



The 6nd international conference on particle physics and astrophysics

ICPPA - 2022

November 29 – December 2, 2022, Moscow



Ionization loss simulation in gaps of fast neutron detector based on ^{10}B layer and gaseous chamber

S.Potashev^{1,2}

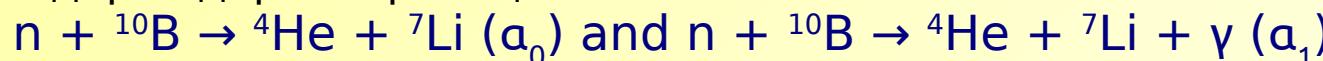
¹Institute for Nuclear Research, RAS, Moscow

²Lebedev Physical Institute, RAS, Moscow

PSNDetector based on ^{10}B and gas chamber

Position-sensitive neutron detector (PSND) Позиционно-чувствительный нейтронный детектор (ПЧНД)

PSNDs based on solid ^{10}B or $^{10}\text{B}_4\text{C}$ layers combined with gaseous chamber have recently been built. The detector is also suitable for detecting fast neutrons. It operates due to nuclear reactions: Недавно ПЧНД, основанный на твердом ^{10}B или $^{10}\text{B}_4\text{C}$ в комбинации с газовой камерой был построен. Он работает благодаря ядерным реакциям



Этот детектор также подходит для регистрации быстрых нейтронов.

Potashev S., Drachev A., Burmistrov Yu. et al. // EPJ Web Conf. 2020. V. 231. P. 05010

Ionization loss of secondary nucleons directly depends on outgoing angle and fast (in MeV range) neutron energy. Therefore, neutron energy can be determined from these values. Ионизационные потери вторичного ядра непосредственно зависят от угла вылета и энергии нейтрона (в Мэв-ном диапазоне).

А. А. Каспаров, С. И. Поташев, А. А. Афонин, Ю. М. Бурмистров, А. И. Драчев. Известия РАН. Сер. физ., 2021, Т. 85, № 5, стр. 694-697

Charge particle, for example, ^4He or ^7Li nucleons can be identified and its energy is determined on ionization loss in successive gaseous gaps. Заряженная частица, например, ядро ^4He или ^7Li может идентифицировано и определена его энергия по ионизационным потерям в последовательных газовых зазорах.

Lehraus I., Mattehewson R., Tejessy W. // NIMA. 1982. V. 196. P. 361-379

S Potashev et al // J. Phys.: Conf. Ser. 2019. V.1390 P.012120

Neutron detecting via nucleus loss in gaps

boron-10 , 0.003 mm

0.02 mm anode,

0.05 mm cathodes Tangsten

Renium wire grids

Gas: Ar + 25%CO₂, P = 1 bar

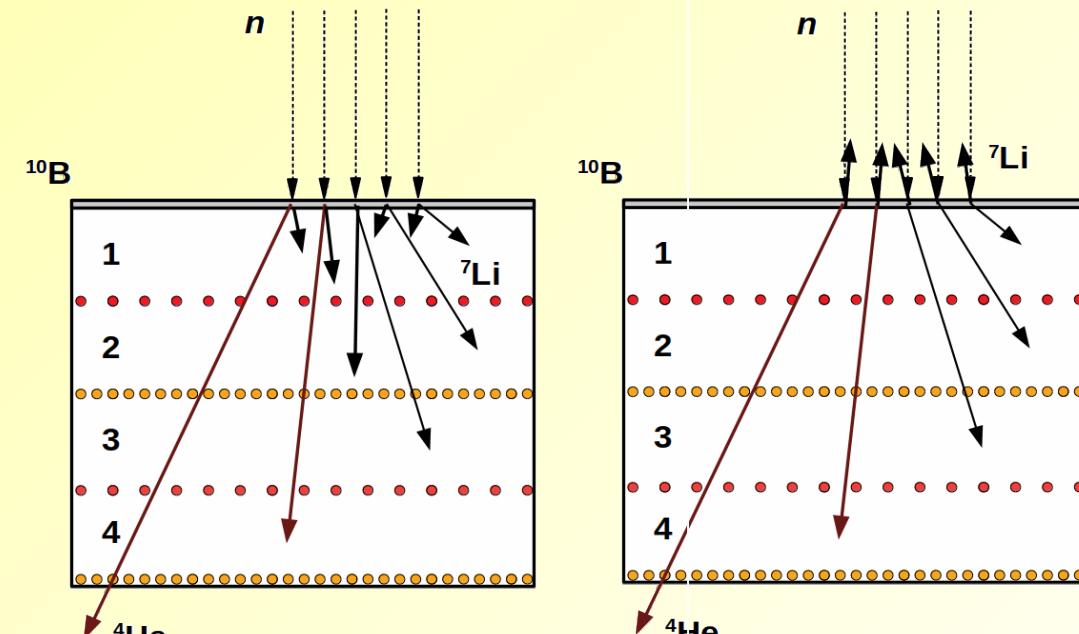
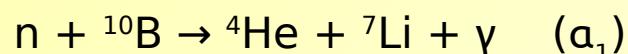
1 - 2.5-mm first gas gap

2 - 2.5-mm second gas gap

3 - 2.5-mm third gas gap

4 - 2.5-mm fourth gas gap

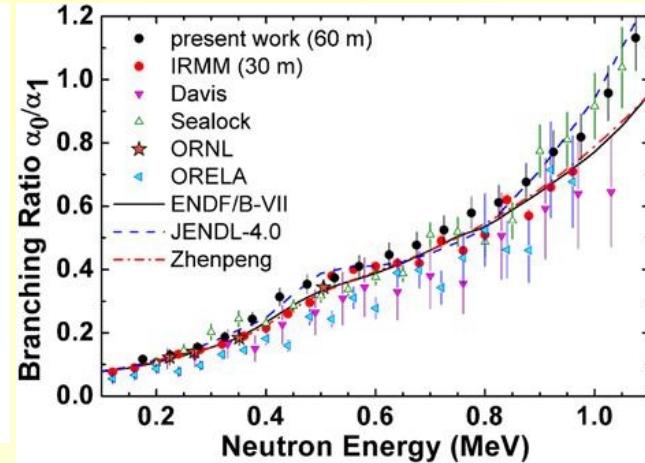
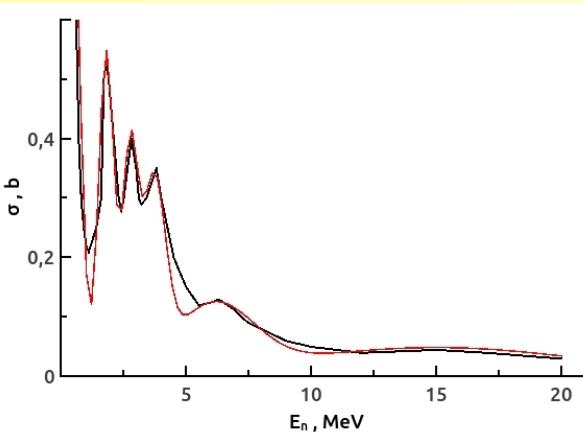
Nuclear reactions :



Neutron cross section and approximation

E_n from 0,25 to 7 MeV, approximation $\sigma = \sum A_i \exp(-0.5((E - E_{c,i})/w_i)^2)$, i = from 1 to 6

$$\begin{aligned}A_1 &= 0.93; A_2 = 0.54; A_3 = 0.36 \\A_4 &= 0.3; A_5 = 0.11; A_6 = 0.049 \\E_{c1} &= 0.40; E_{c2} = 1.8; E_{c3} = 2.75 \\E_{c4} &= 3.7; E_{c5} = 6.1; E_{c6} = 15 \\w_{c1} &= 0.32; w_{c2} = 0.3; w_{c3} = 0.3 \\w_{c4} &= 0.45; w_{c5} = 1.6; w_{c6} = 6\end{aligned}$$



G.Ziegler , dE / dx

Табл.Физ.Вел.под ред.Кикоина,1976

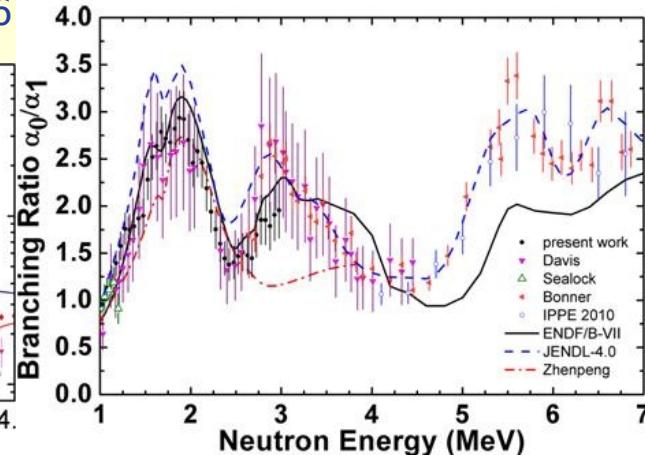
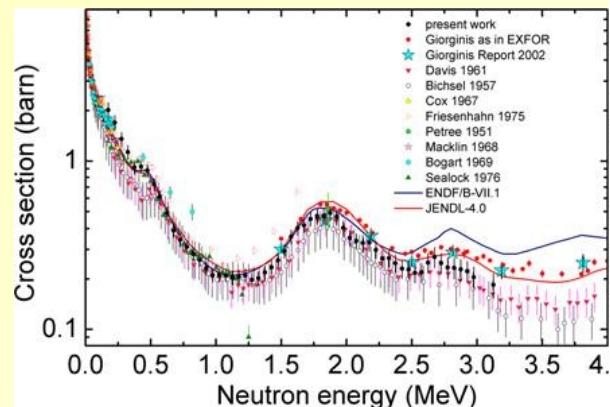
Relativistic kinematics:

Momentum conservation
Energy Conservation laws
Законы сохранения
импульса и энергии

Random on cos theta_c.m.

Розыгрыш случайного
числа cos theta_c.m. угла в
системе центра масс

Linux, g++, Monte Carlo code

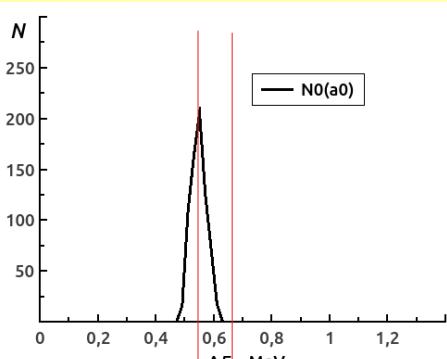


R.Bevilacqua et al,EPJ Web of Conf. 2017 V.146, P.11010

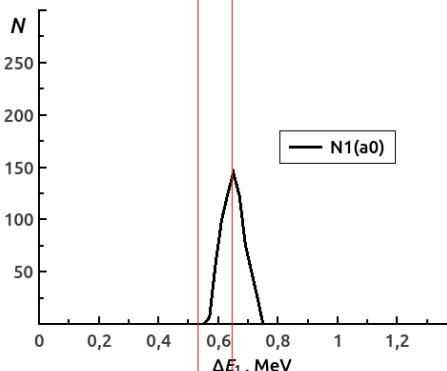
Simulation for ionization loss at 1.8 MeV

$E_n = 1.8 \text{ MeV}$, only $\alpha_0(^4\text{He} + ^7\text{Li})$. Energy of ^4He is not enough for $\alpha_1(^4\text{He} + ^7\text{Li} + \gamma)$ энергии ^4He недостаточно для регистрации реакции $\alpha_1(^4\text{He} + ^7\text{Li} + \gamma)$

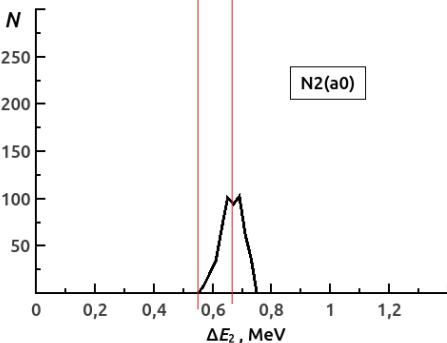
E_{He} loss spectrum in 1-st gap



Спектр потерь энергии ^4He во 2-ом зазоре in 2-nd gap



in 3-d gap



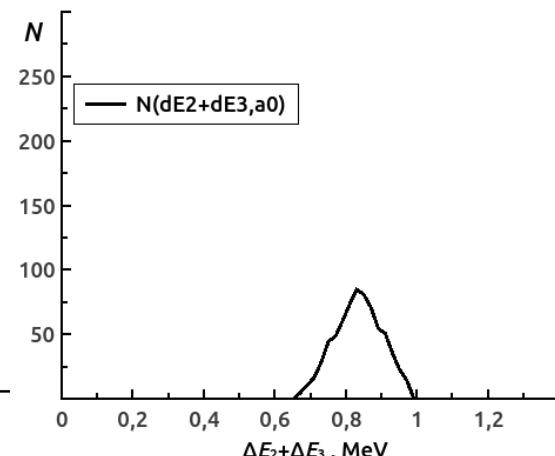
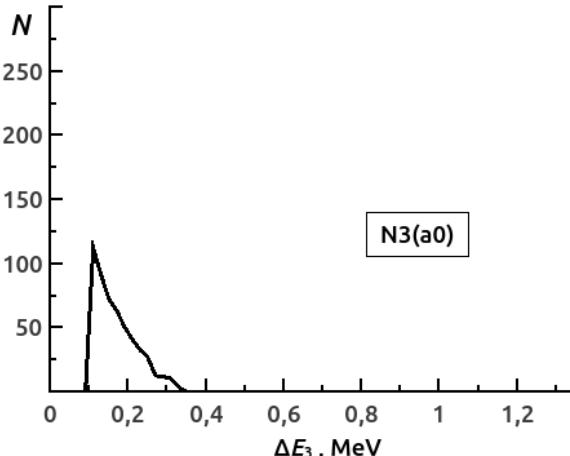
Assume that the trigger occurs when a signal from the 4-th gap is received. In this case, energy loss of the ^4He nucleus can be only taken into account because of ^7Li contribution is negligible. Положим, что триггер события появляется когда получен сигнал от 4-ого зазора. Пренебрегаем вкладом от ^7Li

Threshold of 0.1 MeV in 4th gap is set to suppress the background. Порог по энергии 0.1 МэВ в 4-ом зазоре

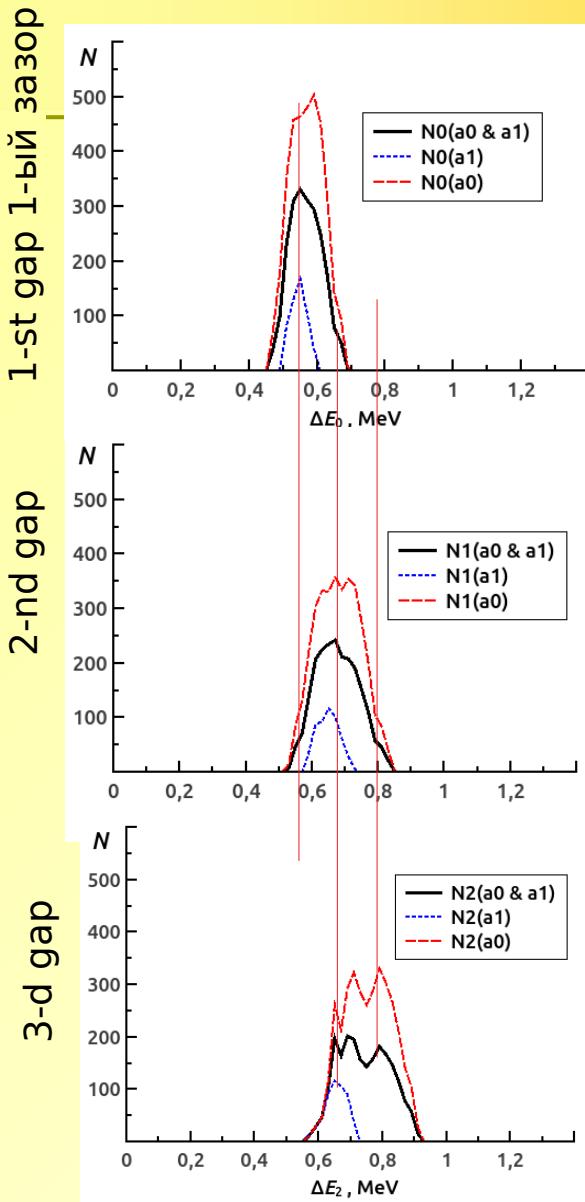
Energy loss increases and spectrum spreads versus index of gap. Потери возрастают и спектр расширяется с увеличением номера зазора.

Residual energy loss in 3-d and 4-th gaps can be summed.
in 4-th gap

Residual ionization loss in 3-d and 4-th gap together



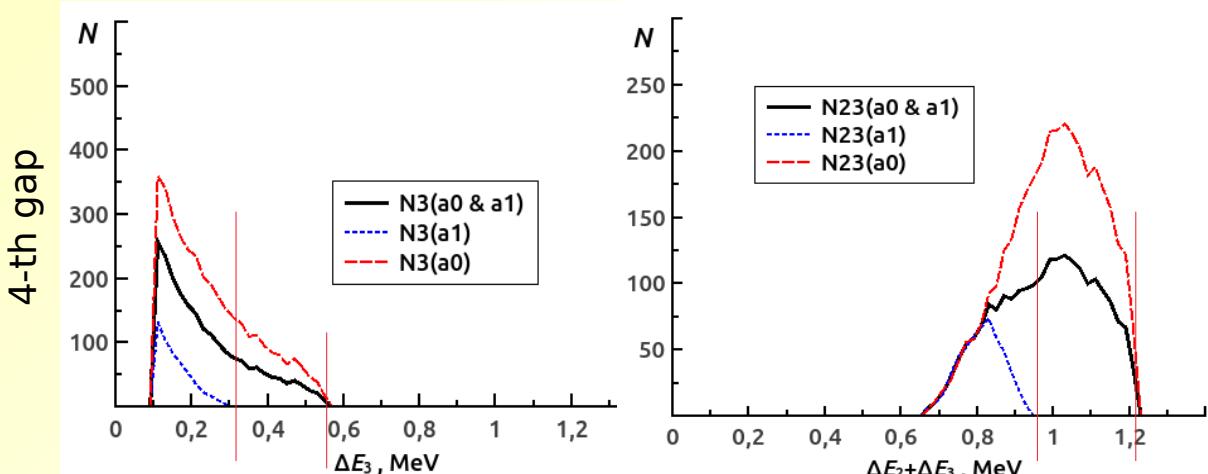
Simulation for ionization loss at 2.5 MeV



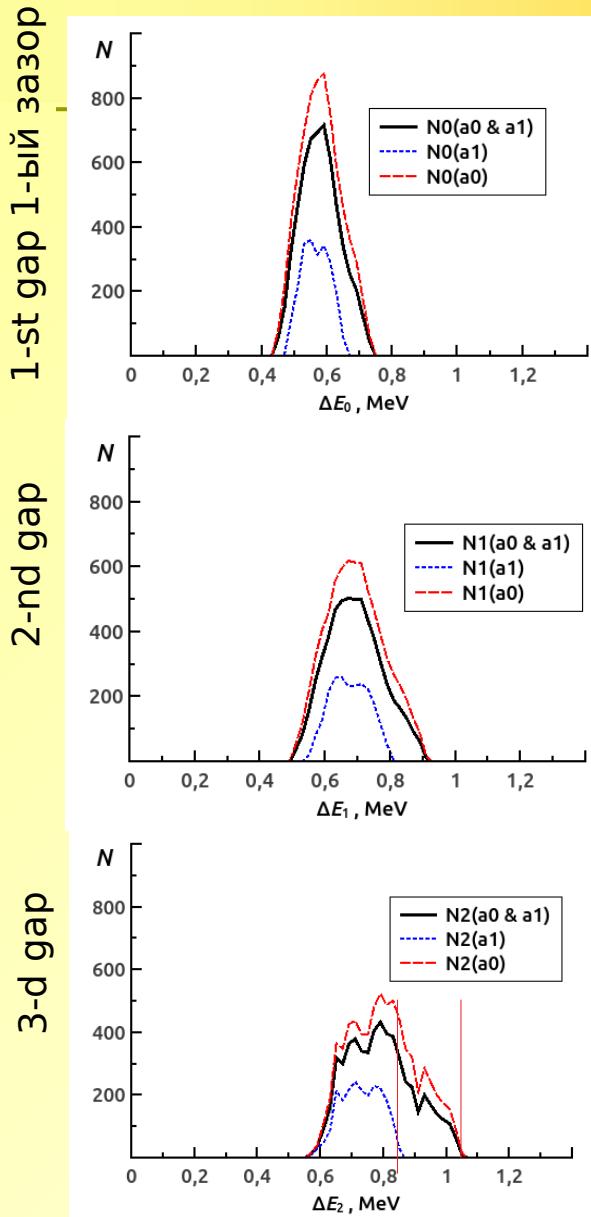
$$E_n = 2.5 \text{ MeV}, \alpha_0 = {}^4\text{He} + {}^7\text{Li} \text{ and } \alpha_1 = {}^4\text{He} + {}^7\text{Li} + \gamma$$

Events belonging only to the α_0 nuclear reaction can be selected by applying the lower and upper thresholds in the 4th or / and other gap. События, относящиеся только к ядерной реакции α_0 , можно отобрать, применяя нижний и верхний пороги в 4-ом и/или другом промежутке.

Residual ionization energy loss sum in 3-d and 4-th gap. Сумма остаточных ионизационных потерь в 3-ем и 4-ом зазорах



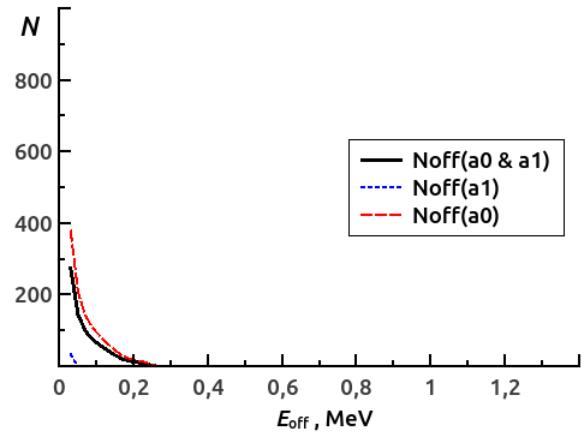
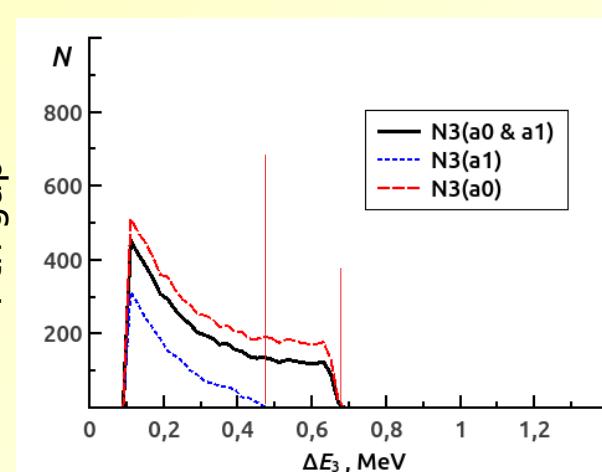
Simulation for ionization loss at 3 MeV



$$E_n = 3 \text{ MeV}, a_0 = {}^4\text{He} + {}^7\text{Li} \text{ and } a_1 = {}^4\text{He} + {}^7\text{Li} + \gamma$$

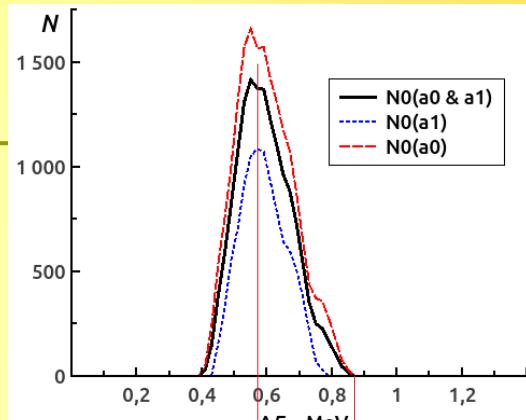
Events belonging only to the a_0 nuclear reaction can be selected by applying the lower and upper thresholds in the 3-d or / and 4th gap. Difference between a_0 and a_1 energy loss is due to γ -quant energy of 0.481 MeV.
События, относящиеся только к ядерной реакции a_0 , можно отобрать, применяя нижний и верхний пороги в 3-ем и/или 4-ом зазоре. Разница между потерями энергии a_0 и a_1 обусловлена энергией γ -квантов 0,481 МэВ.

Non-detected residual energy loss out of all gaps. Не детектируемые остаточные ионизационные потери вне всех зазоров

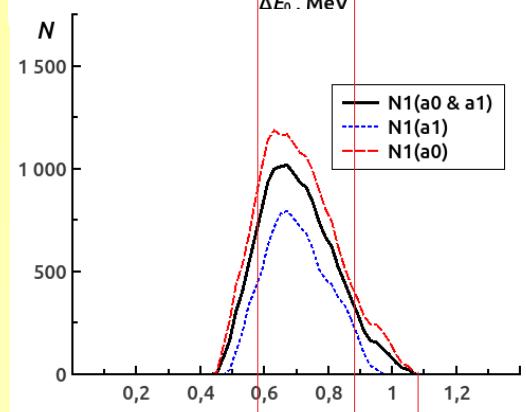


Simulation for ionization loss at 4 MeV

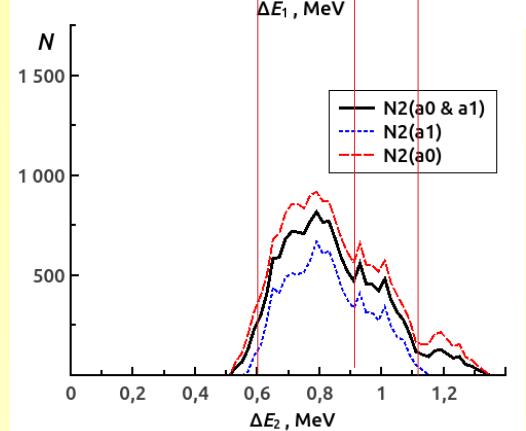
1-ст gap 1-ый зазор



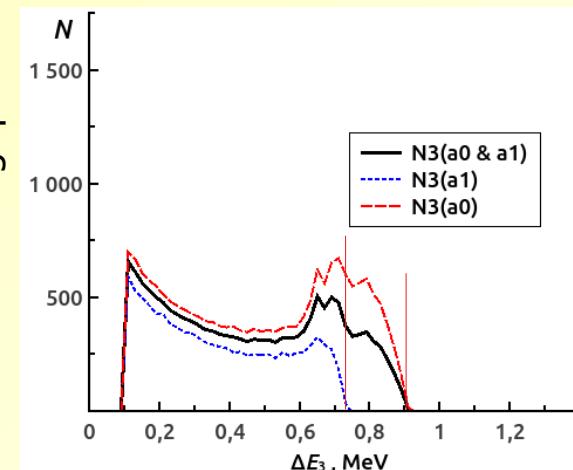
2-nd gap



3-d gap



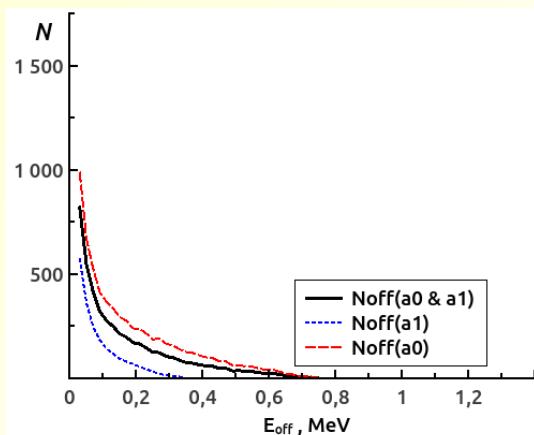
4-th gap



$$E_n = 4 \text{ MeV}, \alpha_0 = {}^4\text{He} + {}^7\text{Li} \text{ and } \alpha_1 = {}^4\text{He} + {}^7\text{Li} + \gamma$$

Events belonging only to the α_0 nuclear reaction can be selected by applying the lower and upper thresholds in the 3-d or / and 4th gap. Difference between α_0 and α_1 energy loss is due to γ -quant energy of 0.481 MeV.
События, относящиеся только к ядерной реакции α_0 , можно отобрать, применяя нижний и верхний пороги в 3-ем и/или 4-ом зазоре. Разница между потерями энергии α_0 и α_1 обусловлена энергией γ -квантов 0,481 МэВ.

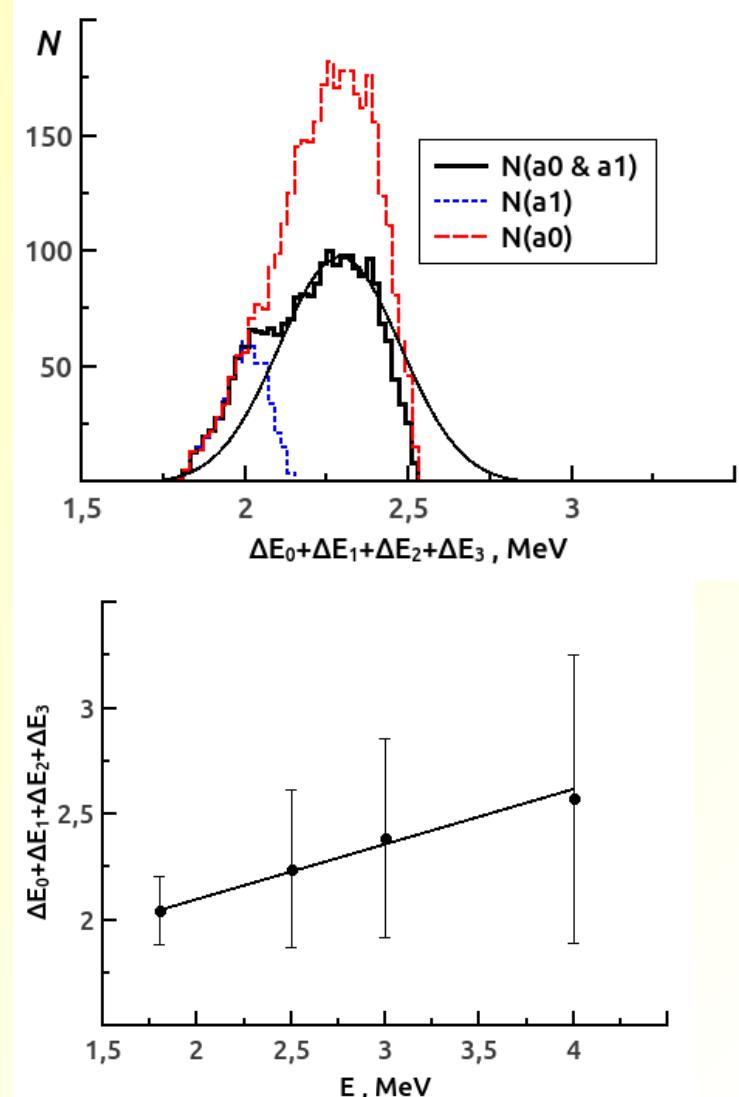
Non-detected residual energy loss out of all gaps. Не детектируемые остаточные ионизационные потери вне всех зазоров



Neutron energy reconstruction

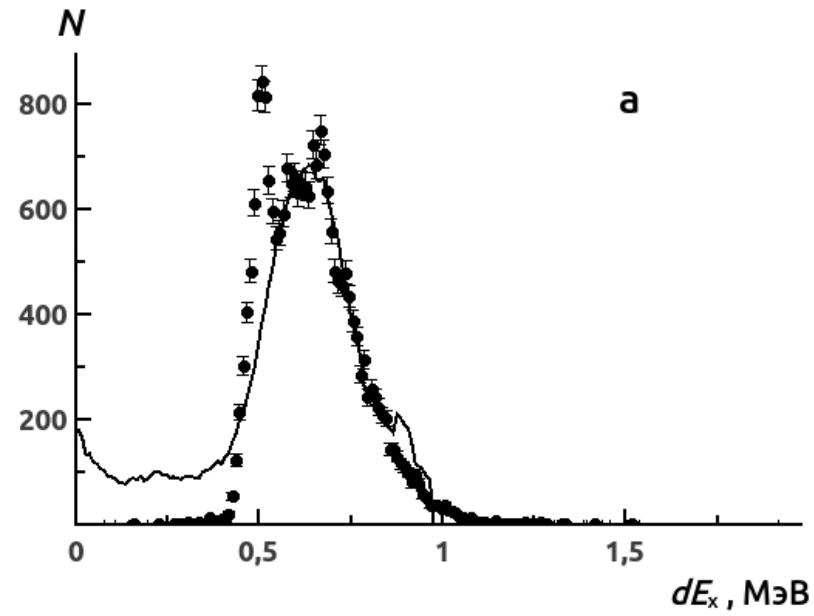
$$E_n = 3 \text{ MeV}$$

We can reconstruct energy of neutrons summing energy losses of ${}^4\text{He}$ in four successive detector gaps. Мы можем восстановить энергию нейтронов, суммируя потери ядра ${}^4\text{He}$ в четырех последовательных зазорах детектора. If take the center of loss sum distribution gravity as the most probable value and correspond it to given energy we get energy linear calibration. Если принять центр тяжести распределения суммы потерь как наиболее вероятную величину и поставить ее в соответствие с данной энергией, то получаем линейную калибровку по энергии. Here, errors on below plot are full widths on half of maximum (FWHM) of distributions.

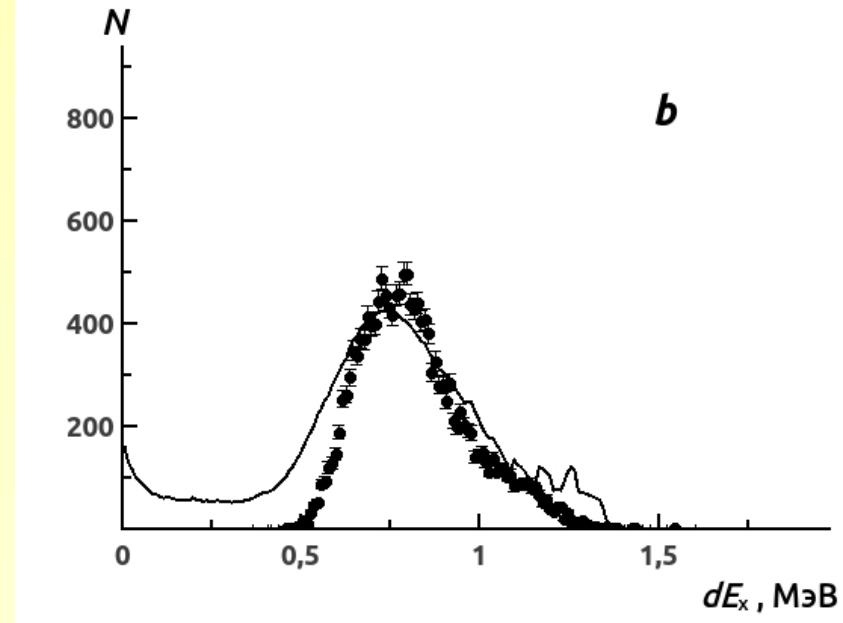


Conclusions

- Energy loss simulation in gaps of fast neutron detector was performed. Выполнено моделирование энергетических потерь в зазорах детектора быстрых нейтронов.
- Energy loss increases and spectrum spreads versus index of gap. Потери возрастают и спектр расширяется с увеличением номера зазора.
- Events belonging only to the α_0 nuclear reaction can be selected by applying the lower and upper thresholds in the 4th or / and other detector gap. События, относящиеся только к ядерной реакции α_0 , можно отобрать, применяя нижний и верхний пороги для сигнала от 4-ого и/или другого зазора детектора.



a



b

Experiment: neutron spectrum E_n (max) = 3.3 MeV

E_n (max) = 4.2 MeV