

# КОМПАКТНЫЕ ИСТОЧНИКИ НЕЙТРОНОВ: DARIA vs NG

И.А.Митропольский

Лаборатория ядерной спектроскопии

«С возрастом желание заработать  
переходит в желание сэкономить»

М.М.Жванецкий

# Компактные источники нейтронов

- **Радиоизотопные источники:**
  - спонтанное деление ( $^{244}\text{Cm}$ ,  $^{252}\text{Cf}$ ),  
 $\approx 10^{7\div 9}$  n/s, 3÷4 нейтрона на одно деление,  
 $T_{1/2} = 2.6$  y, 15÷20 k\$
  - ( $\alpha, n$ ) реакция ( $^{241}\text{Pu-Be}$  источник),  $\approx 10^{6\div 8}$  n/s,  
30 нейтронов на  $10^6$  альфа-распадов,  
 $T_{1/2} = 14.3$  y,  $\leq 1$  млн руб.
  - ( $\gamma, n$ ) реакция ( $^2\text{H}$ ,  $^9\text{Be}$ )
- **Нейтронные генераторы:**
  - «запаянные нейтронные трубки»,  $\leq 10^8$  n/s
  - вакуумные нейтронные генераторы,  
 $\geq 10^{11}$  n/s

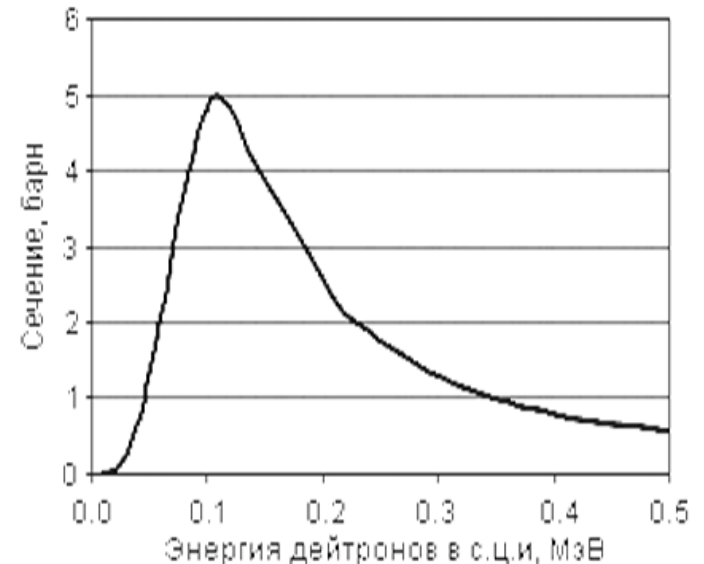
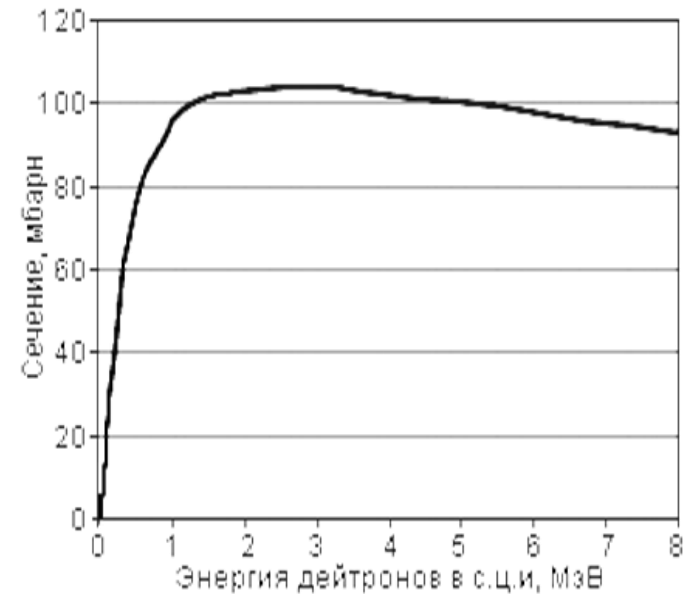
# Physical Backgrounds

**$D(d,n)^3\text{He}$** ,  $E_n \approx 2.5 \text{ MeV}$

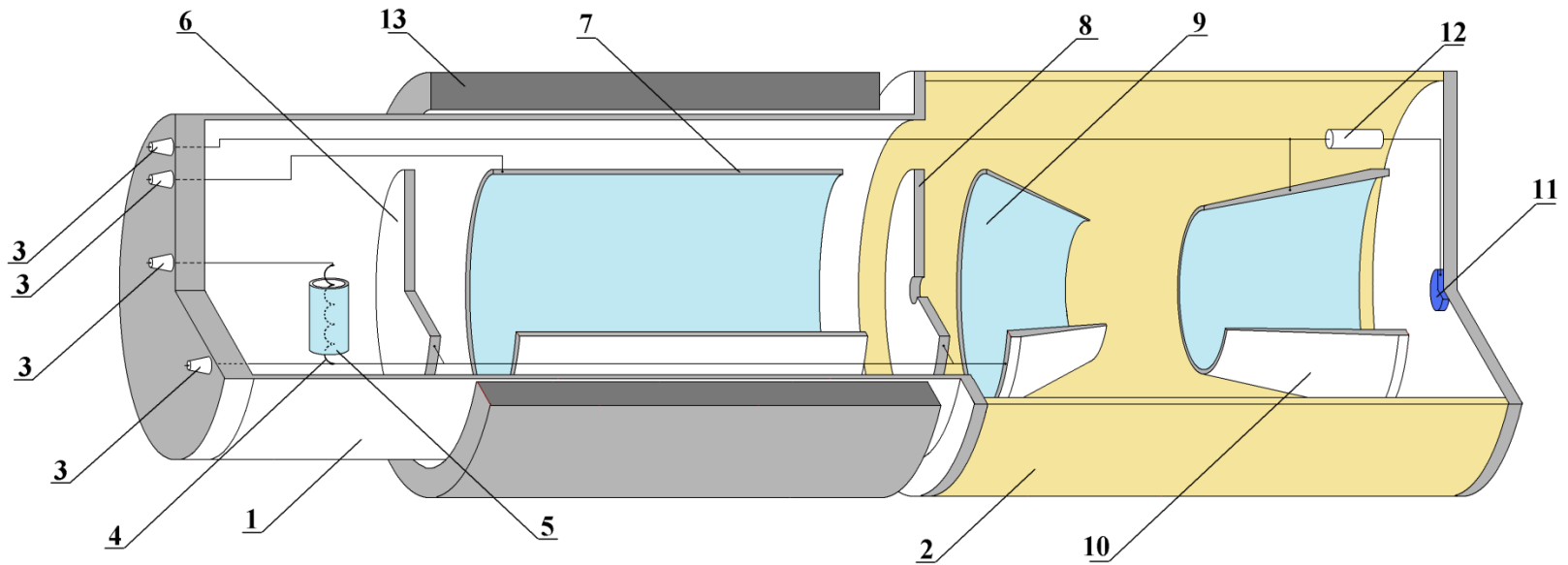
1934 г. Э.Резерфорд и др.

**$T(d,n)^4\text{He}$** ,  $E_n \approx 14 \text{ MeV}$

1951 г. В.А.Цукерман, А.А.Бриш



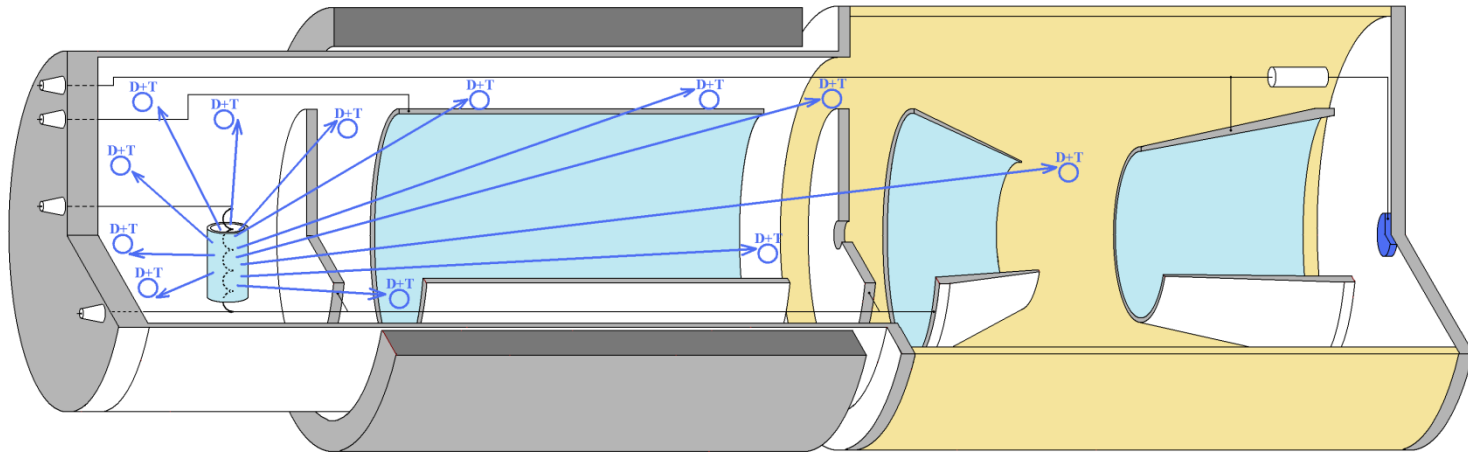
# Нейтронная трубка



Схематическое изображение газонаполненной нейтронной трубки.

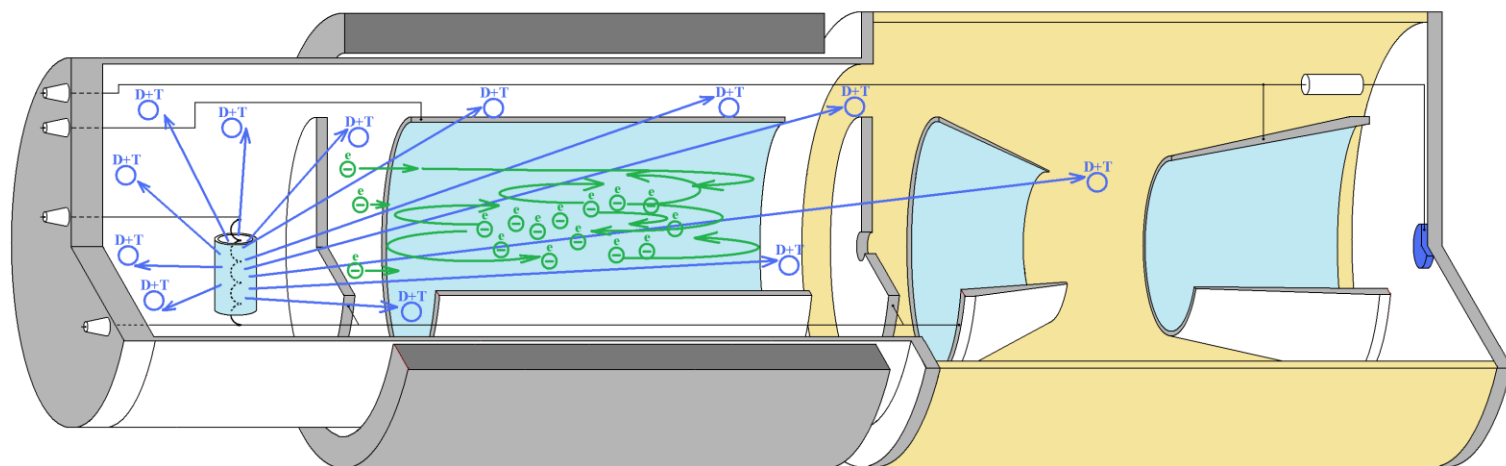
1- Металлический баллон. 2- Керамический баллон. 3 – Электровводы. 4 – Нить накаливания. 5 – Хранилище газа. 6 – Торцевой катод. 7 – Анод. 8 – Катод. 9 – Фокусирующий электрод. 10 – Ускоряющий электрод. 11 – Мишень. 12 – Резистор смещения. 13 – Магнит.

В состоянии хранения давление внутри  $10^{-7}$  мм.рт.ст.

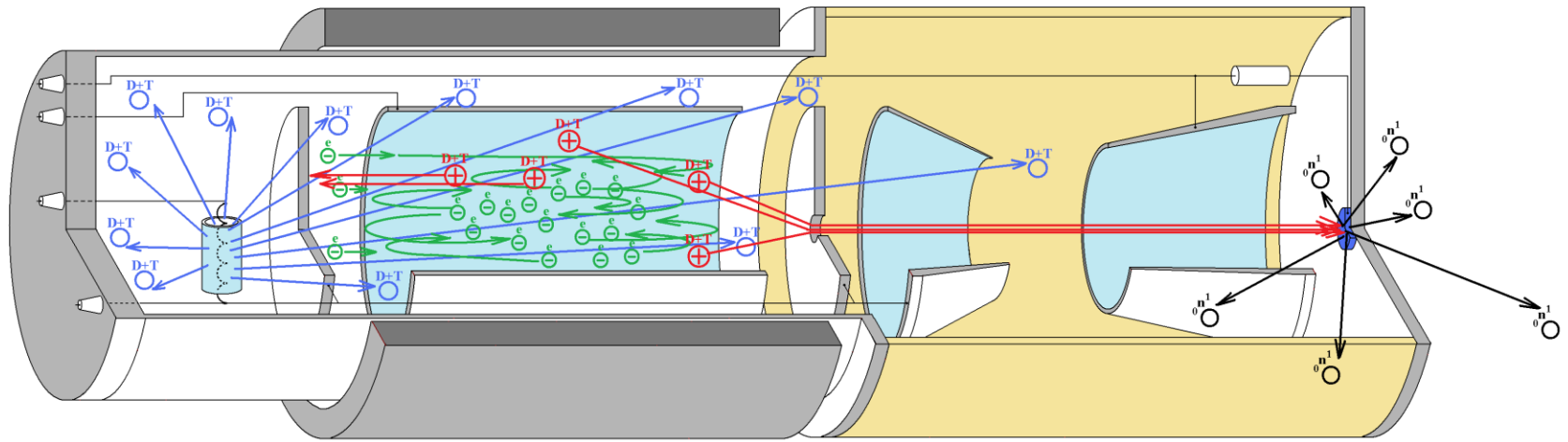


Через нить накаливания пропускают ток (6в, 300мА). В результате разогрева гидрид Ti начинает отдавать содержащейся в нем газ (50% - D, 50% - T). Давление в трубке поднимается до  $10^{-2}$  мм.рт.ст.

**Ионы D+T наполняют трубку.**



На анод подается импульс положительного относительно корпуса напряжения 2кВ. Разница напряжений между торцевым катодом и анодом вырывает электроны к аноду. Магнитное поле позволяет двигаться электронам только в субпродольном направлении. Катоды отрицательным потенциалом относительно анода запирают движение электронов внутри анода – «электронная ловушка»



Электроны в «электронной ловушке» ионизируют газ (D+T). На мишень прикладывается относительно корпуса отрицательное напряжение -100кВ. Часть ионизированных атомов газа через отверстие в катоде ускоряется и попадает на мишень. Начинается реакция  $D+T=He+n$  -- трубка начинает излучать нейтроны.



# Схема нейтронного генератора



Ускоритель типа Кокрофта-Уолтона.

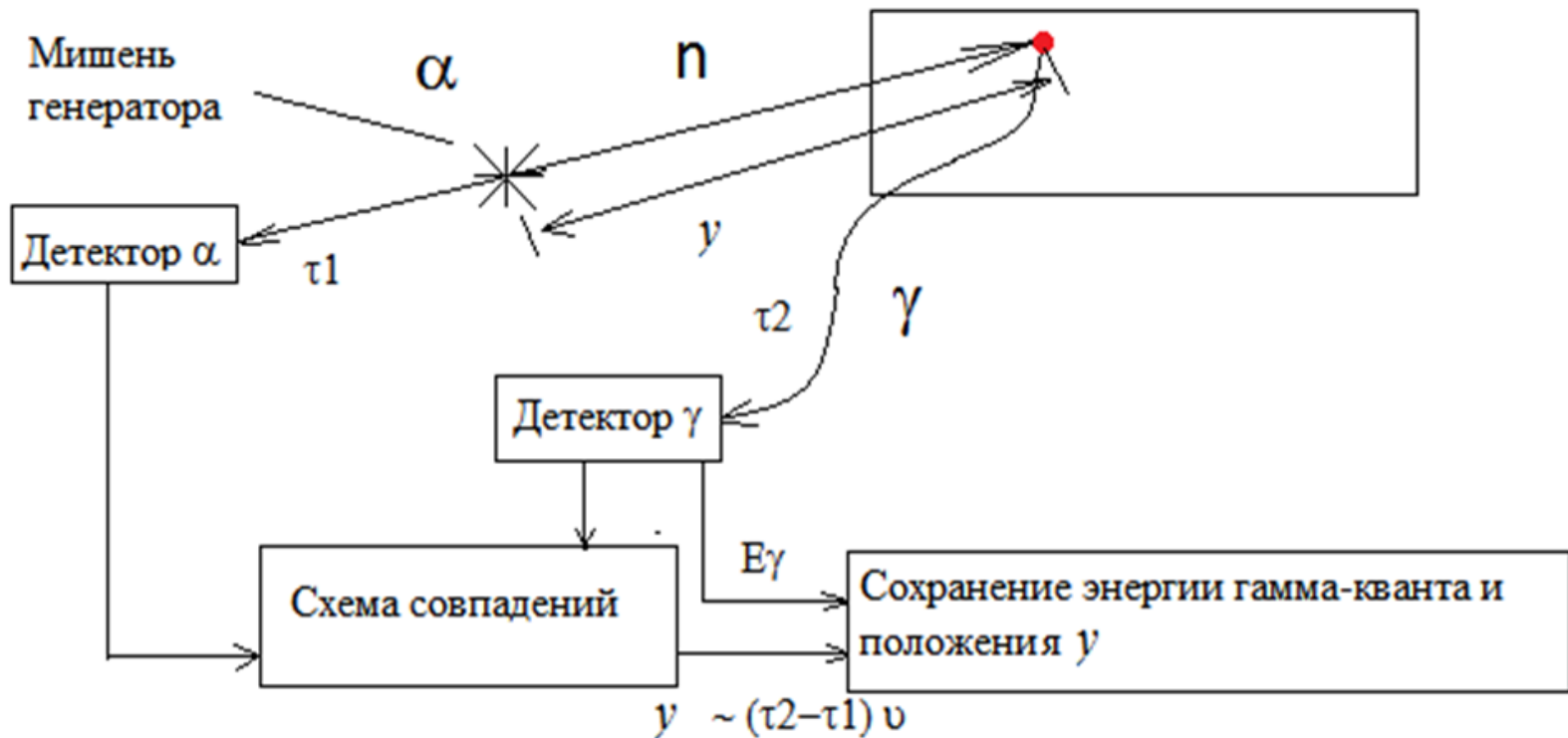
Target -  $\text{TiT}_{1.5-1.8}$

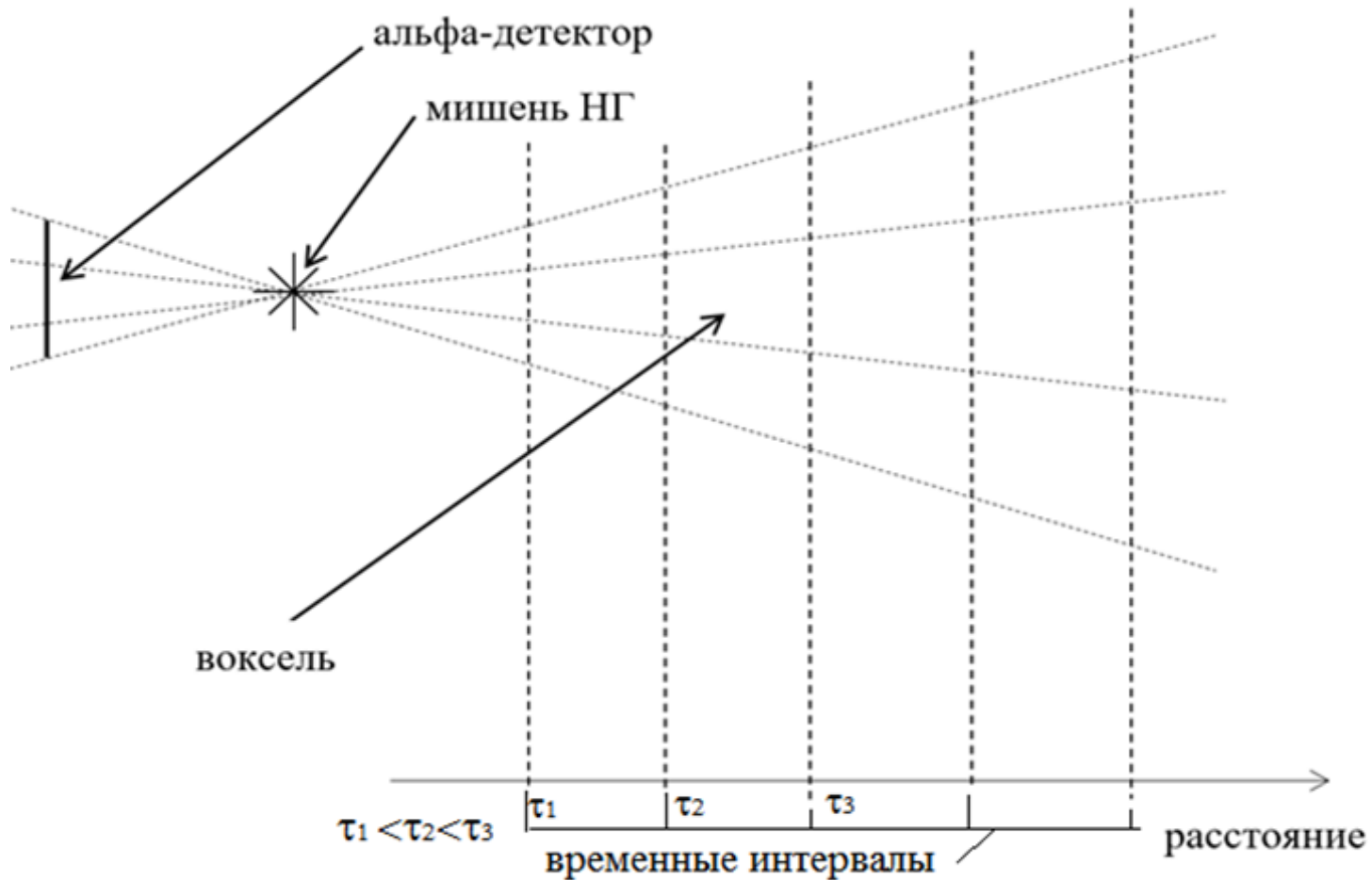
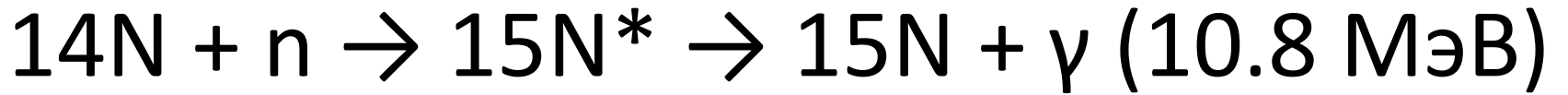
# Анализ на основе пороговых реакций с нейтронами

Reactions:  $(n,\gamma)$ ;  $(n,p)$ ;  $(n,d)$ ;  $(n,2n)$ ;  $(n,\alpha)$  et al.

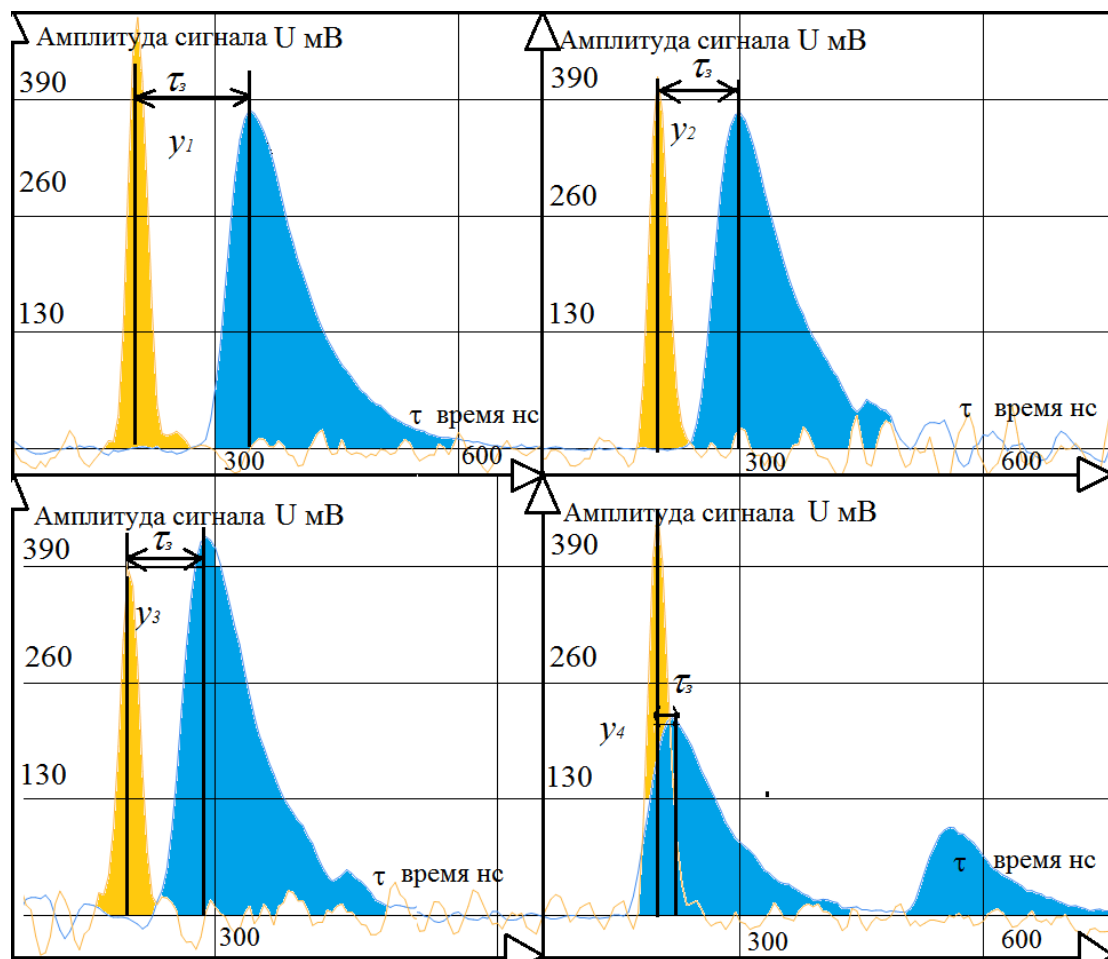


## Метод меченных нейтронов



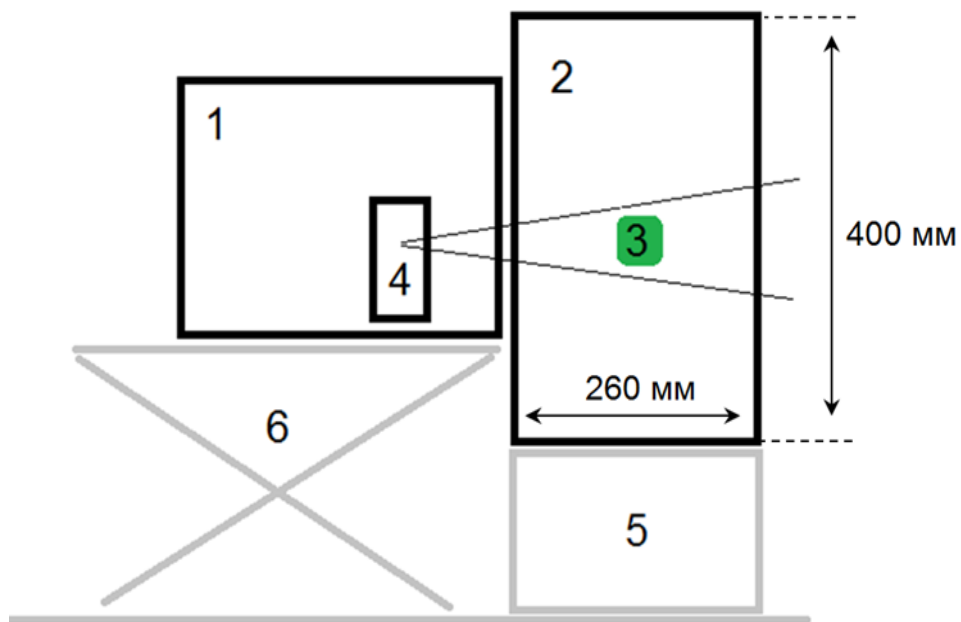


# Регистрация мгновенного гамма-излучения



желтый импульс – альфа-событие (длительность импульса  $\sim 40$  нс),  
голубой импульс – гамма-событие (длительность импульса  $\sim 150$  нс),  $\tau_3$  – разница во времени между импульсами, нс .

# РАТЭК УВП-1103



# Результат

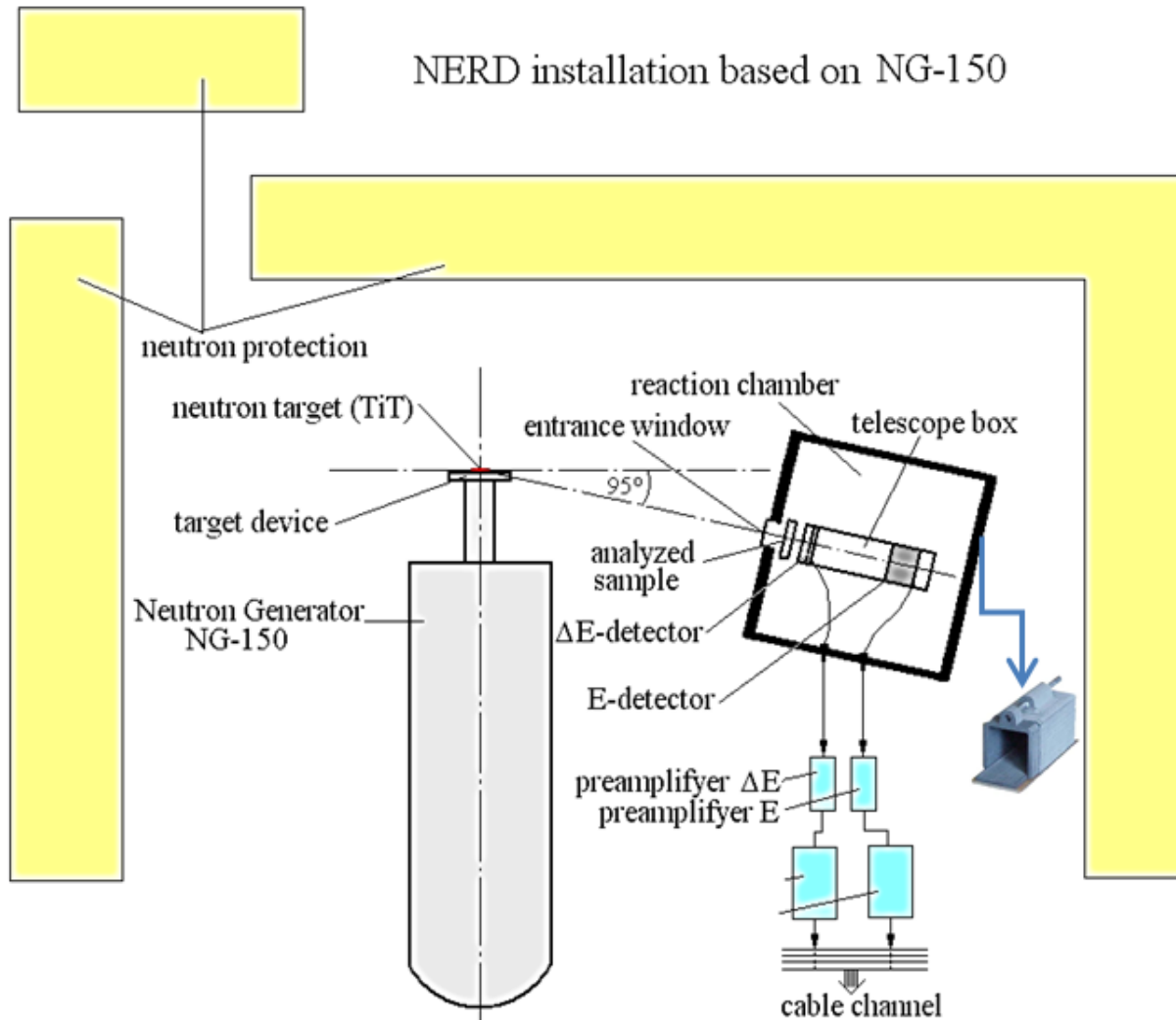
	Процент верных обнаружений ВВ	Процент пропусков	Среднее время измерения при обнаружение, с
Текстильные изделия и TNT	99.8%	0.2%	84.3
Цифровая электроника и TNT	99.8%	0.2%	131.7
Бумажные изделия и TNT	99.8%	0.2%	94.1
Бутылка воды и TNT	99.8%	0.2%	78.3
Мыло / шампунь и TNT	99.6%	0.4%	98.1
Пустая сумка и TNT	100.0%	0.0%	71.5
Сухое молоко и TNT	100.0%	0.0%	61.8
Стиральный порошок и TNT	100.0%	0.0%	64.5

## ВНИИЭФА “NG-150”



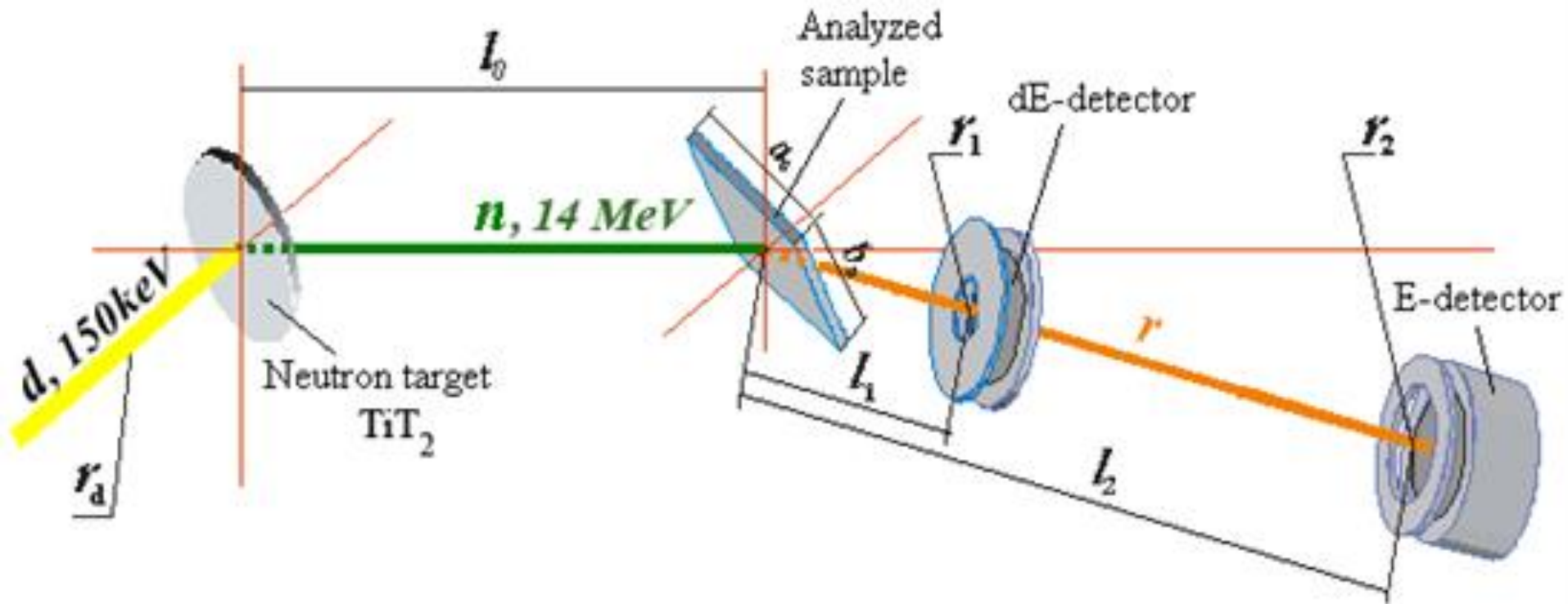
At the PNPI there was neutron generator NG-200

# Измерение энергии ядер отдачи при рассеянии быстрых нейтронов



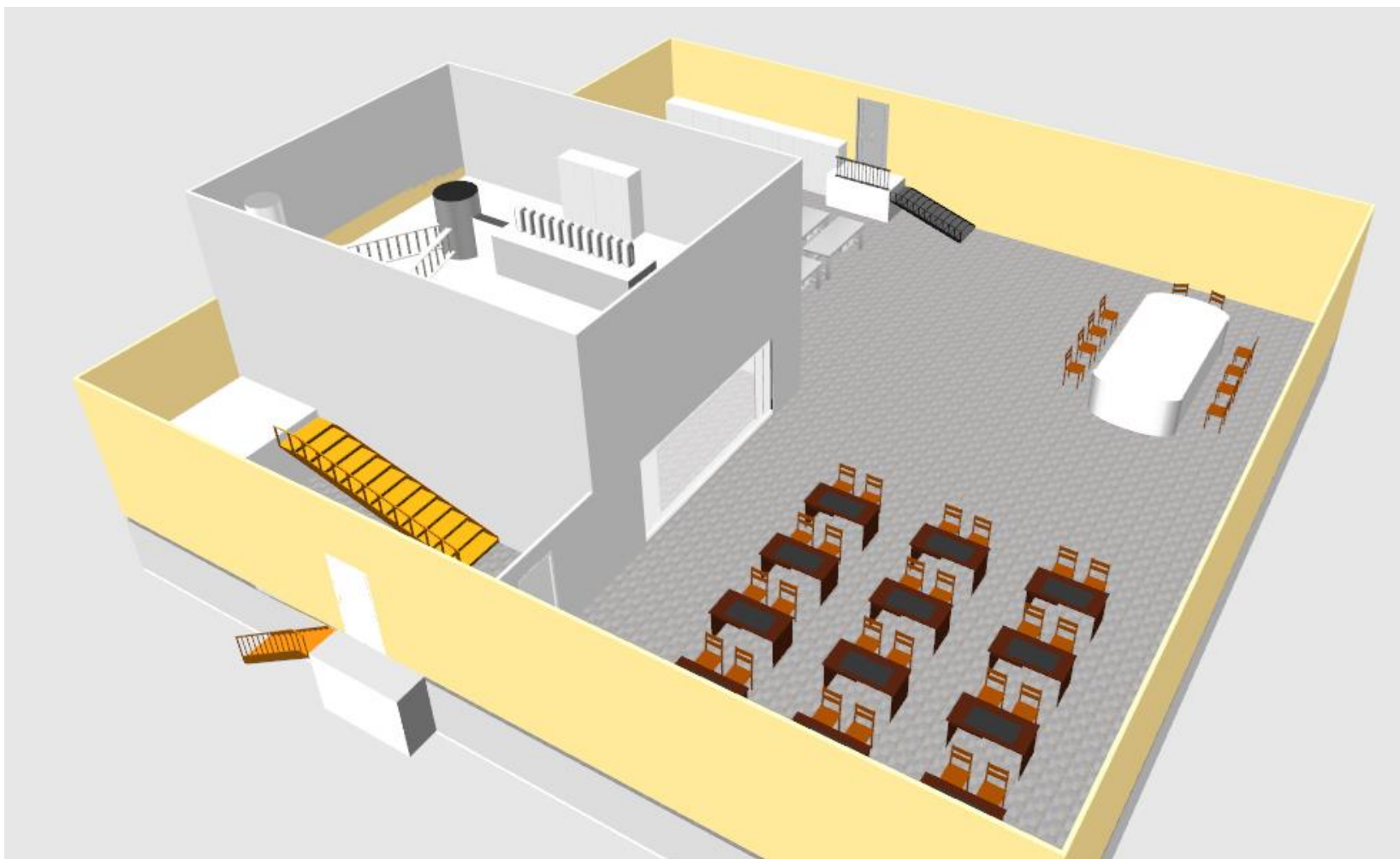


# Схема измерения

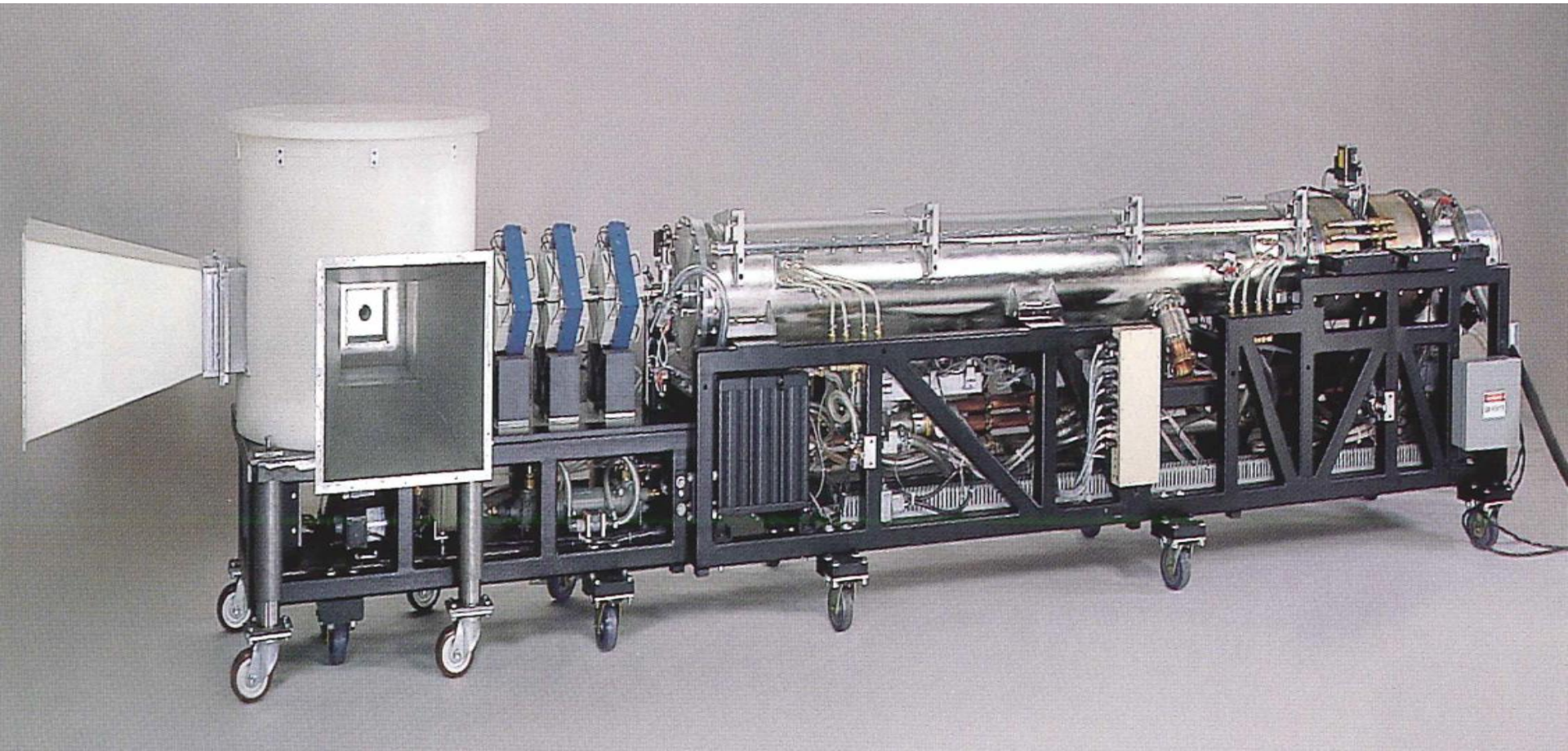


Определение содержания и профилей концентрации изотопов водорода и гелия в конструкционных материалах

# *Нейтронный генератор в ПИЯФ*



# Standard LANSAR models



Model	DL-1	DL-2	DL-4	PL-4	PL-7	PL-11
Accelerated particle	d <sup>+</sup>	d <sup>+</sup>	d <sup>+</sup>	p <sup>+</sup>	p <sup>+</sup>	p <sup>+</sup>
Beam energy (nominal, MeV)	0.9	2.1	3.9	3.9	7.0	11.0
Neutron yield* (n/sec/μA)	7.8 × 10 <sup>7</sup>	9.0 × 10 <sup>8</sup>	3.2 × 10 <sup>9</sup>	1.3 × 10 <sup>9</sup>	9.0 × 10 <sup>9</sup>	3.0 × 10 <sup>10</sup>
Beam current/pulse (mA)	10	10	15	40	15	40
Beam pulse width (μsec)	30-120	30-120	30-120	25-215	35-120	35-215
Pulse repetition rate (Hz)	1-120	1-120	1-120	1-120	1-120	1-120
Maximum target current (μA)	140	140	210	1000	210	1000
Maximum target yield (n/sec/4π)	1.0 × 10 <sup>10</sup>	1.0 × 10 <sup>11</sup>	6.0 × 10 <sup>11</sup>	1.3 × 10 <sup>12</sup>	1.9 × 10 <sup>12</sup>	3.0 × 10 <sup>13</sup>
Estimated thermalization constant (K)	200	270	320	50	100	150
Maximum thermal flux (n/cm <sup>2</sup> /sec)	5.0 × 10 <sup>7</sup>	3.7 × 10 <sup>8</sup>	1.9 × 10 <sup>9</sup>	2.6 × 10 <sup>10</sup>	1.9 × 10 <sup>10</sup>	2.0 × 10 <sup>11</sup>
Accelerator length (m)	1.35	2.30	3.66	4.20	4.50	6.0
Accelerator weight (kg)	250	800	1600	3000	2000	3500
Facility electrical requirement (kVA)	10	20	45	80	25	130

**Спасибо за внимание**

Mitropolsky\_IA@pnpi.nrcki.ru