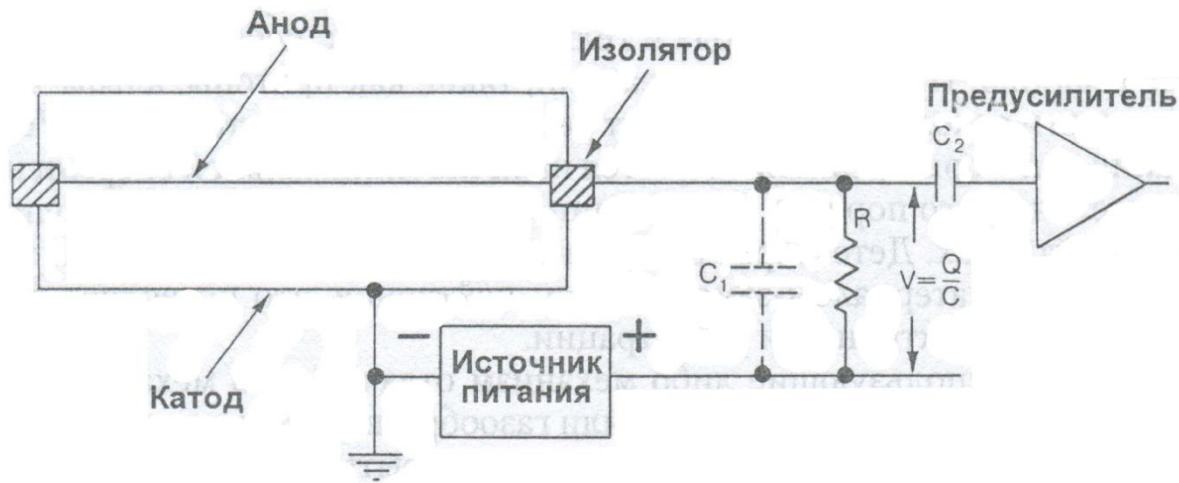


ДЕТЕКТОРЫ НЕЙТРОНОВ

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



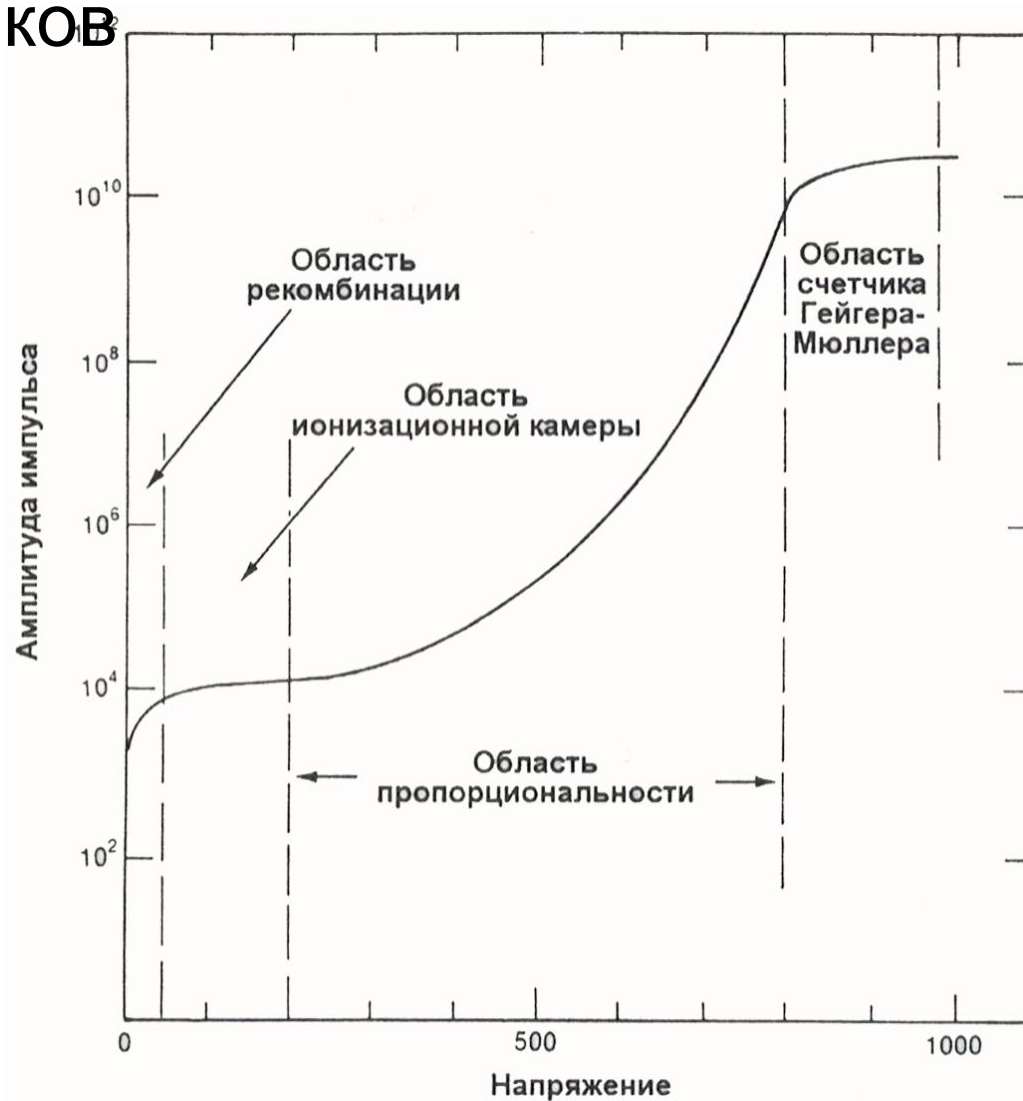
Толщина стенки: 0,5 см

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 He^3 , He^4 , BF_3 , 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>		
³ He в трубке с Ø 2,5 см под давлением 4 атм	0,77	0,0001
Ar в трубке с Ø 2,5 см под давлением 2 атм	0,0	0,0005
BF ₃ 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>		
⁴ 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>					
³ He в трубке Ø 2,5 см, 4 атм	2,1	1,1	~500	4,0	125
³ He в трубке Ø 2,5 см, 4 атм + Ar, 2 атм	0,5	6,7	~750	24,0	30
BF ₃ в трубке Ø 5,0 см, 0,66 атм	0,7	3,6	~2300	25,7	90
<u>Материалы детекторов быстрых нейтронов</u>					
⁴ 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.

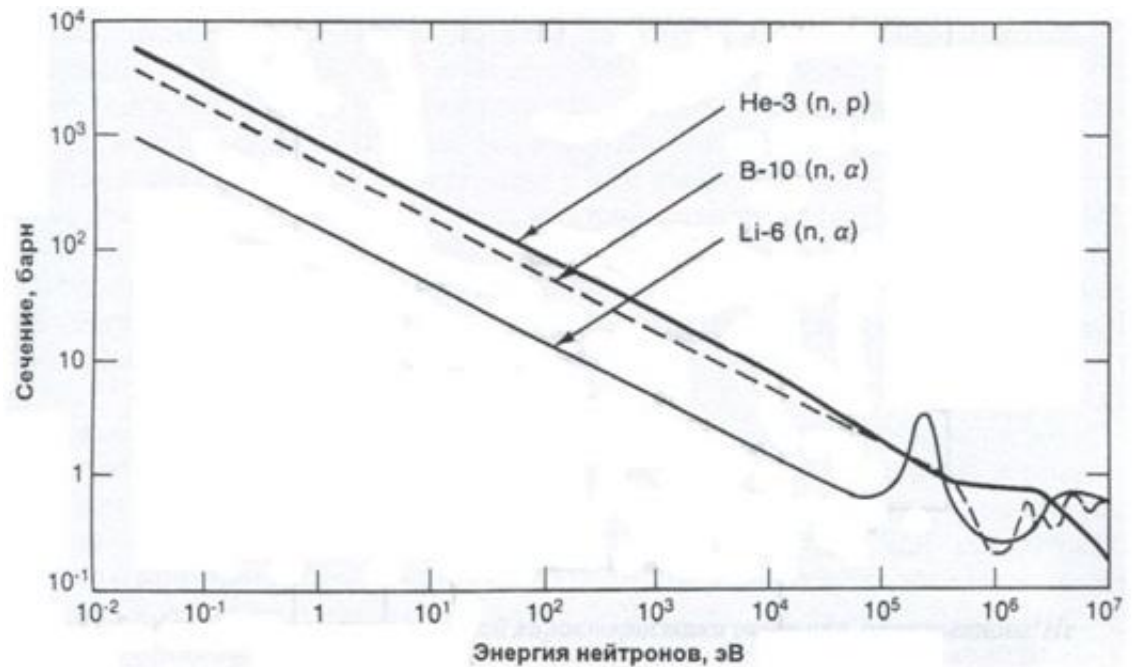
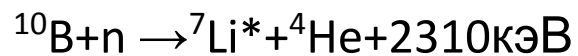
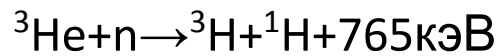
Эффективность и чувствительность к гамма-квантам некоторых детекторов

Тип детектора	Размер	Материал, активно поглощающий нейтроны	Энергия нейтронов	Эффективность регистрации нейтронов*, %	Чувствительность к гамма-квантам**, Р/ч
Пластмассовый сцинтиллятор	Толщина 5 см	^1H	1 МэВ	78	0,01
Жидкий сцинтиллятор	Толщина 5 см	^1H	1 МэВ	78	0,1
Литиевое стекло	Толщина 1 мм	^6Li	Тепловая	50	1
Детектор Хорняка	Толщина 1 мм	^1H	1 МэВ	1	1
Метан под давлением 7 атм	\varnothing 5 см	^1H	1 МэВ	1	1
^4He под давлением 18 атм	\varnothing 5 см	^4He	1 МэВ	1	1
^3He , 4 атм, и Ar, 2 атм	\varnothing 2,5 см	^3He	Тепловая	77	1
^3He , 4 атм, и 5 % CO_2	\varnothing 2,5 см	^3He	Тепловая	77	10
BF_3 под давлением 0,66 атм	\varnothing 5 см	^{10}B	Тепловая	29	10
BF_3 под давлением 1,18 атм	\varnothing 5 см	^{10}B	Тепловая	46	10
Камера с покрытием из ^{10}B	0,2 мг/см ²	^{10}B	Тепловая	10	10 ³
Камера деления	2,0 мг/см ²	^{235}U	Тепловая	0,5	10 ⁶ – 10 ⁷

* 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

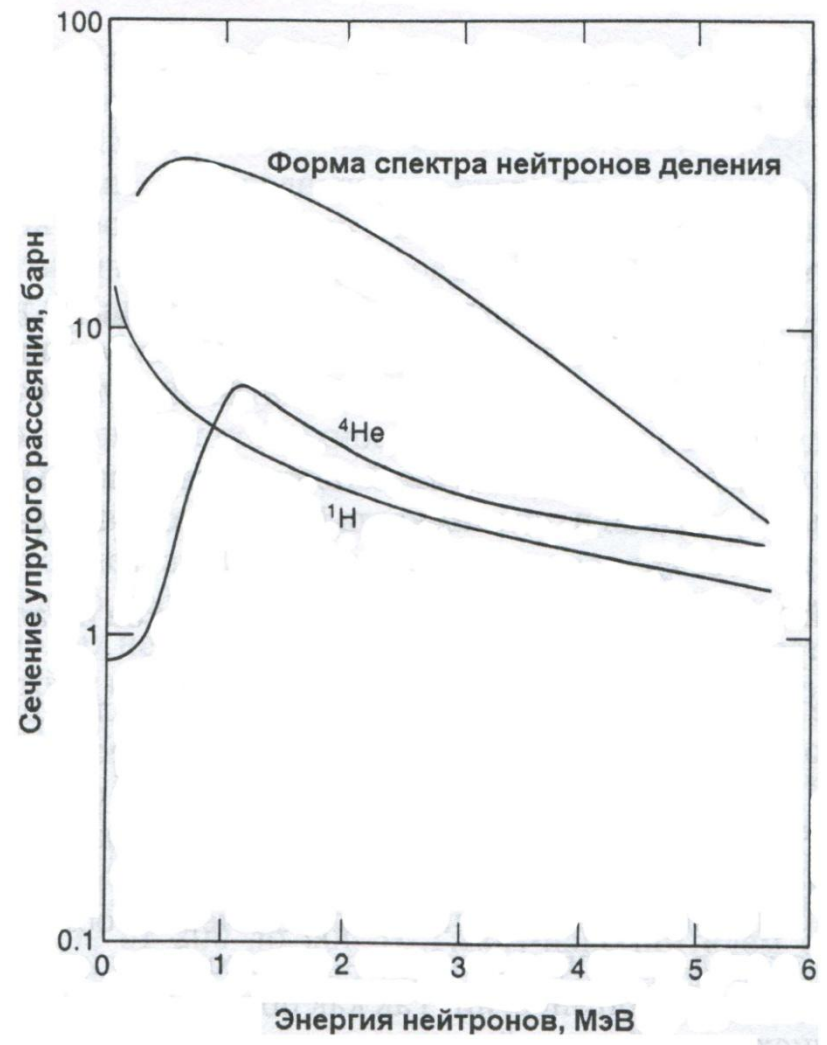
Детекторы тепловых нейтронов на основе ^3He и BF_3



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 ^3He и CH_4

Зависимость сечения упругого рассеяния на ^1H и ^4He 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

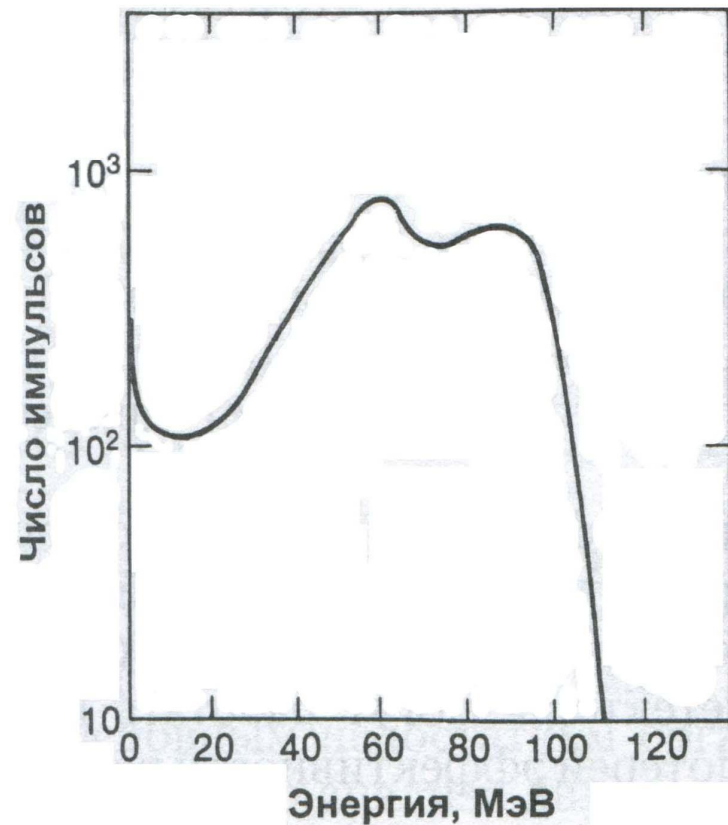


Камеры деления

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

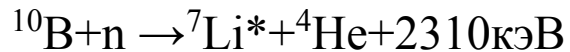
Спектр амплитуд импульсов камеры деления с покрытием из ^{235}U с поверхностной плотностью около $0,8 \text{ мг/см}^2$

Видна двухгорбая кривая от легкого и тяжелого осколка деления.

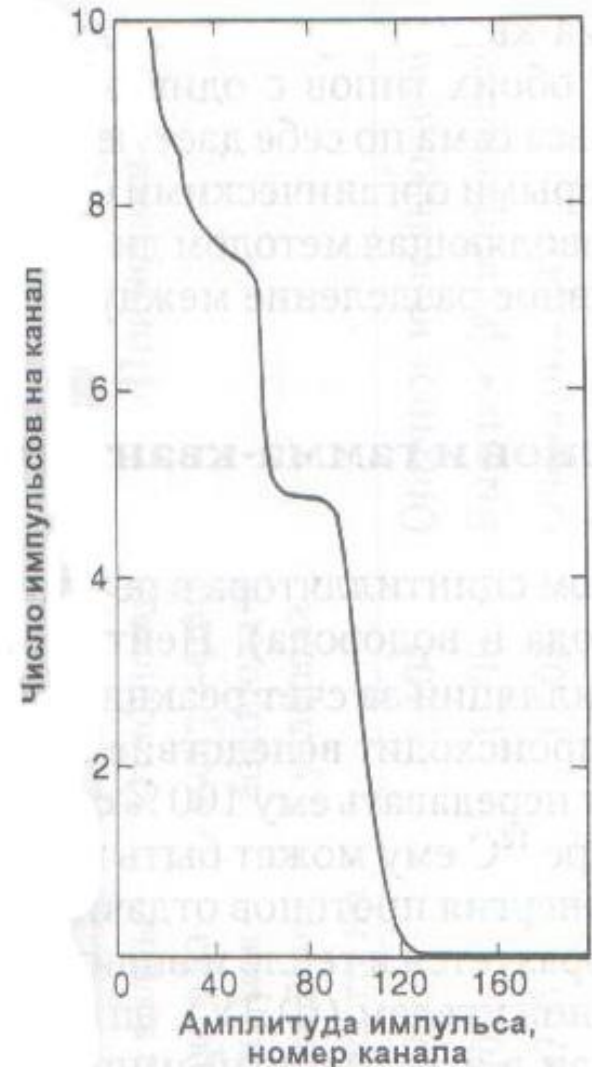


Детекторы с покрытием из B^{10}

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

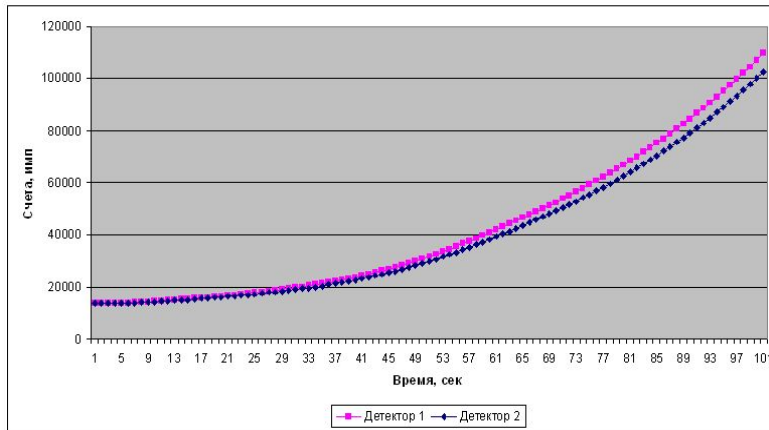
Экспериментальное изучение пространственных эффектов при введении положительной реактивности

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

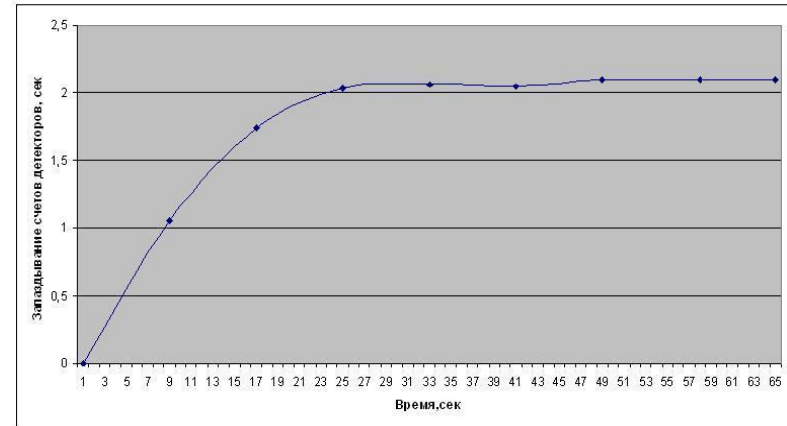
высота активной зоны ~ 80 см,
диаметр активной зоны $\sim 2,5$ м.



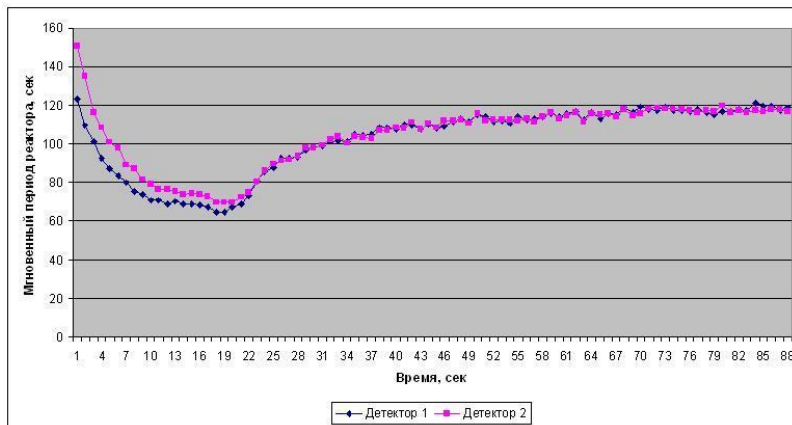
Обработка результатов



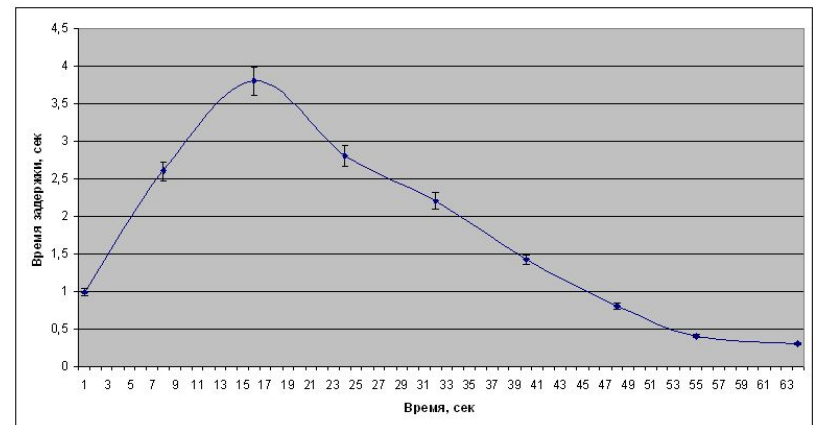
Расхождение отнормированных счетов детекторов



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 положительной реактивности

Источники нейтронов

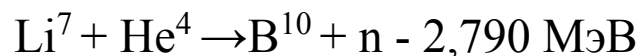
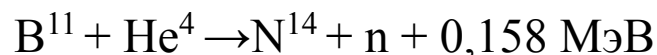
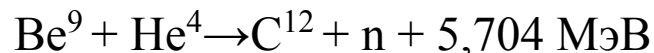
Нейтроны могут быть получены в реакциях на ядрах, в которых нейтроны наиболее слабо связаны. В этих реакциях может образоваться сначала возбужденное промежуточное ядро с энергией возбуждения. Если энергия возбуждения больше, чем энергия связи «последнего нейтрона» в промежуточном ядре, то вероятность 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

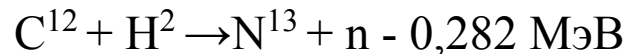
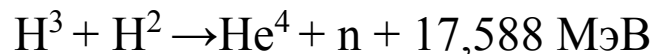
Ядро	Энергия связи, Мэв	Ядро	Энергия связи, Мэв	Ядро	Энергия связи, Мэв	Ядро	Энергия связи, Мэв
H ²	2,225	Be ⁹	18,896	C ¹²	18,720	O ¹⁵	13,222
H ³	6,258	Be ⁹	1,665	C ¹³	4,937	O ¹⁶	15,669
He ³	7,719	Be ¹⁰	6,814	C ¹⁴	8,176	O ¹⁷	4,142
He ⁴	20,577	B ⁹	18,575	N ¹³	20,326	O ¹⁸	8,047
He ⁵	-0,956	B ¹⁰	8,440	N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

Различные типы реакций

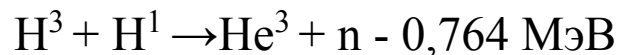
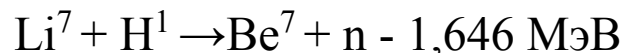
□ (α , n)-реакция



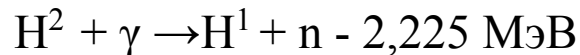
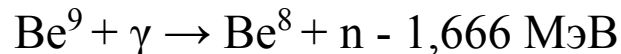
□ (d, n)-реакция



□ (p, n)-реакция



□ (γ , n)-реакция (ядерный фотоэффект)



Радиоактивные (α , 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).

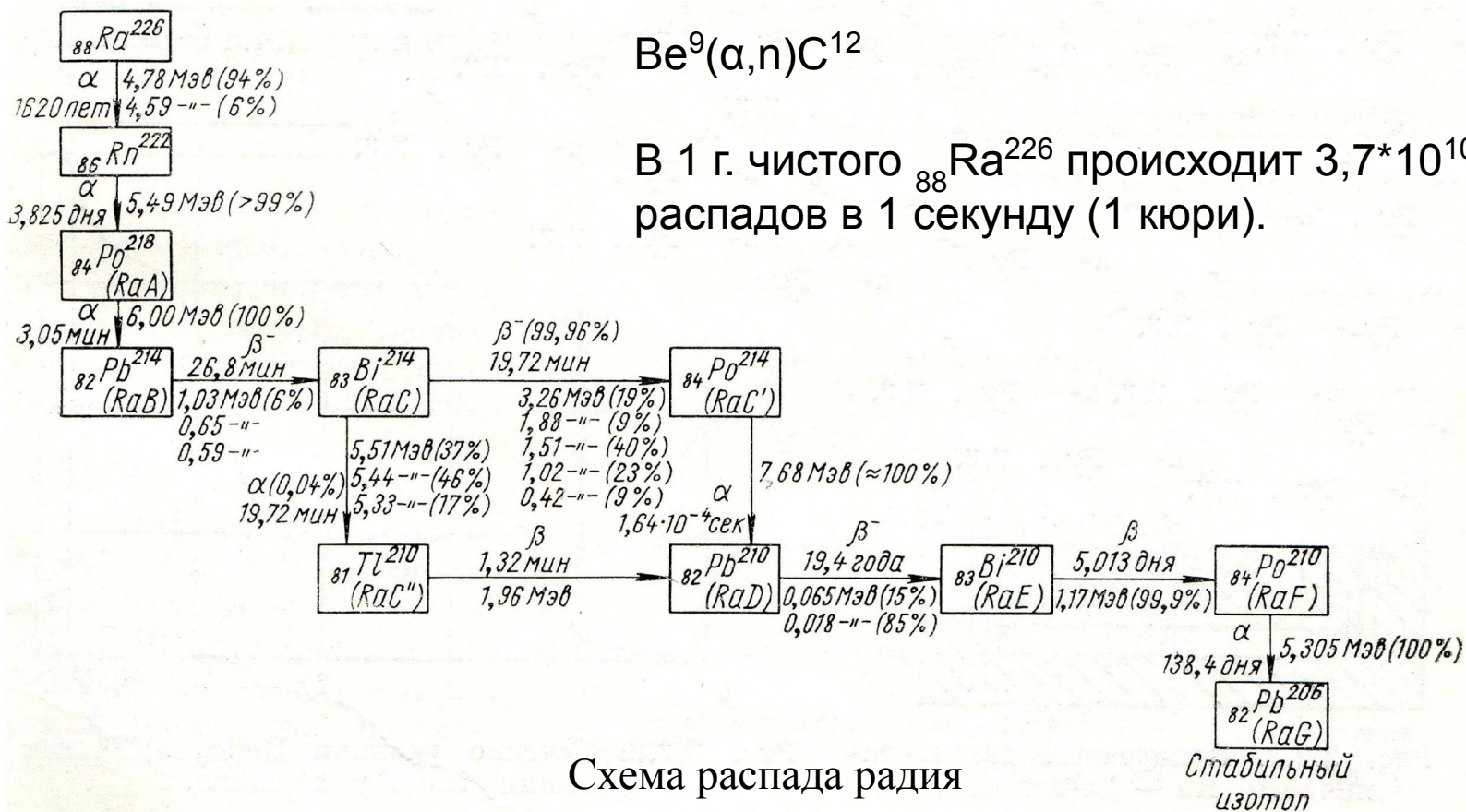


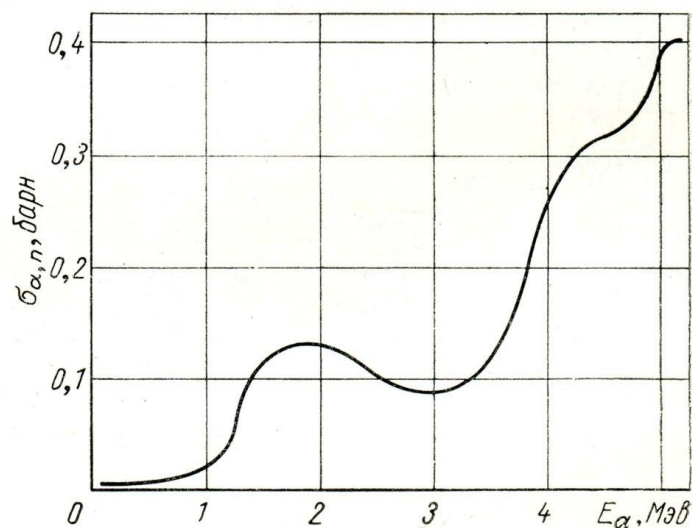
Схема распада радия

Характеристики Ra – Be источника

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

Энергия, Мэв	Выход γ -квантов на один акт α -распада Ra ²²⁶	Энергия нейтро- нов реакции Be ⁹ (γ , n) Be ⁸ , кэв	Энергия, Мэв	Выход γ -квантов на один акт α -распада Ra ²²⁶	Энергия нейтро- нов реакции Be ⁹ (γ , n) Be ⁸ , 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 Be⁹(α ,n)C¹²
как функция энергии α -
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 (α , n) типа

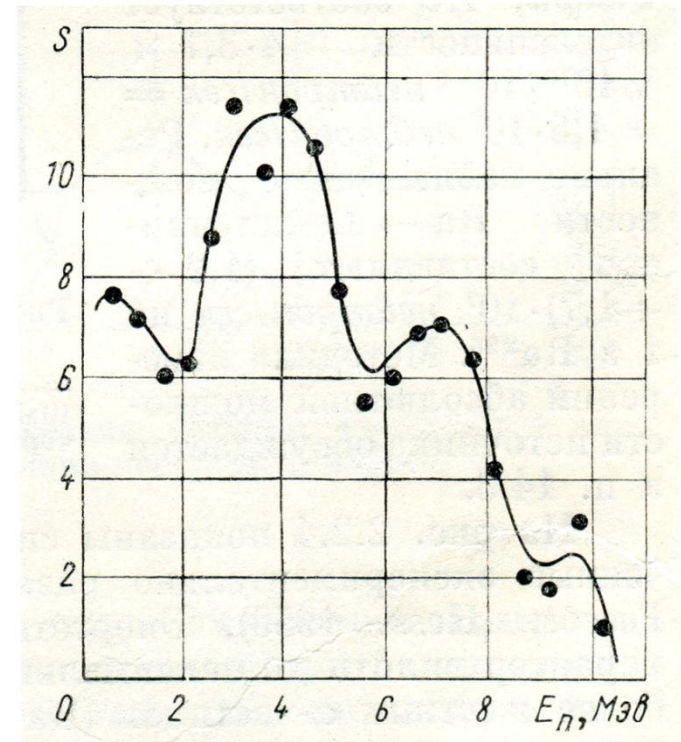
- Po^{210} (RaF) является другим хорошо известным α - излучателем, имеющим период полураспада 138,5 дня и излучающий α частицы с энергией 5,305 МэВ. Po^{210} имеет ряд преимуществ по сравнению с рядом других источников, так как не излучает β - и γ - лучей. Недостатком является короткое время жизни.

□ **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 γ 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 Pu^{239}



Энергетический спектр
нейтронов
Pu-Be источника

Реакции (α , n) на легких ядрах

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

Характеристики некоторых изотопных источников на основе реакции

(α, n)

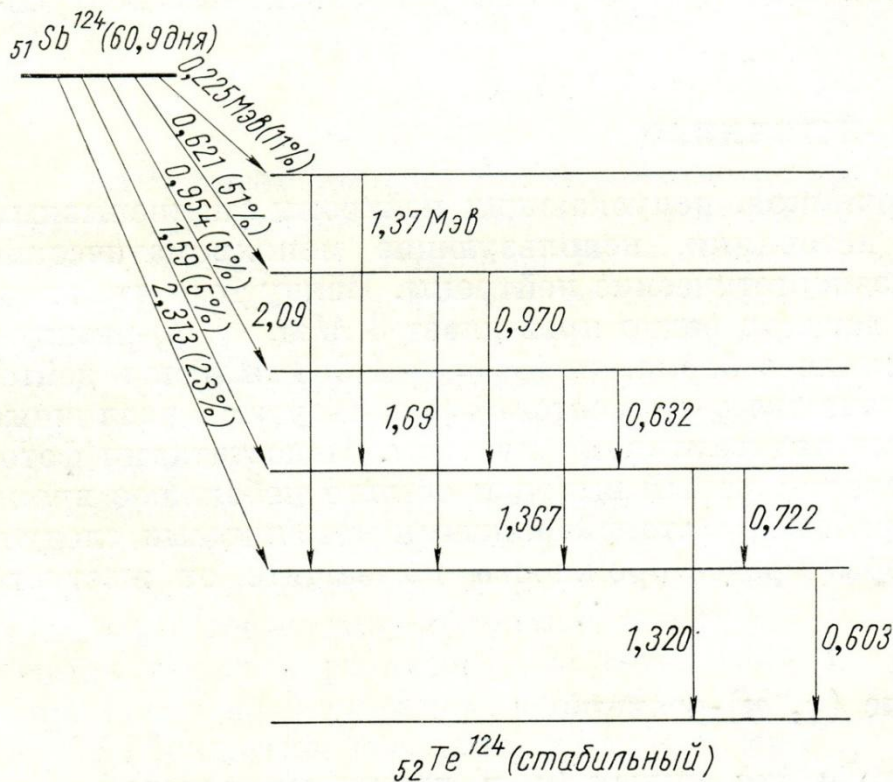
Источник	Период полураспада, лет [1]	Средняя энергия альфа-частиц, МэВ [1]	Средняя энергия нейтронов, МэВ [1]	Максимальная энергия нейтронов, МэВ [26]	Доза гамма-излучения на расстоянии 1 м от 10^6 н/с, мбэр/ч [36]	Кюри на грамм*	Выход, 10^6 н/с-Ки [36]
$^{210}\text{PoBe}$	0,38	5,3	4,2	10,9	0,01	4490	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}AmB	433,6	5,48	2,8	5,0		3,5	
^{241}AmF	433,6	5,48	1,3	2,5		3,5	

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

Радиоактивные (γ , n) - источники

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

Sb-Be источник



Показана схема распада изотопа Sb^{124} , образующегося при облучении нейтронами изотопа Sb^{123} . Примерно 48% всех β -распадов приводит к возбужденному состоянию Te^{124} , излучающему при распаде γ -кванты с энергией $1,692 \text{ МэВ}$. Естественная смесь изотопов сурьмы содержит 42,75% Sb^{123} и 57,25% Sb^{121} . Сечение активации изотопа Sb^{123} равно $2,5 \text{ барн}$ при $u_0 = 2200 \text{ м/сек}$, а период полураспада изотопа 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 ²⁴	15,0 ч	2,757 2,757	1,00 1,00	Be D ₂ O
Al ²⁸	2,27 мин	1,782	1,00	Be
Cl ³⁸	37,29 мин	2,15	0,47	Be
Mn ⁵⁶	2,576 ч	1,77 2,06 2,88 2,88	0,30 0,20 0,01 0,01	Be Be Be D ₂ O

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

Источники нейтронов с делящимся веществом

Источники нейтронов спонтанного деления

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

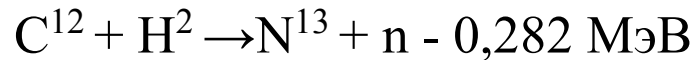
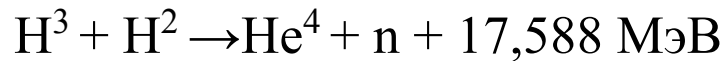
* Без учета нейтронов (α , n)-реакции, выход которых зависит от чистоты источника.

Cf-252

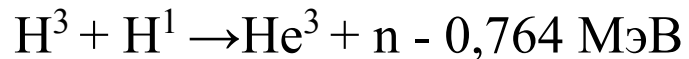
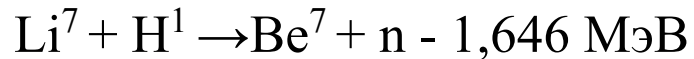
Полный период полураспада	2,646 года
Период полураспада для альфа-распада	2,731 года
Период полураспада для спонтанного деления	85,5 года
Выход нейтронов	$2,34 \times 10^{12}$ нейтр./с·г
Выход гамма-квантов	$1,3 \times 10^{13}$ γ /с·г
Выход альфа-частиц	$1,9 \times 10^{13}$ α /с·г
Средняя энергия нейтронов	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



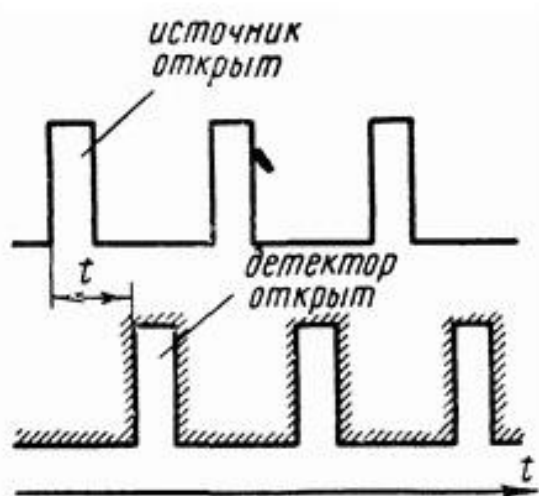
- (p, n)-реакция



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.

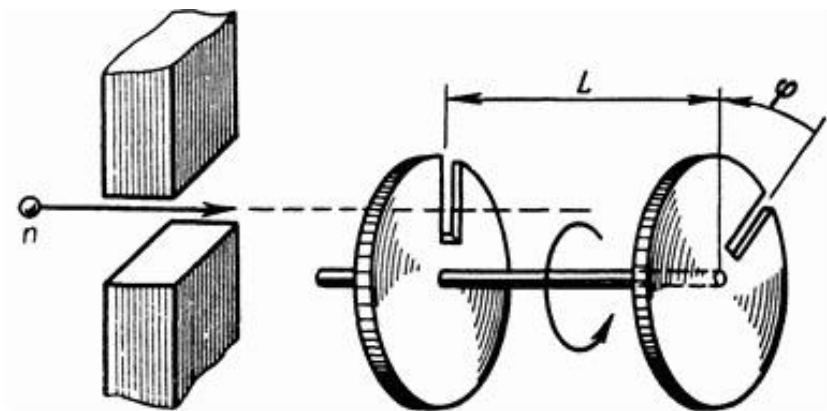
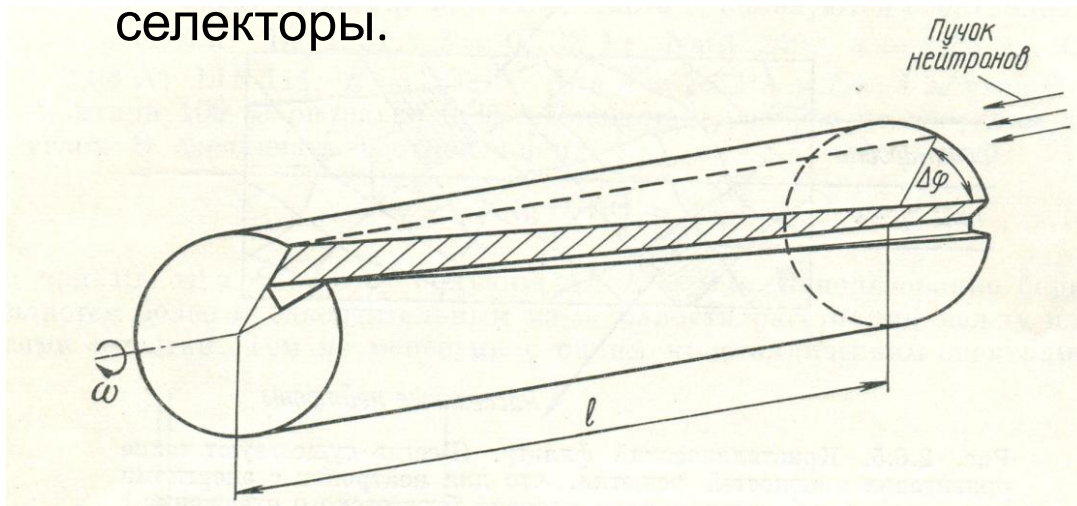
Методы получения монохроматических нейтронов

- 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.....	1×10^7
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 5×10^8
Средний ресурс работы блока трубки *, имп.....	1×10^7
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.....	1×10^7
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 5×10^8
Средний ресурс работы блока трубки *, имп.....	1×10^7
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