

# **Интенсивный Нейтринный Источник на Основе Литиевого Конвертора. *Варианты и Предложение к Созданию***

**В.И. Ляшук<sup>1</sup> Ю.С. Лютостанский<sup>2</sup>**

**1) Институт ядерных исследований РАН, Москва**

**2) Национальный исследовательский центр  
“Курчатовский институт”, Москва**

**ИЯИ, Троицк, 23.12.2014**

## СОДЕРЖАНИЕ ДОКЛАДА

- ИДЕЯ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА КАК  $\tilde{\nu}_e$ -ИСТОЧНИКА И “ПРОСТЕЙШАЯ” РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕНСИВНОГО ИСТОЧНИКА
- ЧТО МОЖНО ИЗУЧАТЬ НА  $\tilde{\nu}_e$ -ИСТОЧНИКЕ( ЗАЧЕМ ОН НУЖЕН ?)
- ТРЕБОВАНИЯ К ЧИСТОТЕ ИЗОТОПА  $^7\text{Li}$
- ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА
- ВОЗМОЖНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В КАЧЕСТВЕ ВЕЩЕСТВА Li – КОНВЕРТОРА
- ВОЗМОЖНЫЕ РЕАЛИЗАЦИИ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА

Статический и Динамический режимы работы.

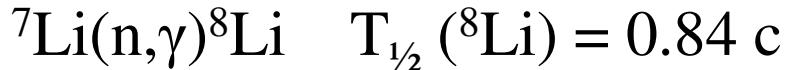
Схема Тандема:

(ускоритель, нейтронопроизводящая мишень) + Li-конвертор

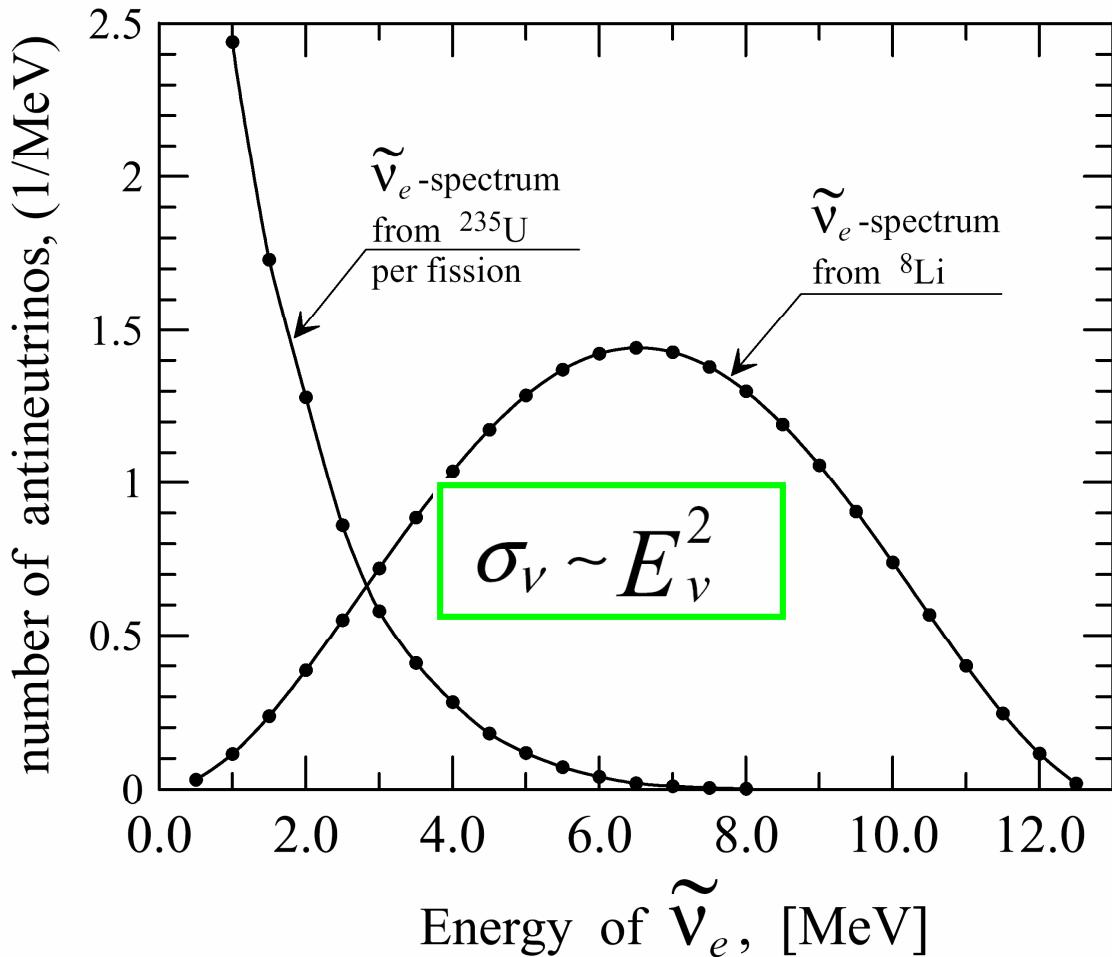
Варианты нейтронопроизводящих мишеней

- Как еще можно повысить эффективность Li-конвертора (LiB-конвертор)
  - ПРЕДЛОЖЕНИЕ к СОЗДАНИЮ  $\tilde{\nu}_e$ -ИСТОЧНИКА  
(ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА) В ИЯИ:  
СХЕМА ИСТОЧНИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНОК
  - “ЗАПАДНЫЙ” ВАРИАНТ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА
- 
- ЗАКЛЮЧЕНИЕ

## IDEA of the LITHIUM CONVERTER



$$E_{\tilde{\nu}}^{\max} \approx 13.0 \text{ MeV} \quad \bar{E}_{\tilde{\nu}} \approx 6.5 \text{ MeV}$$



Alongside with the obvious advantage on a neutrino flux the nuclear reactor has a disadvantage – 1) too-small hardness of –spectrum and 2) significant errors.

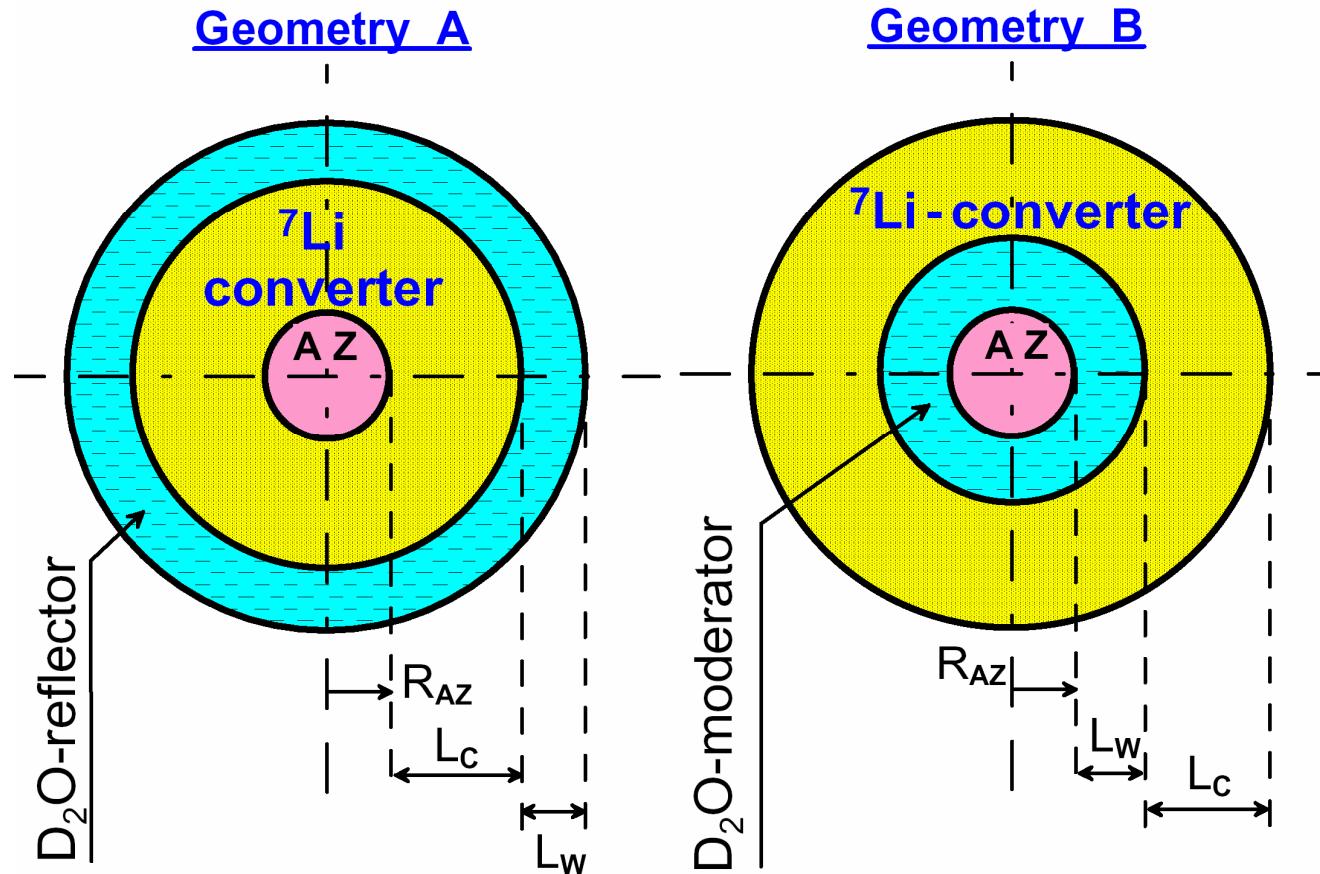
This disadvantage can be filled having realized the idea to use a high-purified isotope of  ${}^7\text{Li}$  for engineering of a neutrons-to-antineutrino Lithium Converter.

The idea of neutrino source based on  ${}^8\text{Li}$  decay was originated by

**L.A. Mikaelian, P.E. Spivak and V.G.Tsinoev**

(L.A. Mikaelian, P.E. Spivak, And V.G. Tsinoev, Nucl. Phys., v.70, p.574 (1965)).

## STATIC REGIME of the OPERATION



In a reactor neutrons flux a short-lived isotope  ${}^8\text{Li}$  ( $T_S = 0.84$  s) is created in the reaction  ${}^7\text{Li}(n,\gamma){}^8\text{Li}$  and at  $\beta^-$ -decay emits hard antineutrinos  $\tilde{\nu}_e$  of a well determined spectrum with the maximum energy

$$E_{\tilde{\nu}}^{\max} = 13.0 \text{ MeV} \text{ and mean energy } \bar{E}_{\tilde{\nu}} = 6.5 \text{ MeV.}$$

In the calculation it was considered the next values:  $L_c = 130, 150, 170$  cm,  $L_w = 30, 15$  cm.  $R_{AZ} = 23$  cm (as for the reactor PIK). It was assumed that one fission-spectrum neutron was escaped from active zone per fission in the active zone. The D<sub>2</sub>O acts as a reflector in the geometry A and as an effective moderator in geometry B.

**Воробьев Е.Д. и др. Импульсный реактор РИНГ. Препринт ИАЭ, 2384, 1974** 4

## СОДЕРЖАНИЕ ДОКЛАДА

- ИДЕЯ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА КАК  $\tilde{\nu}_e$ -ИСТОЧНИКА И “ПРОСТЕЙШАЯ” РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕНСИВНОГО ИСТОЧНИКА
- ЧТО МОЖНО ИЗУЧАТЬ НА  $\tilde{\nu}_e$  -ИСТОЧНИКЕ( ЗАЧЕМ ОН НУЖЕН ?)
- ТРЕБОВАНИЯ К ЧИСТОТЕ ИЗОТОПА  $^7\text{Li}$
- ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА
- ВОЗМОЖНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В КАЧЕСТВЕ ВЕЩЕСТВА Li – КОНВЕРТОРА
- ВОЗМОЖНЫЕ РЕАЛИЗАЦИИ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА

Статический и Динамический режимы работы.

Схема Тандема:

(ускоритель, нейтронопроизводящая мишень) + Li-конвертор

Варианты нейтронопроизводящих мишеней

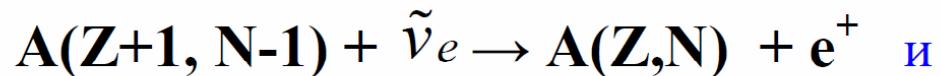
- Как еще можно повысить эффективность Li-конвертора (LiB-конвертор)
  - ПРЕДЛОЖЕНИЕ к СОЗДАНИЮ  $\tilde{\nu}_e$ -ИСТОЧНИКА  
(ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА) В ИЯИ:  
СХЕМА ИСТОЧНИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНОК
  - “ЗАПАДНЫЙ” ВАРИАНТ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА
- 
- ЗАКЛЮЧЕНИЕ

## **Хронологически.**

**1934** г. Bethe H.A. and Paierls R. The “neutrino”// Nature, 1934, V.133, P.523, 689-690.

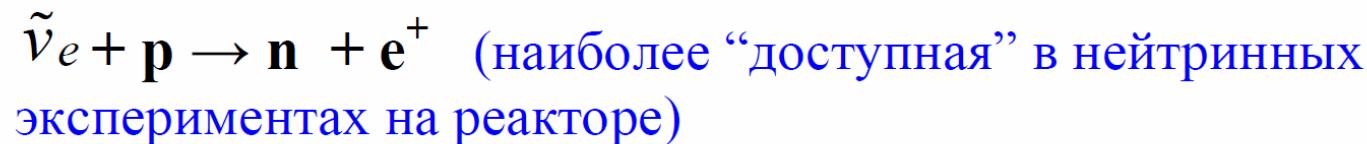
Рассмотрен  $\beta^-$ -распад

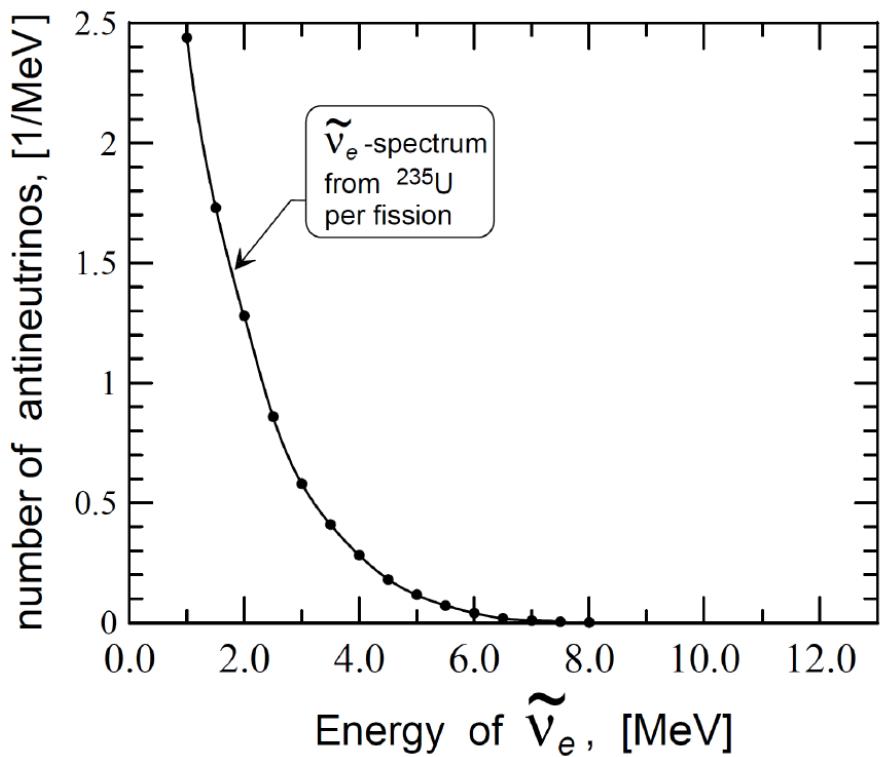
$A(Z,N) \rightarrow A(Z+1, N-1) + e^- + \tilde{\nu}_e$  и возможность обратной реакция с  $\tilde{\nu}_e$  (исходя из принципа детального равновесия):



$A(Z+1, N-1) + e^- + \tilde{\nu}_e \rightarrow A(Z, N)$  (вынужденный захват орбитального электрона; Ферми Э. Ядерная физика. Пер. с англ. М. Иностр. Лит-ра, 1951; Микаэлян Л.А., Циноев В.Г., Боровой А.А. // ЯФ, 1967, т.6, с.349)

Наибольшее внимание приковано к реакции





## Основные результаты по измерению сечения

$\tilde{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$  ( $E_{\text{поп}} = 1.8 \text{ MeV}$ ) получены на реакторе (Рейнес и Коуэн, Незрик и Рейнес, ИАЭ) : ( $\sim (5 \div 6) 10^{-43} \text{ см}^2/\text{деление}, \delta \geq \approx 3 \div 4\% ?$ )

- проблемы нейтринной диагностики реакторов.

Каналы взаимодействия с ядром (на примере дейтрана):

$\tilde{\nu}_e + d \rightarrow n + n + e^+$  (c c) ( $E_{\text{поп}} = 4.0 \text{ MeV}$ )  $\sigma \approx (3 \div 4) 10^{-44} \text{ см}^2/\text{дел.}$

$\tilde{\nu}_e + d \rightarrow n + p + \tilde{\nu}_e'$  (n c) ( $E_{\text{поп}} = 2.23 \text{ MeV}$ )  $\sigma \approx 10^{-44} \text{ см}^2/\text{дел.}$

Неупругое рассеяние  $\tilde{\nu}_e$  на ядре (изучение нейтральных токов):

Например,  $\tilde{\nu}_e + ^7\text{Li} \rightarrow ^7\text{Li}^* + \tilde{\nu}_e' \rightarrow ^7\text{Li}^* + \tilde{\nu}_e' + \gamma$  ( $E=478 \text{ keV}$ )

# ГИПОТЕЗА О СУЩЕСТВОВАНИИ СТРЕРИЛЬНЫХ НЕЙТРИНО

## **Проблема аномалий в регистрируемом потоке нейтрино:**

LSND (избыток  $\tilde{\nu}_e$ ), MiniBooNe, MicroBooNe.

AguilarA. et al. // Phys. Rev. 2001. V. D64. P. 112007.

Aguilar-Arevalo A.A. et al. // Phys. Rev. Lett. 2010. V. 105. P. 181801.

SAGE, GALLEX (“галлиевая аномалия”: дефицит( $13\pm5\%$ )  $\nu_e$  )

Abdurashitov J.N. et al. // Phys. Rev. 2006. V. C73. P. 045805

Kaether F. et al. // Phys. Lett. 2010. V. B685. P. 47-54.



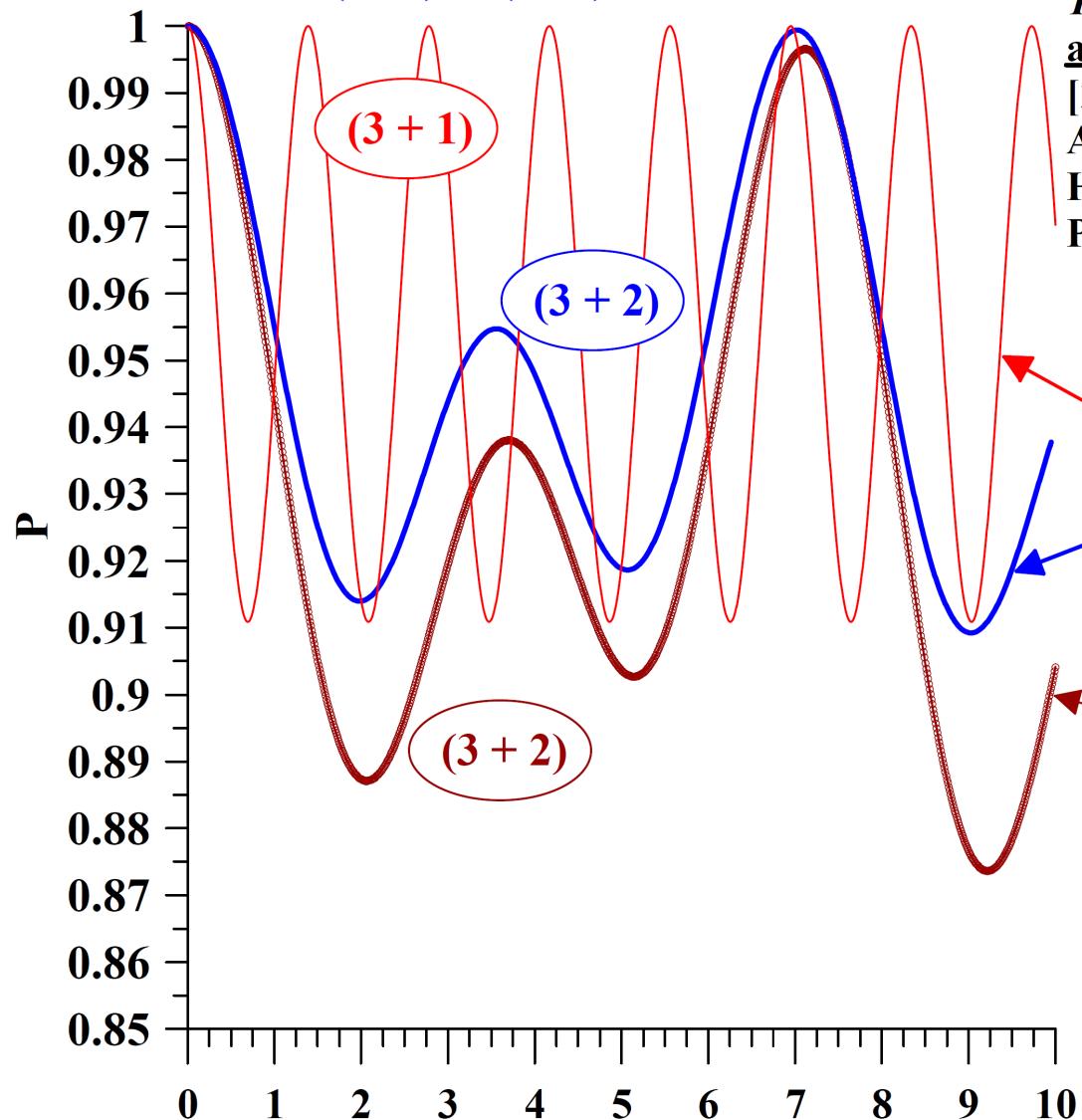
Эксперименты а  
реакторных  $\tilde{\nu}_e$ :  
дефицит  $\sim$   
 $5.7\% \tilde{\nu}_e$  ).

Abdurashitov J.N. et al.  
// Phys. Rev. 2006. V.

C73. P. 045805

Kaether F. et al. // Phys.  
Lett. 2010. V. B685. P.  
47.

# О ВОЗМОЖНЫХ ОСЦИЛЛЯЦИЯХ в АНТИНЕЙТРИНО СПЕКТРЕ Li-8 В МОДЕЛЯХ (3+1) и (3+2) ПРИ $\Delta m^2 \sim 1 \text{ eV}^2$



- [1]. Joachim Kopp, Michele Maltoni, and Thomas Schwetz. Are there sterile neutrinos at the eV scale? arXiv:1103.4570v2 [hep-ex];  
 [2]. A. Bungau, et al. Proposal for an Electron Antineutrino Disappearance Search Using High-Rate  ${}^8\text{Li}$  Production and Decay // PRL 109, 141802 (2012)

from Table I [1]. Taking into account the reactor anti-neutrino data

	$\Delta m_{41}^2 [\text{eV}^2]$	$ U_{e4} $	$\Delta m_{51}^2 [\text{eV}^2]$	$ U_{e5} $
3+1	1.78	0.151		
3+2	0.46	0.108	0.89	0.124

from Table II [1]. From global fit taking into account LSND, MiniBooNE

	$\Delta m_{41}^2$	$ U_{e4} $	$\Delta m_{51}^2$	$ U_{e5} $
3+2	0.47	0.128	0.87	0.138

$$P_{(3+1)} = 1 - 4|U_{e4}|^2(1 - |U_{e4}|^2) \sin^2(1.27 * \Delta m_{41}^2 * L/E)$$

$$P_{(3+2)} = 1 - 4 \left\{ (1 - |U_{e4}|^2 - |U_{e5}|^2) * \right.$$

$$\left. (|U_{e4}|^2 \sin^2(1.27 * \Delta m_{41}^2 * L/E) + \right.$$

$$\left. (|U_{e5}|^2 \sin^2(1.27 * \Delta m_{51}^2 * L/E) + \right.$$

$$\left. |U_{e4}|^2 |U_{e5}|^2 \sin^2(1.27 * \Delta m_{54}^2 * L/E) \right\}$$

## СОДЕРЖАНИЕ ДОКЛАДА

- ИДЕЯ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА КАК  $\tilde{\nu}_e$ -ИСТОЧНИКА И “ПРОСТЕЙШАЯ” РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕНСИВНОГО ИСТОЧНИКА
- ЧТО МОЖНО ИЗУЧАТЬ НА  $\tilde{\nu}_e$  -ИСТОЧНИКЕ( ЗАЧЕМ ОН НУЖЕН ?)
- ТРЕБОВАНИЯ К ЧИСТОТЕ ИЗОТОПА  $^7\text{Li}$
- ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА
- ВОЗМОЖНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В КАЧЕСТВЕ ВЕЩЕСТВА Li – КОНВЕРТОРА
- ВОЗМОЖНЫЕ РЕАЛИЗАЦИИ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА

Статический и Динамический режимы работы.

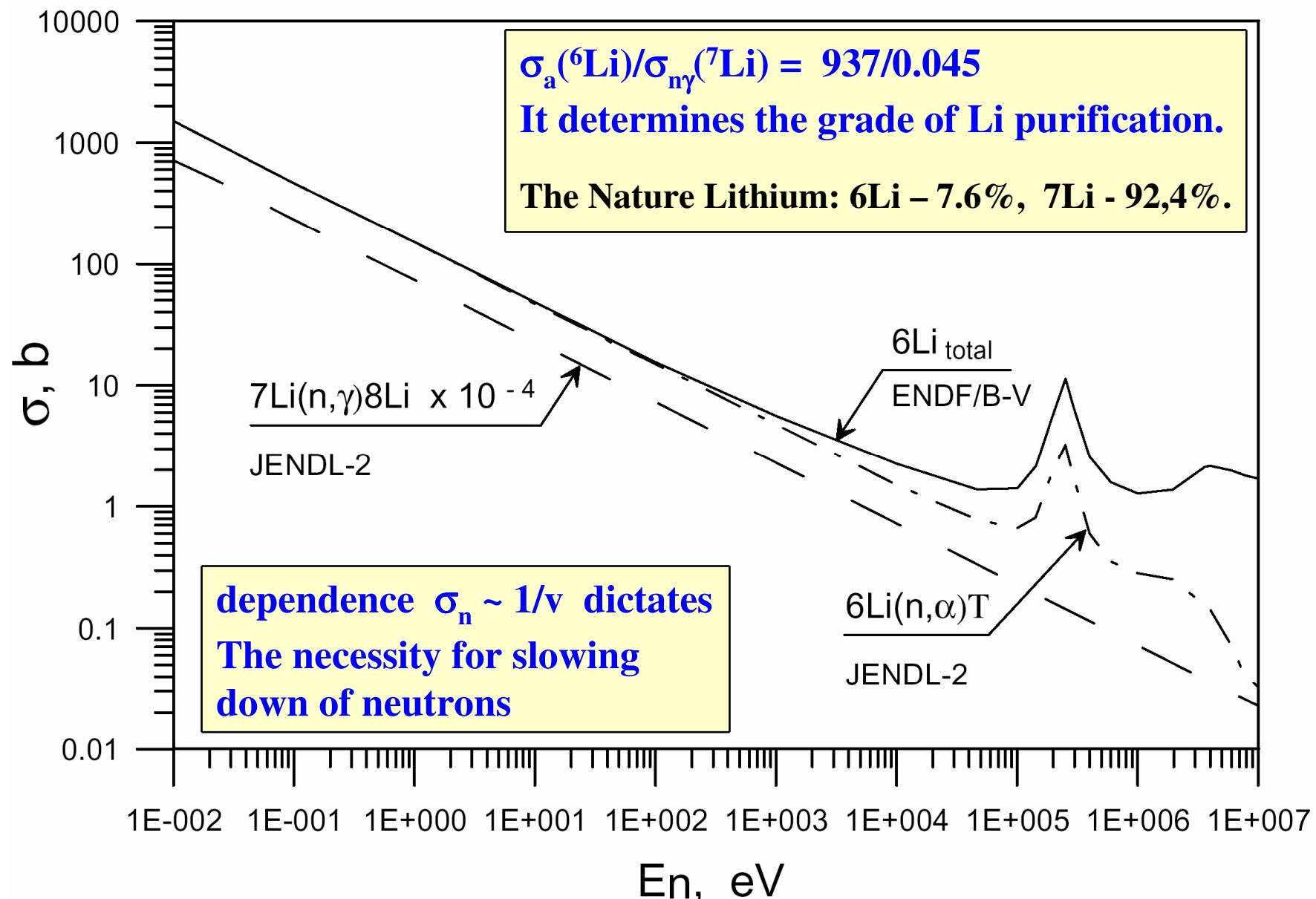
Схема Тандема:

(ускоритель, нейтронопроизводящая мишень) + Li-конвертор

Варианты нейтронопроизводящих мишеней

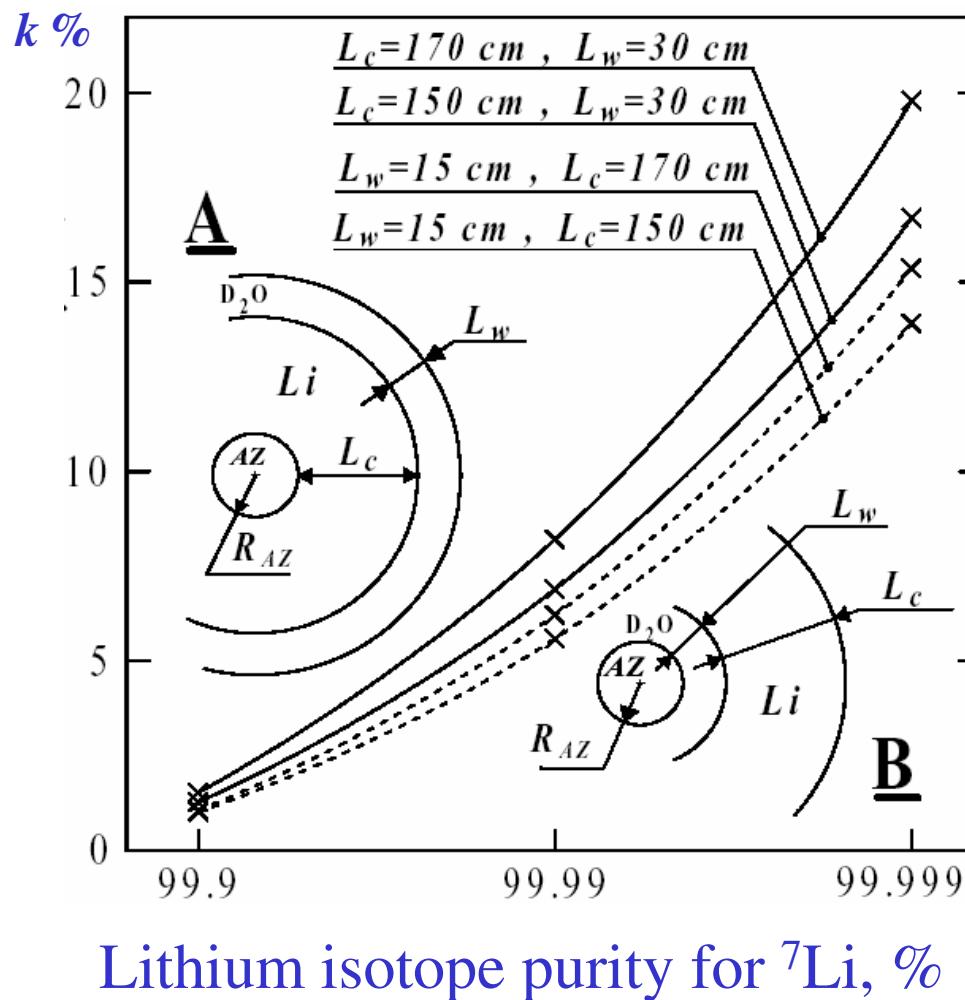
- Как еще можно повысить эффективность Li-конвертора (LiB-конвертор)
  - ПРЕДЛОЖЕНИЕ к СОЗДАНИЮ  $\tilde{\nu}_e$ -ИСТОЧНИКА  
(ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА) В ИЯИ:  
СХЕМА ИСТОЧНИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНОК
  - “ЗАПАДНЫЙ” ВАРИАНТ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА
- 
- ЗАКЛЮЧЕНИЕ

## NEUTRON CROSS SECTION for ${}^6\text{Li}$ and ${}^7\text{Li}$



## DEPENDANCE of EFFICIENCY $k$ from the ${}^7\text{Li}$ PURITY

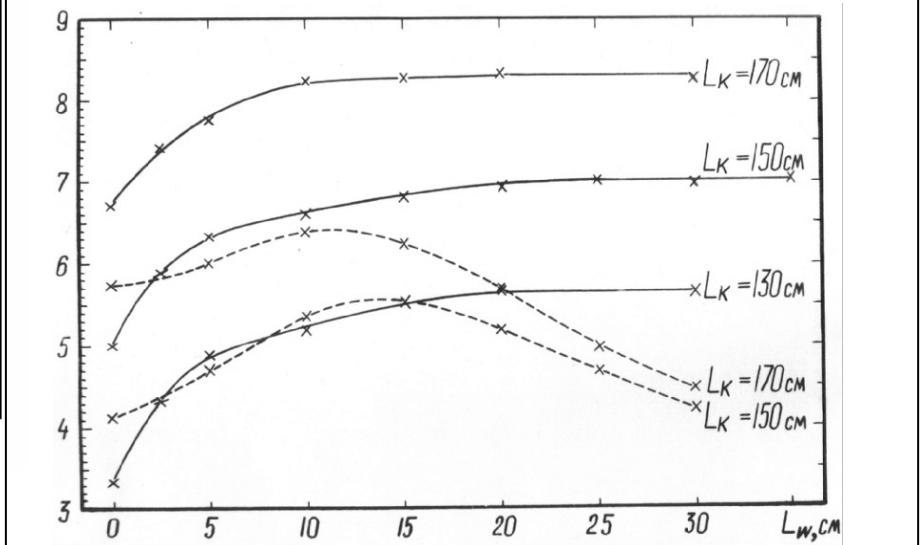
**Converter efficiency  $k$  – is the number of  ${}^8\text{Li}$ -isotopes produced in the converter per neutron of the source.**



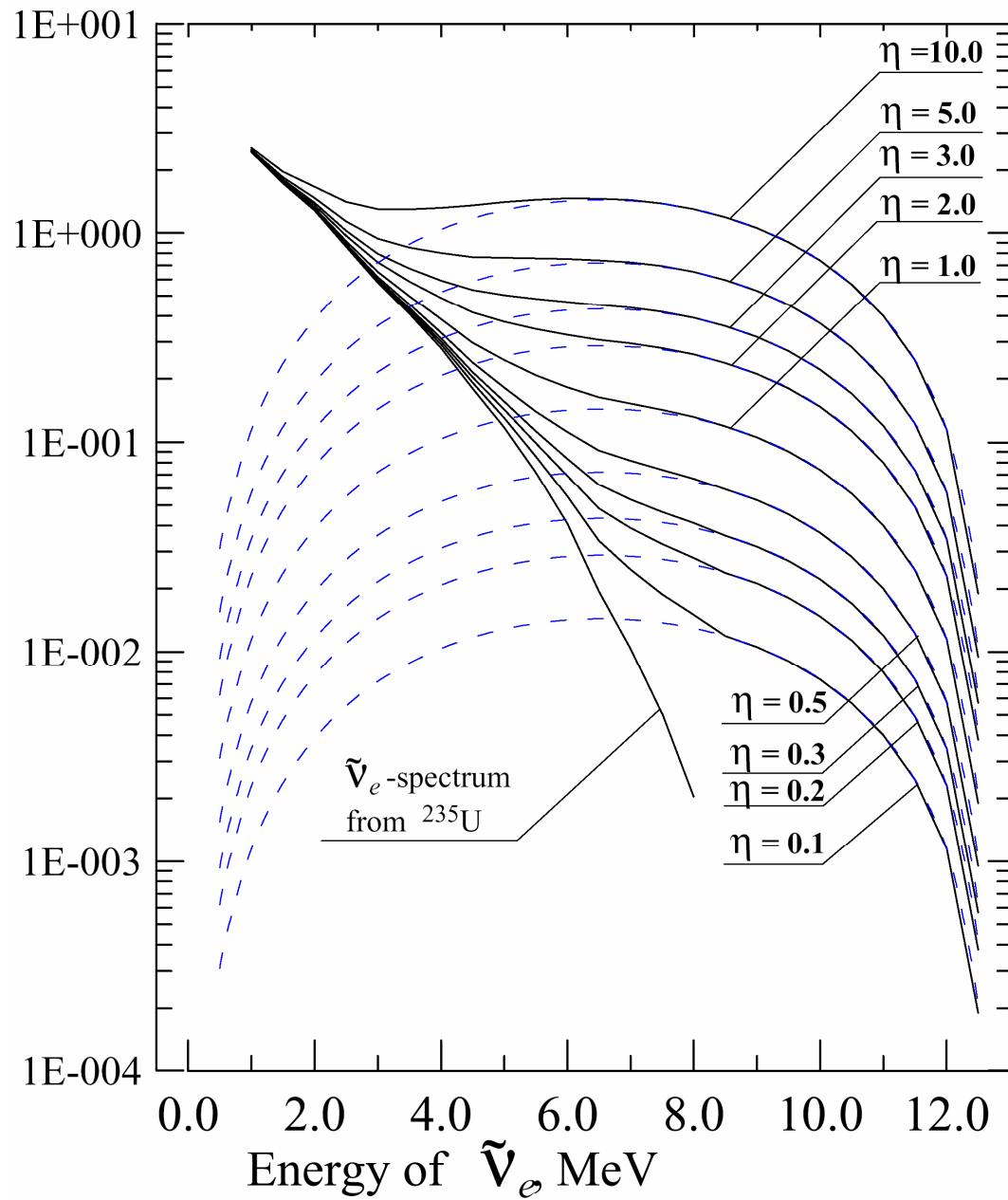
Dependance of the converter efficiency  $k$  from the  ${}^7\text{Li}$ -purity for A-geometry (solid line) and B-geometry (dotted line) in case of different thickness of the converter  $L_c$  and for different  $\text{D}_2\text{O}$  thickness  $L_w$ .

**Contents of  ${}^7\text{Li}$  in the nature lithium is 92,41%.**

Dependence of the converter efficiency  $k$ (%) on  $\text{D}_2\text{O}$  layer thickness in geometry A (solid line) and B (dotted line) for converter thickness  $L_c$  and Active Zone of the reactor PIC.



number of antineutrino, (1/fission/MeV)



## SUMMARY ANTINEUTRINO SPECTRUM

Antineutrino spectrum:

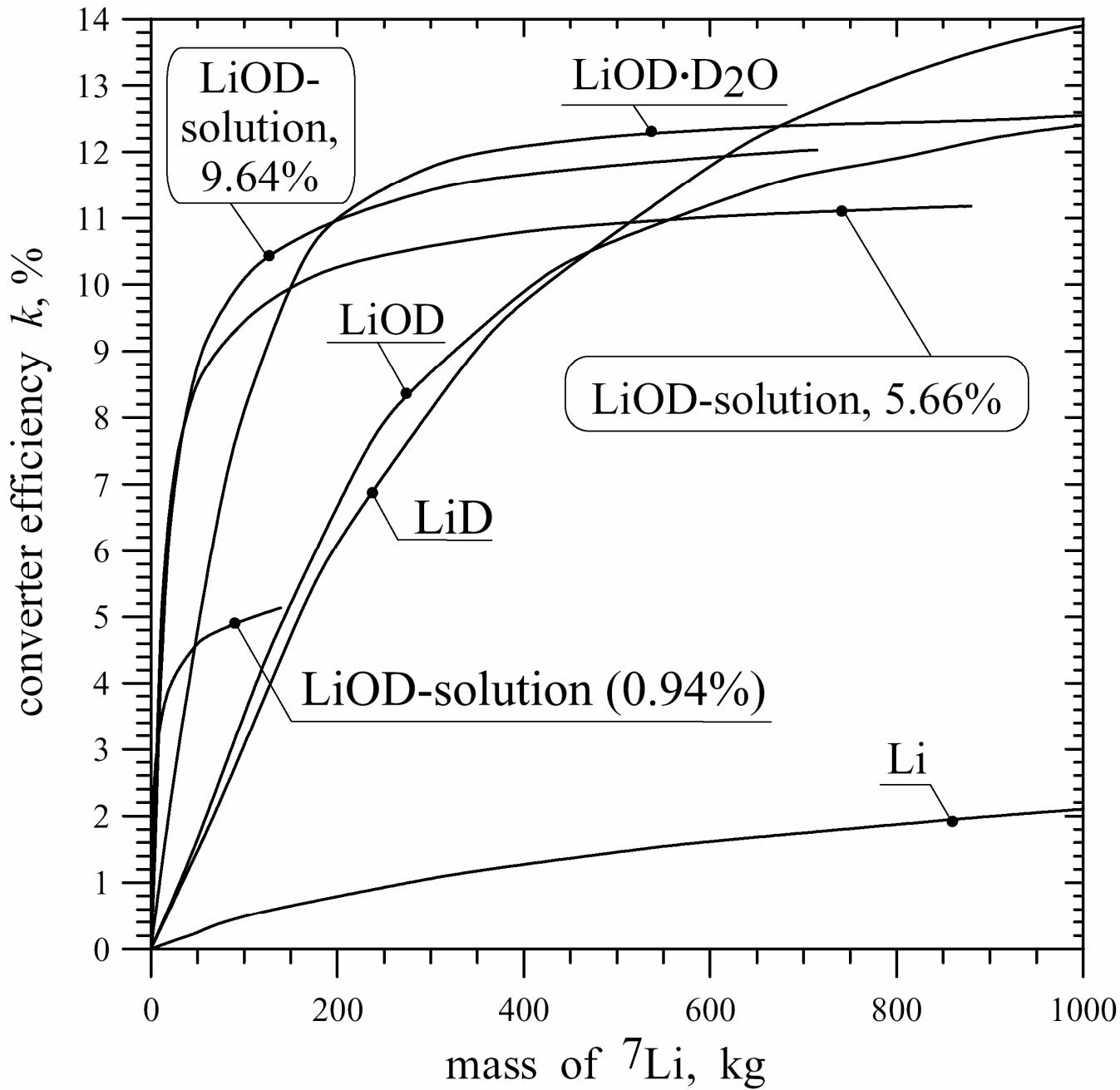
- 1) from  $^{235}\text{U}$ ,
- 2) summary antineutrino spectrum from the active zone and lithium converter for different values of the converter efficiency,
- 3) neutrino spectrum from the converter (dotted line) for different converter efficiency.

## CHOISE of CONVERTER MATTER

CONVERTER MATERIAL	DENSITY (g/cm <sup>2</sup> )	TEMPERATURE OF MELTING (t °C)	Li mass (in kg) for κ= 9 % ( <sup>7</sup> Li=99.99%)
<sup>7</sup> LiD – lithium deuteride	0.89(crystal) 0.80(pressed)	686±5	<b>&gt;300</b>
<sup>7</sup> LiOD – lithium hydroxide	1.495	462÷471 (for LiOH)	<b>250</b>
<sup>7</sup> LiOD·D <sub>2</sub> O – monohydrate of lithium hydroxide	1.965	>600 (for LiOH·H <sub>2</sub> O)	<b>115</b>
<sup>7</sup> LiOD–heavy water solution (6%)	~1.1	-	<b>70</b>

To increase the converter efficiency by increasing the purity of <sup>7</sup>Li to not less than 99.999% value is difficult. The solution is to use not pure <sup>7</sup>Li isotope as the converter material, but its chemical compositions, for example the perspective matter is a heavy water solution of lithium hydroxide *LiOD*, *LiOD·D<sub>2</sub>O* and *LiD* [1,6]. The results of calculations Li mass for different chemical compositions and other information presented in Table. The most perspective was considered *LiOD* heavy water solution. Thus, using it permits to reduce the layer thickness  $L_C$  up to ≈1m and sharply reduce a required mass of a high-purified lithium. For example, at the concentration of 9.46 % for the achievement κ= 0.077 it will be necessary mass in 300 times less than for the converter with lithium only. Other chemical compositions like Li<sub>2</sub>C<sub>2</sub>, Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Li<sub>2</sub>O, LiDCO<sub>3</sub>, LiF, LiDF<sub>2</sub> and their heavy water solutions are not so <sub>14</sub> perspective.

## CHOISE of CONVETER MATTER (2)



Dependence of converter efficiency  $k$  on lithium mass  $m_{\text{Li}}$  for different chemical compositions and heavy water solution of LiOD (with LiOD concentration 0.94, 5.66 and 9.64%).

## СОДЕРЖАНИЕ ДОКЛАДА

- ИДЕЯ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА КАК  $\tilde{\nu}_e$ -ИСТОЧНИКА И “ПРОСТЕЙШАЯ” РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕНСИВНОГО ИСТОЧНИКА
- ЧТО МОЖНО ИЗУЧАТЬ НА  $\tilde{\nu}_e$  -ИСТОЧНИКЕ( ЗАЧЕМ ОН НУЖЕН ?)
- ТРЕБОВАНИЯ К ЧИСТОТЕ ИЗОТОПА  $^7\text{Li}$
- ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА
- ВОЗМОЖНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В КАЧЕСТВЕ ВЕЩЕСТВА Li – КОНВЕРТОРА
- **ВОЗМОЖНЫЕ РЕАЛИЗАЦИИ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА**

**Статический и Динамический режимы работы.**

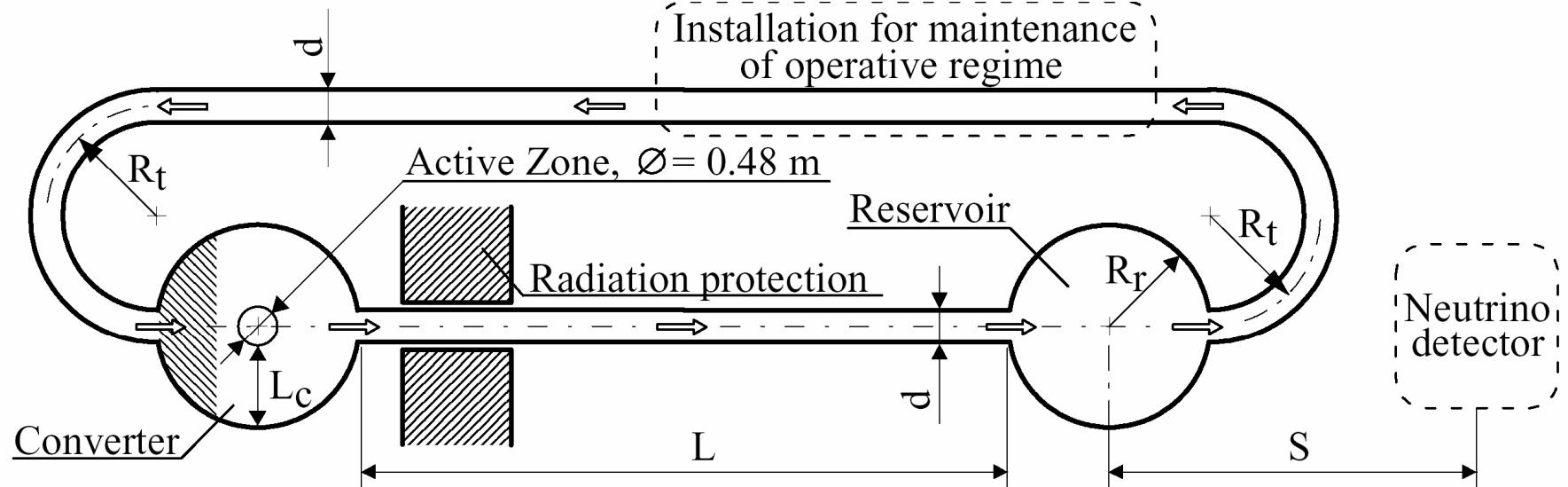
**Схема Тандема:**

(ускоритель, нейтронопроизводящая мишень) + Li-конвертор

Варианты нейтронопроизводящих мишеней

- Как еще можно повысить эффективность Li-конвертора (LiB-конвертор)
- **ПРЕДЛОЖЕНИЕ к СОЗДАНИЮ  $\tilde{\nu}_e$ -ИСТОЧНИКА  
(ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА) В ИЯИ:**  
СХЕМА ИСТОЧНИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНОК
- “ЗАПАДНЫЙ” ВАРИАНТ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА
- **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

## DINAMIC REGIME of OPERATION



It is possible to supply powerful neutrino fluxes with considerably greater hardness in a facility with a dynamic mode of operation <sup>10</sup>: liquid lithium is pumped over in a closed cycle through a converter and further in a direction to a remote neutrino detector. For increasing of a part of hard lithium antineutrinos a being pumped reservoir is constructed near the -detector. Such a facility will ensure not only more hard spectrum in the location of a detector but also an opportunity to investigate -interaction at different spectrum hardness.

However, the development of such a facility comes across serious problems connected with necessity of a temperature regime maintenance ( $t_{melting}(\text{Li})=C$ ) and requirement in a large mass of a high-purified lithium. So, at the thickness of converter  $L_c = 1.5 \text{ m}$  it reaches the efficiency  $\kappa \approx 0.077$  that requires 11.9 t. of lithium with the purity on the isotope  $^7\text{Li}$   $P_7 = 99.99\%$ . For realization of a dynamic mode it will required lithium about in 2-4 times more. 17  
The problem of the requested  $^7\text{Li}$  mass can be solved with use of lithium heavy water solution

## FLUXES of LITHIUM ANTINEUTRINO

Let  $V_c$  - converter volume,  $V_0$  - volume of a whole system,  $w$  - volume being pumped over in a time unit ( flow rate, i.e. circulation rate ), then  $t_p = V_c / w$  - time of pumping over of converter volume. In a converter we shall allocate some spherical segment with a volume  $V_s$  and with a plane of the basis perpendicular to the axis of a delivery channel. It was obtained integral flux of lithium antineutrinos emitted from this spherical segment for a time  $t$  :

$$N_s(t) = \frac{t}{t_s} \left( S_1 + \sum_{n=2}^{\infty} S_n \right) = \frac{t}{t_s} \left[ S_1 + \frac{S_2}{\varphi(-\lambda_{\beta} V_0 / w)} \right],$$

where  $N_7(t)$  and  $N_8(t)$  - number of nucleus  ${}^7\text{Li}$  and  ${}^8\text{Li}$  at the moment  $t$ ,  $\lambda_{n,\gamma}, \lambda_{\beta}$  - rate of  $(n,\gamma)$ -reaction and  $\beta^-$ - decay,

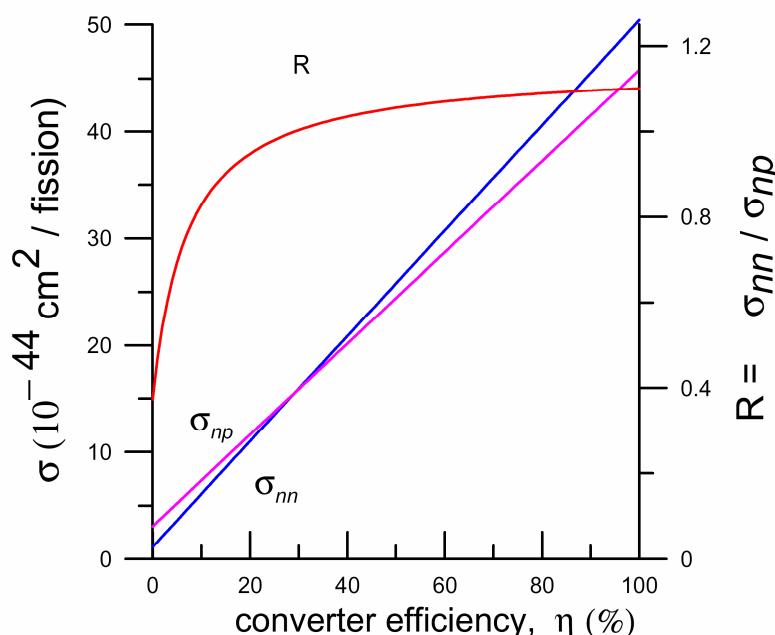
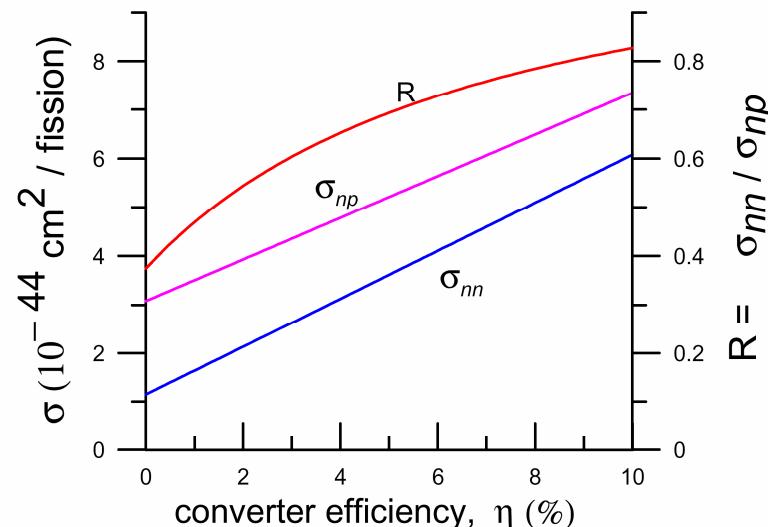
$$S_1 = N_7^0 - N_7(t_s) - N_8(t_s) = \lambda_{n,\gamma} N_7^0 t_s - (\lambda_{n,\gamma} N_7^0 / \lambda_{\beta}) \varphi(V_s),$$

$$S_2 = \frac{\lambda_{n,\gamma} N_7^0}{\lambda_{\beta}} \varphi(V_c) \left\{ \exp[-\lambda_{\beta}(V_0 - V_c)/w] - \exp[-\lambda_{\beta}(V_0 - V_c + wt_s)/w] \right\},$$

$$\varphi(y) = 1 - \exp(-\lambda_{\beta} y / w).$$

In the same way it was obtained the expression for the fluxes from the delivery channel and from the pumped reservoir.

## SOME PHYSICAL ASPECTS



The total number of antineutrinos from the installation is:

$$N_{\tilde{\nu}_e} = N_{AZ} + \eta \cdot (N_{AZ} / n),$$

where  $N_{AZ}$  is number of antineutrinos from the active zone,  $\eta$  - converter efficiency,  $n$  - number of antineutrinos from active zone per fission;  $n \approx 6.13$ ). So, the second summand determines the number of lithium antineutrinos.

For reaction  $i$ , the cross section (normalized per one fission) for the summary neutrino spectrum is also an additive value:

$$\sigma_i = \sigma_i^{AZ} + \eta \cdot \sigma_i^{\text{converter}},$$

where the cross section of antineutrinos from the active zone  $\sigma_i^{AZ}$  and from the converter are calculated separately: each with its own spectrum.

Some reaction, investigated in the neutrino reactor experiments:



Cross section for the reactor antineutrino:

$$(1) \quad (4.3 \text{ to } 6.9) \times 10^{-43} \text{ cm}^2/\text{fission}$$

$$(2) \quad (1.1 \text{ to } 1.9) \times 10^{-45} \text{ cm}^2/\tilde{\nu}_e$$

$$(3) \quad (2.9 \text{ to } 4.7) \times 10^{-45} \text{ cm}^2/\tilde{\nu}_e$$

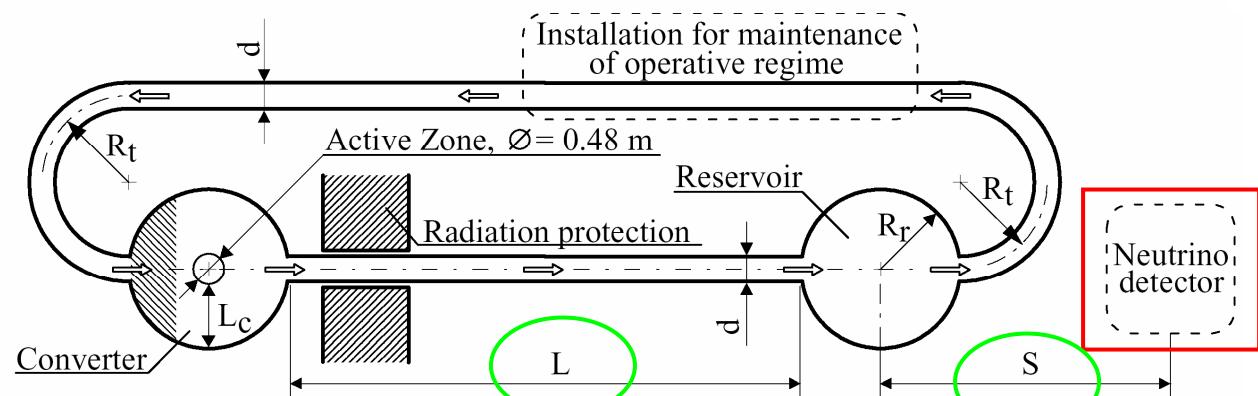
Hard-spectrum lithium antineutrinos allow  
Increase cross section in several times.

## HARDNESS OF THE SUMMARY NEUTRINO SPECTRUM

Let  $F_{Li}(\vec{r})$  and  $F_{AZ}(\vec{r})$  - densities of lithium antineutrinos flux and antineutrino flux from the active zone,  $\bar{n}_v = 6.13 \div 6.14$  - number of reactor antineutrinos emitted per one fission in the active zone. Let us consider that the hardness of the summary  $\tilde{\nu}_e$ - spectrum at the point  $\vec{r}$  equals one unit of hardness if the ratio of densities  $F_{Li}(\vec{r})/F_{AZ}(\vec{r})$  equals  $1/\bar{n}_v$ . Then in common case the hardness of a summary spectrum is defined as:

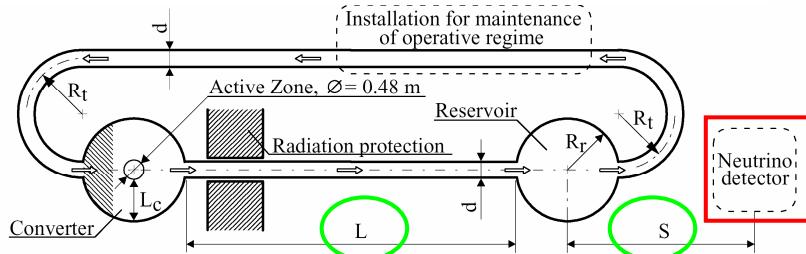
$$H(\vec{r}) = \bar{n}_v \frac{F_{Li}(\vec{r})}{F_{AZ}(\vec{r})}$$

Having know hardness of the summary spectrum (purity of  $^7\text{Li}$ , parameters of the installation, flow rate  $w$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ )) we can evaluate the



expected neutrino cross section for the summary spectrum for this installation.

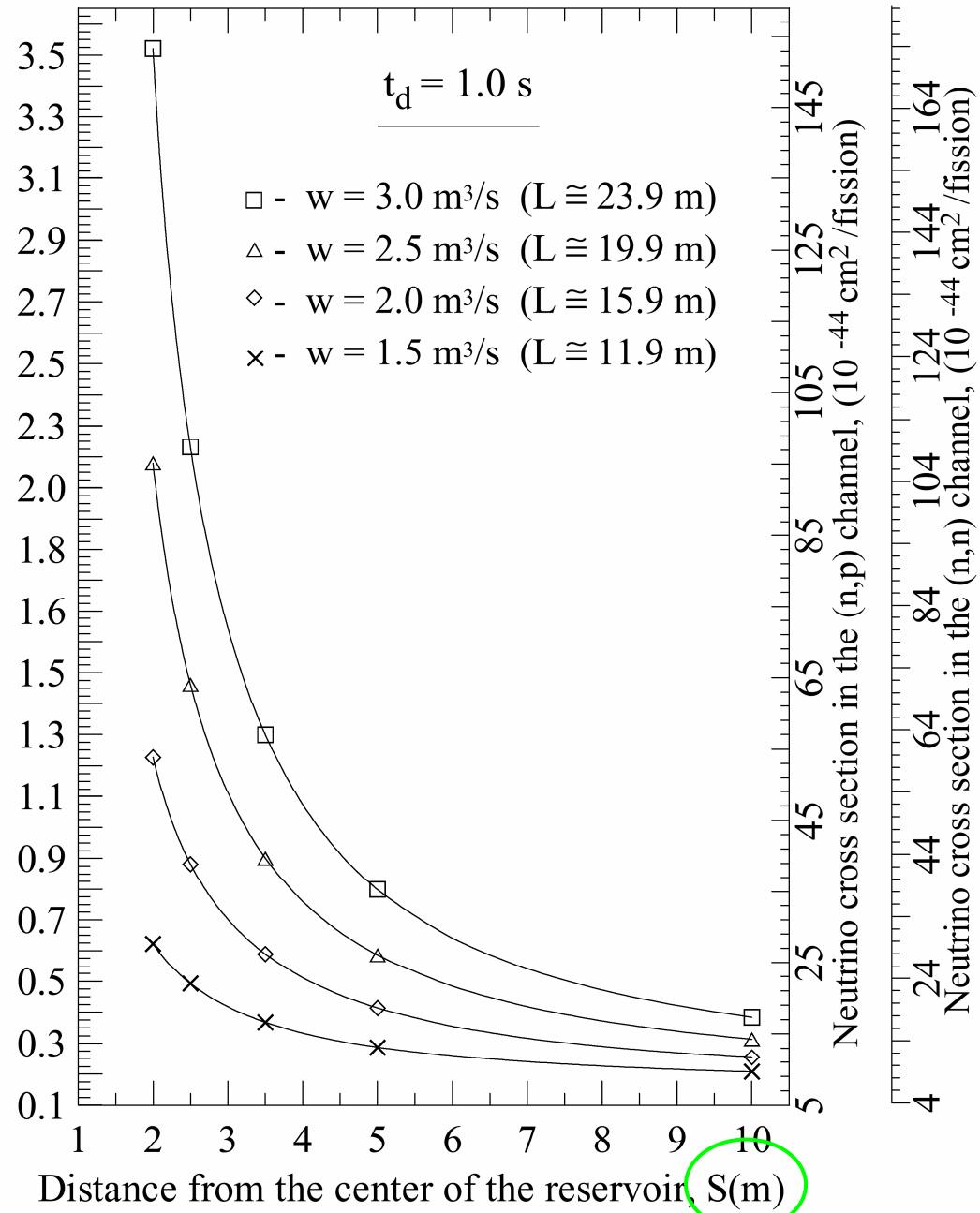
# HARDNESS and EXPECTED CROSS SECTION (1)



to set (Input data):  
hardness of  
the summary spectrum  
(purity of  $^7\text{Li}$ , parameters  
of the installation,  
flow rate  $w$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ))

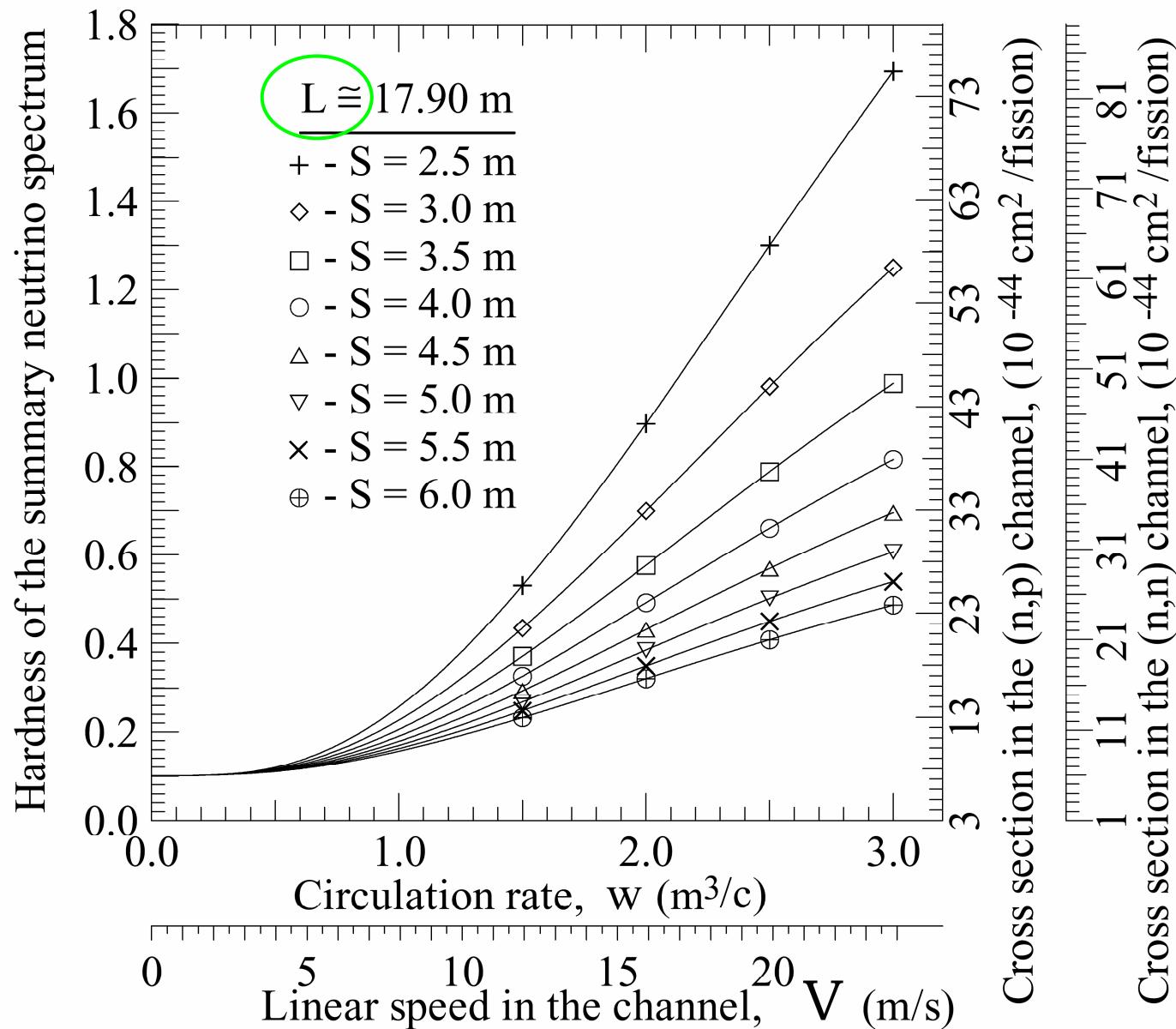
we obtain (Output data):  
hardness of the summary  
spectrum, expected cross  
sections

Hardness of the summary neutrino spectrum



## HARDNESS and EXPECTED CROSS SECTION (2)

### Variation of neutrino cross section as function of the linear speed of pumping



## СОДЕРЖАНИЕ ДОКЛАДА

- ИДЕЯ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА КАК  $\tilde{\nu}_e$ -ИСТОЧНИКА И “ПРОСТЕЙШАЯ” РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕНСИВНОГО ИСТОЧНИКА
- ЧТО МОЖНО ИЗУЧАТЬ НА  $\tilde{\nu}_e$  -ИСТОЧНИКЕ( ЗАЧЕМ ОН НУЖЕН ?)
- ТРЕБОВАНИЯ К ЧИСТОТЕ ИЗОТОПА  $^7\text{Li}$
- ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА
- ВОЗМОЖНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В КАЧЕСТВЕ ВЕЩЕСТВА Li – КОНВЕРТОРА
- **ВОЗМОЖНЫЕ РЕАЛИЗАЦИИ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА**

Статический и Динамический режимы работы.

Схема Тандема:

(ускоритель, нейтронопроизводящая мишень) + Li-конвертор

Варианты нейтронопроизводящих мишеней

- Как еще можно повысить эффективность Li-конвертора (LiB-конвертор)
- ПРЕДЛОЖЕНИЕ к СОЗДАНИЮ  $\tilde{\nu}_e$ -ИСТОЧНИКА  
(ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА) В ИЯИ:  
СХЕМА ИСТОЧНИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНОК
- “ЗАПАДНЫЙ” ВАРИАНТ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА
- ЗАКЛЮЧЕНИЕ

# Neutron Sources on the Base of Accelerator + Neutron Producing Target

<u>Facility</u> (Country, site, laboratory)	<u>Beam parameters:</u> particles, energy, current, frequency (Hz)	<u>Neutron yield, flux</u>	<u>Target;</u> <u>status of the facility</u>
<u>IN-6</u> (Russia, Troitsk, INR RAS)	protons, 600 MeV, 0.5 mA (average), 100 Hz (project parameters)	$\sim 1 \cdot 10^{16} \text{ s}^{-1}$	tungsten (target in block 1); first run in 1998 year
<u>IREN</u> (Russia, Dubna, JINR)	electrons, 200 MeV, 3 A (in the pulse), 150 Hz	$1 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$	Pu ( $K_{\text{eff}} < 0.98$ ); under construction: (W-target at 1st stage)
<u>SNS</u> (USA, ORNL)	protons, 1 GeV, 1.4 mA (average), 60 Hz	$(1.8 - 2.7) \cdot 10^{17} \text{ s}^{-1}$	mercury; work since 2006 year
<u>SINQ</u> (Switzerland, Paul Scherrer institut.)	protons, 590 MeV, 1.8 mA, steady-state flux	$1 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1}$	lead; work since 1998 year
<u>n-TOF</u> (Switzerland, Geneva, CERN)	protons, 20 GeV, 4 Hz	$0.4 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$ ; at L = 185 m from the target : $4 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1}$	lead; work since 2000 year
<u>IFMIF</u> (Italy, Frascati)	deuterons, 40 MeV, 125 mA, steady-state flux	$(4.5 \div 10) \cdot 10^{17} \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Moltem $^7\text{Li}$ ; under construction
<u>LANSCE</u> (USA, Los-Alamos)	protons, 100-800 MeV, up to 1mA; 20 Hz	$1 \cdot 10^{16} \text{ s}^{-1}$ ; for MTS(material test facility): $2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ (2012year plan)	tungsten; work since 1985 year
<u>KENS</u> (Japan, Tsukuba, KEK)	protons, 500 MeV 10 $\mu\text{A}$ , 20 Hz	$3 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1}$	tungsten (tantalum clad); work since 1980 year
<u>ESS</u> (Sweden, Lund )	<u>protons, 2.5 GeV,</u> <u>14 Hz</u>	$4 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ (peak flux);	tungsten; normal operation in 2019; 44 neutr. instrum. in 2025
<u>CSNS</u> (China, Dongguan)	protons, 1.6 GeV, 62.5 $\mu\text{A}$ , 25 Hz; $1.63 \cdot 10^{13}$ proton/pulse, plan-Stage1	$\sim 5 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1}$	tungsten; normal operation in 2018 year

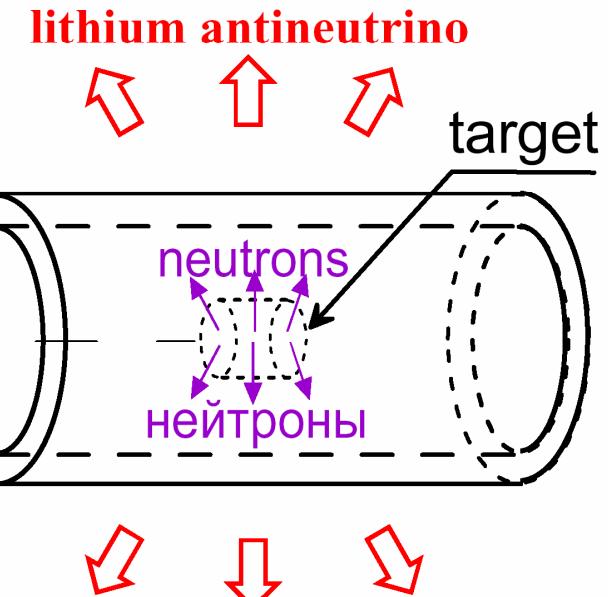
## Powerful Lithium Antineutrino Source on the base of the booster for inciniration of radioactive waste (1)

*Static regime of  
the operation*

linear  
accelerator

Blanket - lithium  
neutrino converter  
(LiF - BeF<sub>2</sub>) +  
radioactive waste  
isotope lithium composition:  
Li-6 - 0.01%, Li-7 - 99.99%)

proton  
beam



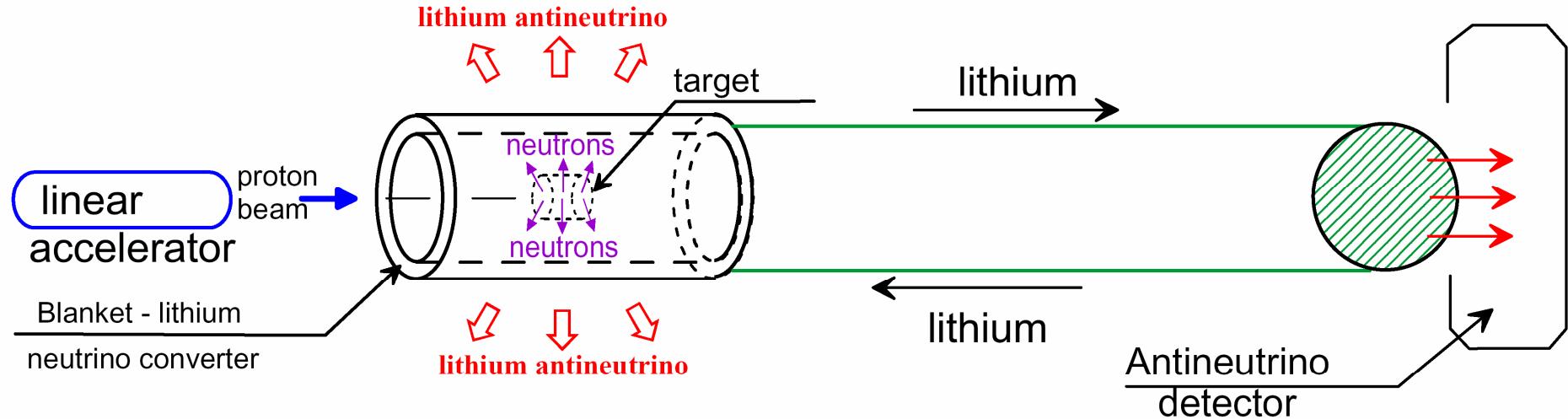
lithium antineutrino

Antineutrino  
detector

Lutostansky, Yu.S. and Lyashuk, V.I., Physics of Elementary Particles and Atomic Nuclei, Lett., 2005, vol. 2, p. 60.

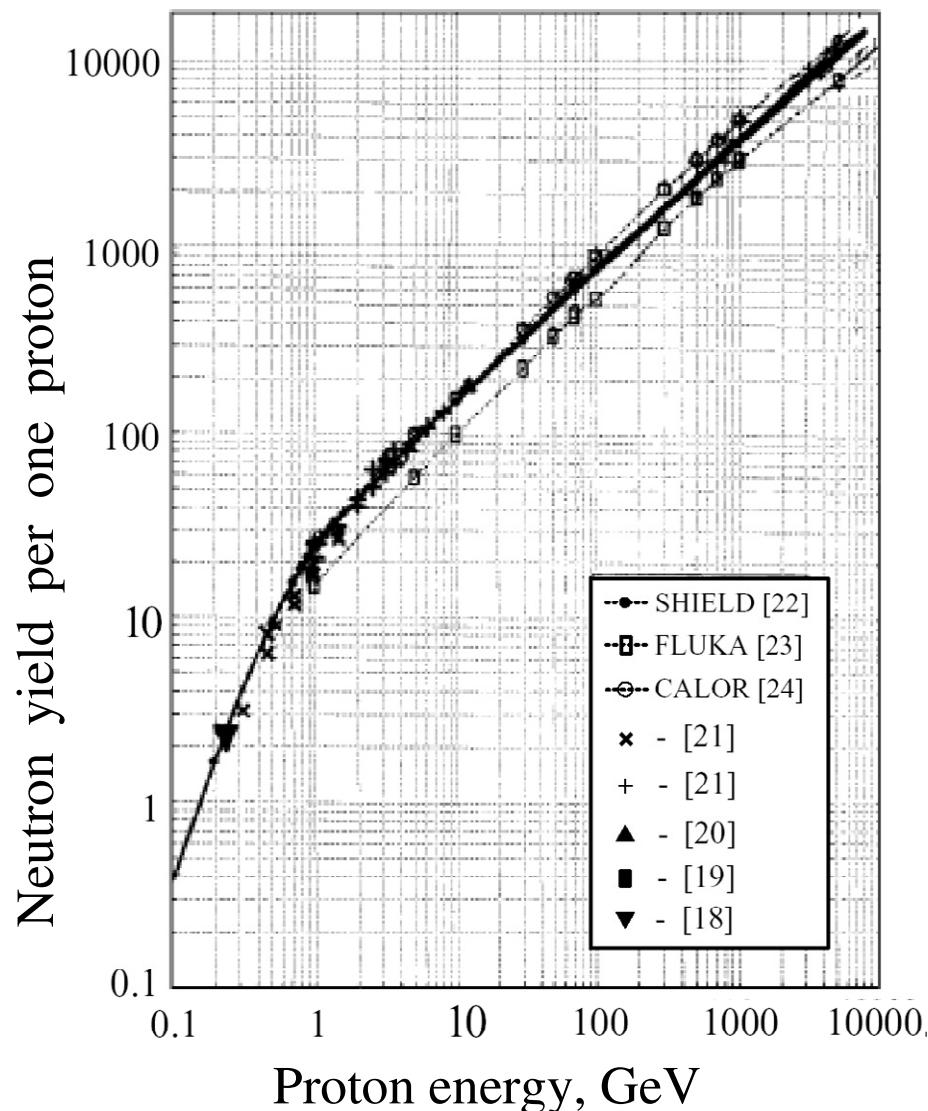
## Powerful Lithium Antineutrino Source on the base of the booster for inciniration of radioactive waste (2)

### *Dinamic regime of the operation*

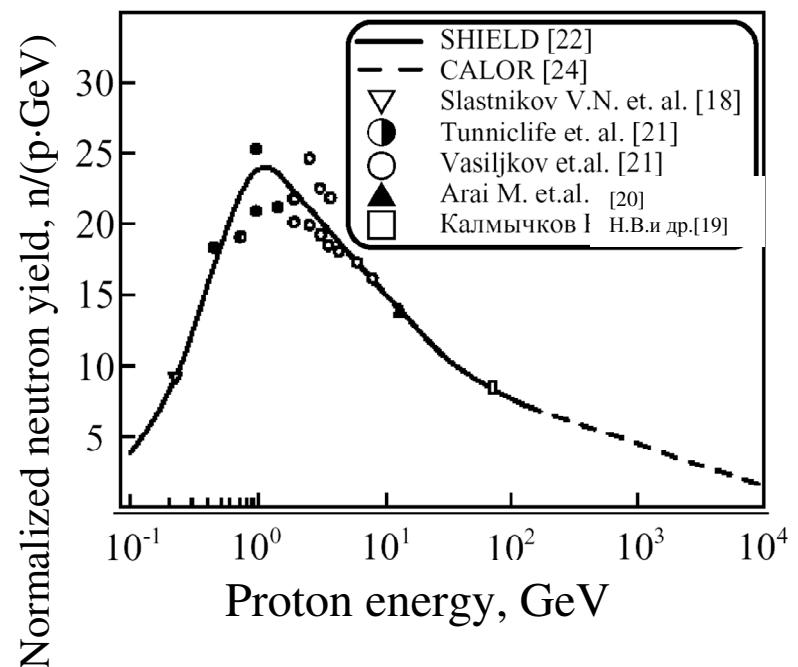


Lutostansky, Yu.S. and Lyashuk, V.I., *Bull. Russ. Acad. Sci. Phys.*, 2011,  
Vol. 75, No. 4, pp. 468

# 1. NEUTRON YIELD FROM HEAVY TARGETS (W, Pb)

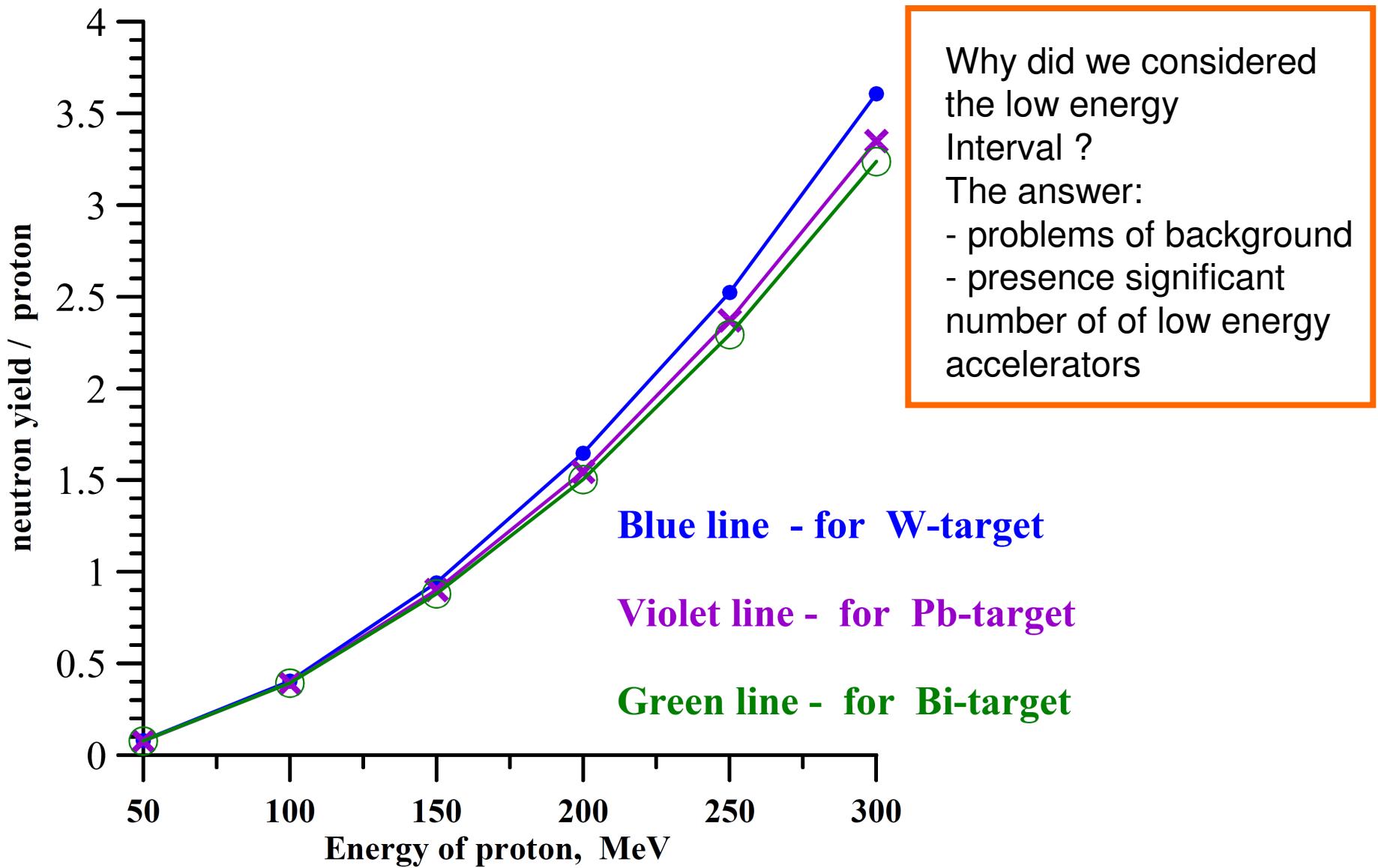


Стависский Ю.И.  
// УФН, т.176, № 12, 2006, стр. 1283-1292.

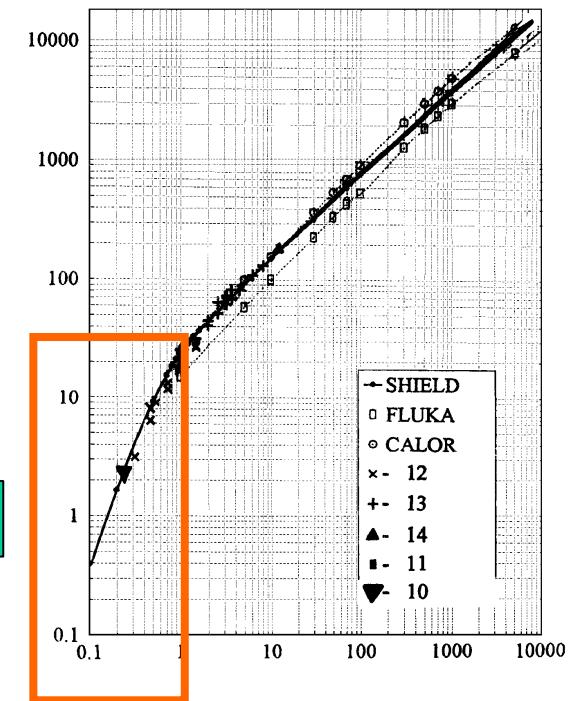
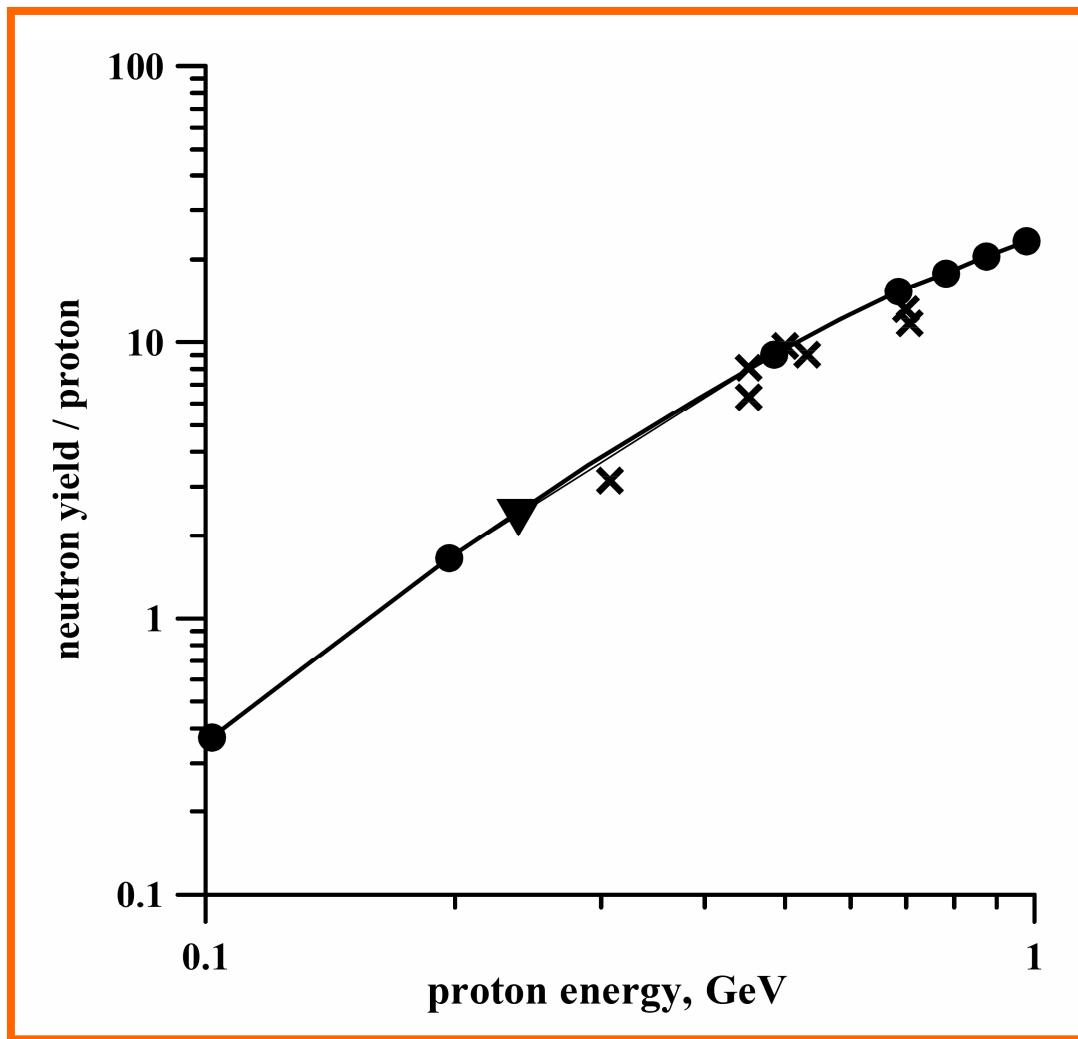


18. Slastnikov V.N. et al.// Z. Phys. A **311** (1983) 363.
- 19 Колмычков Н.В. и др.// Ат. Энергия **75** (1993) 219.
20. Arai M. et al.// Neutron research, **8** (1999) 71.
21. Barashenkov V.S.// Nucl. Part. Phys. **9** (1978) 781.
22. Соболевский Н.М. Препринт В1-5-5458 (Дубна: ОИЯИ, 1970); Dementyev A V, Sobolevsky NM Radiat. Meas. 30 553 (1999); Dementyev A V, Sobolevsky N M, Preprint 874/94 (Moscow: INR, 1994).
23. Ferrari A et al. Nucl. Instrum. Meth. B 71 412 (1992).
24. Gabriel T A et al., Preprint TM-1160 (Oak-Ridge: ORNL, 1989); Gabriel T A, in Proc. of the 4th Workshop on Simulating Accelerator Radiation Environments (SARE 4), Knoxville, USA, September 14-16, 1998 (Ed. T.A. Gabriel).

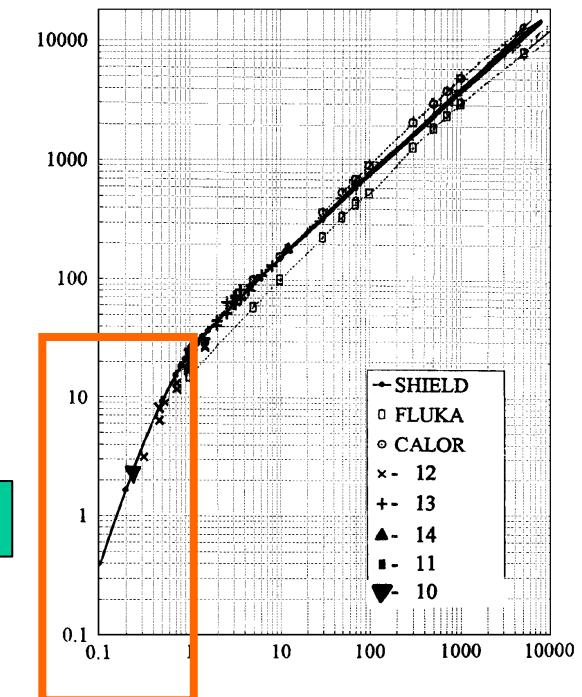
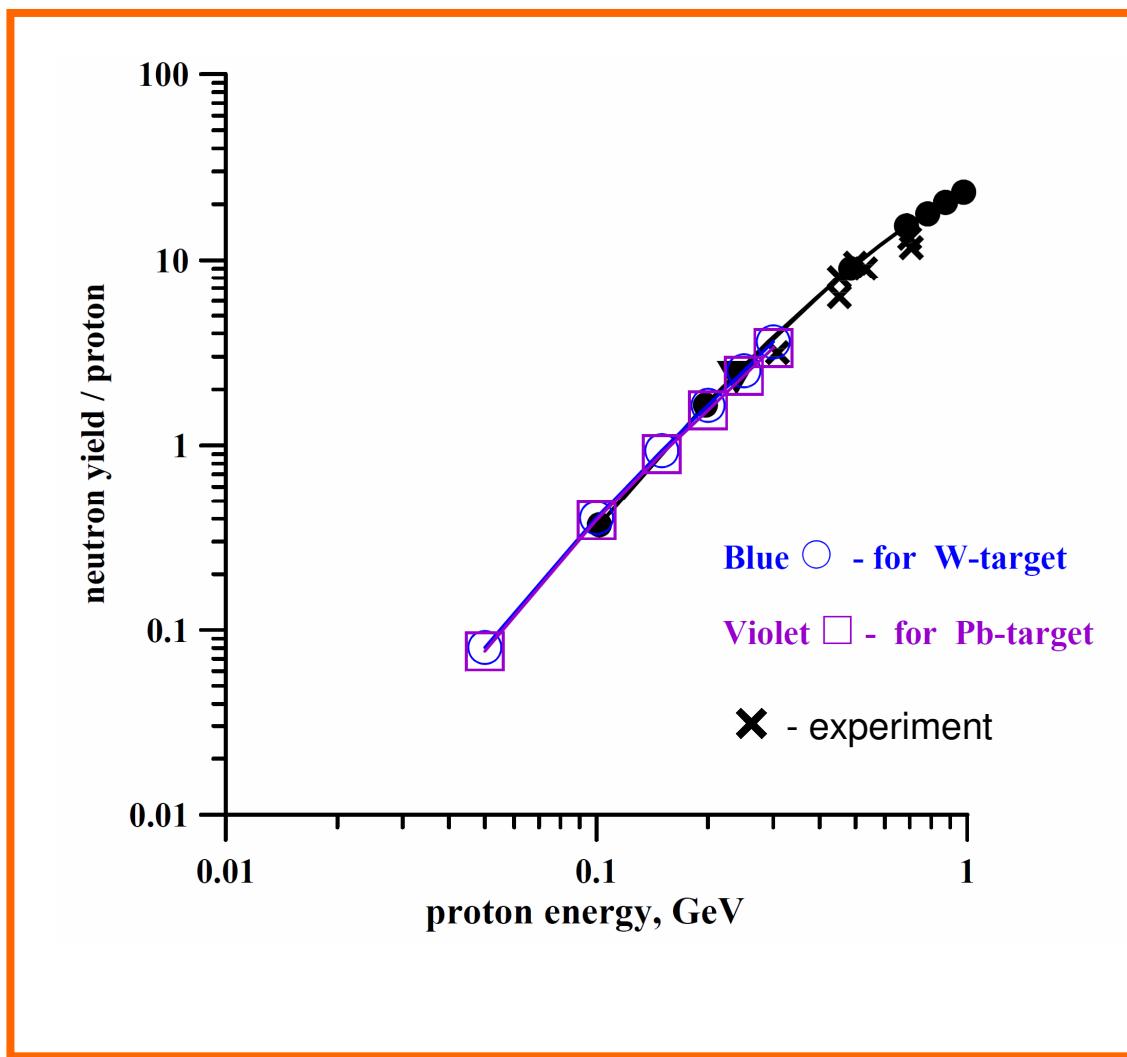
## 2. NEUTRON YIELD FRON HEAVY TARGETS (W, Pb, Bi)



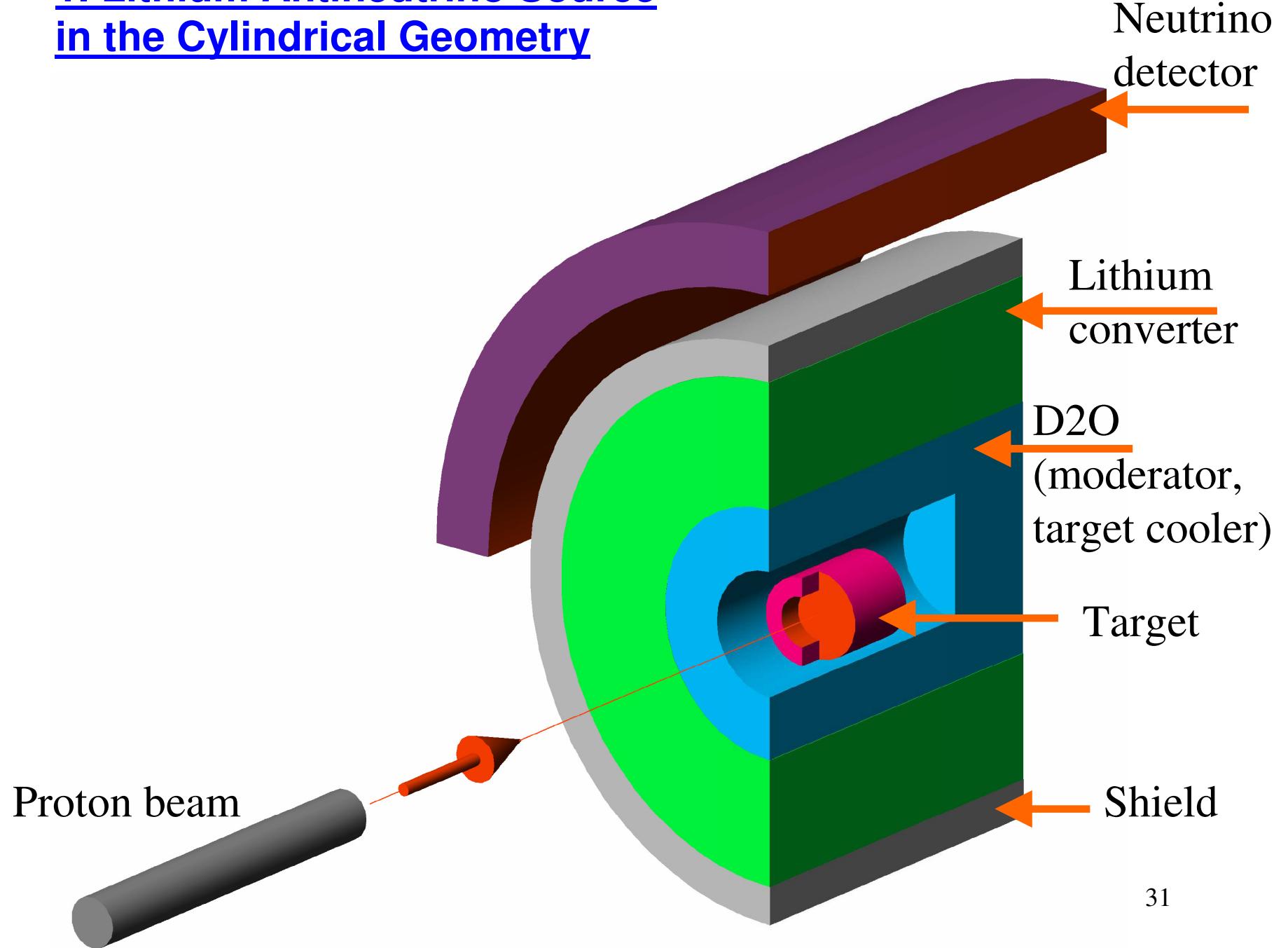
### 3. NEUTRON YIELD FRON HEAVY TARGETS (W, Pb)



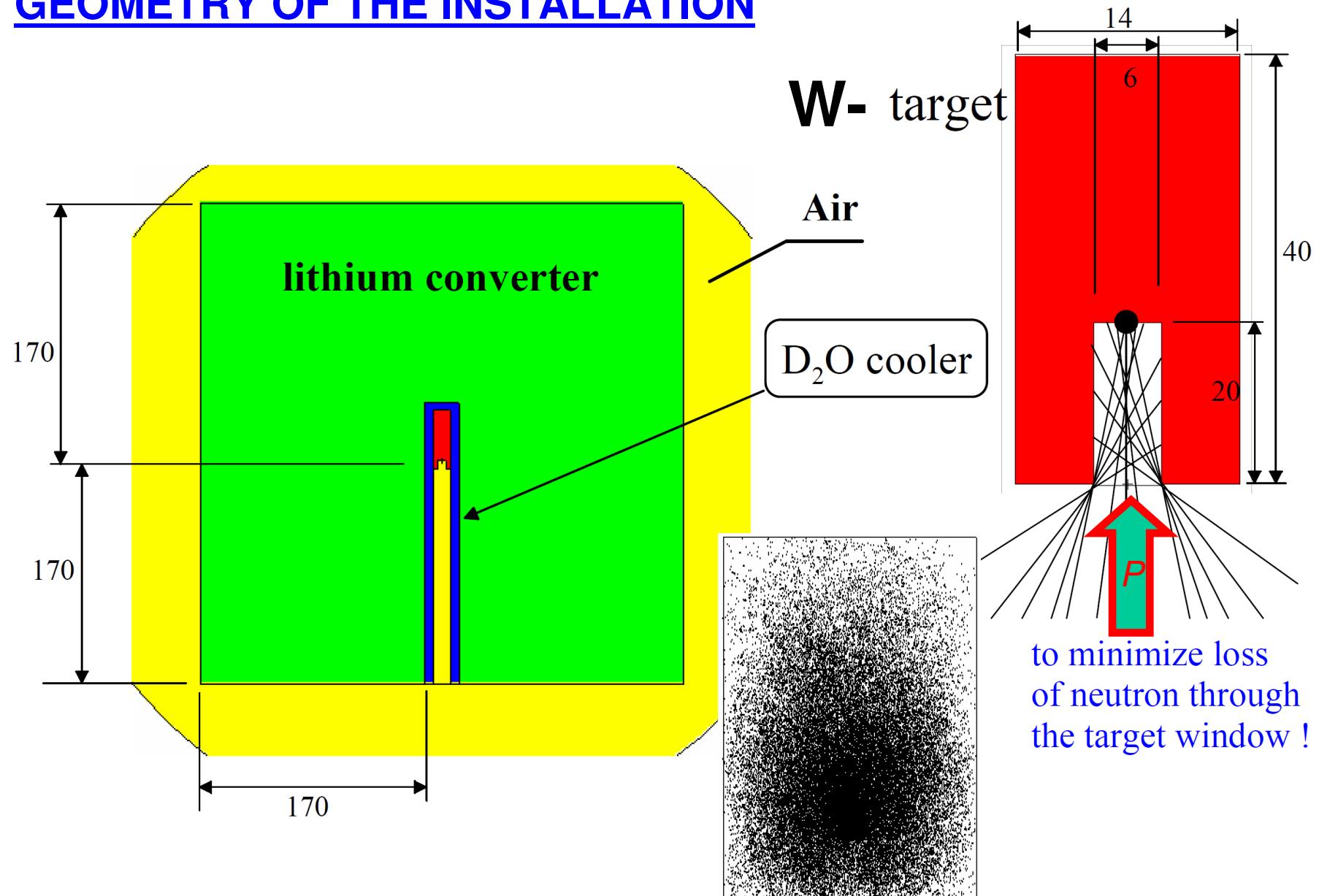
## 4. NEUTRON YIELD FRON HEAVY TARGETS (W, Pb)



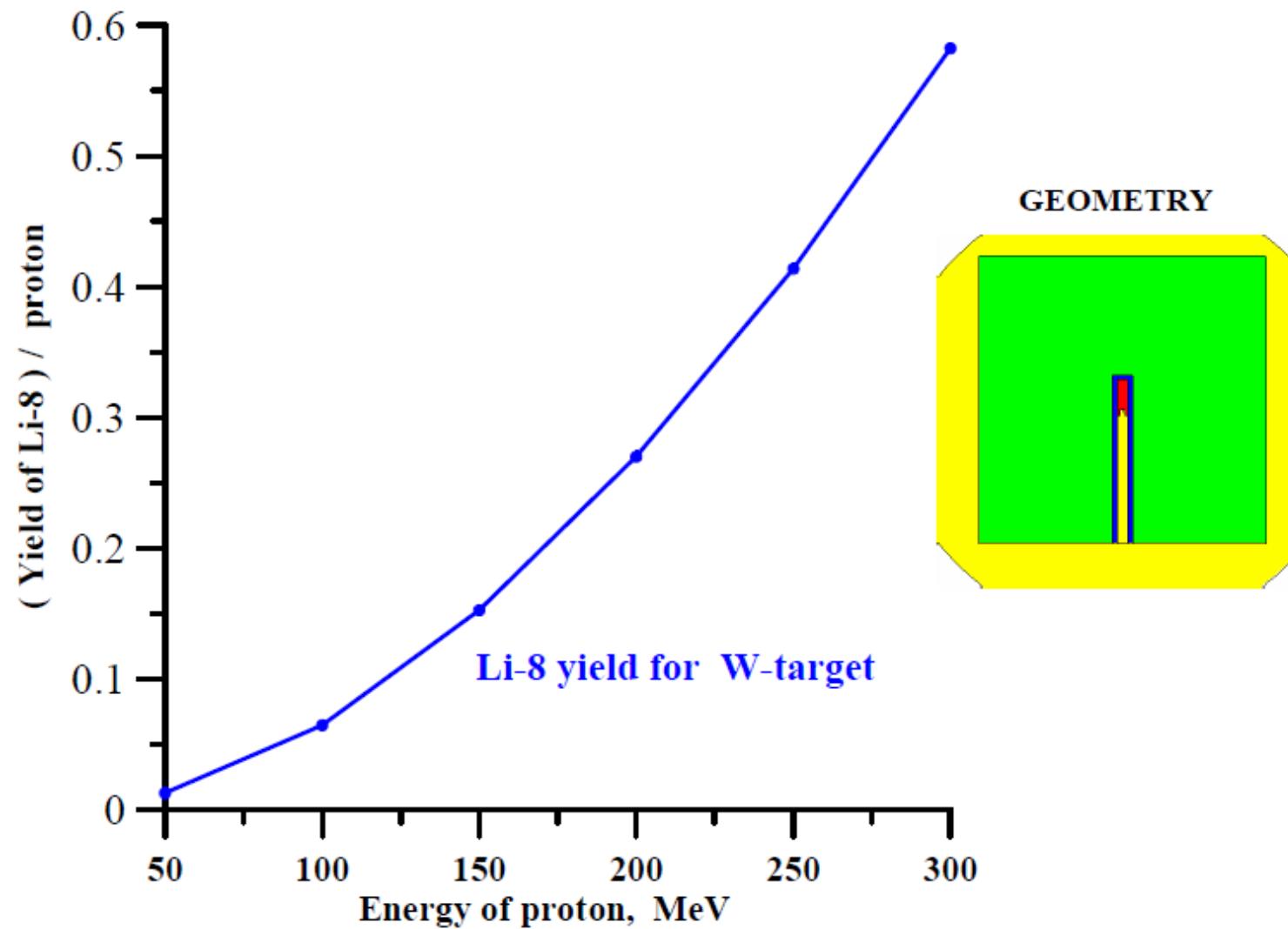
## 1. Lithium Antineutrino Source in the Cylindrical Geometry



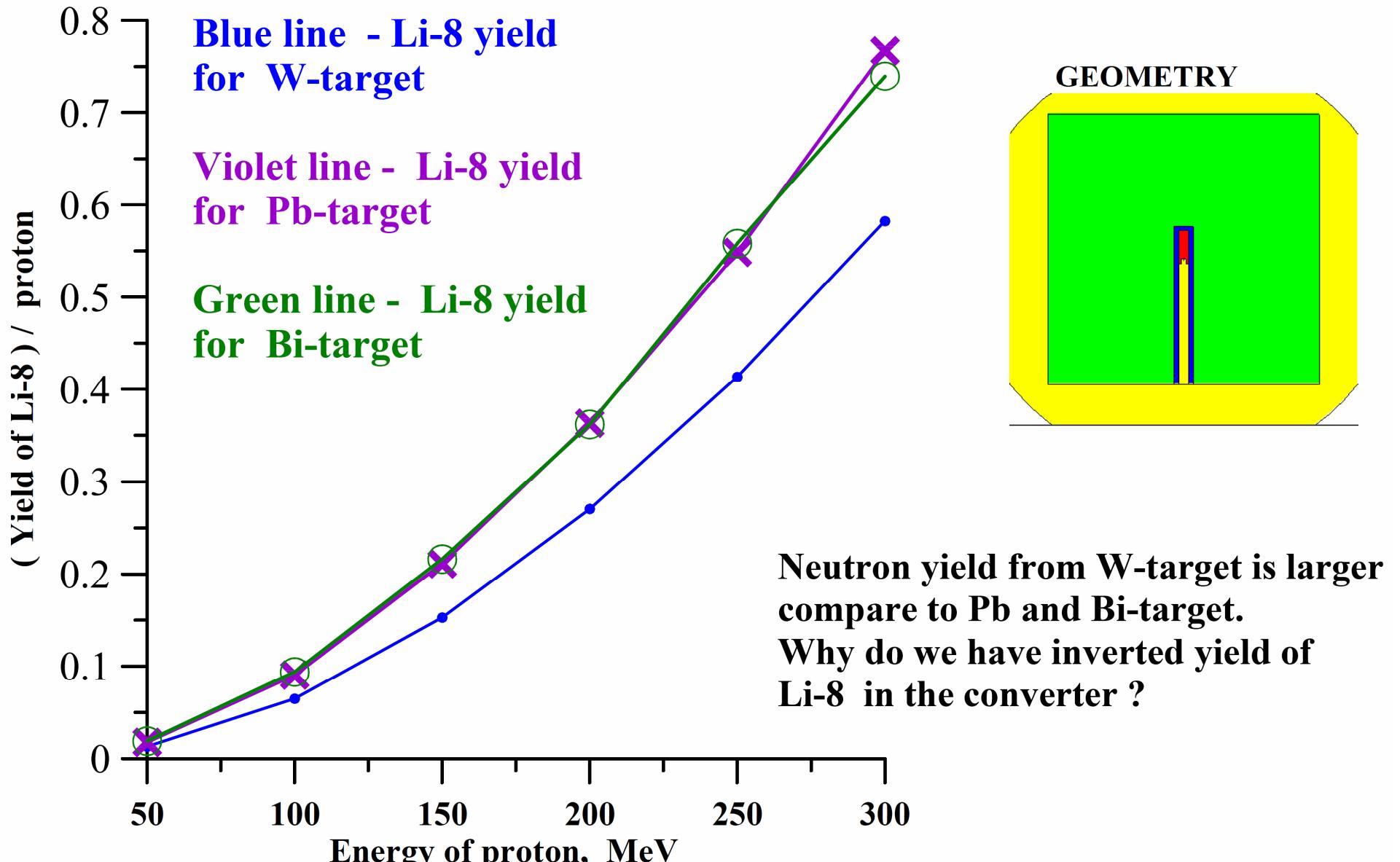
## GEOMETRY OF THE INSTALLATION



# 1. EFFICIENCY OF THE LITHIUM NEUTRINO SOURCE IN THE SCHEME OF THE TANDEM OF THE CONVERTER AND ACCELERATOR PLUS NEUTRON PRODUCING TARGET

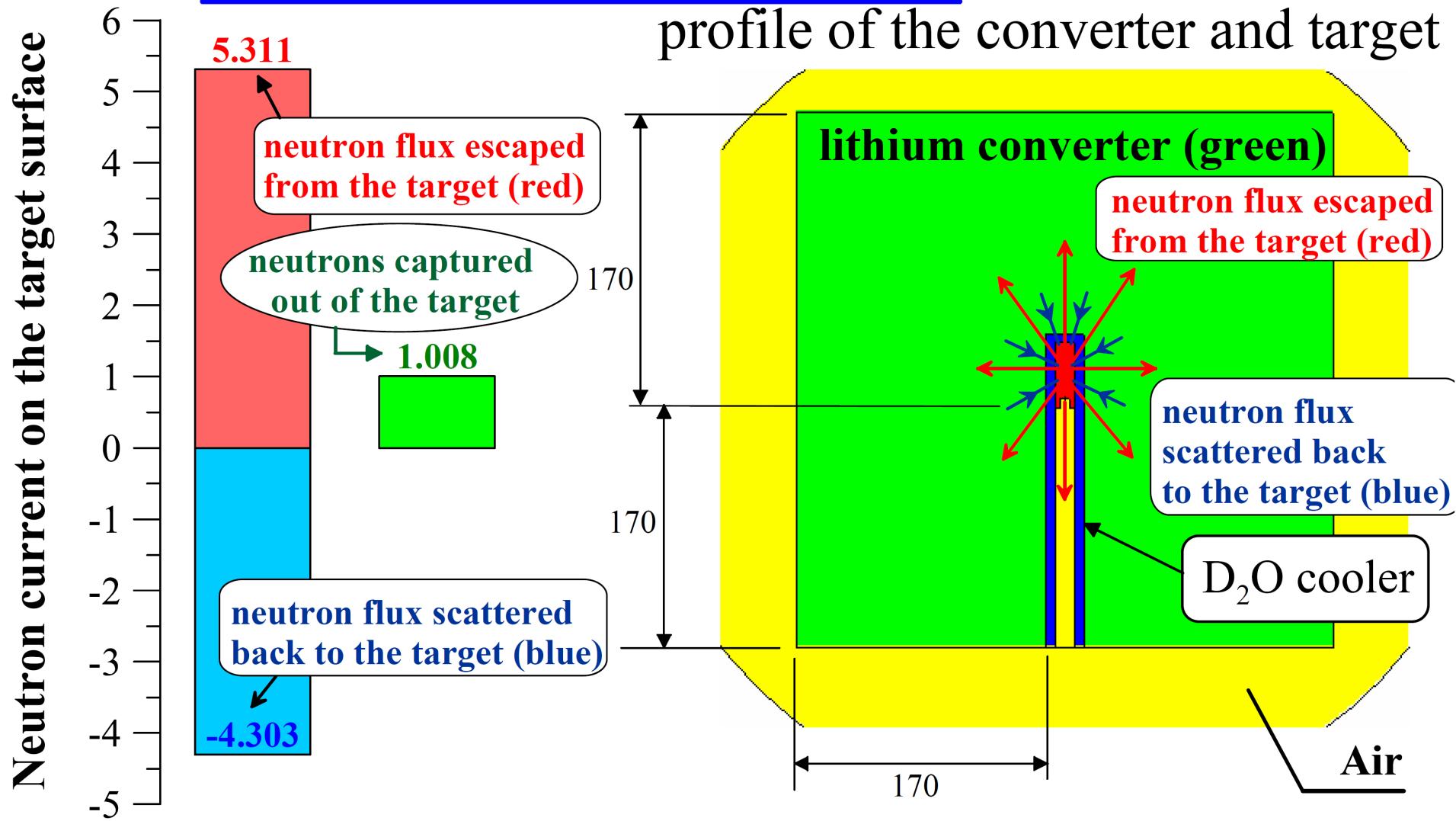


## 2. EFFICIENCY OF THE LITHIUM NEUTRINO SOURCE IN THE SCHEME OF THE TANDEM OF THE CONVERTER AND ACCELERATOR PLUS W, Pb, Bi-TARGET



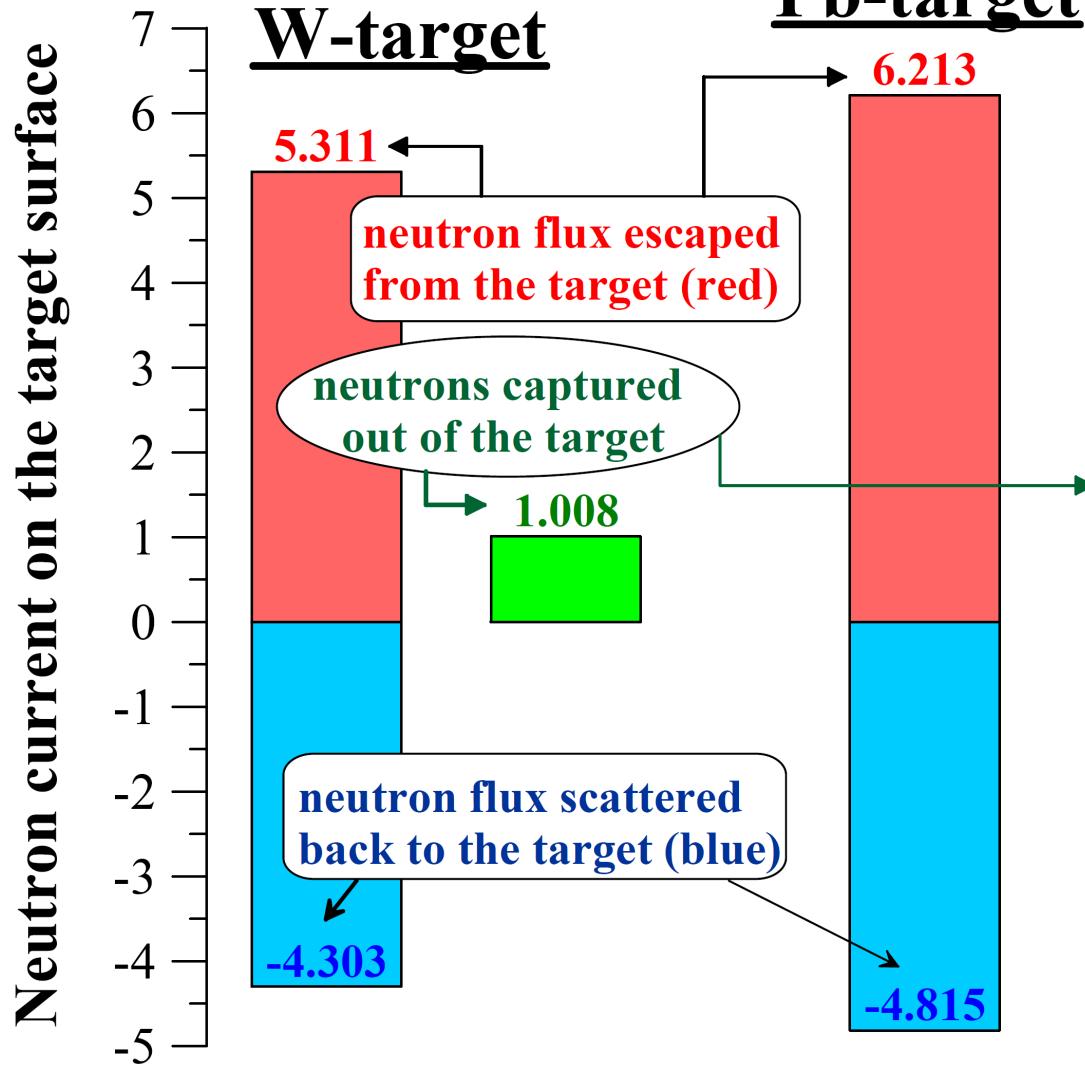
# NEUTRON FLUX from the W-TARGET

(example for 200 MeV protons)

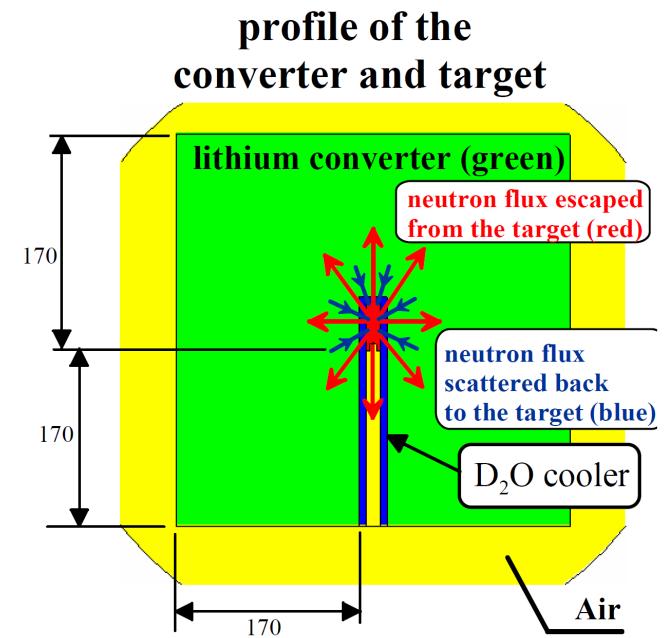


# NEUTRON FLUX from the W and Pb -TARGET

(example for 200 MeV protons)

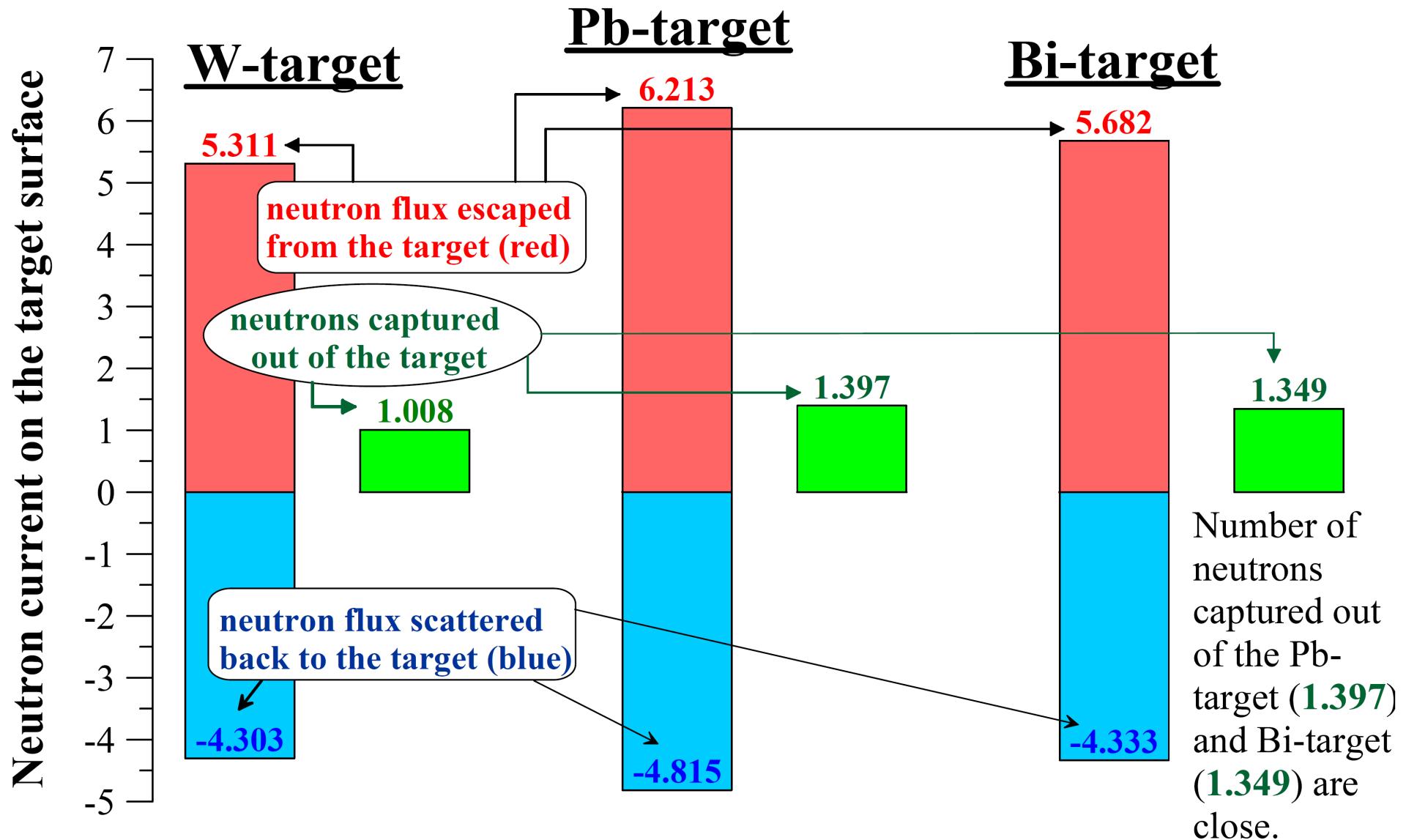


Number of neutrons captured out of the Pb-target (**1.397**) is larger compare to the W-target (**1.008**). As a result, number of Li-8 created in the converter in case of Pb-target is larger compare to the W-target.



# NEUTRON FLUX from the W, Pb and Bi -TARGET

(example for 200 MeV protons)

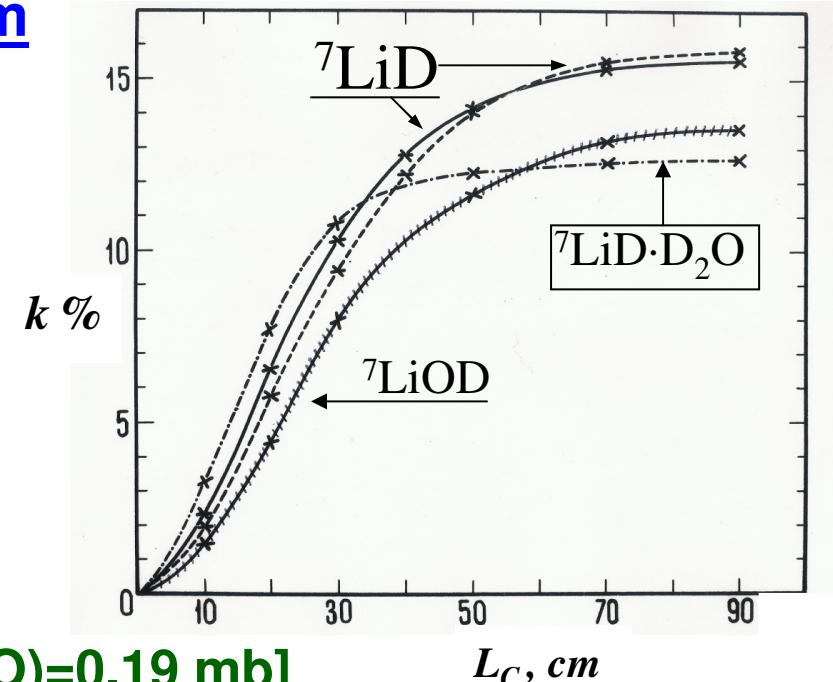


## EFFICIENCY OF THE Li-8 CREATION IN THE SCHEME OF THE TANDEM OF THE CONVERTER AND ACCELERATOR PLUS W, Pb, Bi-TARGET

	<b>W-target</b>	<b>Pb-target</b>	<b>Bi-target</b>
Efficiency of Li-8 creation <b>(per neutron)</b>	(0.2702 of Li-8 nuclei) / (1.008 of neutrons) = <b>0.268</b>	(0.3634 of Li-8 nuclei) / (1.397 of neutrons) = <b>0.260</b>	(0.3620 of Li-8 nuclei) / (1.348 of neutrons) = <b>0.268</b>
Efficiency of Li-8 creation <b>(per proton)</b>	(0.2702 of Li-8 nuclei) / (1 proton) = <b>0.270</b>	(0.3634 of Li-8 nuclei) / (1 proton) = <b>0.363</b>	(0.3620 of Li-8 nuclei) / (1 proton) = <b>0.362</b>

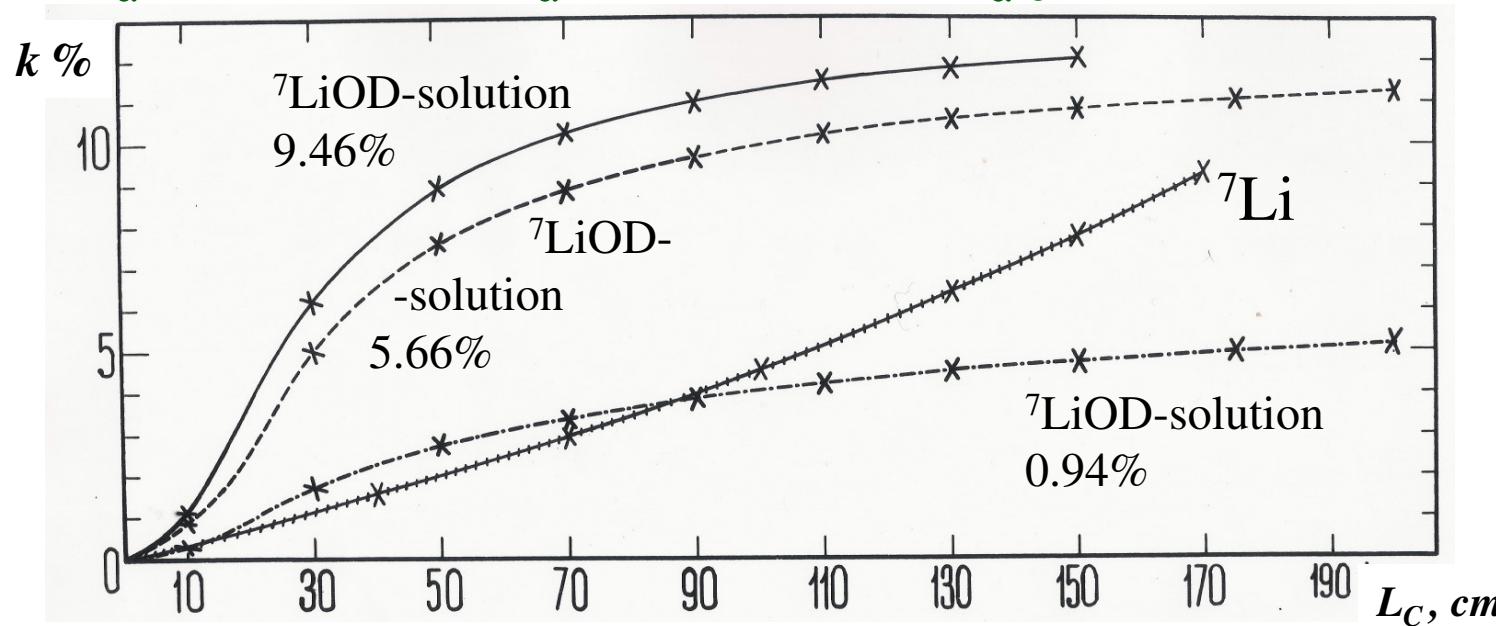
1. Normalization per neutron give the close efficiencies that indicates on simular neutron spectra in the converter for considered heavy targets.
2. Neutron flux analysis significantly corrects the choise of the target.

**DEPENDANCE of EFFICIENCY  $k$  from  
the THICKNESS  $L_C$  of the  
CONVERTER**  
**for DIFFERENT CONVERTER  
SUBSTANCES ( ${}^7\text{Li}$  purity – 99.99%)**



**for the thermal group:**

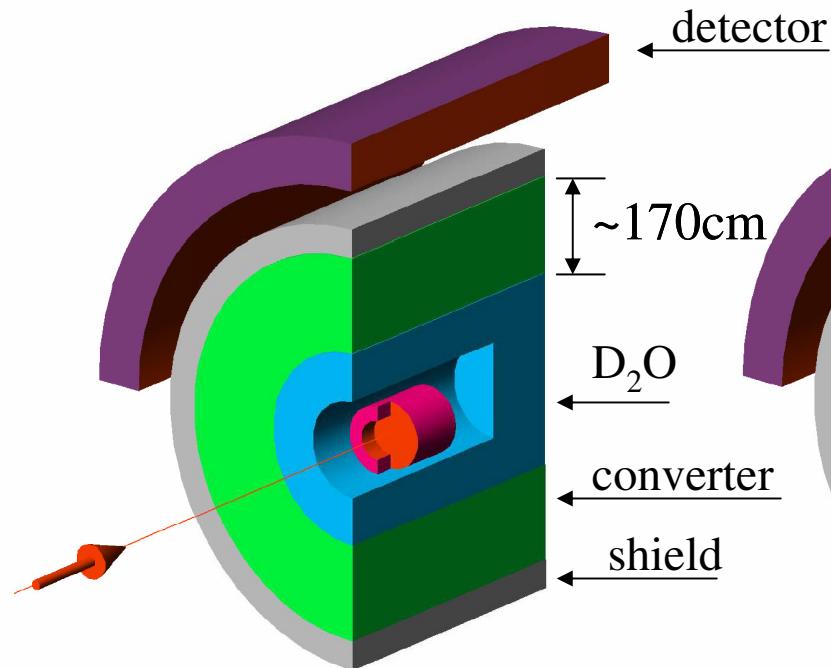
$$[\sigma_\alpha({}^7\text{Li})=45 \text{ mb}] \gg [\sigma_\alpha(\text{D})=0.52 \text{ mb}] > [\sigma_\alpha({}^8\text{O})=0.19 \text{ mb}]$$



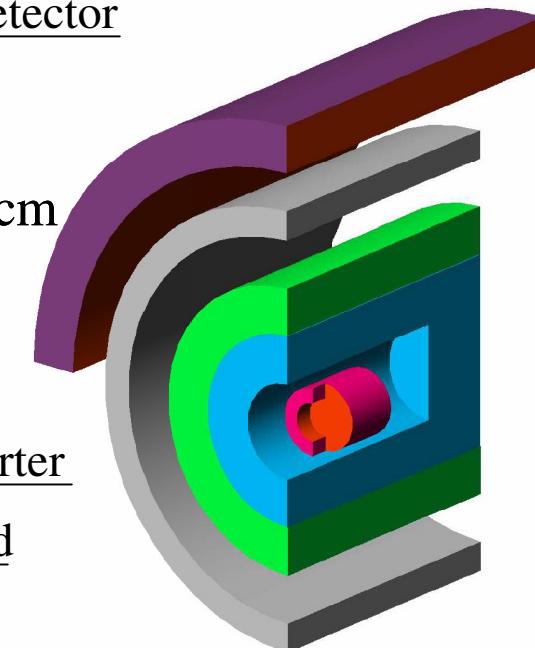
(for the Peak  
Reactor Geometry)

## 2. Lithium Antineutrino Source in the Cylindrical Geometry. The Possible Matter of the Converter

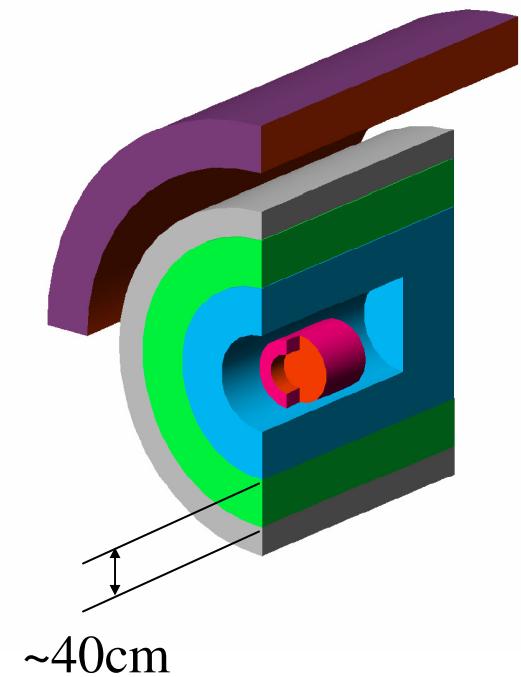
Converter:  
LiOD-solution



Converter: LiD

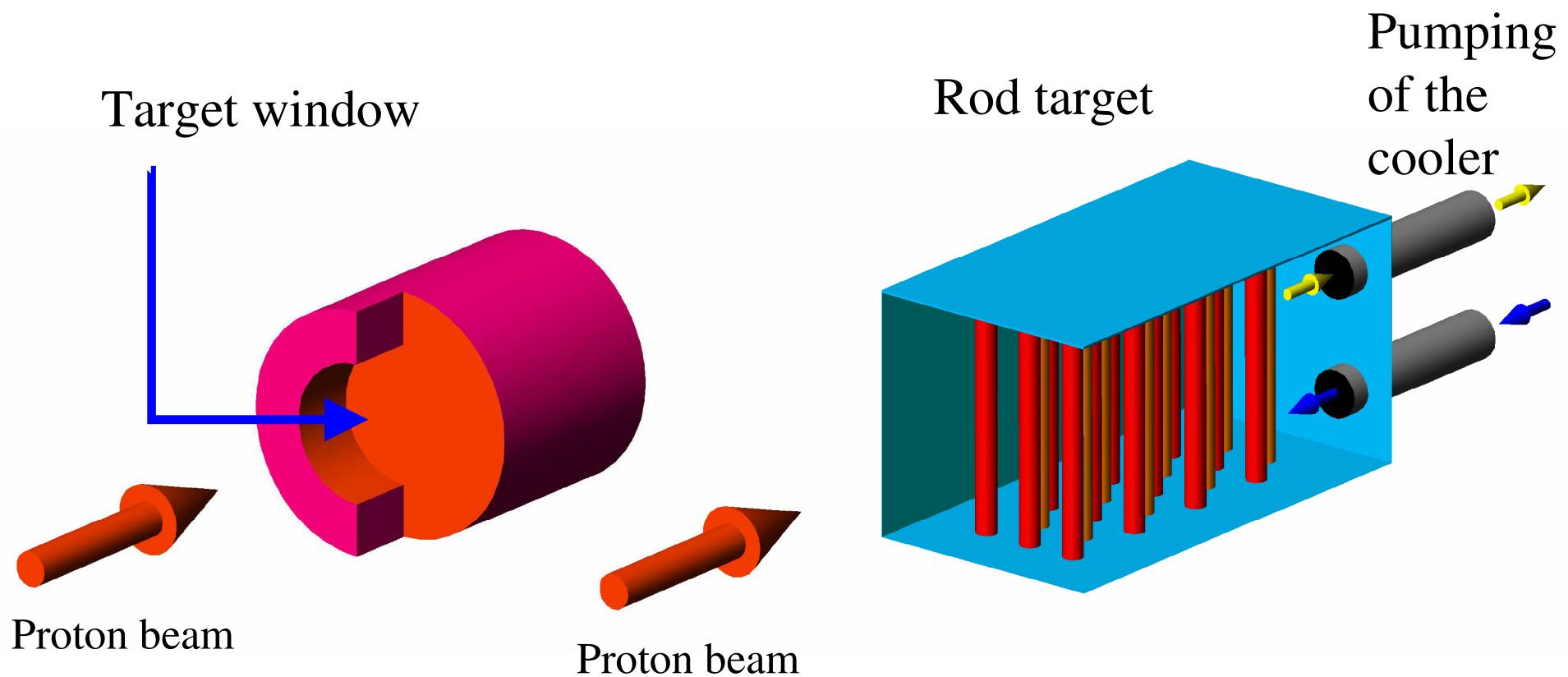


Converter: LiD

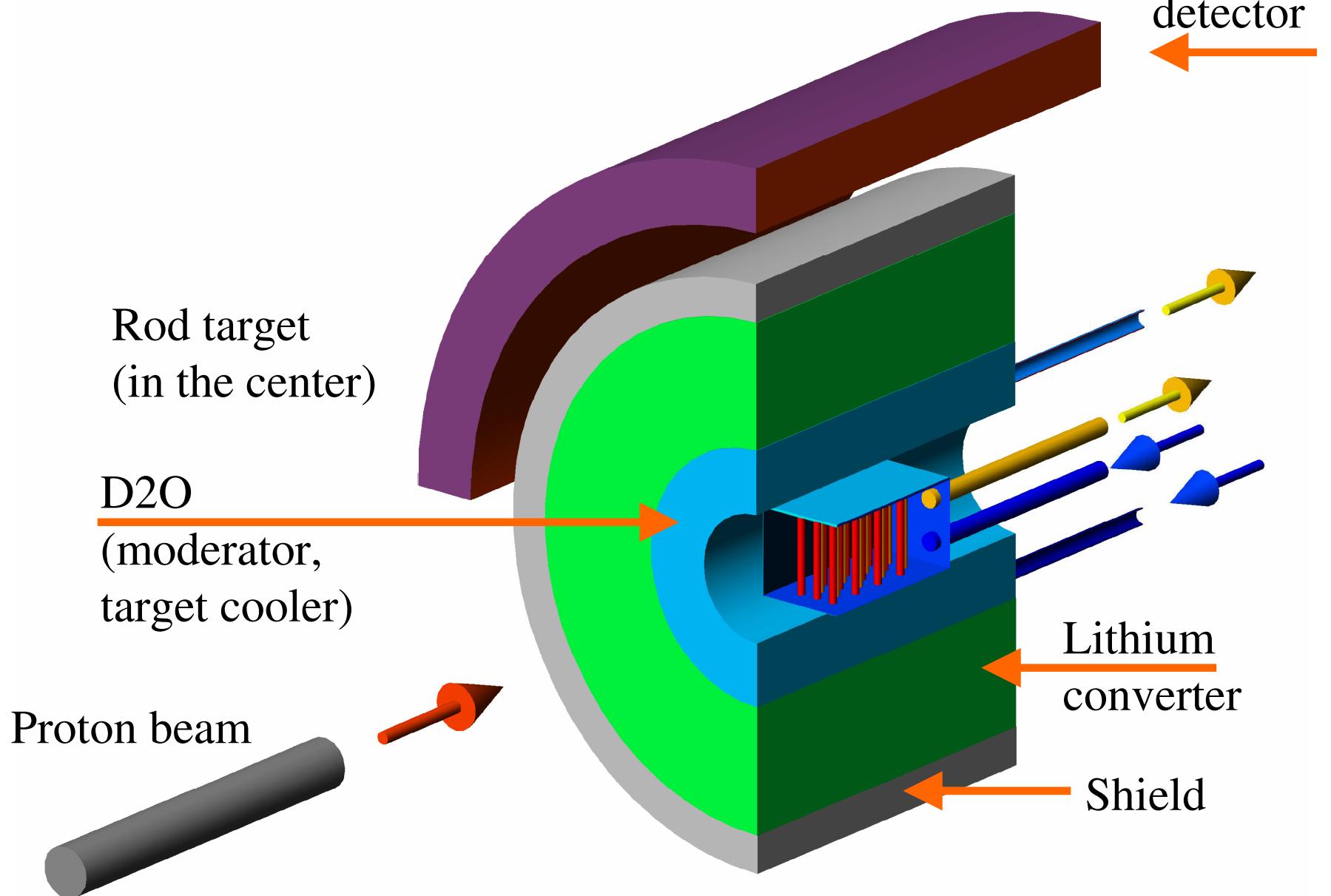


Use of converter substances with more high efficiency  $k$  allows to significantly decrease the dimension of the installation (about two times for  $k = 10-11\%$  at  $^7\text{Li}$  purity – 99.99%).

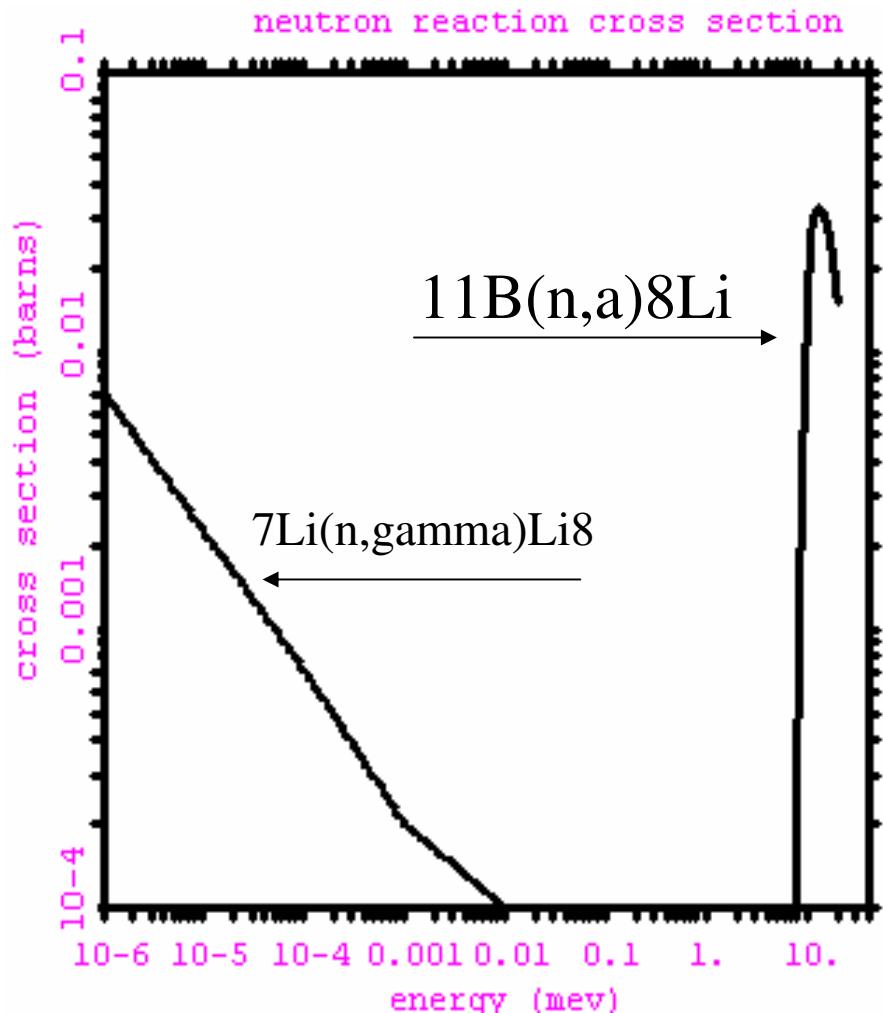
### 3. Lithium Antineutrino Source in the Cylindrical Geometry. Target realization



#### 4. Lithium Antineutrino Source in the cylindrical Geometry. Common view



# 1. Neutrino Source on the base of 14-MeV Neutron Generator



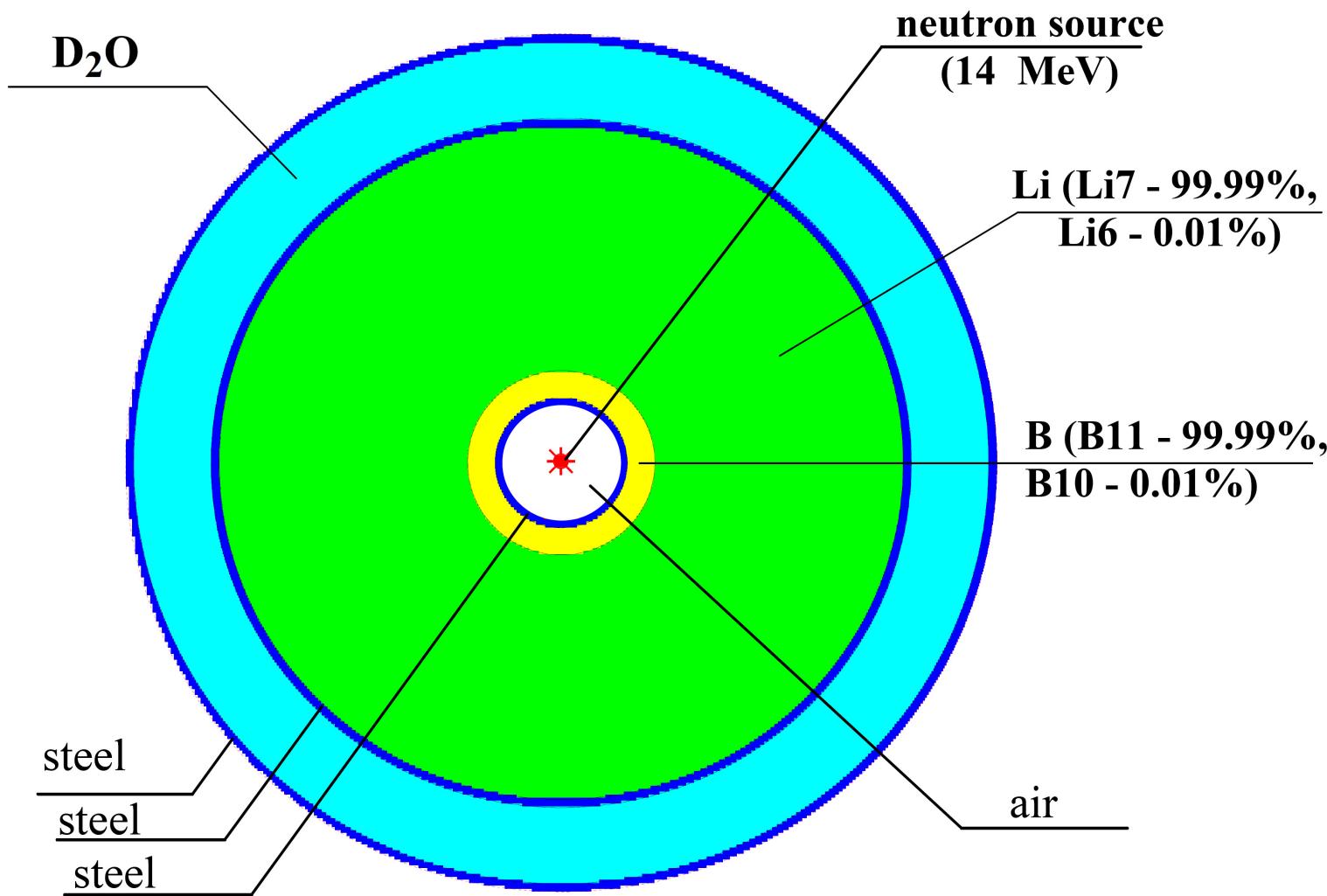
Idea: to use reaction  $^{11}\text{B}(\text{n},\text{a})^{8}\text{Li}$  in the fast part of the neutron spectra ( $E_{\text{threshold}} \cong 7.4 \text{ МэВ}$ ) .

See:

LiB-Neutron converter for  
Neutrino Source

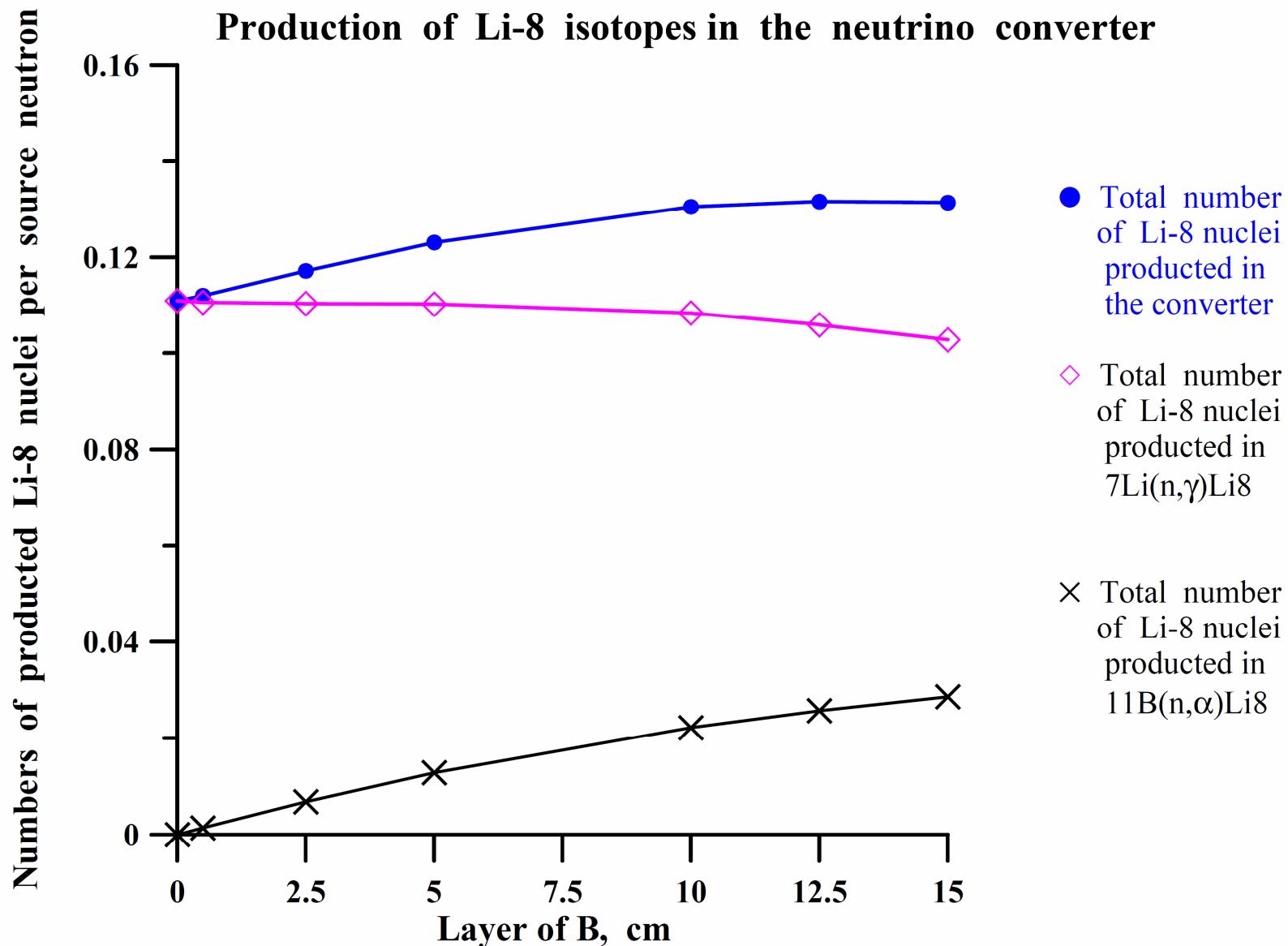
( **ЛиB-НЕЙТРОННЫЙ КОНВЕРТОР  
ДЛЯ  
НЕЙТРИННОГО ИСТОЧНИКА**  
**О. М. Горбаченко, В. Н. Кондратьев,  
Ю. С. Лютостанский, В. И. Ляшук**  
**ИЗВЕСТИЯ РАН. Сер ФИЗ., 2014,  
том 78, № 7, с. 832–836** )

## 2. Neutrino Source on the base of 14-MeV Neutron Generator. Geometry of the Model



### 3. Neutrino Source on the base of 14-MeV Neutron Generator

Production of Li-8 isotopes in the neutrino converter



## СОДЕРЖАНИЕ ДОКЛАДА

- ИДЕЯ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА КАК  $\tilde{\nu}_e$ -ИСТОЧНИКА И “ПРОСТЕЙШАЯ” РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕНСИВНОГО ИСТОЧНИКА
- ЧТО МОЖНО ИЗУЧАТЬ НА  $\tilde{\nu}_e$  -ИСТОЧНИКЕ( ЗАЧЕМ ОН НУЖЕН ?)
- ТРЕБОВАНИЯ К ЧИСТОТЕ ИЗОТОПА  $^7\text{Li}$
- ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА
- ВОЗМОЖНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В КАЧЕСТВЕ ВЕЩЕСТВА Li – КОНВЕРТОРА
- ВОЗМОЖНЫЕ РЕАЛИЗАЦИИ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА

Статический и Динамический режимы работы.

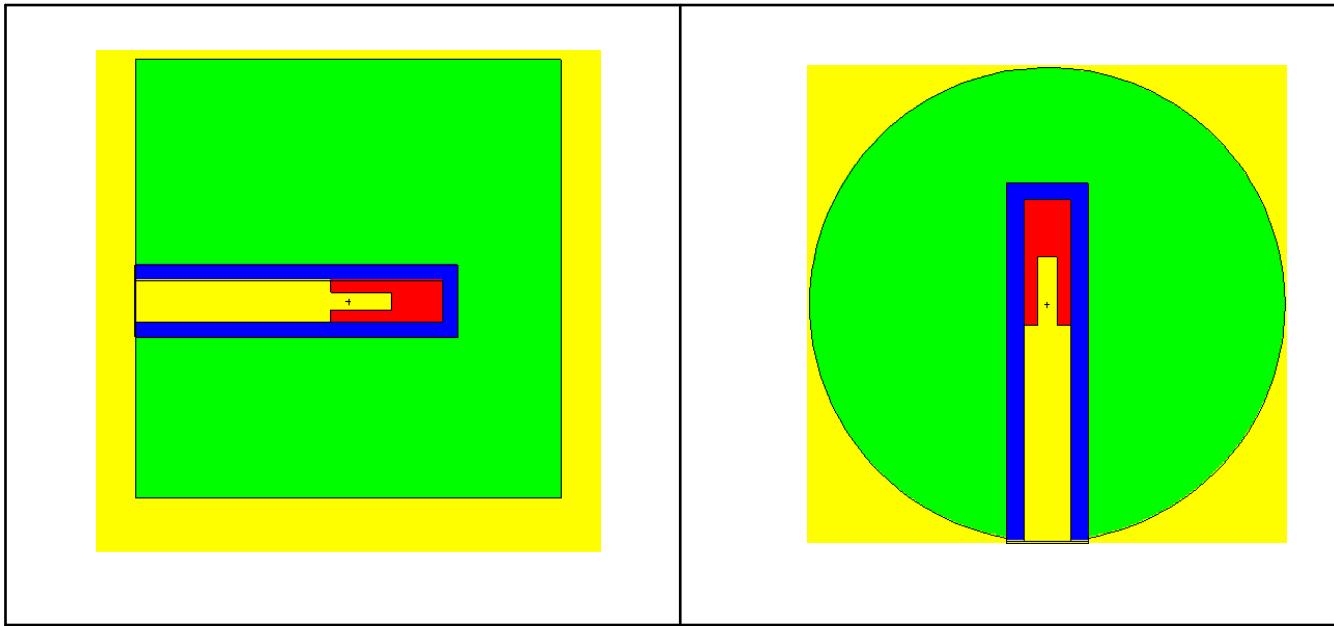
Схема Тандема:

(ускоритель, нейтронопроизводящая мишень) + Li-конвертор

Варианты нейтронопроизводящих мишеней

- Как еще можно повысить эффективность Li-конвертора (LiB-конвертор)
  - ПРЕДЛОЖЕНИЕ к СОЗДАНИЮ  $\tilde{\nu}_e$ -ИСТОЧНИКА  
(ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА) В ИЯИ:  
СХЕМА ИСТОЧНИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНОК
  - “ЗАПАДНЫЙ” ВАРИАНТ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА
- 
- ЗАКЛЮЧЕНИЕ

## ВАРИАНТ ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОННЫХ АНТИНЕЙТРИНО для ИЯИ. Нейтронногенерирующая вольфрамовая мишень



Вертикальное (слева) и горизонтальное (справа) сечение литиевого конвертора (зеленый цвет), тяжеловодного отражателя (синий) и мишени (красный).

Размеры литиевого конвертора: высота цилиндра – 145 см; диаметр – 140 см.

Толщина слоя тяжелой воды (D<sub>2</sub>O-замедлитель и охладитель мишени) – 5 см.

Размеры W-мишени: длина – 37 см, внешний диаметр – 14 см, глубина входа “под пучок протонов” – 20 см, диаметр “под пучок протонов” – 6 см.

Материал литиевого конвертора – LiD. Указанные данные использованы в оценочных расчетах

## ВАРИАНТ ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОННЫХ АНТИНЕЙТРИНО для ИЯИ.

### Схема импульсного источника нейтронов в Боксе

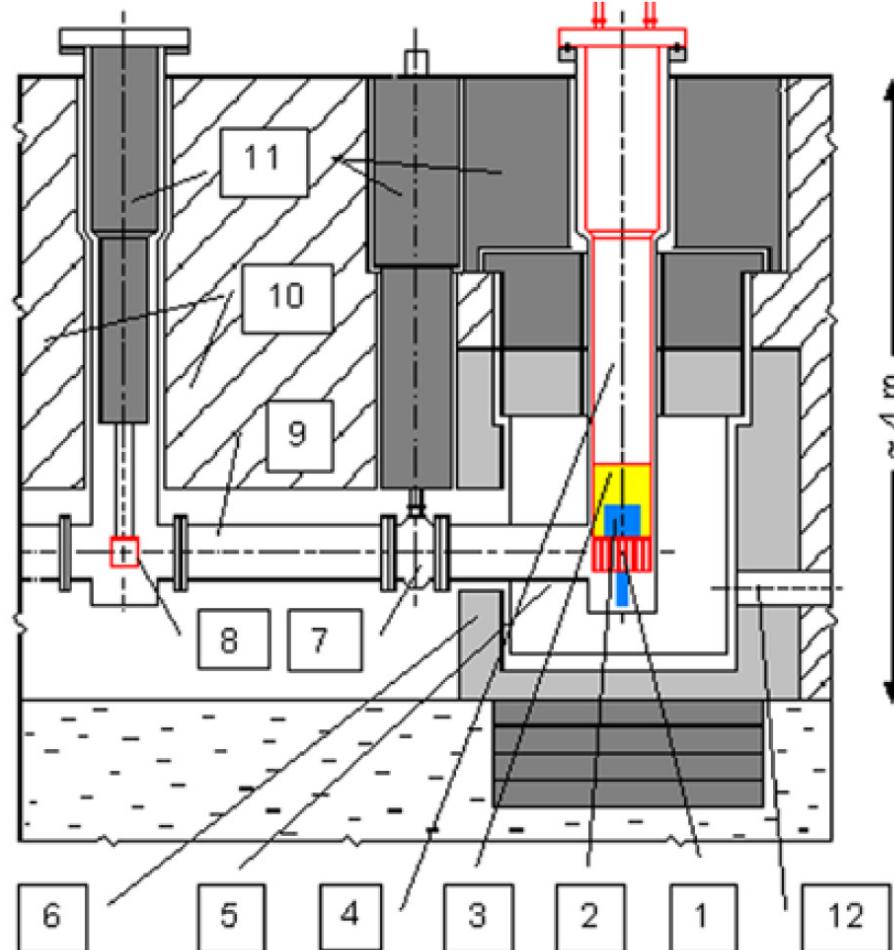


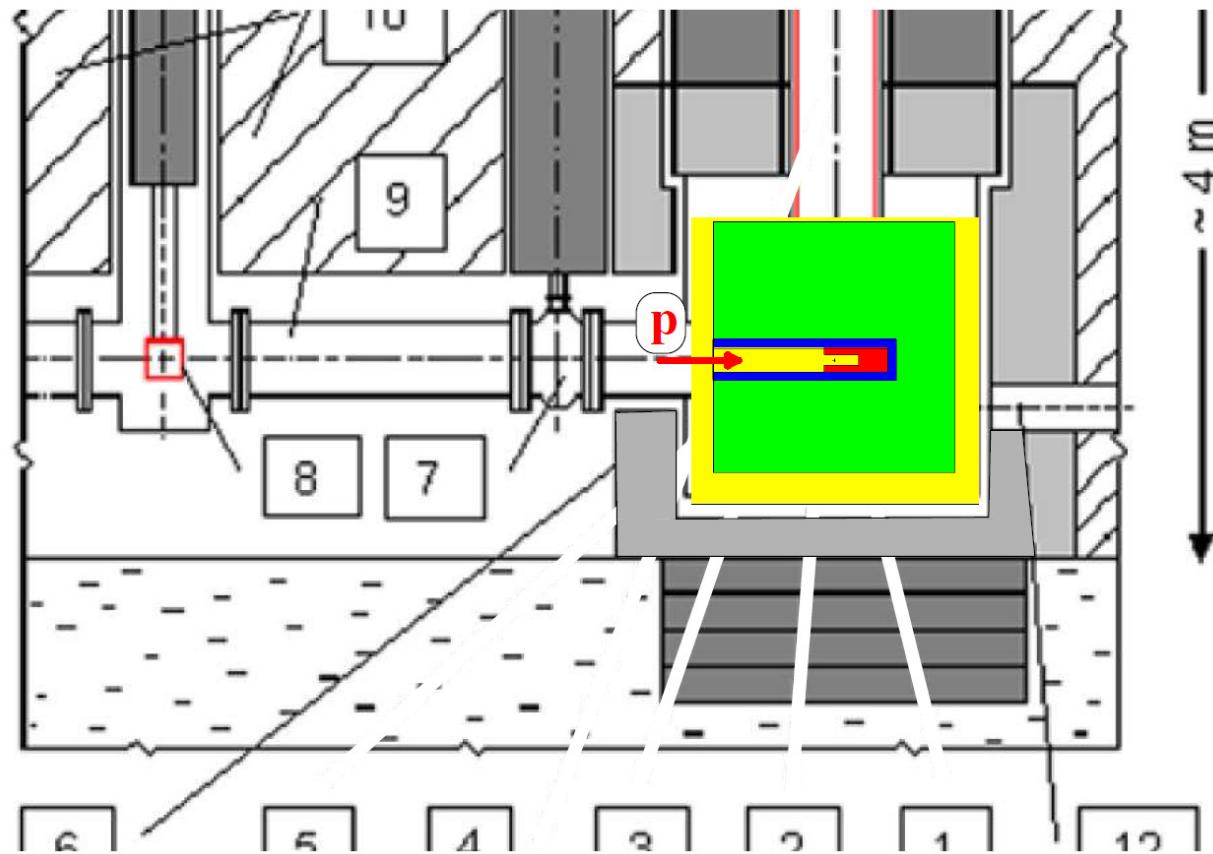
Рис.12. Принципиальная схема импульсного источника нейтронов в защитном боксе.  
1 — мишень, 2 — замедлители; 3 — бериллиевый отражатель; 4 — мишенный модуль, в состав которого входят вольфрамовая мишень, замедлители и защитные стальные пробки; 5 — газовый бак (диаметр ~ 1500 мм); 6 — тепловая защита, 7 — дистанционно-разъемное уплотнение, 8 — датчик положения пучка, 9 — ионопровод, 10 — железная защита, 11 — съемные стальные защитные пробки, 12 — нейtronовод

С.Ф. Сидоркин, Э.А. Коптелов. Нейтронный комплекс ИЯИ РАН.

Импульсный источник нейтронов: идеология, история создания,  
возможности развития. Препринт ИЯИ РАН 1280/2011

## ВАРИАНТ ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОННЫХ АНТИНЕЙТРИНО для ИЯИ.

Общий вид  
установки  
с литиевым  
конвертором и  
W-мишенью

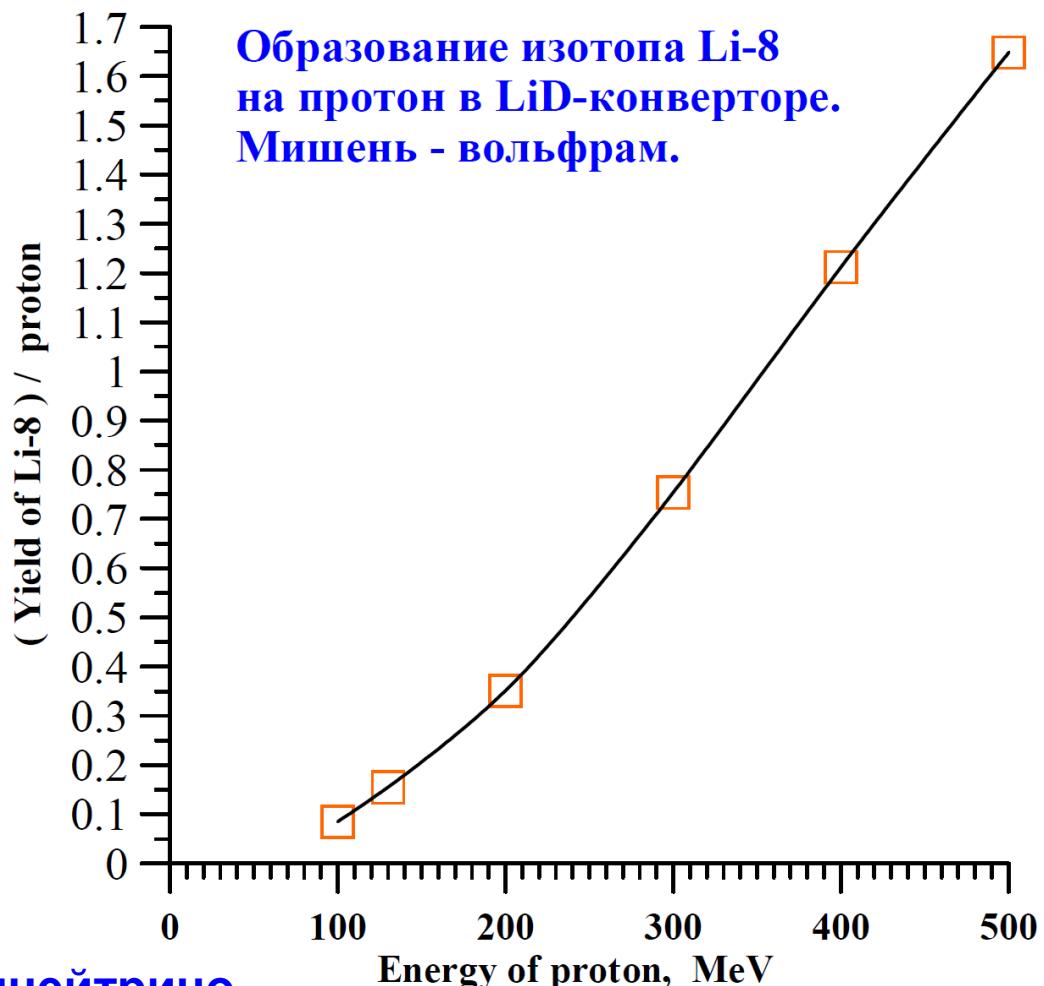


Использована схема из работы: С.Ф. Сидоркин, Э.А. Коптелов.  
Нейтронный комплекс ИЯИ РАН.

Импульсный источник нейtronов: идеология, история создания,  
возможности развития. Препринт ИЯИ РАН 1280/2011 49

ВАРИАНТ  
ИСТОЧНИКА  
ЭЛЕКТРОННЫХ  
АНТИНЕЙТРИНО  
для ИЯИ.

Выход изотопа  ${}^8\text{Li}$   
в LiD-конверторе  
при  ${}^{174}\text{W}$ -мишени  
в интервале  
энергий  
 $E_p = 100\text{-}500 \text{ MeV}$



Оценка полного потока антинейтрино  
При токе ускорителя 0.1 mA при 50% работы ускорителя

$E_p, \text{ MeV}$	130	200	400
Поток антинейт-рино	1.5E+21	3.5E+21	1.2E+22

## СОДЕРЖАНИЕ ДОКЛАДА

- ИДЕЯ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА КАК  $\tilde{\nu}_e$ -ИСТОЧНИКА И “ПРОСТЕЙШАЯ” РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕНСИВНОГО ИСТОЧНИКА
- ЧТО МОЖНО ИЗУЧАТЬ НА  $\tilde{\nu}_e$  -ИСТОЧНИКЕ( ЗАЧЕМ ОН НУЖЕН ?)
- ТРЕБОВАНИЯ К ЧИСТОТЕ ИЗОТОПА  $^7\text{Li}$
- ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА
- ВОЗМОЖНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В КАЧЕСТВЕ ВЕЩЕСТВА Li – КОНВЕРТОРА
- ВОЗМОЖНЫЕ РЕАЛИЗАЦИИ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА

Статический и Динамический режимы работы.

Схема Тандема:

(ускоритель, нейтронопроизводящая мишень) + Li-конвертор

Варианты нейтронопроизводящих мишеней

- Как еще можно повысить эффективность Li-конвертора (LiB-конвертор)
  - ПРЕДЛОЖЕНИЕ к СОЗДАНИЮ  $\tilde{\nu}_e$ -ИСТОЧНИКА  
(ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА) В ИЯИ:  
СХЕМА ИСТОЧНИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНОК
  - “ЗАПАДНЫЙ” ВАРИАНТ ЛИТИЕВОГО КОНВЕРТОРА
- 
- ЗАКЛЮЧЕНИЕ

# International Project of Lithium Antineutrino Source

PRL 109, 141802 (2012)

PHYSICAL REVIEW LETTERS

week ending  
5 OCTOBER 2012

## Proposal for an Electron Antineutrino Disappearance Search Using High-Rate ${}^8\text{Li}$ Production and Decay

A. Bungau,<sup>1</sup> A. Adelmann,<sup>2</sup> J. R. Alonso,<sup>3</sup> W. Barletta,<sup>3</sup> R. Barlow,<sup>1</sup> L. Bartoszek,<sup>4</sup> L. Calabretta,<sup>5</sup> A. Calanna,<sup>3</sup> D. Campo,<sup>3</sup> J. M. Conrad,<sup>3</sup> Z. Djurcic,<sup>6</sup> Y. Kamyshev,<sup>7</sup> M. H. Shaevitz,<sup>8</sup> I. Shimizu,<sup>9</sup> T. Smidt,<sup>3</sup> J. Spitz,<sup>3</sup> M. Wascko,<sup>10</sup> L. A. Winslow,<sup>3</sup> and J. J. Yang<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>*University of Huddersfield, Huddersfield HD1 3DH, United Kingdom*

<sup>2</sup>*Paul Scherrer Institut, Villigen CH-5232, Switzerland*

<sup>3</sup>*Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts 02139, USA*

<sup>4</sup>*Bartoszek Engineering, Aurora, Illinois 60506, USA*

<sup>5</sup>*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Laboratori Nazionali del Sud, I-95123, Italy*

<sup>6</sup>*Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois 60439, USA*

<sup>7</sup>*University of Tennessee, Knoxville, Tennessee 37996, USA*

<sup>8</sup>*Columbia University, New York, New York 10027, USA*

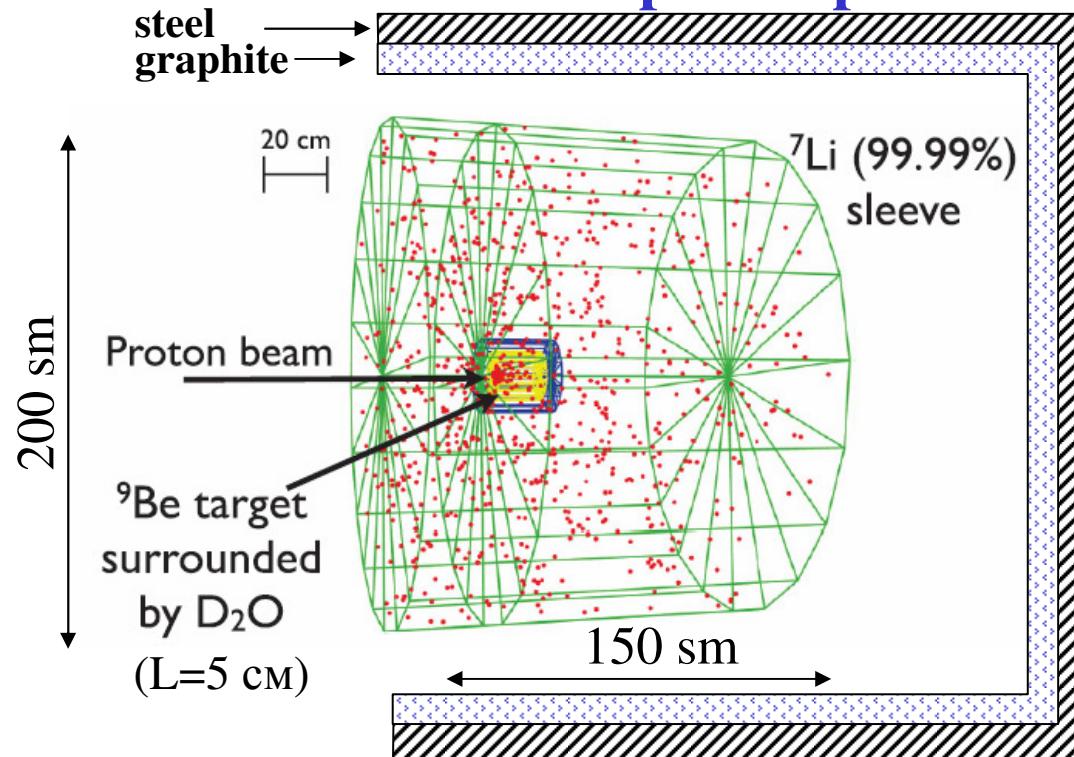
<sup>9</sup>*Tohoku University, Sendai 980-8578, Japan*

<sup>10</sup>*Imperial College London, London SW7 2AZ, United Kingdom*

(Received 24 May 2012; published 4 October 2012)

This paper introduces an experimental probe of the sterile neutrino with a novel, high-intensity source of electron antineutrinos from the production and subsequent decay of  ${}^8\text{Li}$ . When paired with an existing  $\sim 1$  kton scintillator-based detector, this  $\langle E_\nu \rangle = 6.4$  MeV source opens a wide range of possible searches for beyond standard model physics via studies of the inverse beta decay interaction  $\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$ . In particular, the experimental design described here has unprecedented sensitivity to  $\bar{\nu}_e$  disappearance at  $\Delta m^2 \sim 1 \text{ eV}^2$  and features the ability to distinguish between the existence of zero, one, and two sterile neutrinos.

# Scheme of the Installation with Lithium Converter (named as IsoDAR – Isotope Decay At Rest). The expected parameters



experimental parameters. We note that the geometry design is similar to that described in Ref. [10].

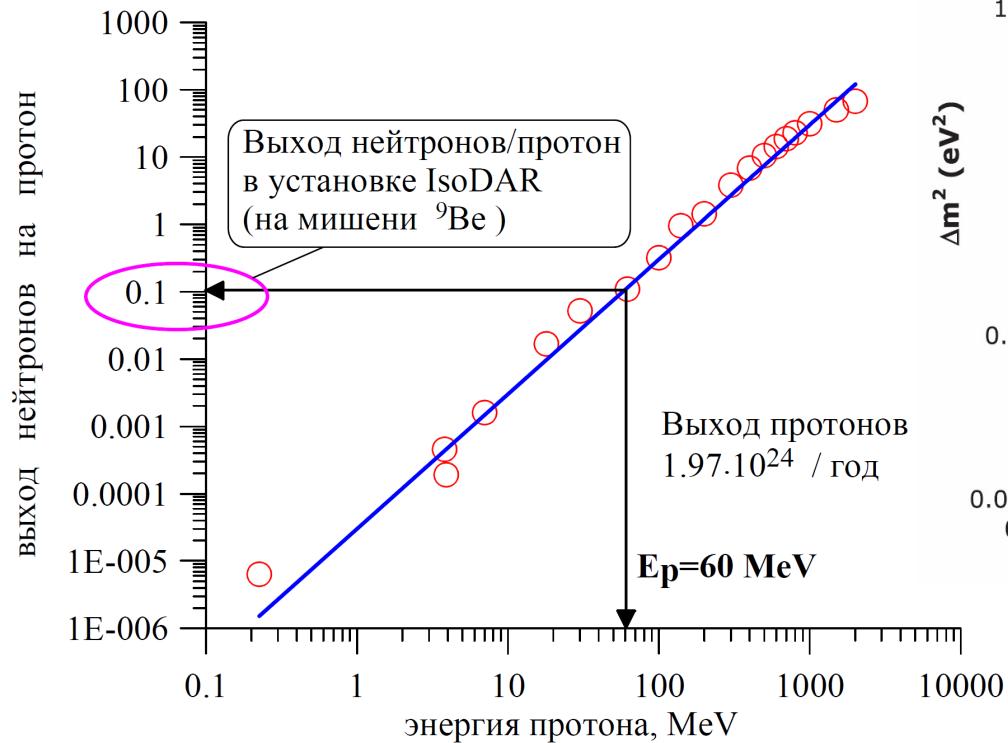
[10] Yu. S. Lutostansky and V. I. Lyashuk, Bull. Russ. Acad. Sci., Phys. **75**, 468 (2011).

**Lutostansky, Yu.S. and Lyashuk, V.I., Physics of Elementary Particles and Atomic Nuclei, Lett., 2005, vol. 2, p. 60.**

Lithium antineutrino source IsoDAR

- - - - -
- $E_p = 60 \text{ MeV}$ ,  $I = 10 \text{ mA}$
- $W = 600 \text{ kW}$
- Work cycle (time) – 90%
- Duration of the experiment – 5 years (in fact – 4.5 years)
- Yield -  $14.6 \bar{\nu}_e / 1000 \text{ protons}$  (Efficiency = 1.46%)
- For 5 years of work -  $10^{23} \bar{\nu}_e$
- Detector - KamLAND
- Sensitive volume – 897 t
- Distance from the target the detector center – 16 m
- Expected statistic of the inverse beta decay (5 years) – 8.2E+5

# Neutron Yield for IsoDAR Installation

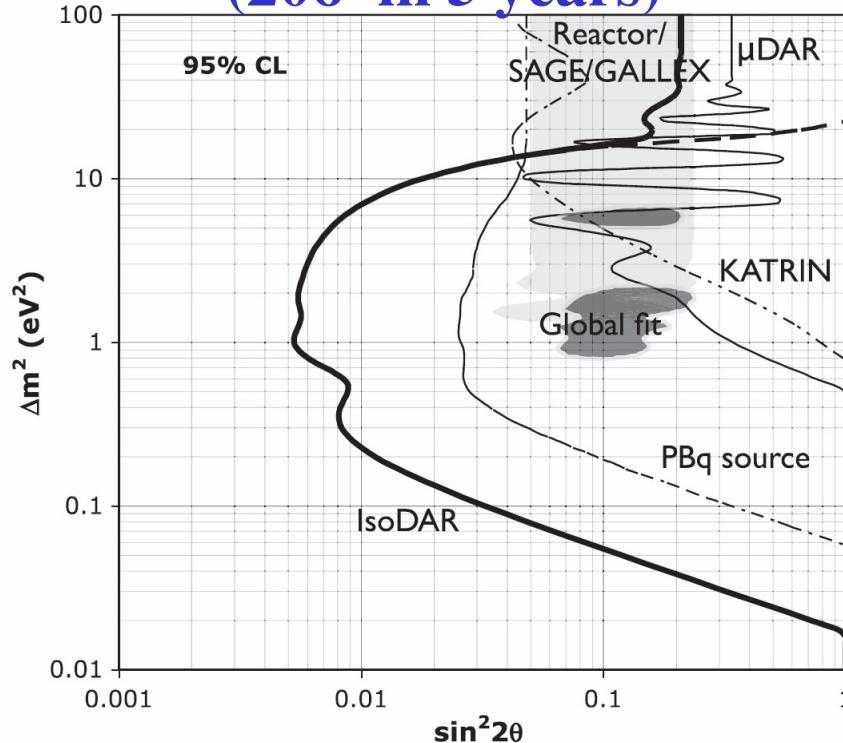


- arXiv:1210.4454v1 [physics.acc-ph] 16 Oct 2012

- Yves Jongen, Thierry Delvigne, Pascal Cohilis, 'Multi-milliamper compact cyclotrons used as neutron sources', Society of Photographic Instrumentation Engineers, Vol 2339, 225-235 (2011)
- R. Alba, M. Barbagallo, P. Boccaccio, A. Celentano, N. Colonna, G. Cosentino, A. Del Zoppo
- A Bungau et al. TARGET STUDIES FOR THE PRODUCTION OF LITHIUM8 FOR NEUTRINO PHYSICS USING A LOWENERGY CYCLOTRON (Proceedings of IPAC2012, New Orleans, Louisiana, USA)

**A. Bungau, et al. Proposal for an Electron Antineutrino Disappearance Search Using High ${}^{54}\text{Li}$  Rate Production and Decay // PRL 109, 141802 (2012)**

# Sensitivity of the proposed IsoDAR Installation (20 $\sigma$ in 5 years)



In particular, the experimental design described here has unprecedeted sensitivity to elctron anti-neutrino disappearance at  $\Delta m^2 \sim 1 \text{ eV}^2$  and features the ability to distinguish between the existance of zero, one, and two sterile neutrinos.

## Perspectives, Risks and Price for IsoDAR project

- Cost: Good: \$30M, Moderate: \$50M, Bad: \$100M or higher.

Assessment		IsoDAR Base Design	RFQ/Separated Sector Cyclotron	LINAC, 30 MeV, 40 mA	Modified Beta Beam Design	New Detector at Existing Beam
1. Cost	Good	Good	Moderate	Bad	Moderate	Bad
2. $\bar{\nu}_e$ rate	Good	Good	Good	Bad	Good	Good
3. Backgrounds low	Good	Good	Good	Good	Good	Moderate
4. Technical risk	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	Good
5. Compactness	Good	Moderate	Bad	Good	Moderate	Moderate
6. Simplicity u'ground	Good	Moderate	Moderate	Bad	Moderate	Moderate
7. Reliability	Good	Good	Good	Bad	Good	Good
8. Value to other exps	Good	Good	Good	Bad	Bad	Bad
9. Value to Industry	Good	Moderate	Moderate	Bad	Bad	Bad

A. Adelmann et al., Cost-effective Design Options for IsoDAR. arXiv:1210.4454v1

## CONCLUSION. 1.

- It was developed schemes of the powerful neutrino source on the base of  **$^{7}\text{Li}$  ( $n,\gamma$ )-activation**.
- This source (lithium converter) can be constructed as in **the static as in the dynamic regime**. The converter **efficiency** (for different geometries) were calculated.
- It was obtained the **analytical expression** for neutrino fluxes from the source.
- Different types of matter were investigated for production of neutrino. The **most perspective is the  $\text{D}_2\text{O}$  solution of LiOD**.
- The **proposed dynamic regime allows** to increase the hardness of the neutrino spectrum and **to vary the neutrino spectrum** for investigated reactions.
- It was considered and proposed **variants of neutrino converters** (neutrino factory) **on the base of different neutron sources**.

## CONCLUSION. 2.

- Compare to reactors the considered neutrino sources based on tandem (of accelerators and neutron producing targets) have significant advantages:
  - durable stability of the regime (i.e., stability of neutrino flux);
  - possibility to construct compact neutrino source (compare to reactor blanket),
  - significantly lower price,
  - possibility to ensure hight flux and modify it.

These parameters allows to consider the tandem scheme more perspective compare to neutrino sources based on reactors.

- The basic concepts for the proposed neutrino source on the base of lithium converter are included in the IsoDAR project

**Спасибо за внимание !**