

# Возможность использования аппаратуры ОЛВЭ для регистрации высокоэнергичных ядер дейтерия и трития

*А. Н. Турундаевский, Д. Е. Карманов, А. Д. Панов,  
Д. М. Подорожный, К. Р. Рахимчанова*

**НИИЯФ МГУ**

- Планируемый эксперимент ОЛВЭ должен существенно продвинуть прямые исследования протонов и ядер космических лучей в область высоких энергий. В случае длительного экспонирования – до  $\sim 10$  ПэВ. Энергию частиц планируется измерять с помощью мелкосекционированного ионизационного калориметра, заряд – с помощью кремниевых детекторов. Однако научная задача эксперимента может быть существенно расширена без дополнительных затрат. Потoki дейтронов представляют большой астрофизический интерес. На высоких энергиях также возможно обнаружение ядер трития, образующихся при фрагментации первичных ядер. Поскольку тритий радиоактивен, его спектры могут дать информацию об условиях распространения космических лучей вблизи Солнечной системы.

Для разделения изотопов водорода предлагается использовать анализ формы каскадов в калориметре, ранее применявшийся при обработке результатов эксперимента СОКОЛ-2. Было проведено моделирование каскадов, инициированных протонами, дейтронами и тритонами в будущем эксперименте ОЛВЭ. Показана возможность их разделения.



# High energy deuterons in cosmic rays registered by the SOKOL satellite experiment

Andrey Turundaevskiy\*, Dmitry Podorozhnyi

*Skobel'syn Institute of Nuclear Physics, Moscow State University, Moscow 119991, Russia*

Received 24 July 2015; received in revised form 23 August 2016; accepted 24 August 2016  
Available online 1 September 2016

## Abstract

We present the first measurement of the deuterium to proton ratio in cosmic rays, above 500 GeV/nucleon. The data were obtained as part of the SOKOL satellite experiment. The cascade curves generated by single charged particles in the calorimeter were analysed. A hadronic showers' simulation was performed. Simulated and experimental cascade curves were compared. Neural networks were used to select proton and deuteron events. The deuterium to proton ratio was evaluated as  $0.114 \pm 0.023$ , whilst the deuterium to helium ratio was evaluated as  $1.64 \pm 0.30$  for energies between 500 and 2000 GeV/n. © 2016 COSPAR. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

*Keywords:* Cosmic ray; Deuterium; Ratio

## 1. Introduction

For many years, deuterons had been observed in cosmic rays at energies of up to  $\sim 30$  GeV/n (Apparao, 1973; Bogomolov et al., 1995; Picozza et al., 2013; de Nolfo et al., 2000; Vannuccini, 2003; Adriani et al., 2016). Most of the deuterium was produced by the spallation of helium and heavier nuclei as a result of the interaction with the interstellar medium. Thus, measurements of deuteron spectra are useful for research into cosmic ray diffusion mechanisms, in comparison with data for other nuclei.

Different experiments have been based on the application of the Cherenkov threshold counters (Apparao, 1973; Bogomolov et al., 1995) or magnetic spectrometers (de Nolfo et al., 2000; Vannuccini, 2003). These techniques have significant limitations. The geometrical factor of magnetic spectrometers is small (de Nolfo et al., 2000;

Vannuccini, 2003) and similar devices cannot be used at high energies.

Measurements at energies greater than 1 GeV/n have been performed only as part of the IMAX (de Nolfo et al., 2000) and CAPRICE98 (Vannuccini, 2003) experiments.

There have been many cosmic ray experiments based upon the use of ionisation calorimeters for energy measurement purposes. The analysis of cascade curves and transverse ionisation distributions have been used to separate electron and proton events in some experiments (Chang et al., 2008; Vasilyev et al., 2014; Atkin et al., 2015).

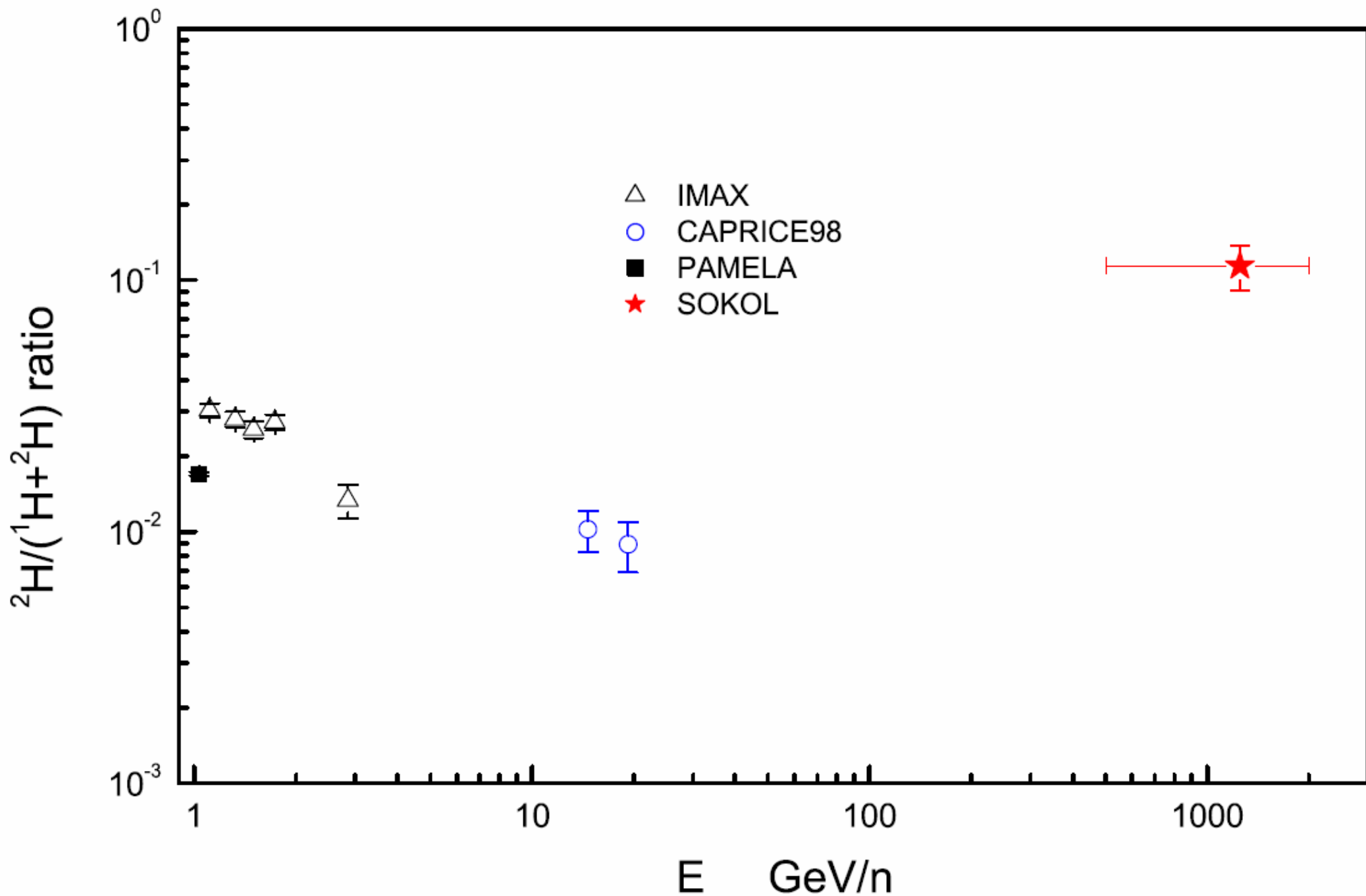
There are some differences with regard to proton and deuteron cascade curves at the same energies. These differences can be exploited to separate deuteron and proton events.

## 2. The SOKOL experiment

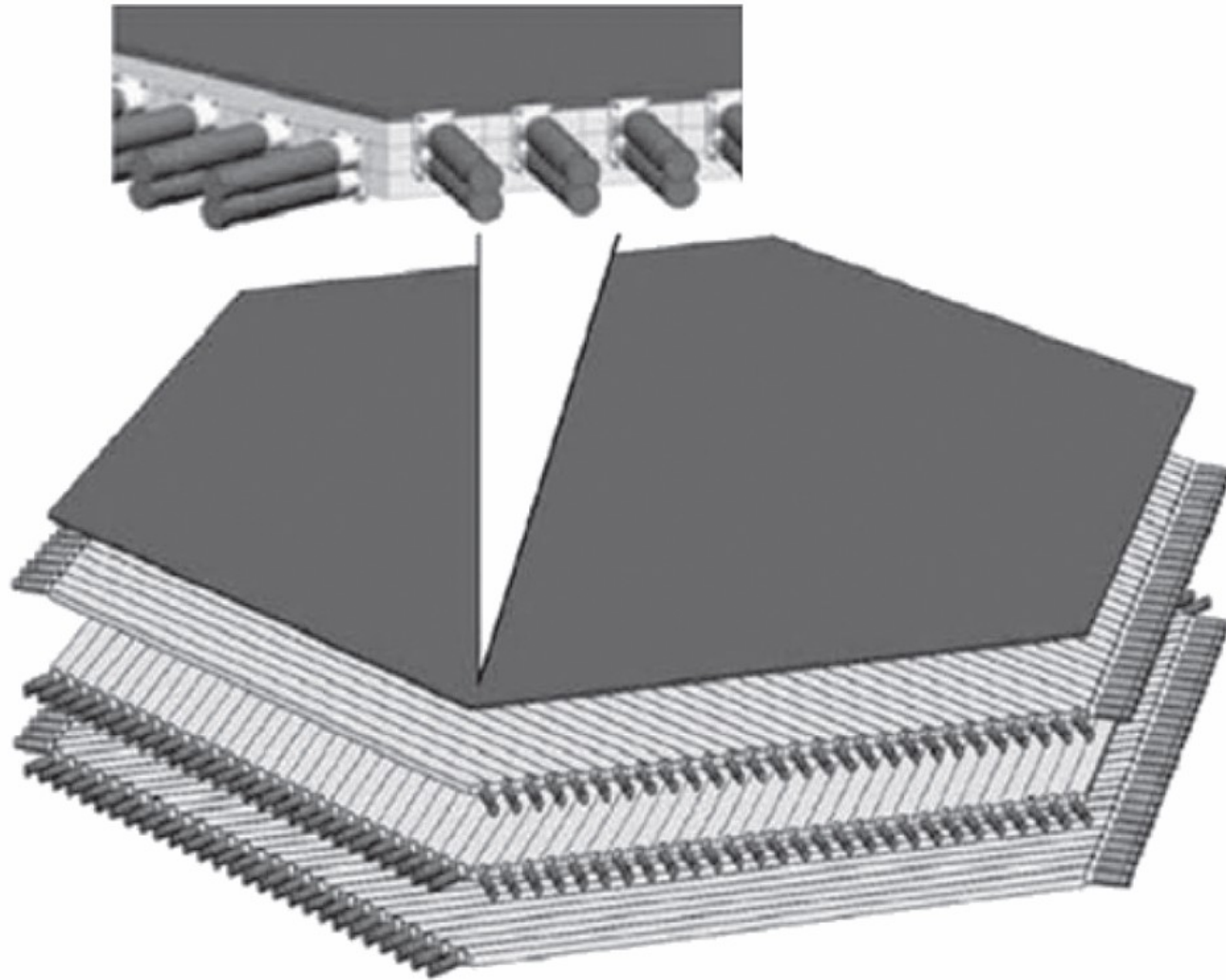
The SOKOL-2 experiment was performed during 1985–1986 (Ivanenko et al., 1993). The device was placed aboard the KOSMOS-1713 satellite.

\* Corresponding author.  
E-mail addresses: [tom@front.ru](mailto:tom@front.ru) (A. Turundaevskiy), [dmp@eas.sinp.msu.ru](mailto:dmp@eas.sinp.msu.ru) (D. Podorozhnyi).  
URL: <http://sinp.msu.ru/en> (D. Podorozhnyi).

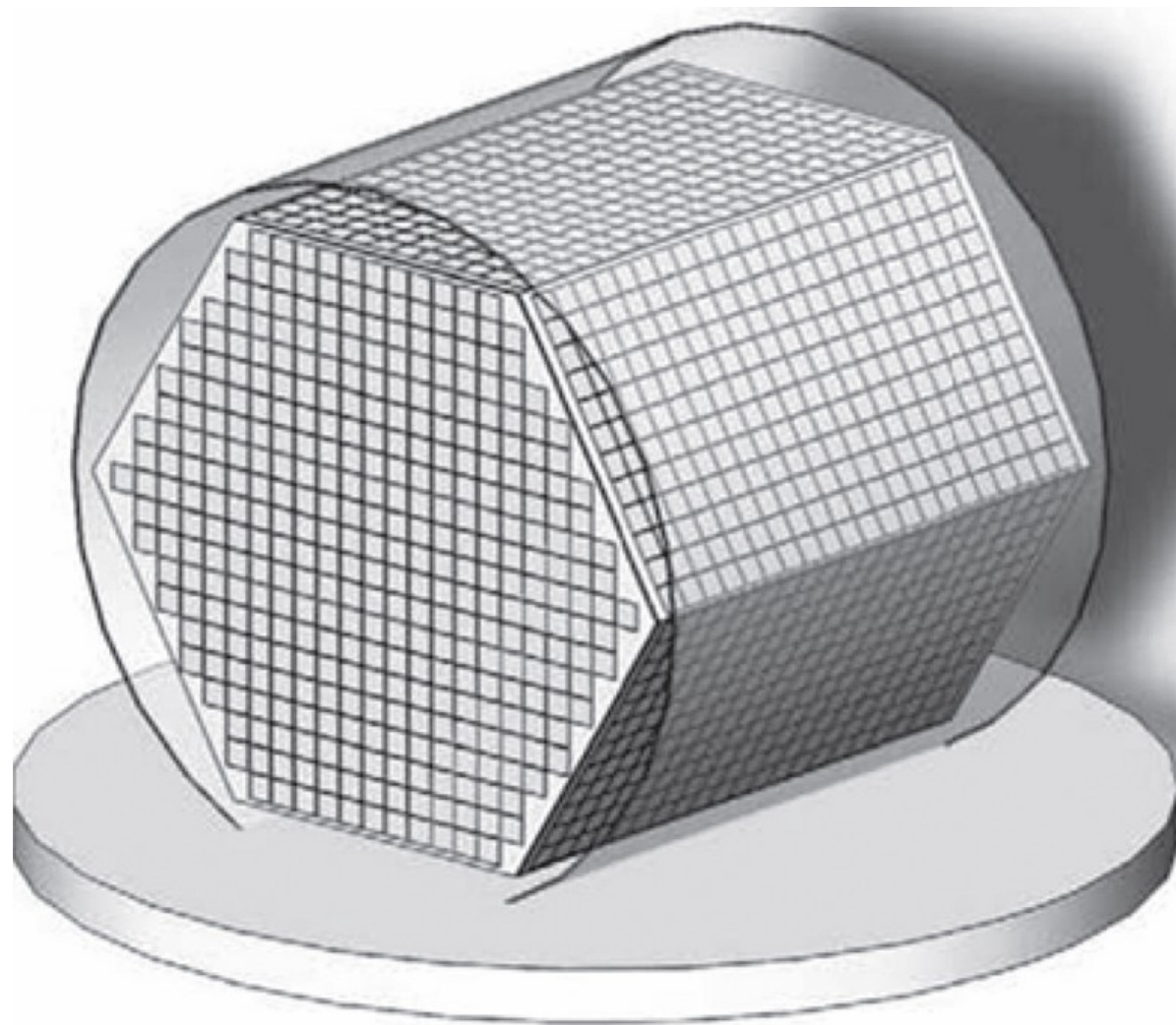
# Отношение потоков ядер дейтерия и всего водорода



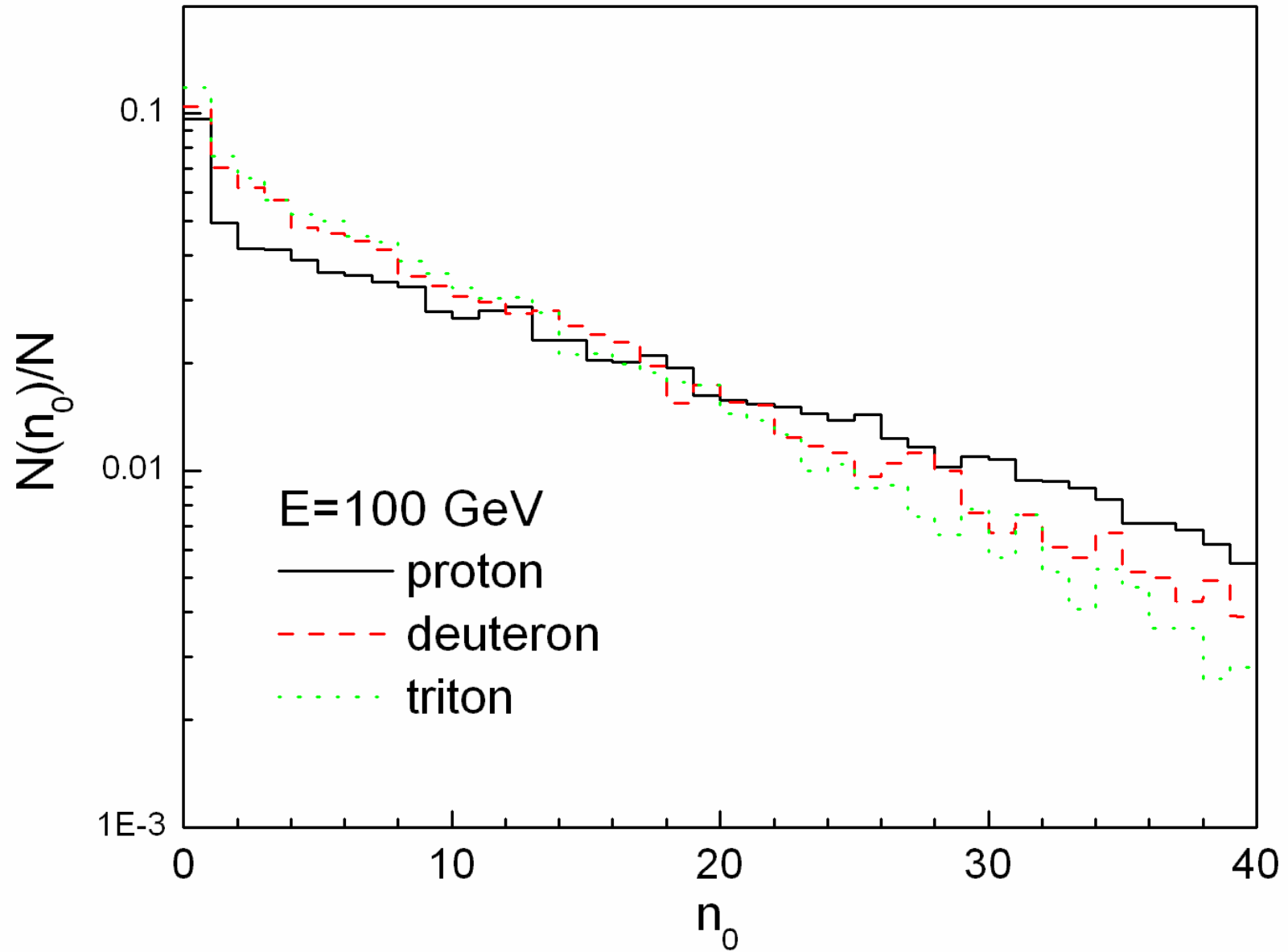
# Слой ОЛВЭ



# ОЛВЭ в сборке (с детекторами заряда)

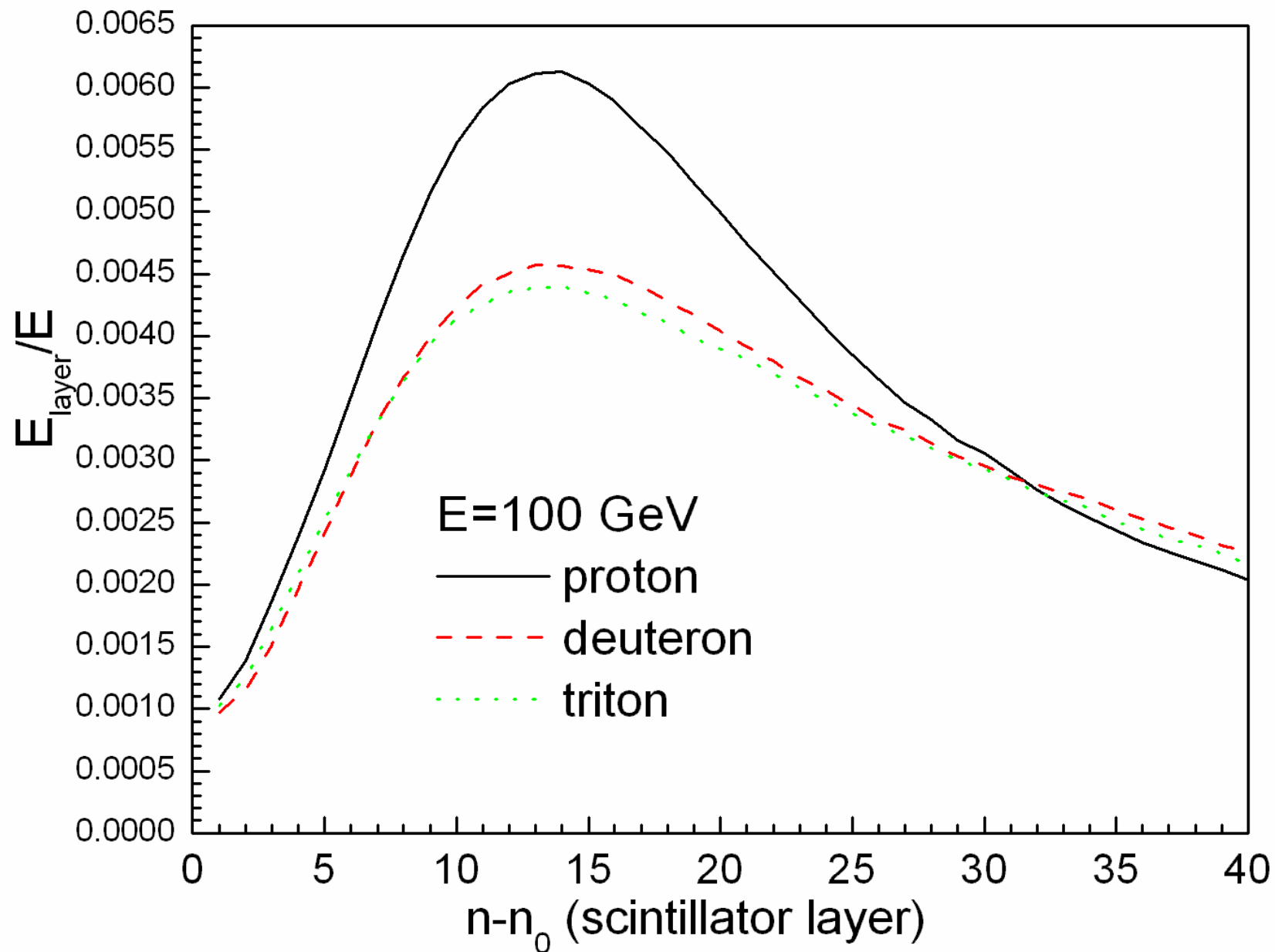


# Распределение по точке первого взаимодействия

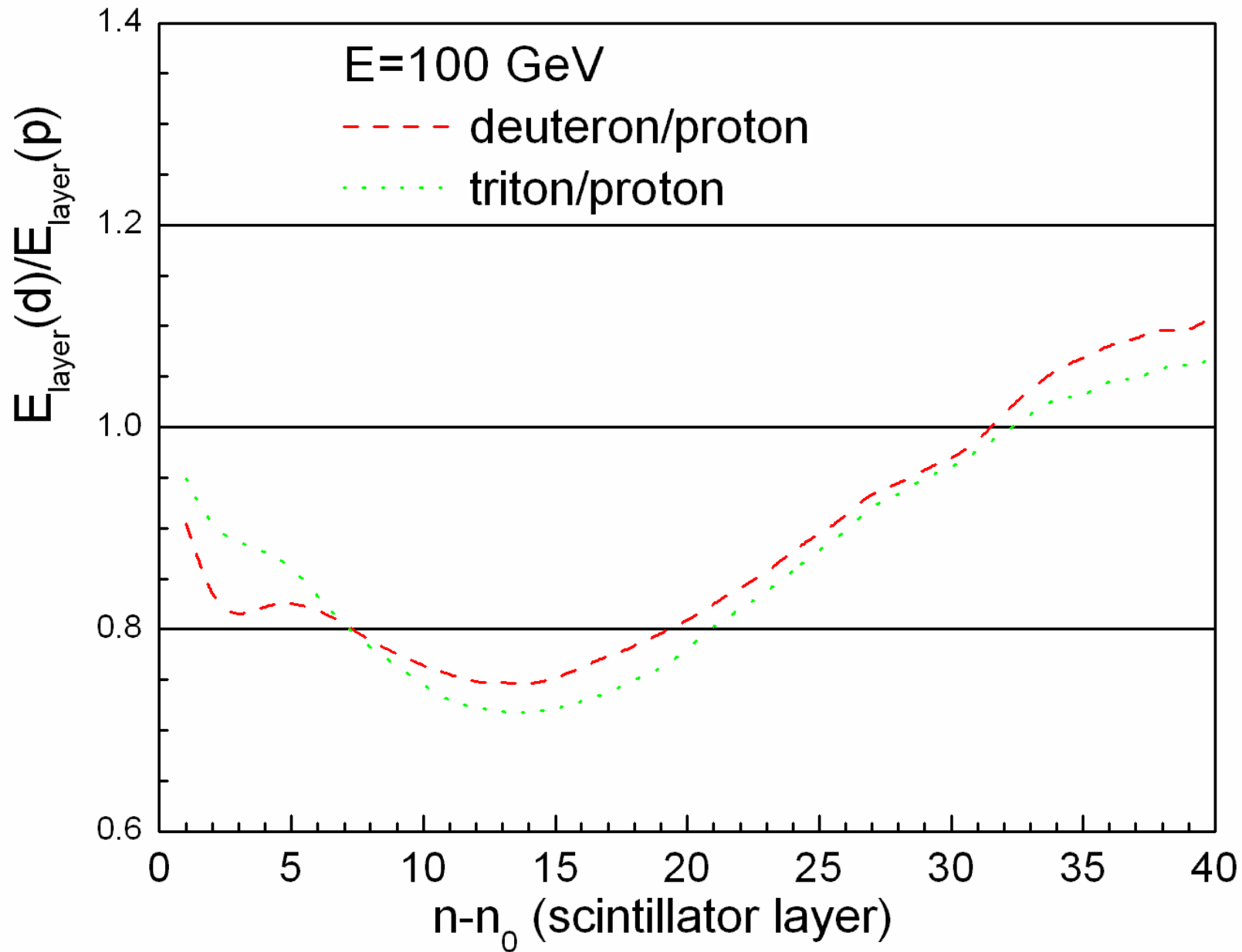




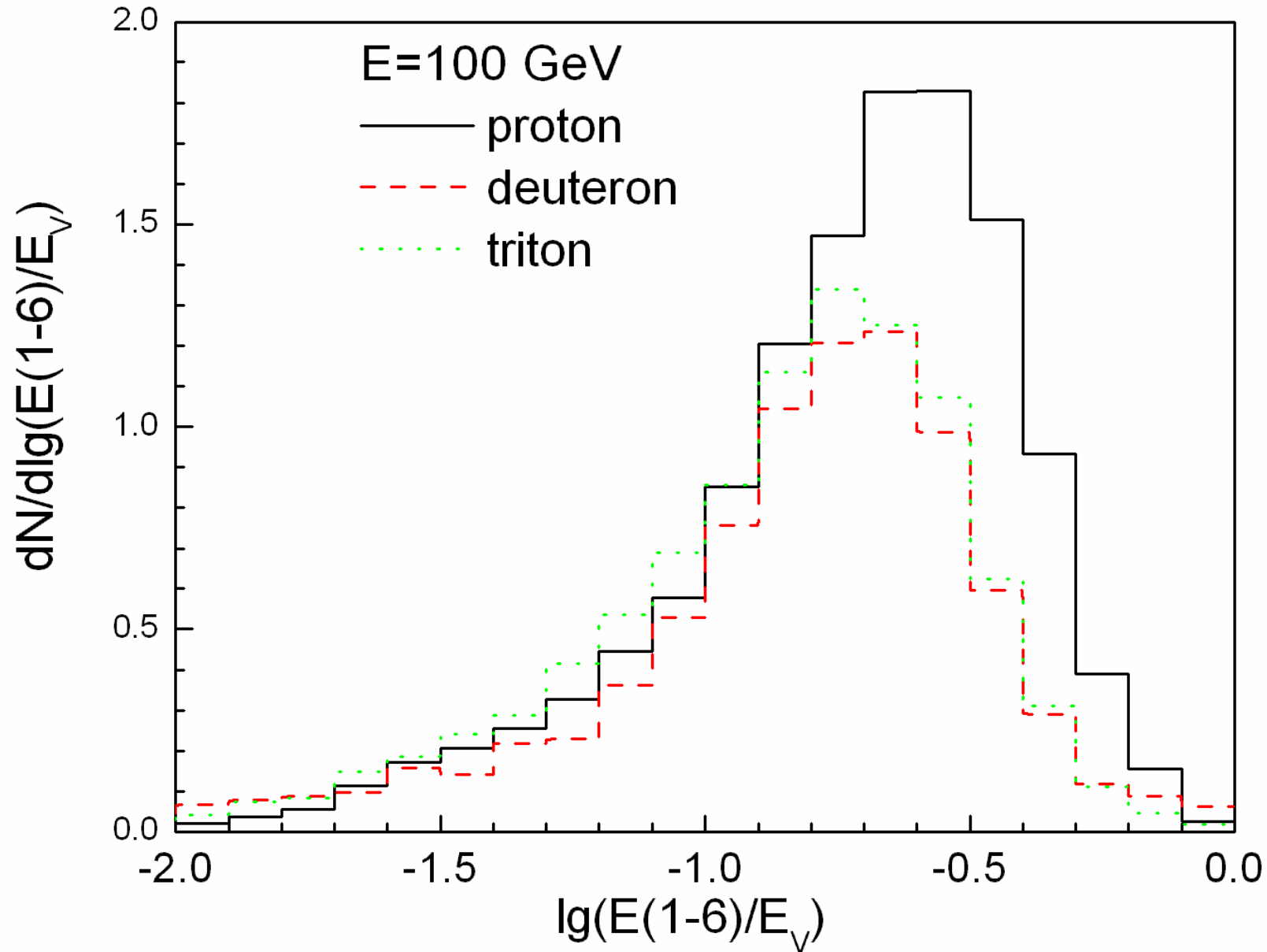
# Средние каскадные кривые



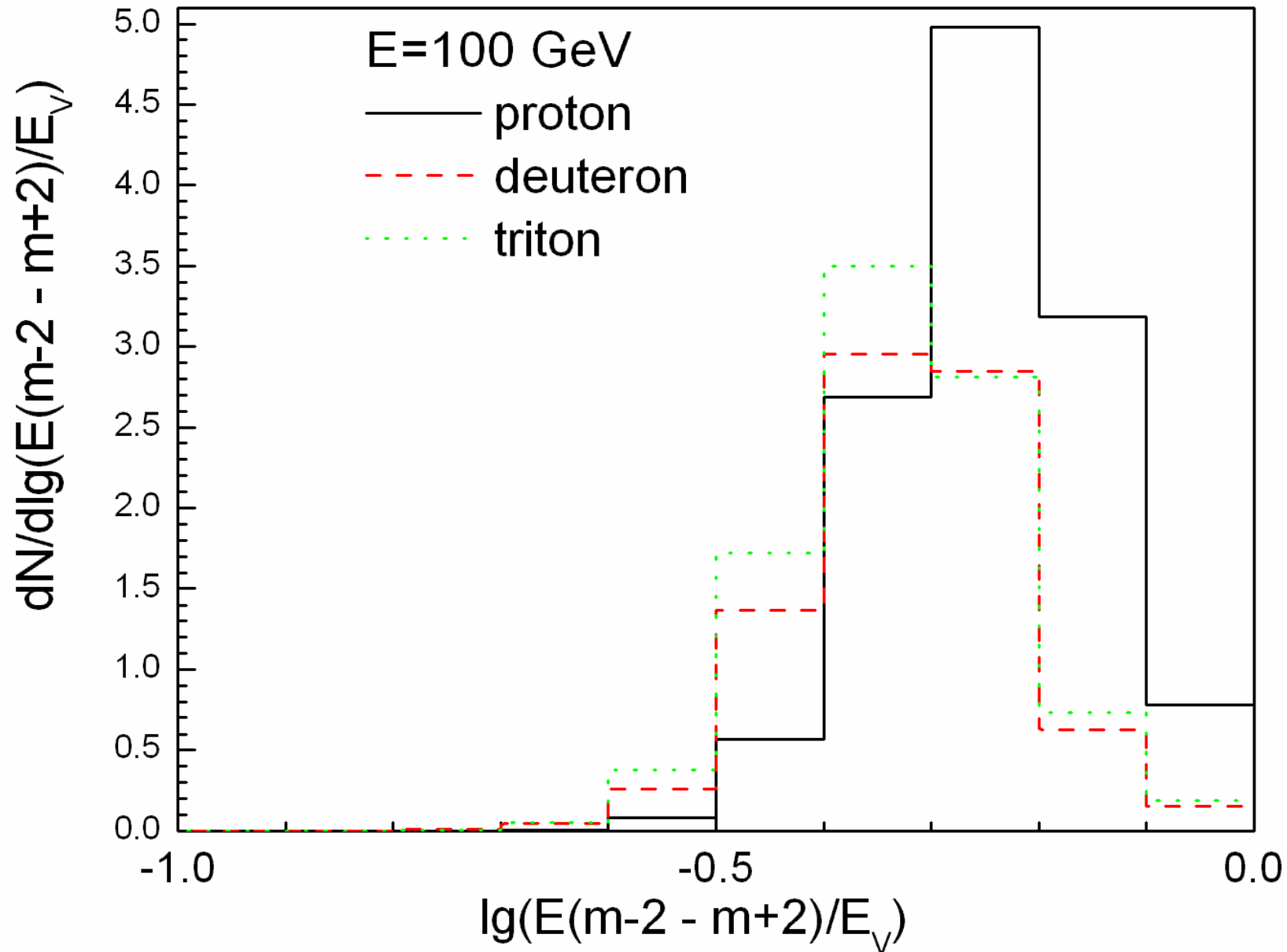
# Отношения средних каскадных кривых



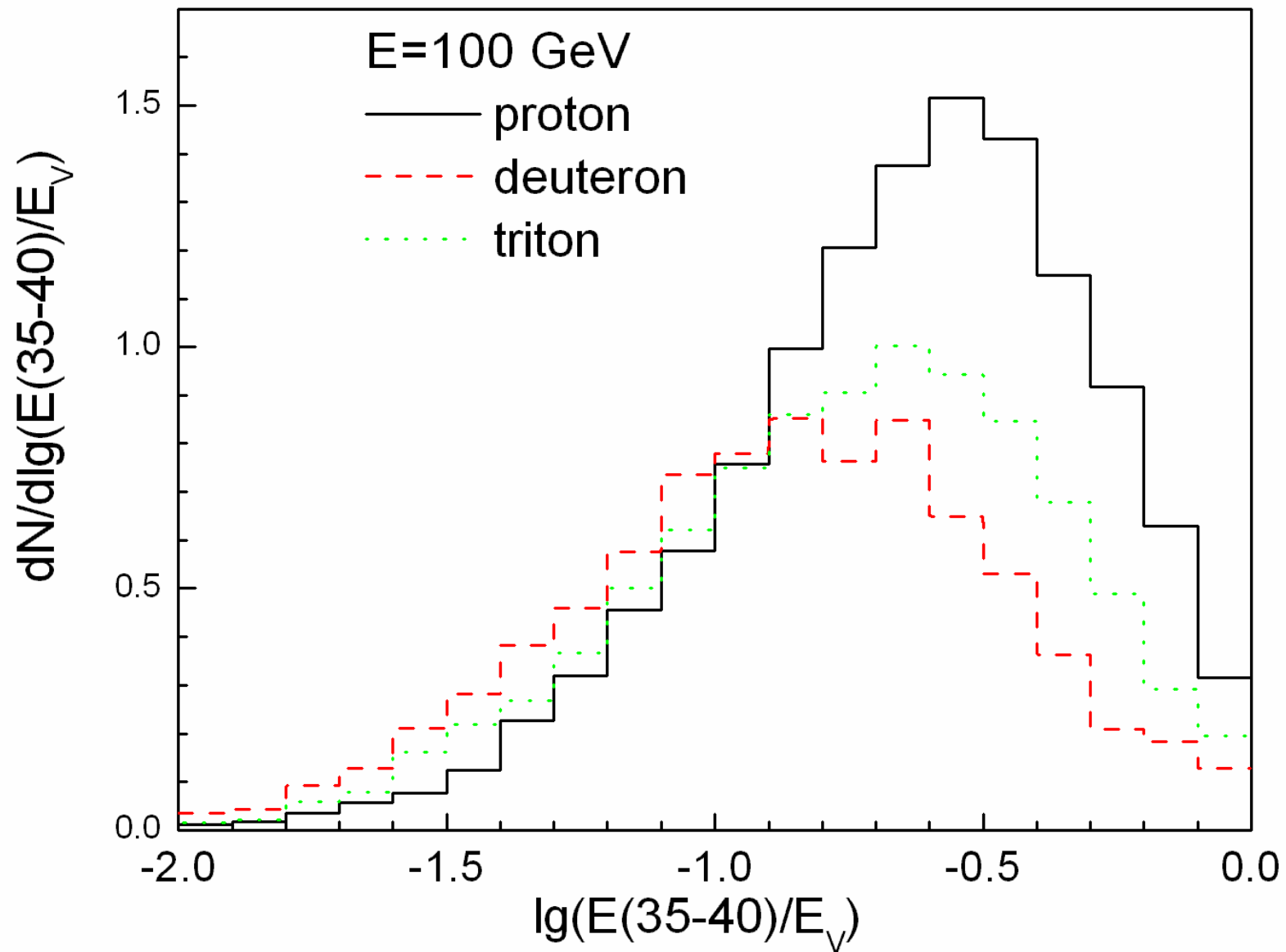
# Распределение по сигналу в слоях 1-6 (нормировано)



# Распределение по сигналу в максимуме



# Распределение по сигналу на «хвосте» каскада



# Нейронные сети

NeuroPro0.25      3 слоя по 10 нейронов

На входе: 10 значений сигнала в сцинтилляторе + номер слоя, в котором начинается каскад.

На выходе возможны 2 варианта:

- А) сортировка на 2 типа – протоны и сумма дейтронов и тритонов;
- Б) сортировка на 3 типа протоны, дейтроны и тритоны.

С помощью GEANT4 наиграно по 10000 протонов, дейтронов и тритонов с энергией 100 Гэв для обучения и столько же для тестирования

Рассмотрены 2 варианта

# Результаты использования нейронных сетей. Вариант А

Реальный тип частицы	Восстанов.	
	$p$	$d+T$
$p$	47%	53%
$d+T$	19%	81%

# Результаты использования нейронных сетей. Вариант Б

Реальный тип частицы		Восстанов.	
	p	d	T
p	53%	9%	38%
d	29%	13%	58%
T	21%	9%	70%



# Выводы

- По продольному развитию каскада при большой статистике возможно разделение изотопов водорода
- При этом проще выделить суммарный спектр дейтронов и тритонов на фоне спектра протонов
- Благодаря высокому геометрическому фактору ( $>16 \text{ m}^2\text{sr}$ ) аппаратура ОЛВЭ может обеспечить измерения потоков дейтронов и тритонов в широком энергетическом диапазоне без изменений конструкции
- Для повышения качества разделения компонент в дальнейшем планируется наиграть дополнительную статистику и использовать помимо продольного развития каскада его поперечные распределения.
- Возможно, в эксперименте СОКОЛ-2 наблюдались не только протоны и дейтроны, но и тритоны высоких энергий.

# Литература

- A.Turundaevskiy, D.Podorozhnyi. High energy deuterons in cosmic rays registered by the SOKOL satellite experiment. *Advances in Space Research* 59 (2017) 496–501
- D.M.Podorozhny, D.E.Karmanov, I.M.Kovalev, A.A.Kurganov, A.D.Panov, A.N.Turundaevsky. The HERO Project (High Energy Cosmic Ray Observatory): Objectives and Design Layout. *Physics of Atomic Nuclei*, 2024, Vol. 87, No. 3, pp. 151–159
- N.Tomassetti, Jie Feng. The Curious Case of High-energy Deuterons in Galactic Cosmic Rays. *The Astrophysical Journal Letters*, 835:L26 (5pp), 2017

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.