

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. В. Горшков. Гамма-излучение радиоактивных тел. Л., Изд-во ЛГУ, 1956.
2. J. Hirschfelder, E. Adams. Phys. Rev., 73, 863 (1948).

3. J. Hirschfelder, J. Magee, M. Hall. Phys. Rev., 73, 853 (1948).
4. Л. И. Гедеонов, В. П. Шведов, Г. В. Яковлева. Атомная энергия, 7, вып. 6, 545 (1959).

Расчет дозы внешнего γ -излучения от выпавших радиоактивных продуктов деления

Л. И. Гедеонов, В. П. Шведов, Г. В. Яковлева

В связи с проведением испытаний атомного оружия и выпадением радиоактивных продуктов деления на поверхности земли повсеместно производится оценка дозы внешнего γ -излучения, основанная на данных по непрерывному наблюдению за радиоактивными выпадениями. Непосредственное измерение дозы γ -излучения радиоактивного выпадения на больших расстояниях от места взрыва не представляется возможным, так как естественный γ -фон намного больше γ -излучения выпавших продуктов деления. Единственно возможным путем определения искомой дозы является расчет.

В данной работе оценена доза γ -излучения осколков деления, выпавших на территории Ленинградской области с начала испытаний атомного оружия до 1 января 1957 г.

Доза рассчитывалась для точки, находящейся на расстоянии 100 см над землей. При расчете было допущено, что все выпавшие активные вещества остаются в верхнем, бесконечно тонком и плоском слое земной поверхности. Такие факторы убывания активности, как вымывание из почвы, выветривание, экранирование неровностями поверхности и другие, не принимались во внимание; учитывался только естественный распад выпавших радиоактивных веществ. Доза γ -излучения рассчитывалась от момента выпадения до полного распада осколков (до $t = \infty$). Такой расчет позволяет судить только о верхней границе дозы.

Расчет производился по формуле

$$D = kQ,$$

где D —доза (в рентгенах), т. е. количество энергии, выделяемое γ -излучением в 1 см³ воздуха; Q —число всех предстоящих β -распадов осколков деления, выпавших на 1 см² почвы за все последующее время начиная с момента выпадения; k —коэффициент, характеризующий величину дозы на высоте 100 см над землей, если на 1 см² почвы произошел 1 распад.

Число предстоящих распадов осколочной активности для возраста этой активности более 60 суток вычислялось по формуле [1]

$$Q = 3515at, \quad (1)$$

где a —активность осколков (расп/мин), выпавших на 1 см² почвы; t —возраст выпавших осколков (сутки).

Число предстоящих распадов для возраста активности менее 60 суток находилось по формуле

$$Q = a\Phi(t), \quad (2)$$

где $\Phi(t)$ находилось по кривой, приведенной в работе [1]. Измерение активности продуктов деления, выпавших на 1 см² почвы, производилось ежедневно с 6 марта 1954 г. по методу, описанному в работе [2]. Активность неизвестного возраста условно относилась к середине серии испытаний, ближайшей перед выпадением активности. Результаты подсчета чисел предстоящих распадов сведены в табл. 1.

Таблица 1

Числа предстоящих распадов на 1 см² почвы

Год выпадения	Число предстоящих распадов на 1 см ² почвы
1954	$8,88 \cdot 10^6$
1955	$14,7 \cdot 10^6$
1956	$10,9 \cdot 10^6$
1954—1956	$34,5 \cdot 10^6$

Принимая во внимание сравнительно небольшую мощность испытаний, проведенных до 1954 г., можно считать, что активность всех осадков, выпавших до 1954 г., не превышает активности осадков за 1954 г. Тогда число предстоящих распадов на 1 см² почвы от всех испытаний оценивается как $Q = 4,3 \cdot 10^7$ расп/см².

Вычисление коэффициента k производилось в три этапа: 1) расчет числа γ -квантов на один предстоящий β -распад смеси осколков деления; 2) вычисление потока γ -квантов от бесконечной плоскости, проходящего через площадку в 1 см², расположенную на высоте 100 см над землей; 3) расчет дозы γ -излучения в рентгенах.

Число γ -квантов на предстоящий β -распад зависит от возраста осколков в момент выпадения, который для простоты расчетов был принят равным 75 дням.

Бета-активные осколки, которые еще остаются в смеси осколков при возрасте смеси 75 дней в количестве, превышающем 0,2% от общего содержания, представлены в табл. 2.

В табл. 2 учитывается, что в равновесной цепочке $Ru^{106} - Rh^{106}$ имеется всего один регистрируемый β -распад, так как энергия β -частиц Ru^{106} настолько незначительна, что при измерении в толстом источнике они не регистрируются. По той же причине в таблице отсутствуют Pm^{147} и Sm^{151} .

Относительные числа предстоящих распадов осколков в смеси в возрасте 75 дней

Изотоп	Период распада	Выход в момент образования, %	Доля от полного числа предстоящих распадов, а	Число γ -квантов на 1 β -распад, в	Средняя энергия γ -кванта, с
Sr ⁸⁹	54 дня	5	0,058	0	0
Sr ⁹⁰	27 лет	5	0,150	0	0
Y ⁹¹	61 день	5	0,060	0	0
Zr ⁹⁵ —Nb ⁹⁵	65 дней	6	0,160	1	0,72
Nb ⁹⁵	35 дней	0	0,054	1	0,75
Ru ¹⁰³	42 дня	3	0,032	1	0,5
Ru ¹⁰⁶ —Rh ¹⁰⁶	1 год	2,5	0,066	0,2	0,8
Cs ¹³⁷	33 года	5	0,150	0,92	0,66
Ce ¹⁴¹	33 дня	6	0,044	0,7	0,15
Ce ¹⁴⁴	290 дней	5	0,113	0,5	0,08
Pr ¹⁴⁴	—	5	0,113	0,01	—

Среднее число γ -квантов на распад находят по формуле

$$\nu = \frac{\sum_{i=1}^{11} a_i b_i}{\sum_{i=1}^{11} a_i} \quad (3)$$

Среднюю энергию испускаемых γ -квантов находят по формуле

$$E_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{11} a_i b_i c_i}{\sum_{i=1}^{11} a_i b_i} \quad (4)$$

Смесь осколков в возрасте 75 дней имеет $\nu = 0,45$ кванта на 1 предстоящий β -распад; $E_{\text{ср}} = 0,60$ Мэв.

Поток γ -квантов, испускаемых бесконечной плоскостью, загрязненной осколками деления, и проходящих через площадку в 1 см^2 , расположенную на высоте 100 см над плоскостью, без учета вторичного излучения определяется формулой (5), приведенной в работе [3],

$$N = -\frac{Q\nu}{2} Ei(-100\mu), \quad (5)$$

где N — искомый поток γ -квантов; Q — число β -распадов на 1 см^2 почвы; ν — число γ -квантов на 1 β -распад; $Ei(-100\mu)$ — функция Ei при аргументе (-100μ) ; μ — коэффициент ослабления лучей в воздухе в 1 см^{-1} (для $E_{\text{ср}} = 0,60$ Мэв), равный $10,8 \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-1}$.

Энергетические потери γ -лучей в воздухе при малом коэффициенте истинного поглощения $\tau + \sigma_\beta$ составляют

$$\Delta I = I_0 - I = I_0 \{1 - e^{-(\tau + \sigma_\beta)x}\} = I_0 (\tau + \sigma_\beta) x, \quad (6)$$

где $I_0 = NE_{\text{ср}}$; x — путь γ -лучей в воздухе (см); $(\tau + \sigma_\beta)$ — коэффициент истинного поглощения в комптоновском и фотоэффекте; $\tau + \sigma_\beta = 3,8 \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-1}$.

При прохождении γ -лучами 1 см воздуха энергия, выделенная этим излучением,

$$\Delta W = I (\tau + \sigma_\beta) = NE_{\text{ср}} (\tau + \sigma_\beta) \text{ Мэв}, \quad (7)$$

а доза в рентгенах [3] —

$$D = 1,45 \cdot 10^{-5} NE_{\text{ср}} (\tau + \sigma_\beta). \quad (8)$$

Подстановка в (8) выражения (5) для N дает

$$D = -1,45 \cdot 10^{-5} \frac{Q\nu (\tau + \sigma_\beta) E_{\text{ср}}}{2} Ei(-100\mu) p. \quad (9)$$

Замена ν , $\tau + \sigma_\beta$, $E_{\text{ср}}$ и $Ei(-100\mu)$ их численными значениями дает

$$D = 3,7 \cdot 10^{-10} Qp. \quad (10)$$

Величина $3,7 \cdot 10^{-10}$ характеризует мощность дозы на высоте 100 см над землей, если на 1 см^2 поверхности земли происходит 1 распад. Оценка этой величины, по литературным данным, дает следующие значения ($p/\text{расп}$): $8,2 \cdot 10^{-10}$ [4]; $4,6 \cdot 10^{-10}$ [5]; $16 \cdot 10^{-10}$ [6]; $3,4 \cdot 10^{-10}$ [7].

Первое из приведенных значений нужно считать завышенным, так как при его расчете предполагалось, что на 1 β -распад излучается 1 γ -квант. Если считать, что на 1 распад излучается 0,45 γ -кванта, то в первом случае получается $3,7 \cdot 10^{-10} p/\text{расп}$.

Авторы работы [6] отмечают, что они дают только порядок величины. С учетом этих оговорок различные оценки величины мощности дозы на один акт распада хорошо согласуются со значением, найденным в этой работе. Подстановка в выражение (10) для D ранее рассчитанного значения $Q = 4,3 \cdot 10^7 \text{ расп/см}^2$ дает

$$D = 0,016p \text{ за 30 лет.}$$

Для Англии значение дозы оценено в 0,055 p [8]. Для США значение дозы, рассчитанное при допущениях, принятых в данной работе, колеблется в зависимости от расстояния от полигона в пределах 0,006—0,160 p [9]. Доза, получаемая человеком за 30 лет от космических лучей и от естественной радиоактивности почвы, лежит в пределах 4,3—5,5 p [10, 11].

Из сравнения приведенных данных видно, что дозы γ -излучения, полученные для различных стран, близки по величине и намного меньше дозы от природных γ -лучей. Хотя, как следует из этих данных, внешнее γ -излучение радиоактивных осадков непосредственной опасности не представляет, тем не менее наличие добавочного облучения может стать причиной нежелательных генетических последствий. Кроме того, значительная часть выпадающей активности принадлежит Sr^{90} , попадание которого внутрь организма является опасным.

Авторы выражают благодарность проф. К. К. Аглинцеву за ценные указания и советы при выполнении настоящей работы.

Поступило в Редакцию 20/V 1957 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Блинов, Л. И. Геденов. Физика и теплотехника реакторов. Приложение № 1 к журналу «Атомная энергия», 1958, стр. 96.
2. В. П. Шведов, В. А. Блинов, Л. И. Геденов, Е. П. Анкудинов. Атомная энергия, 5, 577 (1958).
3. Г. В. Горшков. Гамма-излучение радиоактивных тел. Л., Изд-во ЛГУ, 1956.
4. The Effects of Atomic Weapons. Washington, US Gov. Print. Office, 1950.
5. E. Lapp. Bull. Atomic Scientists, 11, No. 2, 45 (1955).
6. M. Eisenbud, J. Harley. Science, 121, 677 (1955).
7. I. Blifford, H. Rosenstock. Science, 123, 619 (1955).
8. J. Cockroft. Nature, 175, 873 (1955).
9. M. Eisenbud, J. Harley. Science, 124, 251 (1956).
10. E. Lapp. Bull. Atomic Scientists, 11, No. 6, 216 (1955).
11. Science, 123, 1157 (1956).

Новые изотопы Sb^{112} и Sb^{114} и идентификация Sb^{113} и Sb^{115}

И. П. Селинов, Ю. А. Гриц, Ю. П. Кушакевич, Ю. А. Близде,
С. С. Васильев, Т. Н. Михалева

С целью идентификации изотопов сурьмы с периодами полураспада 7 и 31 мин [1] и поисков новых изотопов сурьмы было предпринято изучение активностей, образующихся на достаточно тонких мишенях, обогащенных изотопами олова с массовыми числами 112, 114—118, при облучении их

протонами на 120-сантиметровом фазотроне Научно-исследовательского института ядерной физики МГУ. Для разделения изотопов, получающихся в реакциях (p, n) и $(p, 2n)$, облучение производилось при нескольких значениях энергий протонов от 7 до 30 Мэв.

Рис. 1. Периоды полураспада радиоактивных изотопов сурьмы, химически выделенных из облученного протонами олова, обогащенного изотопом Sn^{112} .

Изотопный состав мишени (в процентах): Sn^{112} —52,3; Sn^{114} —1,5; Sn^{115} —1,5; Sn^{116} —11,2; Sn^{117} —4,2; Sn^{118} —11,2; Sn^{119} —4; Sn^{120} —10,7; Sn^{122} —1,4; Sn^{124} —0,2.

Энергия протонов 15 Мэв; время облучения 1 мин. Активность с периодом $T=3,5$ мин обусловлена в основном изотопом Sb^{118} ($T=3,5$ мин) и частично изотопом Sb^{114} ($T=3,4$ мин), так как в мишени содержится в 7,5 раза больше изотопа Sn^{118} , чем Sn^{114} .

