергетический спектр, то проникающая способность  $\beta$ -частиц характеризуется максимальным пробегом частиц. Максимальный пробег  $R_{max}$  соответствует пробегу в данном веществе  $\beta$ -частиц максимальной энергии  $E_{max}$  в данном спектре  $\beta$ -излучения.



**Рис.9** Ослабление пучка  $\beta$ -частиц (а) и электронов (б) при прохождении через вещество.

Суммарный процесс поглощения и рассеяния  $\beta$ -излучения веществом характеризуется величиной ослабления потока  $\beta$ -излучения. Кривая зависимости числа  $\beta$ - частиц  $N$ , проходящих через поглотитель данной толщины от ослабляющего слоя  $d$  изображена на **Рис.9а**, для сравнения на **Рис.9б** приведена кривая ослабления моноэнергетических



электронов.

**Рис.10.** Кривая ослабления  $\beta$ - излучения в веществе, построенная в полулогарифмическом масштабе.

Ослабление  $\beta$ -излучения с непрерывным энергетическим спектром описывается сложным законом, представляющим собой суперпозицию, которая возникает при сложении всего множества линейных кривых ослабления, соответствующих моноэнергетическим электронам со всевозможными энергиями от нулевой до максимальной энергии  $E_{max}$  данного спектра  $\beta$ -излучения. Однако начальный участок графика ослабления (при толщинах менее  $0,3R_{max}$ ) довольно хорошо описывается экспоненциальной зависимостью:

$$n_l = n_0 * e^{-\mu' l}, \quad (37)$$

$n_0$  - число  $\beta$ - частиц, падающих на вещество - поглотитель;  $n_l$  - число  $\beta$ - частиц, прошедших сквозь вещество - поглотитель;  $l$  - толщина поглотителя;  $\mu'$  - линейный коэффициент ослабления, выражаемый в  $см^{-1}$ .

Линейный коэффициент ослабления  $\mu'$  зависит от максимальной энергии излучения  $E_{max}$  и свойств вещества - поглотителя. При определении энергии  $\beta$ -частиц в первом приближении  $\mu'$  зависит от числа электронов  $n_e$  в единице объема вещества - поглотителя. Последнюю величину  $n_e$  легко определить с помощью параметров  $Z$  и  $A$ , числа Авогадро  $N_a$  и плотности вещества  $\rho$ , используя соотношение:

$$n_e = N_a \rho Z / A. \quad (38)$$

Считая линейный коэффициент ослабления  $\mu'$  пропорциональным числу электронов  $n_e$

$$\mu' = K n_e. \quad (39)$$

$K$  - коэффициент пропорциональности,

получаем удобное для теоретического анализа соотношение:

$$\mu' = K N_a \rho Z / A. \quad (40)$$

Поскольку отношение  $Z/A$  для различных веществ - поглотителей меняются в достаточно узких пределах (0,5-0,4), практичнее пользоваться вместо линейного коэффициента ослабления  $\mu'$  массовым коэффициентом ослабления  $\mu = \mu' / \rho$  ( $см^2/г$ ).

Численные значения массового коэффициента  $\mu$  для данного  $\beta$ -излучения мало изменяются, отличаясь при переходе от легкого поглотителя к тяжелому не более чем на 25%. Дополнительное удобство использования массового коэффициента ослабления  $\mu$  заключается в том, что при экспоненциальной форме закона поглощения  $n_l = n_0 * e^{-\mu l}$ , толщину поглотителя  $l$  определяют по формуле:

$$d = l \rho \quad (41)$$

в граммах вещества, приходящихся на кв.см. поверхности.

$$n_d = n_0 e^{-\mu d} \quad (42)$$

Используя экспоненциальный закон ослабления  $n_l = n_0 * e^{-\mu d}$ , можно вывести зависимость между слоем половинного ослабления  $d_{1/2}$  и массовым коэффициентом ослабления  $\mu$ . Слой половинного ослабления  $\beta$ -излучения  $d_{1/2}$  называют толщиной поглотителя, снижающую вдвое количество  $\beta$ -частиц.

$$n_l/n_0 = e^{-\mu d_{1/2}} \quad (43)$$

Откуда легко определяется слой половинного ослабления  $\beta$ -излучения  $d_{1/2}$

$$d_{1/2} = \lg 2 / \mu = 0,693 / \mu. \quad (44)$$

Для  $\beta$ -излучения с  $E_{\max}$  более 0,8 МэВ максимальный пробег  $R_{\max}$  составляет порядка 7,2  $d_{1/2}$ .

В реальных условиях измерений экспоненциальная зависимость для ослабления  $\beta$ -излучения даже при малых, по сравнению с пробегом толщинах поглотителей выполняется с точностью в 10-15%. При толщине поглотителя, превышающей  $0,3R_{\max}$ , экспоненциальная зависимость вообще несправедлива вследствие того, что  $\beta$ -излучение имеет конечный пробег в веществе. При экспериментальном определении пробега  $\beta$ -частиц строят кривую ослабления в полулогарифмических координатах (Рис.7), причем пробегу  $R_{\max}$  соответствует такая толщина поглотителя  $d$ , начиная с которой дальнейшее увеличение толщины поглотителя  $d$  не приводит к спаду регистрируемой радиоактивности  $I$ . Обычно в качестве поглотителя используют алюминий. Зная экспериментально определенный максимальный пробег  $\beta$ -излучения в алюминии  $(R_{\max})_{Al}$ , можно рассчитать максимальный пробег в любом другом поглотителе  $F$  с известными параметрами  $A$  и  $Z$ .

$$(R_{\max})_F = (R_{\max})_{Al} \frac{(Z/A)_{Al}}{(Z/A)_F} \quad (45)$$

Поскольку максимальный пробег  $\beta$ -частиц в поглотителе-алюминии  $(R_{\max})_{Al}$  является функцией максимальной энергии  $E_{\max}$  для  $\beta$ -излучения, то можно воспользоваться эмпирическими таблицами и графиками, устанавливающими зависимость между значениями  $R_{\max}$  и  $E_{\max}$ . Для некоторых случаев использование графиков нецелесообразно, поэтому применяют эмпирические формулы, достаточно точно описывающие эти функции:

условие, МэВ	формула
$E_{\max} < 0,05$	$E_{\max} = 1,92R_{\max}^2 + 0,22R_{\max}^{1/2}$
$R_{\max} < 1,5$ $R_{\max} > 0,003$	$R_{\max} = (0,0121 + 0,27 E_{\max}^2)^{1/2} - 0,11$
$E_{\max} < 0,8$	$E_{\max} = 1,85R_{\max} + 0,245$
$R_{\max} > 0,3$	$R_{\max} = 0,542 E_{\max} - 0,133$

где  $E_{\max}$  в МэВ,  $R_{\max}$  – в г/см<sup>2</sup>. Точность этих формул не превышает 10-15%.

**Табл. 5.** Максимальные пробеги  $R_{\max}$ , слой половинного ослабления  $d_{1/2}$  и массовые коэффициенты ослабления  $\mu$   $\beta$ -излучения в алюминии

Максимальная энергия $\beta$ -частиц, МэВ	$R_{\max}$ , мг/см <sup>2</sup>	$d_{1/2}$ , мг/см <sup>2</sup>	$\mu$ , см <sup>2</sup> /г
0,01	0,16	0,1	6930
0,02	0,70	0,3	2310
0,05	3,9	0,8	866
0,10	14	1,8	385
0,20	42	3,9	178
0,30	76	7,0	99
0,40	115	11,7	59
0,50	160	17,5	40
0,60	220	24	29
0,70	250	30	23
0,80	310	37	19
0,90	350	45	15
1,00	410	53	13
1,25	540	74	9,4
1,50	670	97	7,1
1,75	800	119	5,8
2,00	950	140	5,0
2,50	1220	173	4,0