



Extraction of the light component of cosmic rays from TAIGA-IACT data

P. A. Volchugov^{a,b*}, A. P. Kryukova^a, E. O. Gres^{a,b}, A. P. Demichev^a, J. J. Dubenskaya^a, D. P. Zhurov^{a,b}, S. P. Polyakov^c, E. B. Postnikov^a, and A. Y. Razumova^a

^a Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Moscow State University, Moscow, 119991 Russia

^b Research Institute of Applied Physics, Irkutsk State University, Irkutsk, 664003 Russia

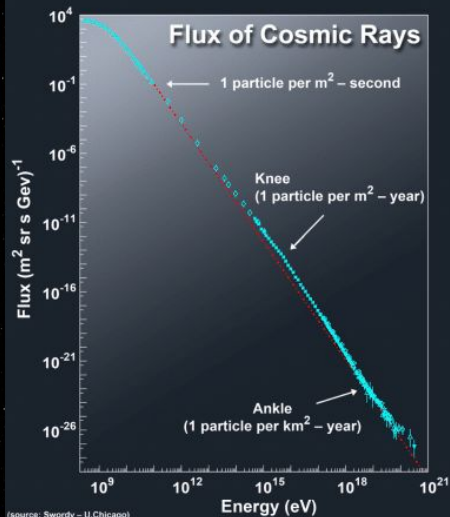
^c Institute for Informatics and Automation Problems, National Academy of Science of the Republic of Armenia, Yerevan, 0014 Republic of Armenia

*e-mail: pvol4@yandex.ru

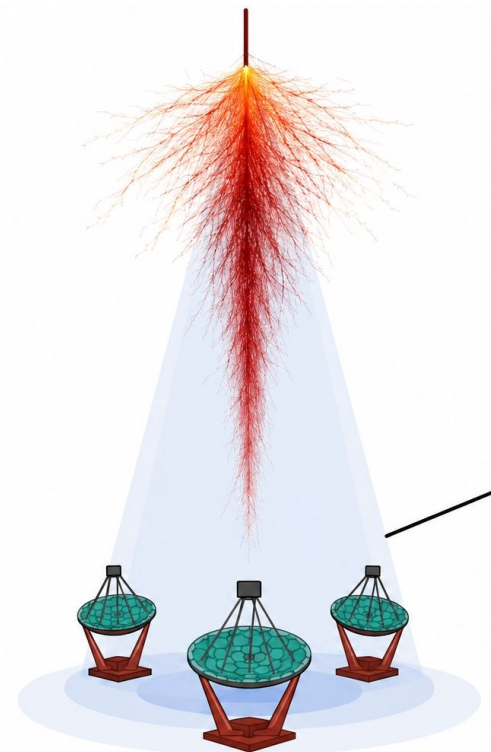
Moscow, Russia
06.07.2026

Что мы изучаем

В области энергий ПКЛ $10^{12} - 10^{14}$ эВ мало измерений, т.к. это переходная область от космических наблюдений к наземным.



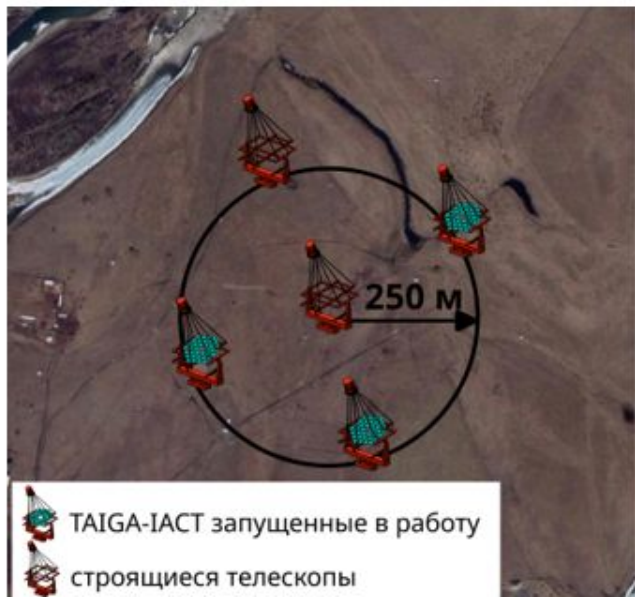
Наземная регистрация широкого атмосферного ливня



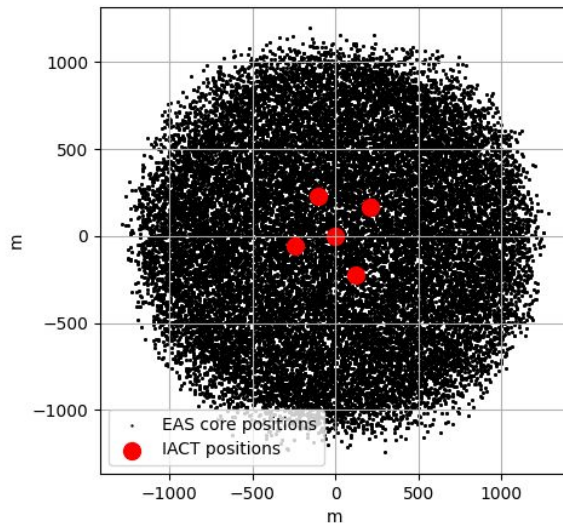
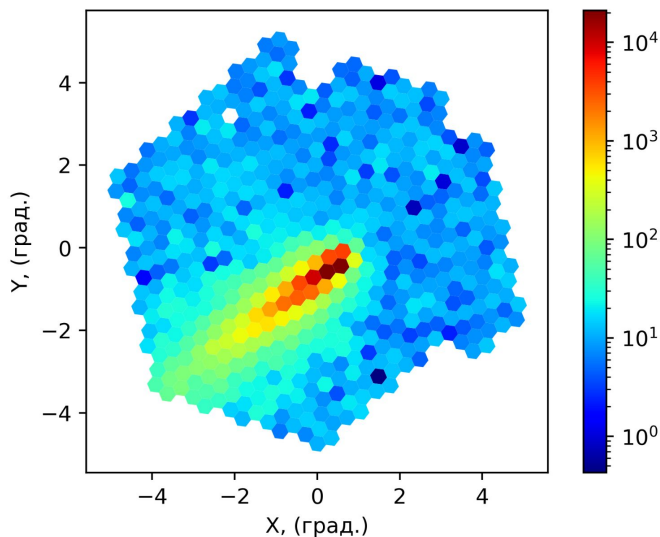
TAIGA - Tunka Advanced Instrument for cosmic ray physics and Gamma-ray Astronomy

Характеристики TAIGA-IACT

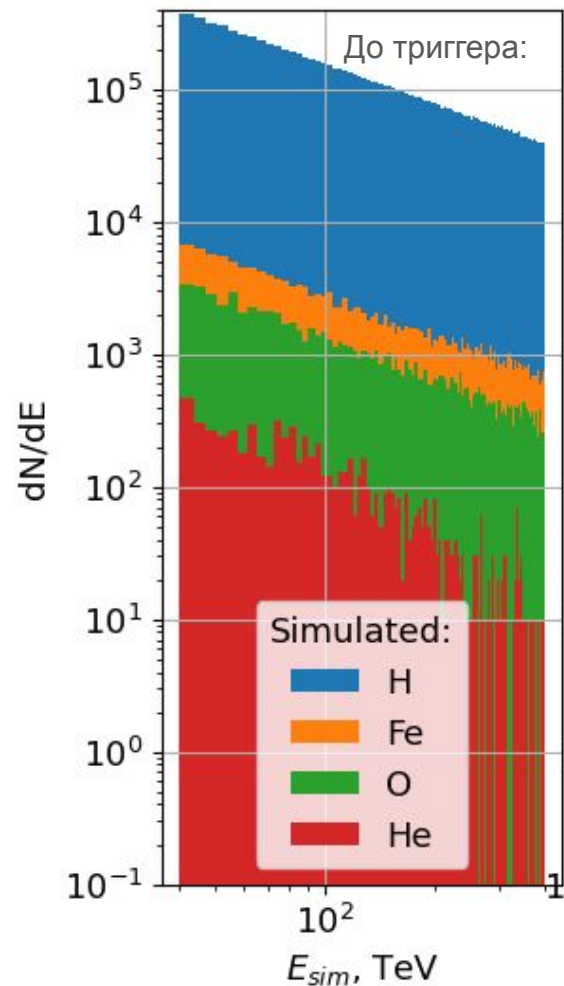
- Диаметр отражателя - 4.3 м;
- Широкий по сравнению с другими IACT угол обзора - 9.6° ;
- Размер одного пикселя - 0.36° ; Генерация триггера происходит при превышении амплитуды 10 ф.э. двумя соседними ФЭУ одного кластера.



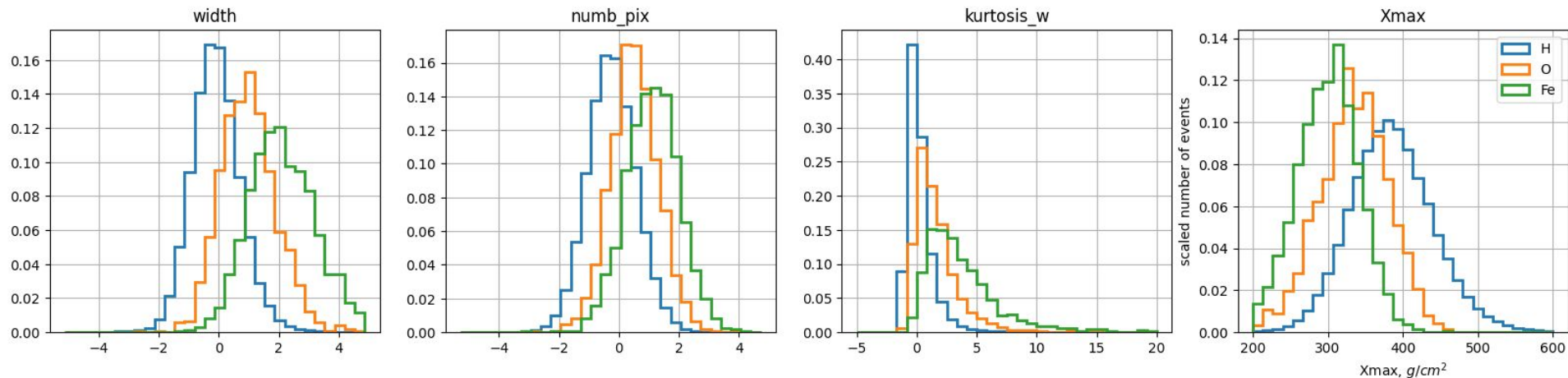
Моделирование



- С помощью CORSIKA были смоделированы адроны с энергией от 40 до 400 ТэВ. Частицы бросались на площади $\sim 3 \text{ км}^2$ вокруг центра установки в диапазоне зенитных углов $30\text{-}40^\circ$.
- Далее для событий выполнялось моделирование прохождения черенковских фотонов через оптическую систему телескопа и формирование триггера. События инициировавшие отклик детектора подвергались очистке двухпороговой tail-cut процедурой, аналогичной применяемой к экспериментальным событиям.

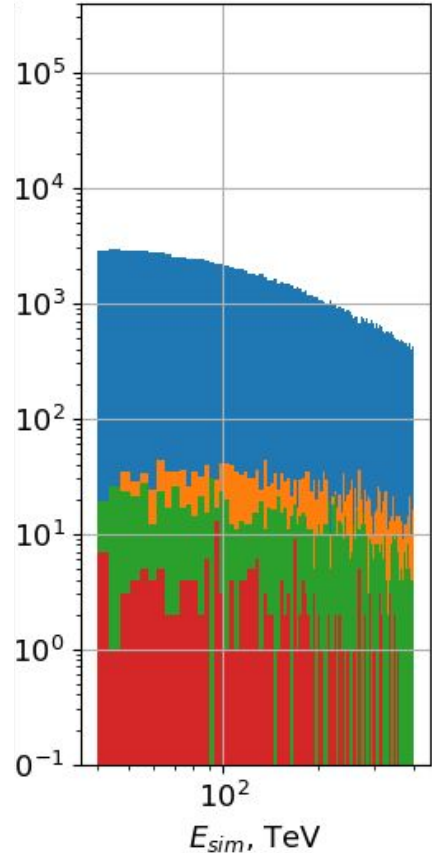


Разделение компонент



- Наблюдаемые изображения событий от разных ядер отличаются.
- Традиционный подход использующий глубину максимума развития ШАЛ для определения массового состава космический лучей может быть усилен путем учета других характеристик изображений.
- С помощью сверточной нейронной сети можно анализировать изображение целиком, не выделяя его отдельных параметров.

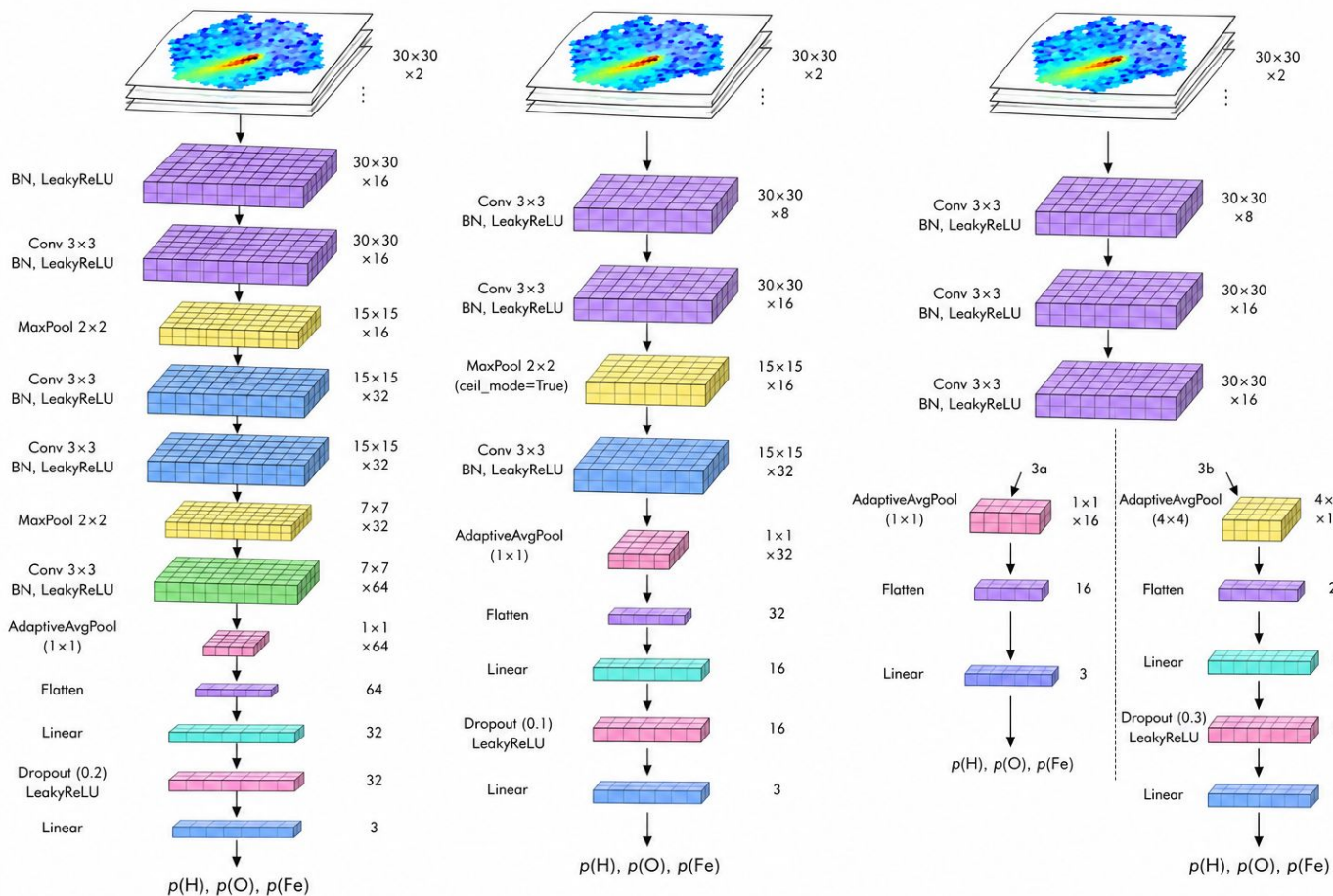
Обучающая и тестовая выборка



	H	He	O	Fe
train	7000	-	7000	7000
val	1500	-	1500	1500
test	1500	600	1500	1500

В качестве обучающей выборки использовались изображения от первичных ядер H, O, Fe. Для оценки точности классификации обученная модель применялась к тестовой выборке ядер, дополненной ядрами гелия.

Архитектура модели



- Протестированы 4 модели на 37.5k, 6.6k, 3.7k и 12k параметров соответственно.

- Loss функция - кросс-энтропия.

- Для инференса использовалась модель на 12k параметров с AvgPool2d(4x4).

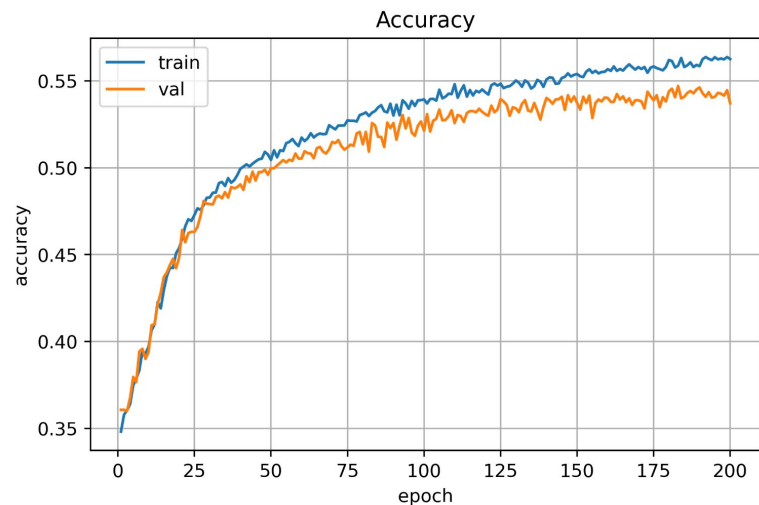
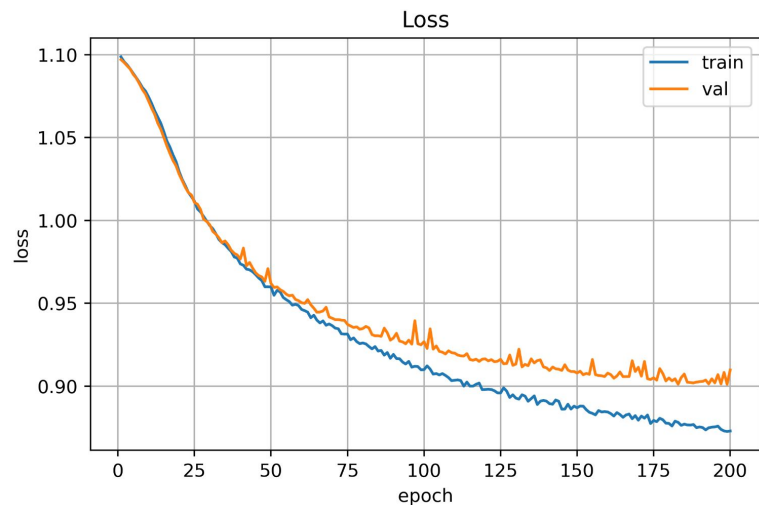
Оценка качества классификации

$$L = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln p_{iy_i}, \quad p_{ic} = \frac{e^{z_{ic}}}{\sum_k e^{z_{ik}}}$$

$$\text{Accuracy} = \frac{N_{\text{correct}}}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{1}(\arg \max_c z_{ic} = y_i)$$

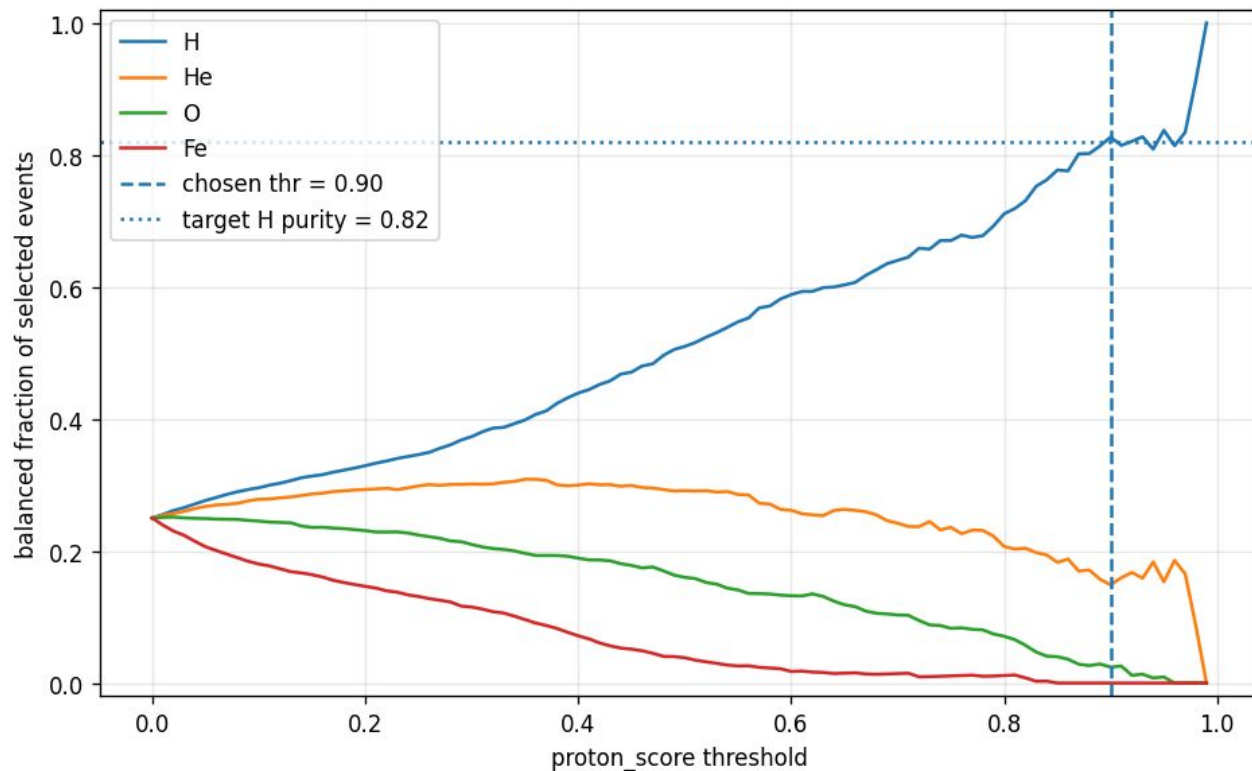
Loss показывает, насколько хорошо модель назначает высокую вероятность правильному классу.

Accuracy показывает долю событий, для которых класс с максимальным выходом сети совпал с истинным классом.



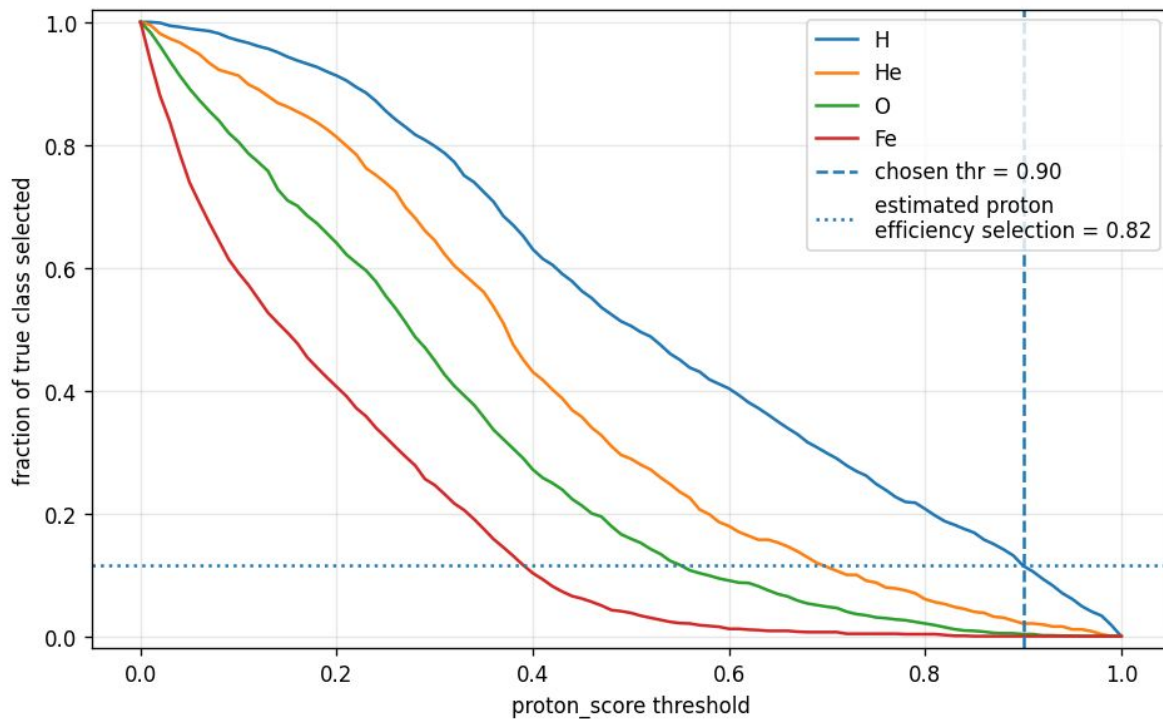
Purity

- доля каждого класса в финальной выборке
- в качестве целевого значения используется 82% содержания протонов в выборке



Efficiency

- доля каждого класса в финальной выборке относительно исходного числа событий этого класса
- при purity=82% достигается efficiency для протонов 11.5%



Summary

- Проведено моделирование ШАЛ от 4 типов ядер первичных космических лучей;
- Протестировано 4 варианта архитектуры сверточных нейронных сетей;
- Выполнена оценка качества классификации. При целевой purity для протонов 82% достигается 11.5% efficiency.

*Аналогичные характеристики в задаче выделения легкой компоненты обсерваторией LHAASO: purity: 85%, efficiency: 25%

Спасибо за внимание