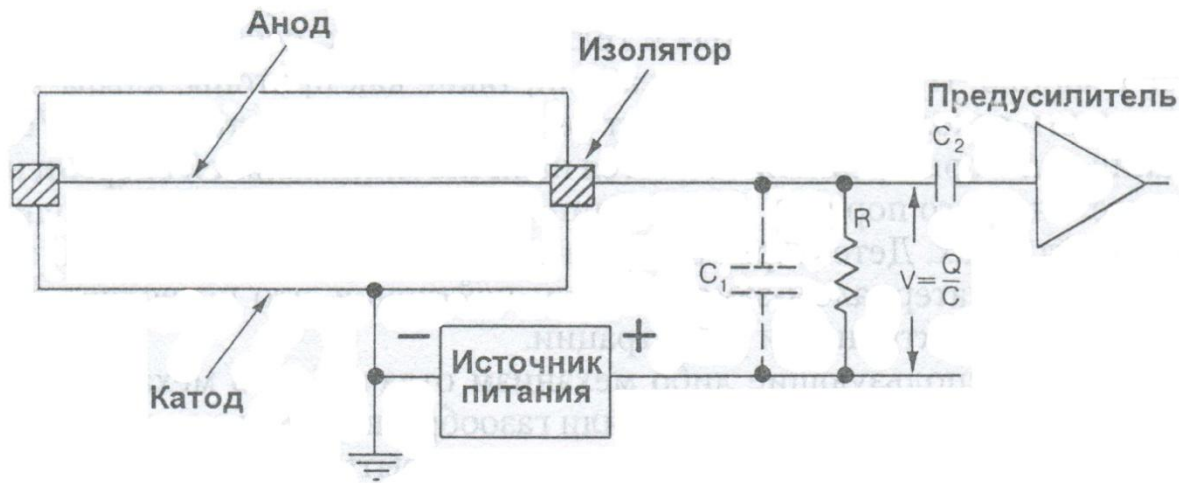


# ДЕТЕКТОРЫ НЕЙТРОНОВ

Механизмы регистрации нейтронов в веществе основаны на косвенных методах, как видно из самого названия нейтронов, они сами по себе нейтральны. Нейтроны не вступают, как гамма-кванты в непосредственное взаимодействие с электронами вещества.

Процесс регистрации нейтронов начинается тогда, когда при взаимодействии с ядрами нейтроны инициируют образование одной или нескольких заряженных частиц. Электрические сигналы, образованные этими заряженными частицами, могут затем обрабатываться детектирующей системой.

# Газонаполненные детекторы



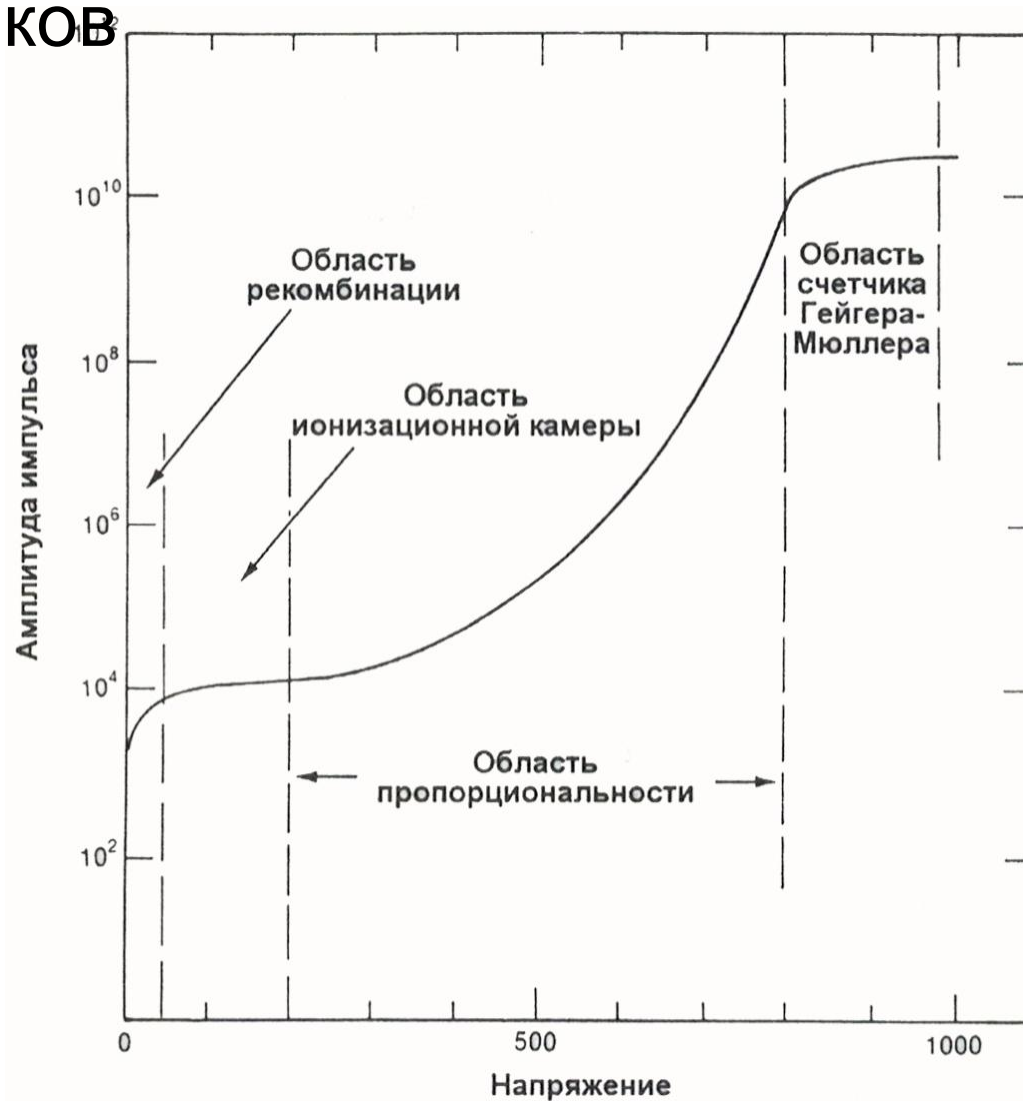
Толщина стенки: 0,5 см

Материал: SS (поглощ.  $n \sim 3\%$ ) или Al (поглощ.  $n \sim 0,5\%$ )

Анод: позолоченная вольфрамовая нить толщиной 0,03 мм

Если на трубку подавать незначительно напряжение, то большинство образовавшихся ионов рекомбинируют и электрический сигнал на выходе не образуется.

# Зависимость амплитуды импульсов от напряжения источника питания газонаполненных счетчиков



# Газ для детекторов

В зависимости от области применения рассматриваемые детекторы обычно заполняют  $\text{He}^3$ ,  $\text{He}^4$ ,  $\text{BF}_3$ ,  $\text{CH}_4$  под давление от 1 до 20 атм.

Для улучшения рабочих характеристик детектора часто добавляются другие газы. Например, для сокращения длины пробега продуктов реакции может использоваться тяжелый газ аргон.

Добавление тяжелого газа также ускоряет собирание зарядов, но имеет и негативное последствие – повышает чувствительность детектора к гамма-излучению.

# Чувствительность детекторов к гамма-излучению

Поскольку большинство ядерных материалов излучает гамма-квантов в 10 и более раз больше, чем нейтронов, чувствительность детектора к гамма-квантам является важным критерием для его выбора.

В любом детекторе гамма-кванты могут передавать энергию электронам в процессе комптоновского рассеяния. Комптоновское рассеяние может иметь место на стенках детектора или на атомах газа-наполнителя с образование электрона, который может ионизировать газ.

Комптоновское рассеяние – процесс упругого столкновения, в котором гамма-квант взаимодействует со свободным или слабо связанным электроном и передает часть своей энергии электрону. Электрон становится свободным с кинетической энергией, потерянной гамма-квантом.

## Вероятность взаимодействия нейтронов и гамма-квантов с материалами пропорциональных счетчиков и сцинтилляторов

	Вероятность взаимодействия	
	тепловые нейтроны	гамма-кванты с энергией 1 МэВ
<u>Материалы детекторов тепловых нейтронов</u>		
<sup>3</sup> He в трубке с Ø 2,5 см под давлением 4 атм	0,77	0,0001
Ag в трубке с Ø 2,5 см под давлением 2 атм	0,0	0,0005
BF <sub>3</sub> в трубке с Ø 5,0 см под давлением 0,66 атм	0,29	0,0006
Алюминиевая стенка трубки толщиной 0,8 мм	0,0	0,014
	Вероятность взаимодействия	
	нейтроны с энергией 1 МэВ	гамма-кванты с энергией 1 МэВ
<u>Материалы детекторов быстрых нейтронов</u>		
<sup>4</sup> He в трубке с Ø 5,0 см под давлением 18 атм	0,01	0,001
Алюминиевая стенка трубки толщиной 0,8 мм	0,0	0,014
Сцинтиллятор толщиной 5 см	0,78	0,26

## Количество энергии, передаваемой нейтронами и гамма-квантами материалами счетчиков и сцинтилляторов

	Пробег альфа-частиц или протонов, см	dE/dx для электронов с энергией 400 кэВ, кэВ/см	Среднее количество энергии, переданной в нейтронной реакции, кэВ	Энергия, переданная электронами, кэВ*	Отношение количества энергии, переданной нейтронами и электронами
<u>Материалы детекторов тепловых нейтронов</u>					
<sup>3</sup> He в трубке Ø 2,5 см, 4 атм	2,1	1,1	~500	4,0	125
<sup>3</sup> He в трубке Ø 2,5 см, 4 атм + Ar, 2 атм	0,5	6,7	~750	24,0	30
BF <sub>3</sub> в трубке Ø 5,0 см, 0,66 атм	0,7	3,6	~2300	25,7	90
<u>Материалы детекторов быстрых нейтронов</u>					
<sup>4</sup> He в трубке Ø 5,0 см, 18 атм	0,1	6,7	1000	48	20
Сцинтиллятор толщиной 5 см	0,001	2000	1000	400	2,5

\* Длина пробега электронов рассчитывалась как  $\sqrt{2}$  × диаметр трубки.



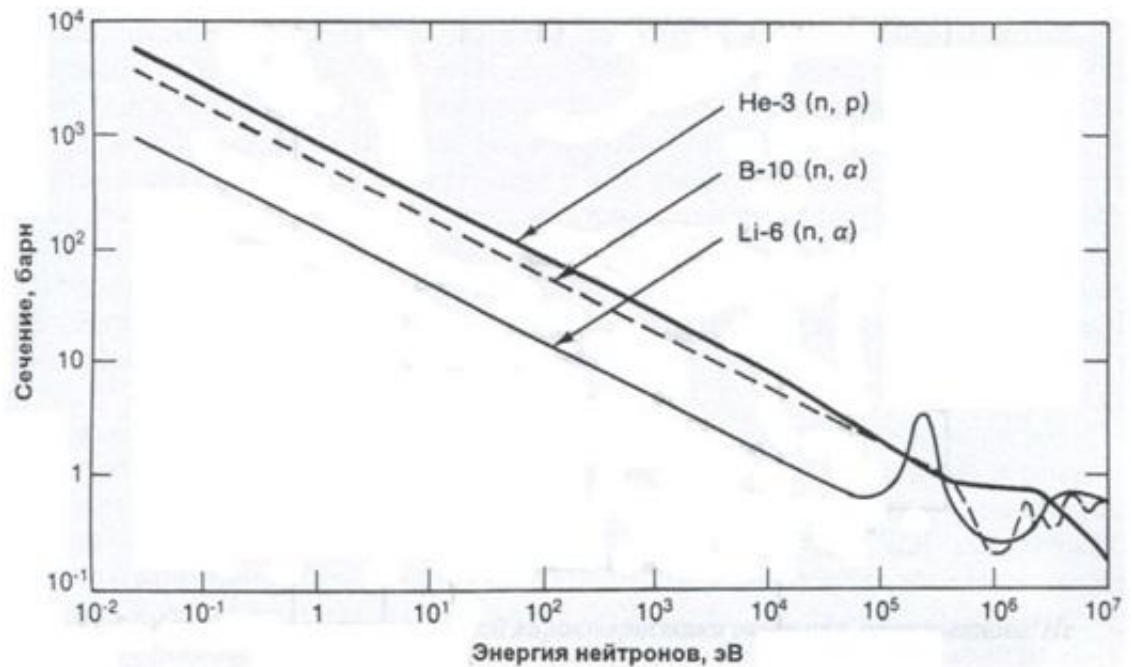
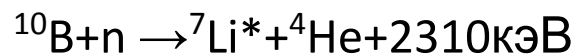
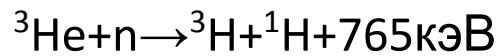
# Эффективность и чувствительность к гамма-квантам некоторых детекторов

Тип детектора	Размер	Материал, активно поглощающий нейтроны	Энергия нейтронов	Эффективность регистрации нейтронов*, %	Чувствительность к гамма-квантам**, Р/ч
Пластмассовый сцинтиллятор	Толщина 5 см	$^1\text{H}$	1 МэВ	78	0,01
Жидкий сцинтиллятор	Толщина 5 см	$^1\text{H}$	1 МэВ	78	0,1
Литиевое стекло	Толщина 1 мм	$^6\text{Li}$	Тепловая	50	1
Детектор Хорняка	Толщина 1 мм	$^1\text{H}$	1 МэВ	1	1
Метан под давлением 7 атм	$\varnothing$ 5 см	$^1\text{H}$	1 МэВ	1	1
$^4\text{He}$ под давлением 18 атм	$\varnothing$ 5 см	$^4\text{He}$	1 МэВ	1	1
$^3\text{He}$ , 4 атм, и Ar, 2 атм	$\varnothing$ 2,5 см	$^3\text{He}$	Тепловая	77	1
$^3\text{He}$ , 4 атм, и 5 % $\text{CO}_2$	$\varnothing$ 2,5 см	$^3\text{He}$	Тепловая	77	10
$\text{BF}_3$ под давлением 0,66 атм	$\varnothing$ 5 см	$^{10}\text{B}$	Тепловая	29	10
$\text{BF}_3$ под давлением 1,18 атм	$\varnothing$ 5 см	$^{10}\text{B}$	Тепловая	46	10
Камера с покрытием из $^{10}\text{B}$	0,2 мг/см <sup>2</sup>	$^{10}\text{B}$	Тепловая	10	10 <sup>3</sup>
Камера деления	2,0 мг/см <sup>2</sup>	$^{235}\text{U}$	Тепловая	0,5	10 <sup>6</sup> – 10 <sup>7</sup>

\* Вероятность взаимодействия нейтронов, падающих под прямым углом к поверхности детектора

\*\* Приблизительный верхний предел мощности дозы гамма-излучения, при которой еще можно получать сигналы на выходе детектора

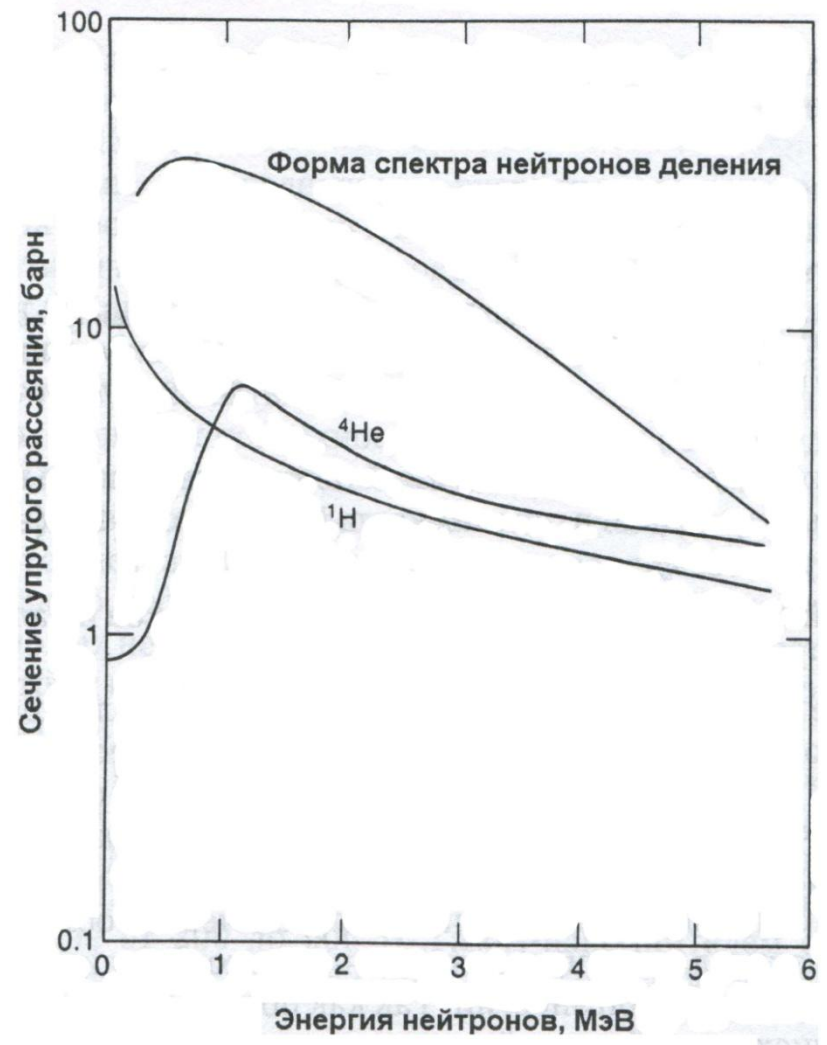
# Детекторы тепловых нейтронов на основе $^3\text{He}$ и $\text{BF}_3$



Зависимость сечения реакций  $^3\text{He}(n,p)$ ,  $^{10}\text{B}(n,\alpha)$  и  $^6\text{Li}(n,\alpha)$  от энергии падающих нейтронов

# Детекторы быстрых нейтронов, наполненные $^3\text{He}$ и $\text{CH}_4$

Зависимость сечения упругого рассеяния на  $^1\text{H}$  и  $^4\text{He}$  от энергии нейтронов (с наложением на рисунок кривой спектра нейтронов деления)



# Ионизационная камера КНК-56



Напряжение питания прибора ионизационная камера КНК56 - 200В-500В

Габариты - 50x50x655мм;

Масса ионизационной камеры КНК56 - 1600г.

# Пропорциональный счетчик СММ-18

Тип счетчика	Чувствительность к нейтронам, $\frac{\text{имп}/(\text{м}^2 \text{с})}{\text{нейтр}} \cdot 10^{-4}$	Рабочее напряжение, В	Допустимый поток гамма излучения, р/ч
СММ-10	0,3	2600 $\pm$ 50	500
СММ-11	1,2	1600 $\pm$ 50	1000
СММ-14	0,5	1600 $\pm$ 50	1000
СММ-17	2,5	1600 $\pm$ 50	50
СММ-18	50	1375 $\pm$ 50	1500

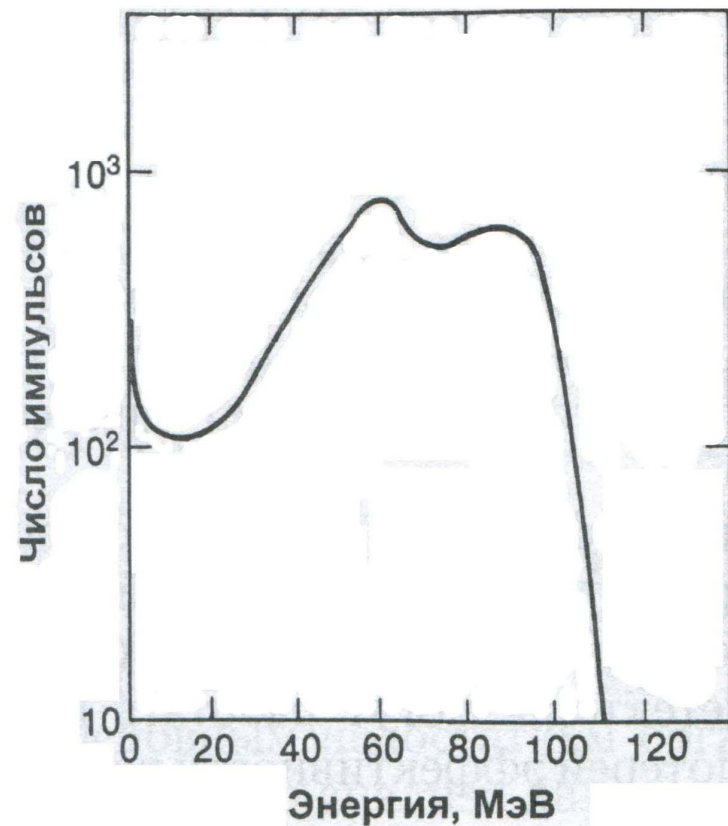


# Камеры деления

Камера деления регистрирует нейтроны, вызвавшие деление ядер материала, нанесенного на внутренней стенке.

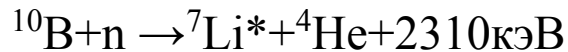
Спектр амплитуд импульсов камеры деления с покрытием из  $^{235}\text{U}$  с поверхностной плотностью около  $0,8 \text{ мг/см}^2$

Видна двухгорбая кривая от легкого и тяжелого осколка деления.

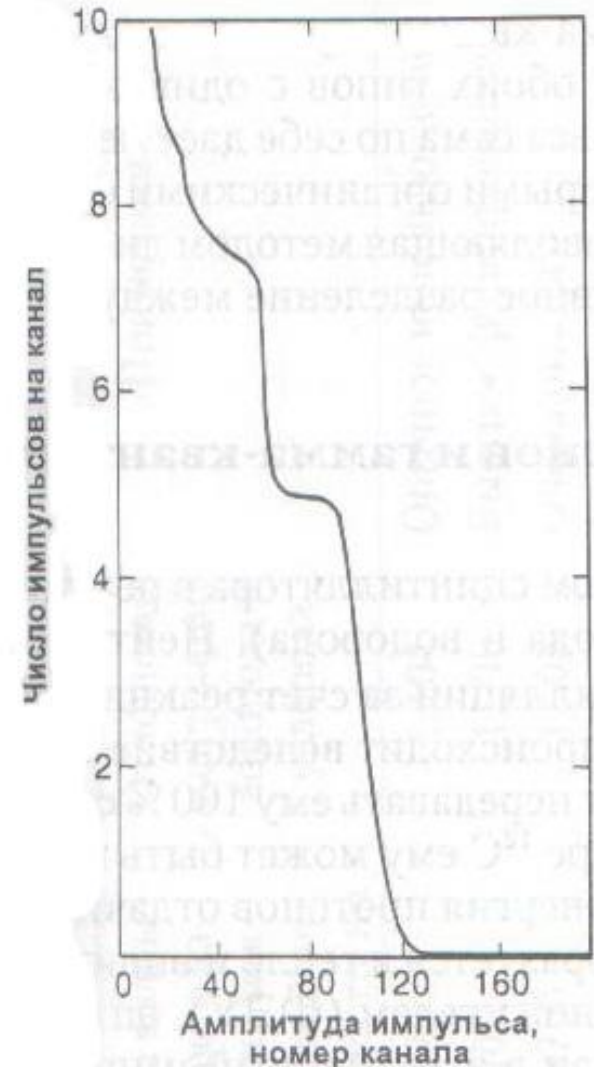


# Детекторы с покрытием из $B^{10}$

Промежуточное положение между пропорциональными счетчиками и камерами деления по эффективности регистрации нейтронов.



Спектр амплитуд импульсов пропорционального счетчика с покрытием из  $B^{10}$



# Другие виды детекторов

- Пластмассовые и жидкие сцинтилляторы
- Стеклянные сцинтилляторы
- Активируемые фольги
- Трековые детекторы



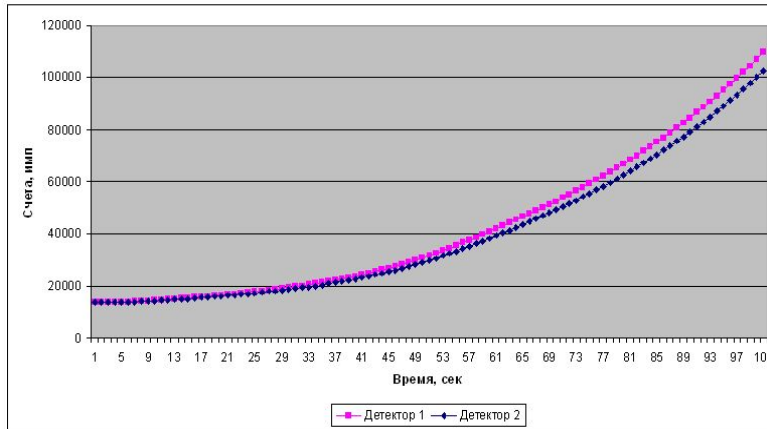
# Экспериментальное изучение пространственных эффектов при введении положительной реактивности

Влияние пространственных эффектов на времена достижения уставок аварийной защиты (по периоду и мощности)

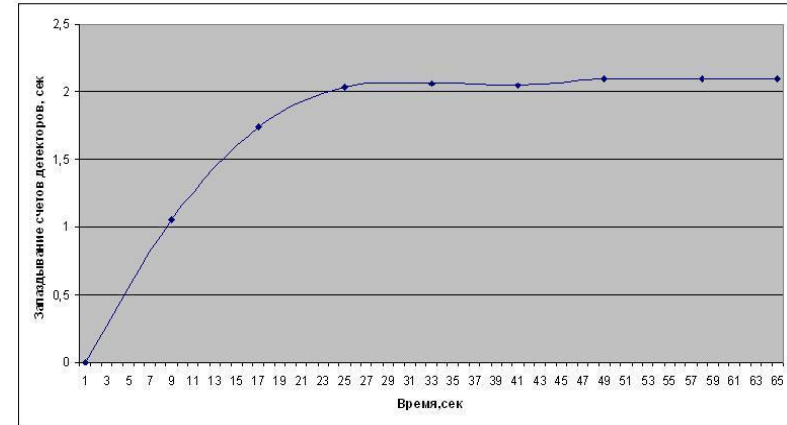
высота активной зоны  $\sim 80$  см,  
диаметр активной зоны  $\sim 2,5$  м.



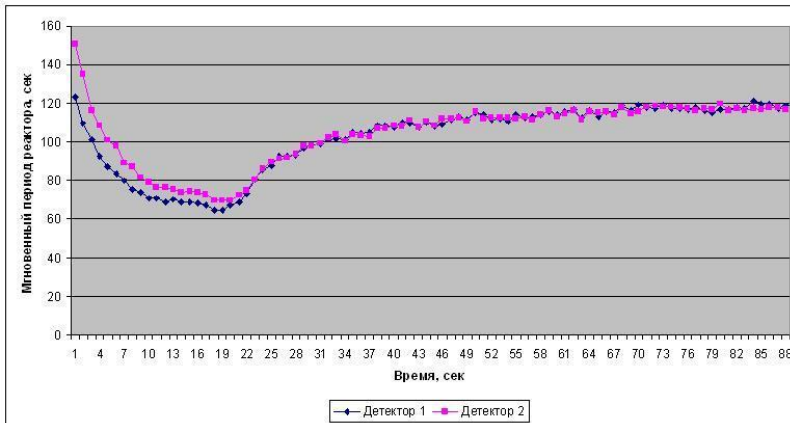
# Обработка результатов



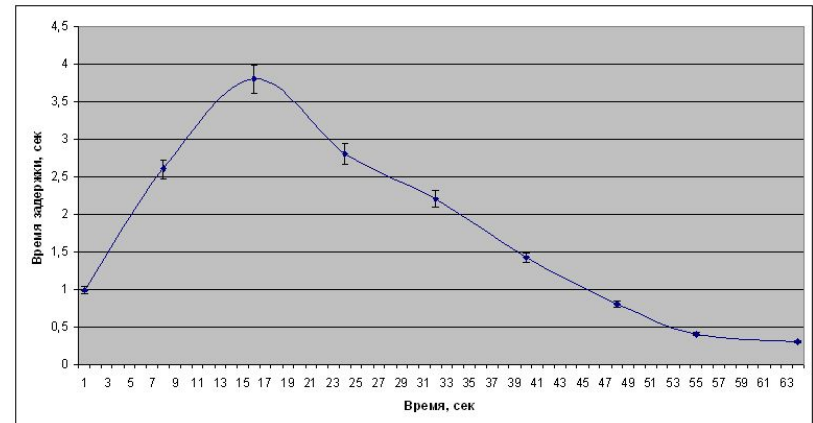
Расхождение отнормированных счетов детекторов



Изменение времени достижения аварийной уставки по мощности при вводе положительной реактивности



Значение мгновенного периода для детектора 1 и детектора 2



Изменение времени достижения аварийной уставки по периоду при вводе по

# Источники нейтронов

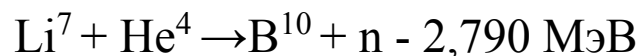
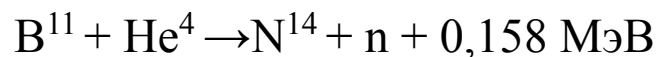
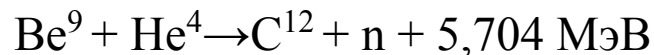
Нейтроны могут быть получены в реакциях на ядрах, в которых нейтроны наиболее слабо связаны. В этих реакциях может образоваться сначала возбужденное промежуточное ядро с энергией возбуждения. Если энергия возбуждения больше, чем энергия связи «последнего нейтрона» в промежуточном ядре, то вероятность излучения нейтрона достаточно велика. Остаточная энергия возбуждения распределяется в виде кинетической энергии между нейтроном и остаточным ядром. Ядро после вылета нейтрона может оказаться в возбужденном состоянии и перейти затем в основное состояние путем излучения гамма-кванта. Возможность получения нейтронов в той или иной реакции определяется энергией связи нейтрона в ядре.

## Энергия связи последнего нейтрона в легких ядрах

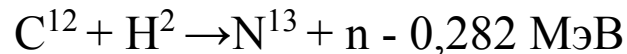
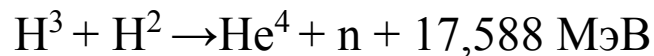
Ядро	Энергия связи, Мэв	Ядро	Энергия связи, Мэв	Ядро	Энергия связи, Мэв	Ядро	Энергия связи, Мэв
H <sup>2</sup>	2,225	Be <sup>9</sup>	18,896	C <sup>12</sup>	18,720	O <sup>15</sup>	13,222
H <sup>3</sup>	6,258	Be <sup>9</sup>	1,665	C <sup>13</sup>	4,937	O <sup>16</sup>	15,669
He <sup>3</sup>	7,719	Be <sup>10</sup>	6,814	C <sup>14</sup>	8,176	O <sup>17</sup>	4,142
He <sup>4</sup>	20,577	B <sup>9</sup>	18,575	N <sup>13</sup>	20,326	O <sup>18</sup>	8,047
He <sup>5</sup>	-0,956	B <sup>10</sup>	8,440	N <sup>14</sup>	10,553	F <sup>18</sup>	9,141
Li <sup>6</sup>	5,663	B <sup>11</sup>	11,456	N <sup>15</sup>	10,834	F <sup>19</sup>	10,442
Li <sup>7</sup>	7,253	C <sup>11</sup>	13,092	N <sup>16</sup>	2,500	F <sup>20</sup>	6,599
Li <sup>8</sup>	2,033						

## Различные типы реакций

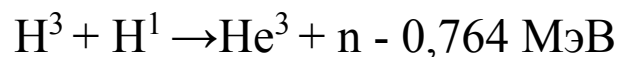
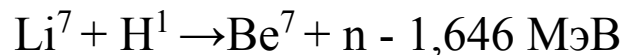
□ ( $\alpha$ , n)-реакция



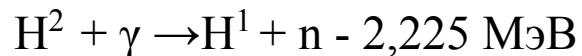
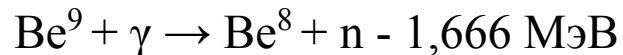
□ (d, n)-реакция



□ (p, n)-реакция



□ ( $\gamma$ , n)-реакция (ядерный фотоэффект)



# Радиоактивные ( $\alpha$ , $n$ ) источники

## Ра-Ве источник



В 1 г. чистого  ${}_{88}\text{Ra}^{226}$  происходит  $3,7 \cdot 10^{10}$  распадов в 1 секунду (1 кюри).

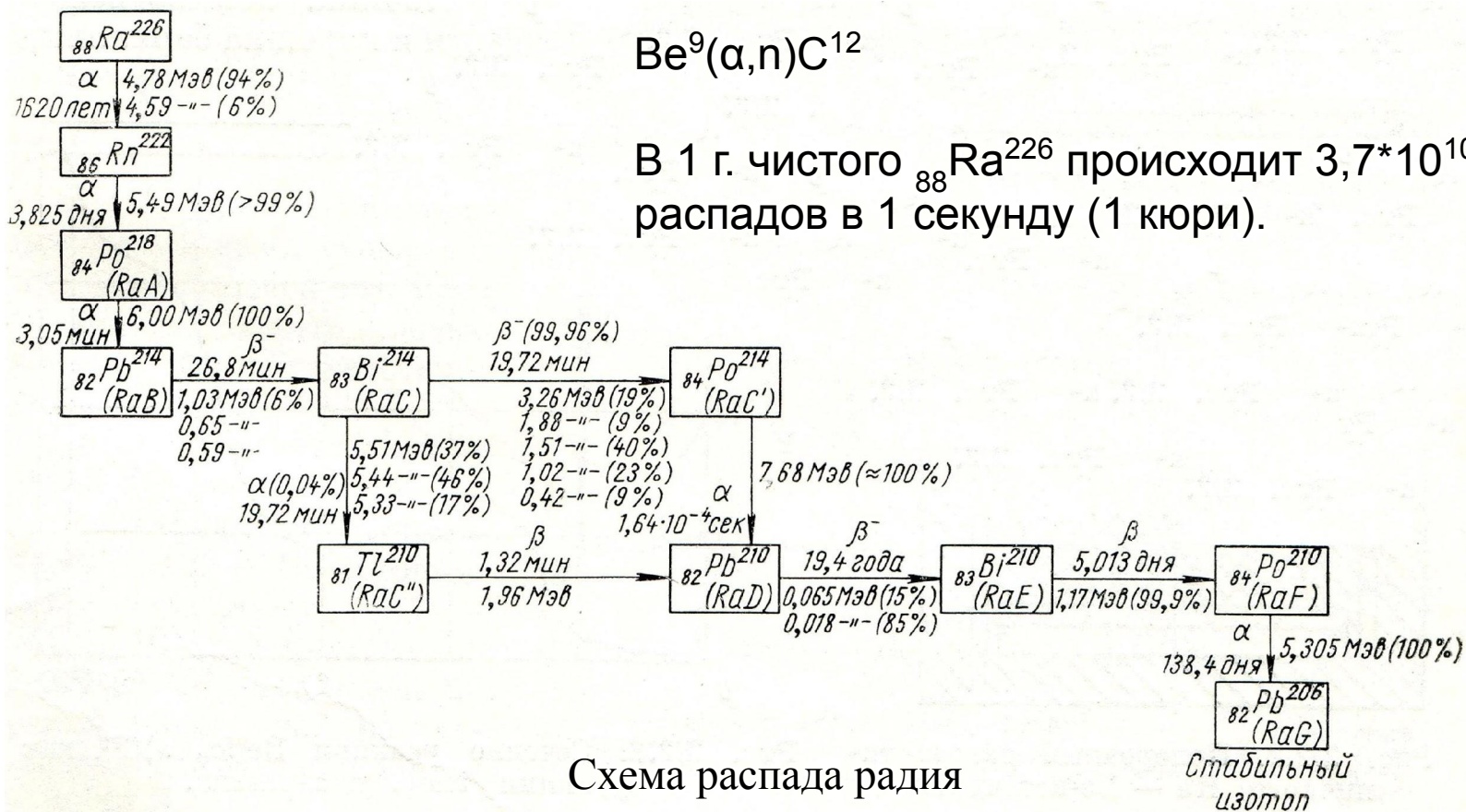


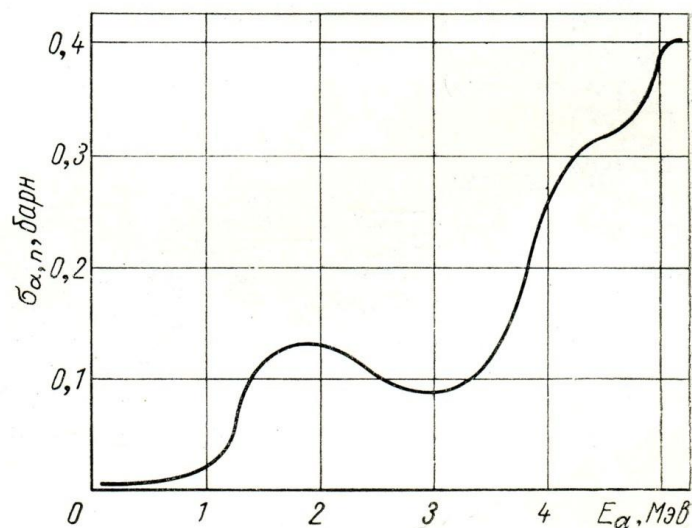
Схема распада радия

## Характеристики Ra – Be источника

Среди дочерних элементов имеются также  $\beta$ -излучатели, которые образуют сильно возбужденные ядра, испускающие гамма-лучи

Энергия, Мэв	Выход $\gamma$ -квантов на один акт $\alpha$ -распада Ra <sup>226</sup>	Энергия нейтронов реакции Be <sup>9</sup> ( $\gamma$ , n) Be <sup>8</sup> , кэв	Энергия, Мэв	Выход $\gamma$ -квантов на один акт $\alpha$ -распада Ra <sup>226</sup>	Энергия нейтронов реакции Be <sup>9</sup> ( $\gamma$ , n) Be <sup>8</sup> , кэв
1,690	0,0224	21	2,090	0,022	377
1,761	0,143	84	2,200	0,059	475
1,820	0,024	137	2,420	0,025	670

Сечение реакции Be<sup>9</sup>( $\alpha$ ,n)C<sup>12</sup>  
как функция энергии  $\alpha$ -  
частиц





Обычно вещество источника представляет собой смесь бромида радия и порошка бериллия, спрессованную под большим давлением. Эту смесь аккуратно запаивают в оболочку из латуни или никеля, которую из соображений безопасности (радон) окружают второй оболочкой. Радий и бериллий смешивают, как правило, в весовом отношении 1:5.

Мощность Ra-Be источника составляет  **$(1,2-1,7) \cdot 10^7$  нейтрон/сек.**

## Другие источники ( $\alpha$ , n) типа

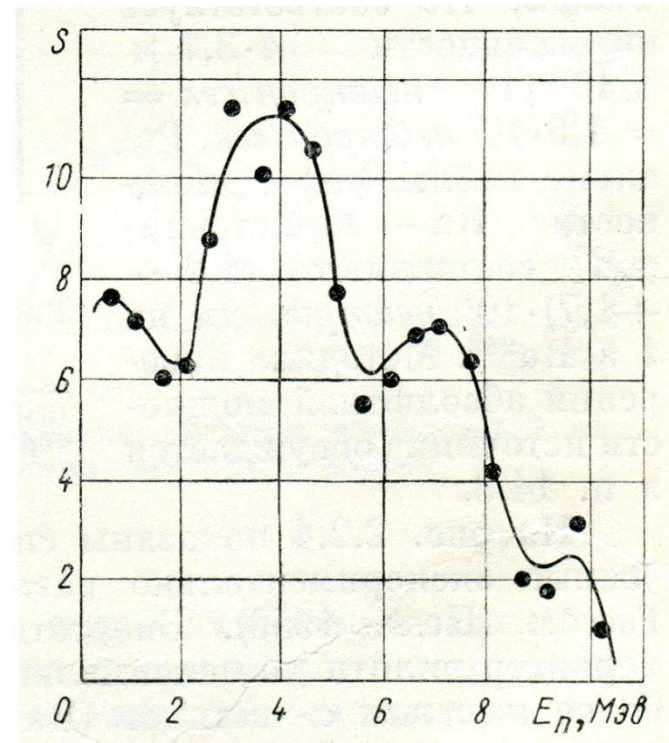
- $\text{Po}^{210}$  (RaF) является другим хорошо известным  $\alpha$  - излучателем, имеющим период полураспада 138,5 дня и излучающий  $\alpha$  частицы с энергией 5,305 МэВ.  $\text{Po}^{210}$  имеет ряд преимуществ по сравнению с рядом других источников, так как не излучает  $\beta$  - и  $\gamma$  – лучей. Недостатком является короткое время жизни.

□ **Pu-Be** источник имеет существенные преимущества:

- 1) так как плутоний с бериллием образуют сплав то при изготовлении источников легко достигается воспроизводимость их параметров
- 2) источник испускает мягкие  $\gamma$  кванты и
- 3) имеет большой период полураспада.

Однако недостатками для некоторых приложений является относительно невысокий

удельный выход и то обстоятельство, что в нейтронном поле мощность источника изменяется вследствие деления  $\text{Pu}^{239}$



Энергетический спектр  
нейтронов  
Pu-Be источника

## Реакции ( $\alpha$ , n) на легких ядрах

Мишень	Q, Мэв	Выход нейтронов на $10^6$ $\alpha$ -частиц из $\text{Po}^{210}$ (толстая мишень)	Мишень	Q, Мэв	Выход нейтронов на $10^6$ $\alpha$ -частиц из $\text{Po}^{210}$ (толстая мишень)
Li <sup>6</sup>	—3,977	0	O <sup>18</sup>	—0,700	29
Li <sup>7</sup>	—2,790	2,6	F <sup>19</sup>	—1,949	12
Be <sup>9</sup>	5,704	80	Na <sup>23</sup>	—2,971	1,5
B <sup>10</sup>	1,061	13	Mg <sup>24</sup>	—7,192	0
B <sup>11</sup>	0,158	26	Mg <sup>25</sup>	2,655	6,1
C <sup>13</sup>	2,215	10	Mg <sup>26</sup>	0,036	—
O <sup>17</sup>	0,589	—	Al <sup>27</sup>	—2,652	0,74

# Характеристики некоторых изотопных источников на основе реакции

( $\alpha, n$ )

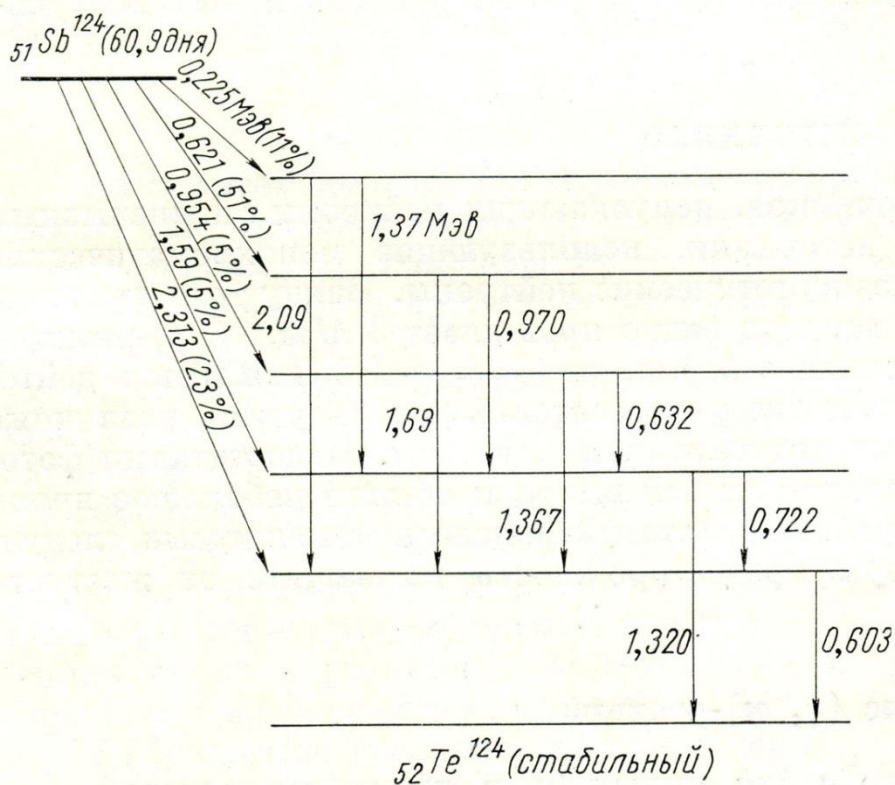
Источник	Период полураспада, лет [1]	Средняя энергия альфа-частиц, МэВ [1]	Средняя энергия нейтронов, МэВ [1]	Максимальная энергия нейтронов, МэВ [26]	Доза гамма-излучения на расстоянии 1 м от $10^6$ н/с, мбэр/ч [36]	Кюри на грамм*	Выход, $10^6$ н/с-Ки [36]
$^{210}\text{PoBe}$	0,38	5,3	4,2	10,9	0,01	4490	2-3
$^{226}\text{RaBe}$	1600	4,8	4,3	10,4	60	1	0-17
$^{238}\text{PuBe}$	87,74	5,49	4,5	11,0	0,006	17	2-4
$^{238}\text{PuLi}$	87,74	5,49	0,7	1,5	~1	17	0,07
$^{238}\text{PuF}_4$	87,74	5,49	1,3	3,2	~1	17	0,4
$^{238}\text{PuO}_2$	87,74	5,49	2,0	5,8	~1	17	0,003
$^{239}\text{PuBe}$	24 120	5,15	4,5	10,7	6	0,06	1-2
$^{239}\text{PuF}_4$	24 120	5,15	1,4	2,8	~1	0,06	0,2
$^{241}\text{AmBe}$	433,6	5,48	5,0	11,0	6	3,5	2-3
$^{241}\text{AmLi}$	433,6	5,48	0,3	1,5	2,5	3,5	0,06
$^{241}\text{AmB}$	433,6	5,48	2,8	5,0		3,5	
$^{241}\text{AmF}$	433,6	5,48	1,3	2,5		3,5	

\*(Выход альфа-частиц/с-г) / ( $3,7 \times 10^{10}$  Бк/Ки)

# Радиоактивные ( $\gamma$ , n) - источники

В отличие от ( $\alpha$ , n)-источников, испускающих нейтроны с непрерывным спектром, фотонейтронные источники, использующие монохроматические  $\gamma$ -лучи, излучают почти моноэнергетические нейтроны. Ввиду того, что энергия  $\gamma$ -лучей радиоактивных веществ редко превышает 3 Мэв, ( $\gamma$ , n)-реакции могут быть осуществлены только в бериллии ( $Q = - 1,685$  Мэв) и в дейтерии ( $Q = - 2,225$  Мэв); в качестве  $\gamma$ -излучателей используются различные естественные и искусственные радиоактивные изотопы. Недостатками фотонейтронных источников являются малый выход и обычно небольшое время жизни  $\gamma$ -излучателей. При работе с фотонейтронными источниками следует принимать необходимые меры предосторожности по защите от жесткого  $\gamma$ -излучения.

## Sb-Be источник



Показана схема распада изотопа  $\text{Sb}^{124}$ , образующегося при облучении нейтронами изотопа  $\text{Sb}^{123}$ . Примерно 48% всех  $\beta$ -распадов приводит к возбужденному состоянию  $\text{Te}^{124}$ , излучающему при распаде  $\gamma$ -кванты с энергией 1,692 Мэв. Естественная смесь изотопов сурьмы содержит 42,75%  $\text{Sb}^{123}$  и 57,25%  $\text{Sb}^{121}$ . Сечение активации изотопа  $\text{Sb}^{123}$  равно 2,5 барн при  $u_0 = 2200$  м/сек, а период полураспада изотопа  $\text{Sb}^{124}$  составляет 60,9 дня.

# Источники фотонейтронов

Эмиттер γ-кван- тов	$T_{1/2}$	Энергия γ-кван- тов, Мэв	Выход γ-квантов на акт распада	Мишень
Na <sup>24</sup>	15,0 ч	2,757 2,757	1,00 1,00	Be D <sub>2</sub> O
Al <sup>28</sup>	2,27 мин	1,782	1,00	Be
Cl <sup>38</sup>	37,29 мин	2,15	0,47	Be
Mn <sup>56</sup>	2,576 ч	1,77 2,06 2,88 2,88	0,30 0,20 0,01 0,01	Be Be Be D <sub>2</sub> O



Эмиттер γ-кван- тов	$T_{1/2}$	Энергия γ-квант- тов, Мэв	Выход γ-квантов на акт распада	Мишень
Ga <sup>27</sup>	14,1 ч	1,87	0,08	Be
		2,21	0,33	Be
		2,51	0,26	Be
		2,51	0,26	D <sub>2</sub> O
As <sup>76</sup>	26,7 ч	1,77	0,2	Be
		2,06	0,1	Be
Y <sup>88</sup>	104 дня	1,853	0,995	Be
		2,76	0,005	Be
		2,76	0,005	D <sub>2</sub> O
In <sup>116</sup>	54 мин	2,090	0,25	Be
La <sup>140</sup>	40,2 ч	2,51	0,04	Be
		2,51	0,04	D <sub>2</sub> O
Pr <sup>144</sup>	17,3 мин	2,185	0,02	Be

# Источники нейтронов с делящимся веществом

## Источники нейтронов спонтанного деления

Ядро	Период полураспада, годы	Число $\alpha$ -частиц на деление	Число нейтронов на деление	Удельный выход нейтронов *, нейтрон/(мг·сек)
Pu <sup>236</sup>	2,85	$1,3 \cdot 10^9$	1,9	26
Pu <sup>238</sup>	89,4	$5,5 \cdot 10^8$	2,0	2,2
Pu <sup>240</sup>	6600	$1,9 \cdot 10^7$	2,1	1,1
Pu <sup>242</sup>	$3,79 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^5$	2,3	1,7
Cm <sup>242</sup>	162,5 дня	$1,6 \cdot 10^7$	2,3	$1,7 \cdot 10^4$
Cm <sup>244</sup>	18,4	$7,6 \cdot 10^5$	2,6	$9 \cdot 10^3$
Cf <sup>252</sup>	2,6	—	3,5	$2,7 \cdot 10^9$

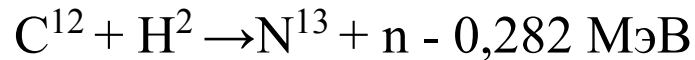
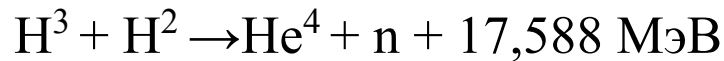
\* Без учета нейтронов ( $\alpha$ , n)-реакции, выход которых зависит от чистоты источника.

## Cf-252

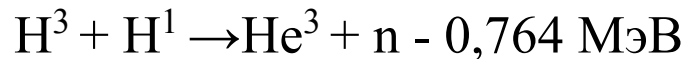
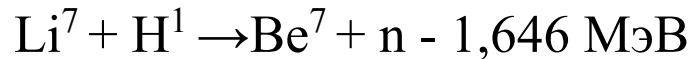
Полный период полураспада	2,646 года
Период полураспада для альфа-распада	2,731 года
Период полураспада для спонтанного деления	85,5 года
Выход нейтронов	$2,34 \times 10^{12}$ нейтр./с·г
Выход гамма-квантов	$1,3 \times 10^{13}$ $\gamma$ /с·г
Выход альфа-частиц	$1,9 \times 10^{13}$ $\alpha$ /с·г
Средняя энергия нейтронов	2,14 МэВ
Средняя энергия гамма-квантов	1 МэВ
Средняя энергия альфа-частиц	6,11 МэВ
Нейтронная активность	$4,4 \times 10^9$ нейтр./с·Ки
Мощность дозы нейтронного излучения	2300 бэр/ч·г на расстоянии 1 м
Мощность дозы гамма-излучения	140 бэр/ч·г на расстоянии 1 м
Конверсия	558 Ки/г
Удельная тепловая мощность	38,5 Вт/г
Средняя множественность нейтронов спонтанного деления	3,757
Средняя множественность гамма-квантов спонтанного деления	8

# Получение нейтронов с помощью искусственно ускоренных частиц

□ (d, n)-реакция



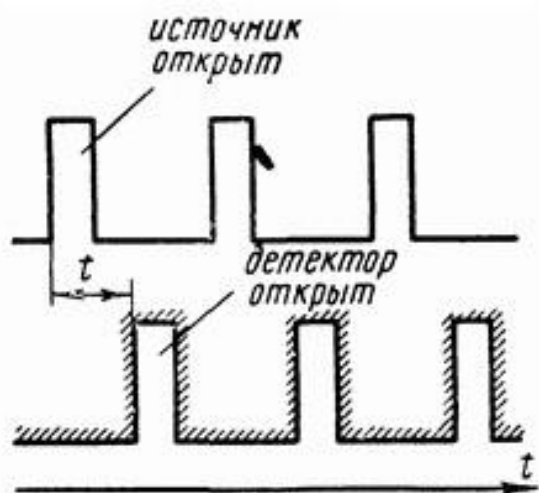
□ (p, n)-реакция



Большинство источников дает нейтроны с неодинаковой энергией. Часто их спектр довольно широкий. Однако для многих исследований необходимо иметь большое разрешение по энергиям. Например, при изучении зависимости эффективного сечения какого-либо процесса от энергии нейтронов нужно выделять из непрерывного спектра нейтроны заданной энергии.

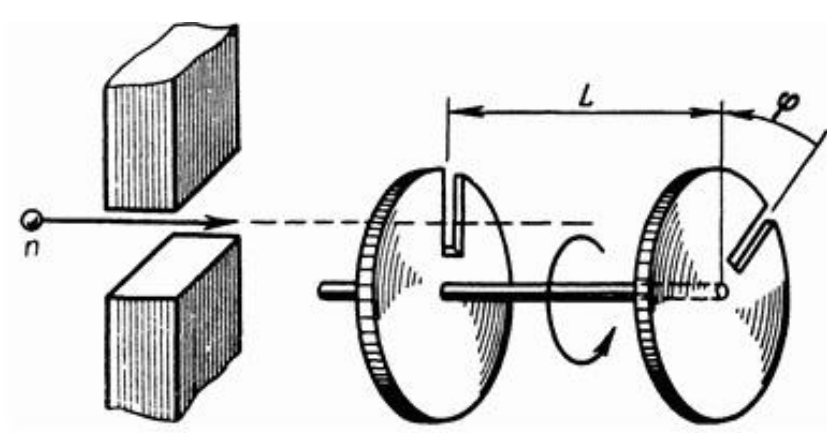
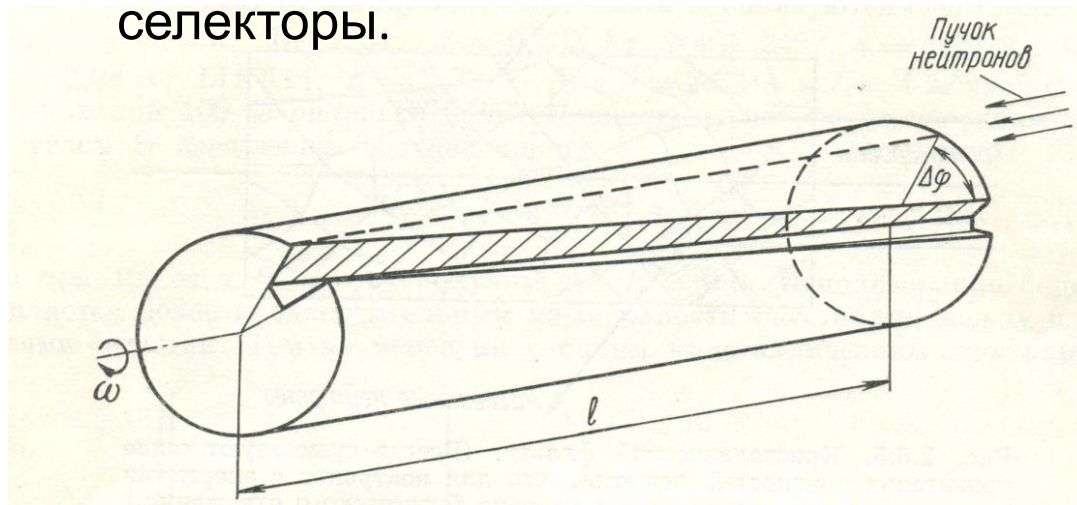
# Методы получения монохроматических нейтронов

- Метод времени пролета



Моменты открытия детектора отстают от моментов испускания нейтронных импульсов на  $t$  сек. Если расстояние от источника до детектора равно  $L$  см, то будут регистрироваться только те нейтроны, которые имеют соответствующую скорость  $L/t$  см/сек. Все другие нейтроны, вылетающие из источника, попадут на детектор в течение «мертвого» времени, когда он закрыт.

- Механические селекторы.



$$\Delta\varphi/\omega=l/v$$

## ИНГ-10

ИМПУЛЬСНЫЙ  
НЕЙТРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР  
на вакуумной трубке  
для физических  
исследований



## СОСТОИТ ИЗ:

- излучателя нейтронов в составе блока трубки и блока высоковольтного питания;
- пульта управления;
- соединительного жгута.

пульт  
управления

соединительный  
жгут

излучатель  
нейтронов

блок трубки



## ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНГ-10:

Средний выход нейтронов в импульсе, $n$ , нейтрон/имп.....	$1 \times 10^7$
Длительность нейтронных импульсов, мкс, не более.....	1,0
Частота генерации нейтронных импульсов, $f$ , Гц:	
- при непрерывном режиме работы.....	до 20
- при циклическом режиме работы.....	до 50
Нейтронный фон между импульсами нейтронов.....	отсутствует
Генерируемый поток нейтронов, $F = n \cdot f$ , нейтрон/с.....	до $5 \times 10^8$
Средний ресурс работы блока трубки *, имп.....	$1 \times 10^7$
Потребляемая мощность, Вт, не более.....	150
Габаритные размеры, мм:	
- излучателя нейтронов.....	$\varnothing 34 \times 1320$
- пульта управления.....	$420 \times 100 \times 310$
Масса, кг, не более:	
- излучателя нейтронов.....	2,5
- пульта управления.....	4,7
Длина соединительного жгута, м.....	25
Питание.....	сеть 220 В, 50 Гц

\* блок трубки является сменным элементом

В нейтронных генераторах обычно используются реакции  $T(d,n)^4He$  и  $D(d,n)^3He$

## ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНГ-10:

Средний выход нейтронов в импульсе, $n$ , нейтрон/имп.....	$1 \times 10^7$
Длительность нейтронных импульсов, мкс, не более.....	1,0
Частота генерации нейтронных импульсов, $f$ , Гц:	
- при непрерывном режиме работы.....	до 20
- при циклическом режиме работы.....	до 50
Нейтронный фон между импульсами нейтронов.....	отсутствует
Генерируемый поток нейтронов, $F = n \cdot f$ , нейтрон/с.....	до $5 \times 10^8$
Средний ресурс работы блока трубки *, имп.....	$1 \times 10^7$
Потребляемая мощность, Вт, не более.....	150
Габаритные размеры, мм:	
- излучателя нейтронов.....	$\varnothing 34 \times 1320$
- пульта управления.....	$420 \times 100 \times 310$
Масса, кг, не более:	
- излучателя нейтронов.....	2,5
- пульта управления.....	4,7
Длина соединительного жгута, м.....	25
Питание.....	сеть 220 В, 50 Гц

\* блок трубки является сменным элементом



Россия, 127055, Москва,  
ул. Суховская, д. 22  
Тел.: (499) 978-7803  
Факс: (499) 978-0903  
E-mail: vniia@vniia.ru  
http://www.vniia.ru

Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ автоматики им. Н.Л. Духова