

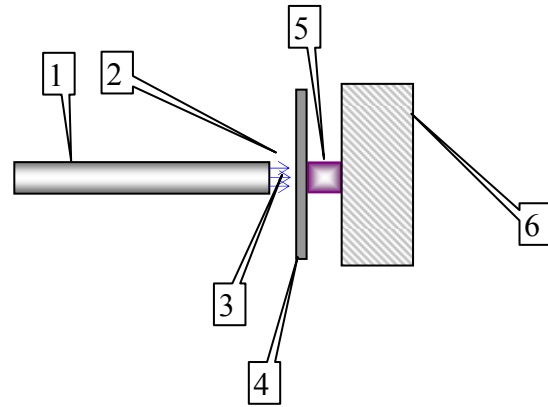
Облучение изотопа



ПОТОКОМ γ -КВАНТОВ

(эксперимент, расчет).

Моделировался процесс воздействия потока тормозных γ -квантов на изотоп ^{93}Nb . Условия расчета выбирались аналогичными условиям эксперимента, схематически представленного на рис. 1. Поток электронов (3) из ускорителя (1), через зазор (2) длиной 5мм направлялся на вольфрамовую тормозную мишень (4).



В результате взаимодействия электронов с вольфрамовой мишенью образовывался спектр тормозных γ -квантов с верхней границей 50 МэВ. Эти γ -кванты рассеивались на образце (5), состоящим из изотопа ^{93}Nb . Рассеянные γ -кванты регистрировались германиевым детектором (6). Время облучения образца составило 59 минут, полное время наблюдения за образцом – 119 минут, включая время облучения.

Моделирование.

Образование и разрушение каждого изотопа при верхней энергии спектра тормозных фотонов 50 МэВ происходит в реакциях (γ, n) , $(\gamma, 2n)$, $(\gamma, 3n)$, $(\gamma, 4n)$ и (γ, p) или в результате β^+ , β^- -распадов, если изотоп имеет ту или иную активность. Зависимость количества любого изотопа описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{dN_{(A,Z)}(t)}{dt} = - \left[Y_{(A,Z)}^{(\gamma,n)} + Y_{(A,Z)}^{(\gamma,2n)} + Y_{(A,Z)}^{(\gamma,3n)} + Y_{(A,Z)}^{(\gamma,4n)} + Y_{(A,Z)}^{(\gamma,p)} + \lambda_{(A,Z)}^{\beta^-} + \lambda_{(A,Z)}^{\beta^+} + \lambda_{(A,Z)}^{\alpha} \right] N_{(A,Z)}(t) + \left\{ Y_{(A+1,Z)}^{(\gamma,n)} N_{(A+1,Z)}(t) + Y_{(A+2,Z)}^{(\gamma,2n)} N_{(A+2,Z)}(t) + Y_{(A+3,Z)}^{(\gamma,3n)} N_{(A+3,Z)}(t) + Y_{(A+4,Z)}^{(\gamma,4n)} N_{(A+4,Z)}(t) + Y_{(A+1,Z+1)}^{(\gamma,p)} N_{(A+1,Z+1)}(t) \right\} + \left\{ \lambda_{(A,Z-1)}^{\beta^-} N_{(A,Z-1)}(t) + \lambda_{(A,Z+1)}^{\beta^+} N_{(A,Z+1)}(t) + \lambda_{(A+4,Z+2)}^{\alpha} N_{(A+4,Z+2)}(t) \right\} \quad (1)$$

В этом уравнении слагаемое в квадратных скобках описывает уничтожение изотопа в процессах α - и β -распадов, а также в фотоядерных реакциях (γ, n) , $(\gamma, 2n)$, $(\gamma, 3n)$, $(\gamma, 4n)$ и (γ, p) . Слагаемое в фигурных скобках описывает образование изотопа в процессах α - и β -распадов и (γ, n) , $(\gamma, 2n)$, $(\gamma, 3n)$, $(\gamma, 4n)$ и

(γ, p) -реакциях на соответствующих изотопах. Уравнение (1) содержат следующие параметры:

$\lambda_{(A,Z)}^i$ - постоянная распада изотопа (A,Z) по каналу i , где индекс i отвечает α , β^- -и β^+ -распадам;

$Y_{(A,Z)}^j(E_{\gamma m})$ - выход фотоядерной реакции на изотопе (A,Z) , определяемый следующим соотношением:

$$Y_{(A,Z)}^j(E_{\gamma m}) = \Phi(\text{фотон.} \times c^{-1}) \int_{E_{\min}}^{E_{\gamma m}} W(E, E_{\gamma m}) \sigma_{(A,Z)}^j(E) dE, \quad (2)$$

где индекс j соответствует каналам реакций (γ, n) , $(\gamma, 2n)$, $(\gamma, 3n)$, $(\gamma, 4n)$ и (γ, p) на изотопе (A,Z) ;

Φ - плотность потока фотонов, облучающих мишень из исследуемого изотопа;

$\sigma_{(A,Z)}^j(E)$ - парциальное сечение фотоядерной реакции j ;

$W(E, E_{\gamma m})$ - спектр тормозного γ -излучения.

Тормозной спектр γ -излучения в уравнении (1) получен методом компьютерного моделирования при помощи библиотеки GEANT. Экспериментальные сведения о периодах полураспада изотопов взяты из «Центра данных фотоядерных экспериментов» НИИЯФ МГУ. Для описания сечений фотонейтронных реакций была использована статистическая модель атомного ядра, в основе которой лежат следующие положения:

- дипольное правило сумм с учетом обменных токов;
- энергия гигантского дипольного резонанса (ГДР) с учетом диффузности поверхности ядра;
- деформационное расщепление ГДР;
- изоспиновое расщепление ГДР.

Система дифференциальных уравнений 1, решалась численно методом Рунге-Кутты с контролем сходимости.

Результаты эксперимента и расчета представлены в таблице и на рис. 2, 3.

Z	40	41	41	41	41	41
A	92	89	90	91	92	93
	Zr	Nb	Nb	Nb	Nb	Nb
59 минут	$5.16 \cdot 10^9$	$2.8 \cdot 10^7$	$9.23 \cdot 10^8$	$2.66 \cdot 10^{10}$	$7.56 \cdot 10^{10}$	$3.24 \cdot 10^{22}$
119 минут	$5.16 \cdot 10^9$	$1.5 \cdot 10^{22}$	$8.78 \cdot 10^8$	$2.66 \cdot 10^{10}$	$7.56 \cdot 10^{10}$	$3.24 \cdot 10^{22}$
Эксперимент			$2.19 \cdot 10^9$		$1.11 \cdot 10^{11}$	

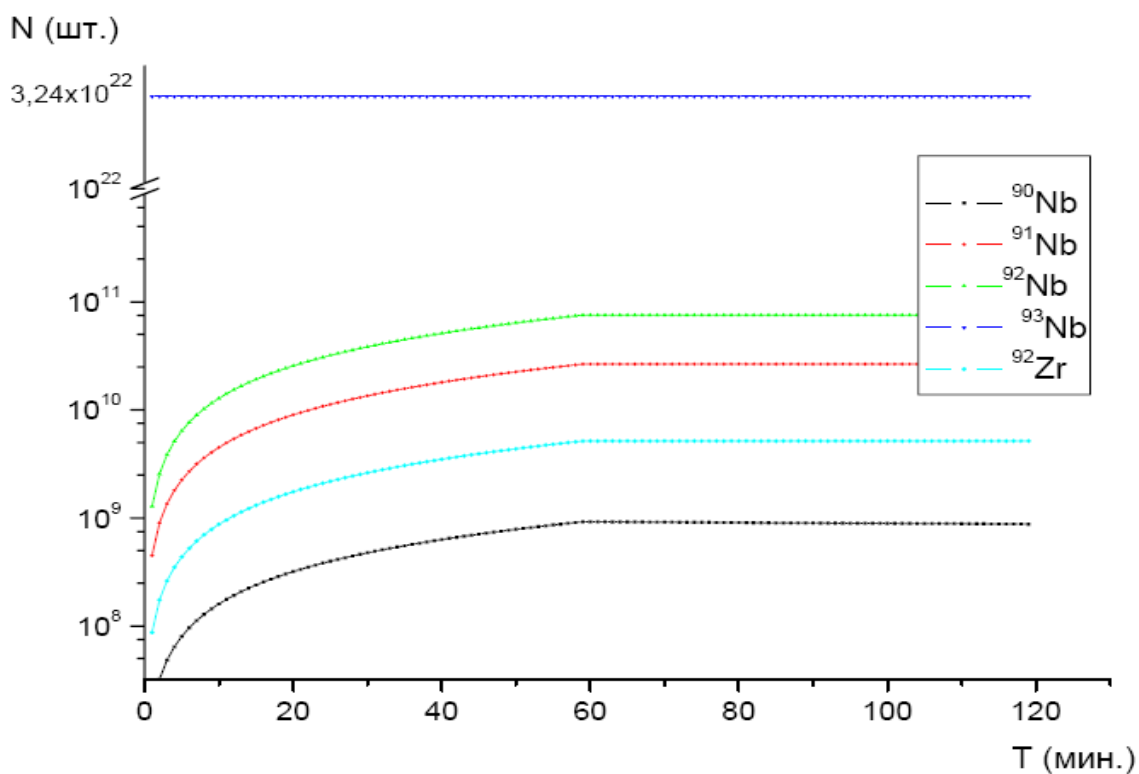


Рис. 2. Эволюция количества изотопов, образовавшихся в результате разрушения образца тормозным потоком γ -квантов. По оси абсцисс отложено время в минутах, по оси ординат – $lg(N)$.

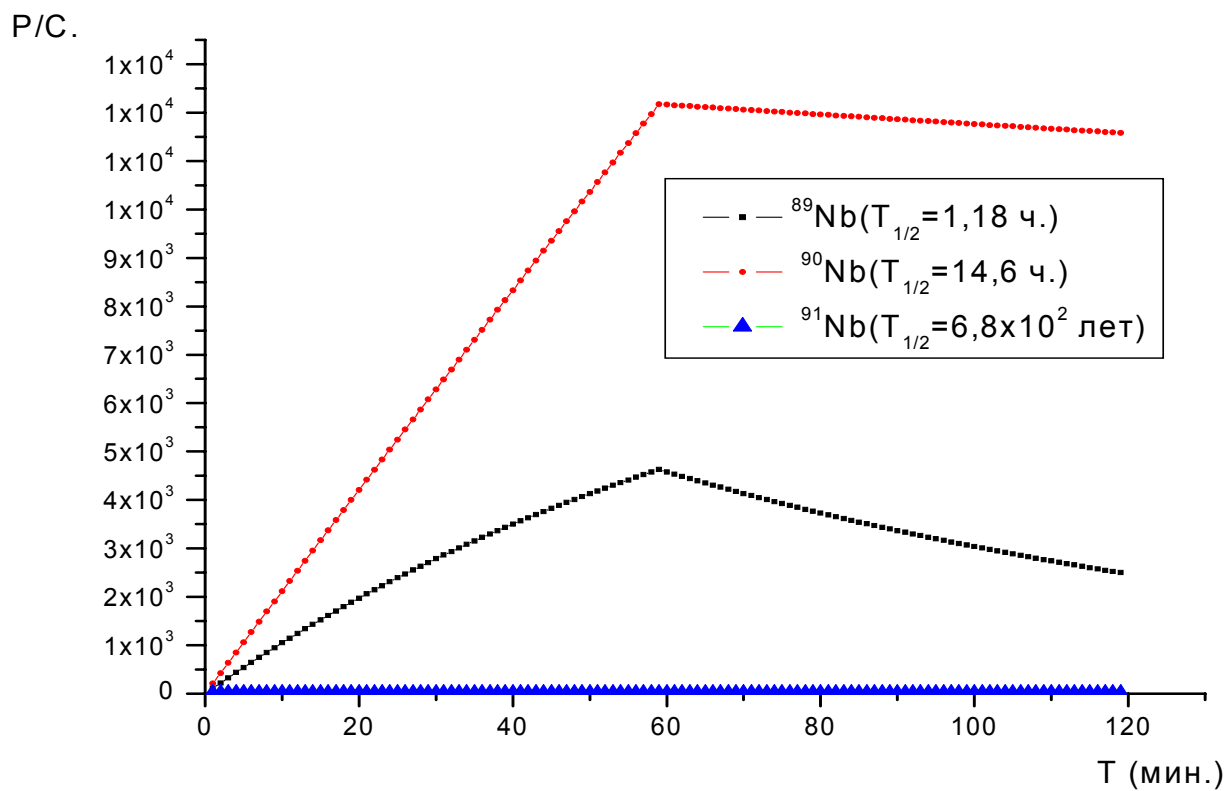


Рис. 3. Временная эволюция активности β^+ -активных изотопов. По оси абсцисс отложено время в минутах, по оси ординат – количество распадов в секунду.