

Отчет по НИРС на тему:
Выделение событий от одиночных мюонов по данным атмосферных черенковских телескопов TAIGA-AIST

Студент M24-114: Горбунов Д.С.
Руководитель работы: Волчугов П.А.

Место выполнения: МГУ имени М.В. Ломоносова,
Научно-исследовательский институт ядерной физики имени
Д.В. Скобельцына, Лаборатория наземной гамма-астрономии

Содержание презентации

- 1) Цель и основные задачи работы
- 2) Актуальность работы
- 3) Гамма-обсерватория TAIGA
- 4) Расчёт предельного черенковского угла
- 5) Теоретическое определение радиуса черенковского кольца
- 6) Расчёт плотности распределения фотонов в кольце
- 7) Аппроксимация черенковских колец окружностями
- 8) Применение матрицы поворота
- 9) Построение распределения радиусов черенковских колец
- 10) Заключение

Цель работы:

Реализовать алгоритм для выделения событий от одиночных мюонов по данным атмосферных черенковских телескопов TAIGA-AICT.

Основные задачи:

- 1) Ознакомиться с методикой наземной регистрации космических лучей и гамма-квантов высоких энергий, посредством атмосферных черенковских телескопов;
- 2) Изучить реализованный в TAIGA подход к выделению одиночных мюонов по форме регистрируемых изображений;
- 3) Применить данный подход к смоделированному набору данных и сравнить полученные значения радиусов мюонных колец с теоретически рассчитанным.

Актуальность

Наземная гамма-астрономия регистрирует гамма-кванты косвенным методом - через черенковское излучение ШАЛ. Телескопы способны измерять потоки фотоэлектронов, но не фотонов. Таким образом, чтобы достоверно измерить энергию первичных частиц, необходимо знать точную связь числа черенковских фотонов с числом зарегистрированных фотоэлектронов. Одиночные мюоны позволяет установить эту связь, так как с помощью них возможно посчитать число испущенных фотонов и число зарегистрированных и таким образом оценить искомую пропускную способность.

Гамма-обсерватория TAIGA

$$D = 2,15 \text{ м}$$

$$f = 4,75 \text{ м}$$

$$h = 700 \text{ м}$$

$$N_{\text{клст}} = 22$$

$$N_{\text{фэу}} = 28$$

$$D_{\text{пкс}} = 3 \text{ см}$$



Фотография телескопа в эксперименте TAIGA

Расчёт предельного черенковского угла

$$n = 1 + 2,9 * 10^{-4} * e^{-\frac{h}{7,1 \text{ км}}} = 1,0002614$$

$$E_{min} = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{1}{n^2}}} = 4,6 \text{ ГэВ}$$

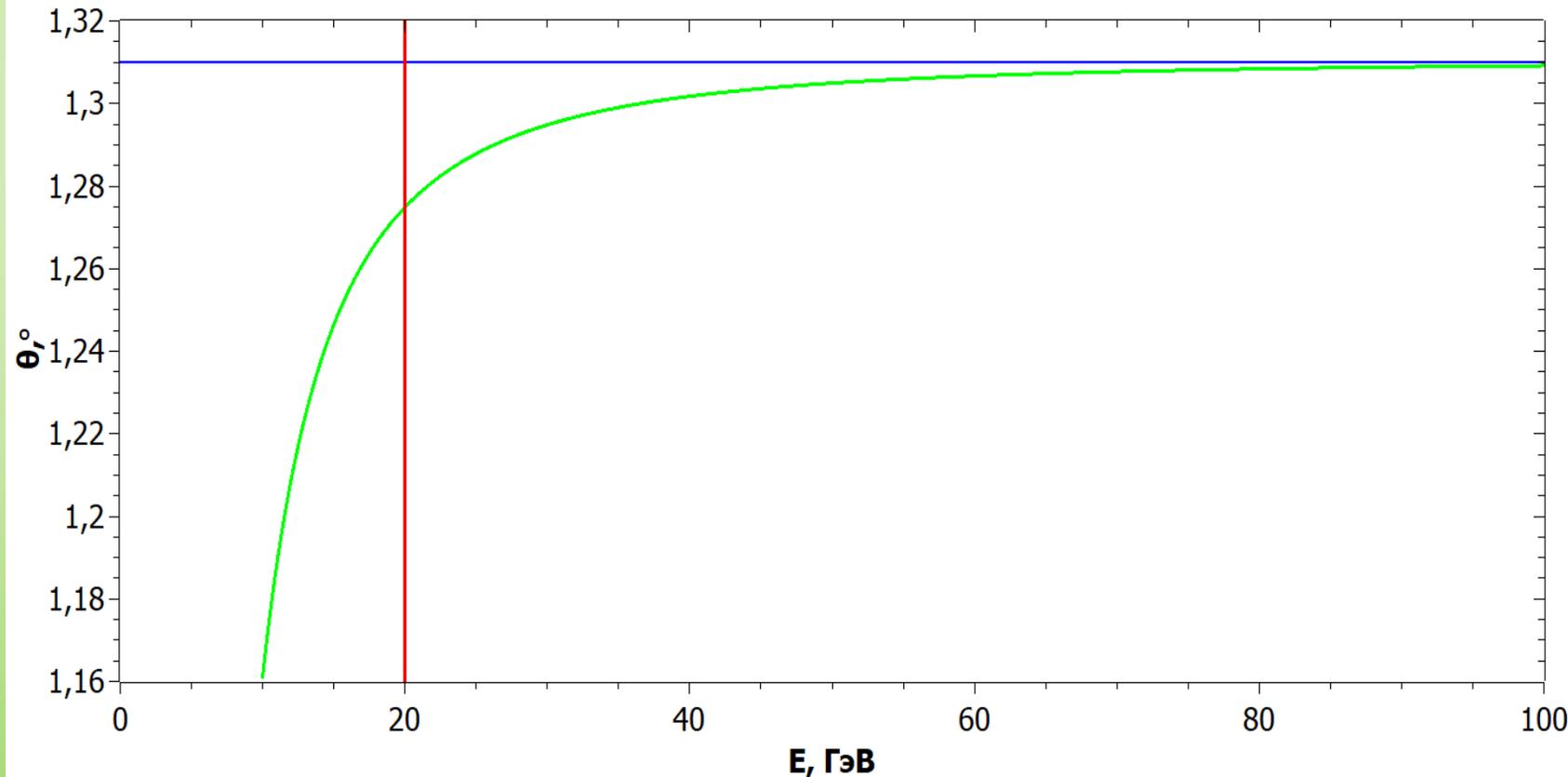
$$\cos \theta = \frac{1}{n\beta} = \frac{1}{n\sqrt{1 - \left(\frac{E_0}{E}\right)^2}}$$

$$\theta = \arccos \frac{1}{n\sqrt{1 - \left(\frac{E_0}{E}\right)^2}}$$

$$\theta_{пр} = \arccos \frac{1}{n} = 1,31^\circ$$

$$E_{const} \approx 20 \text{ ГэВ}$$

Зависимость черенковского угла от энергии мюона



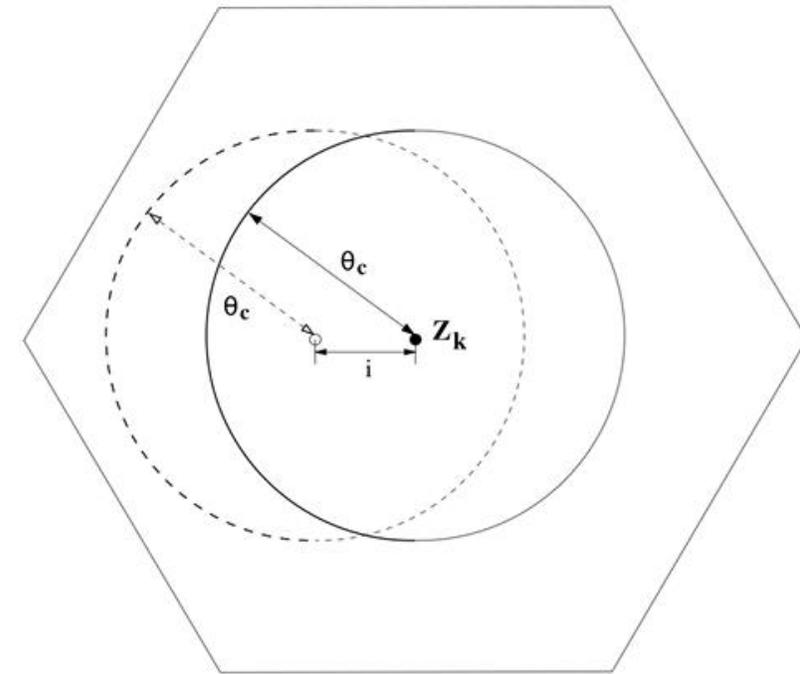
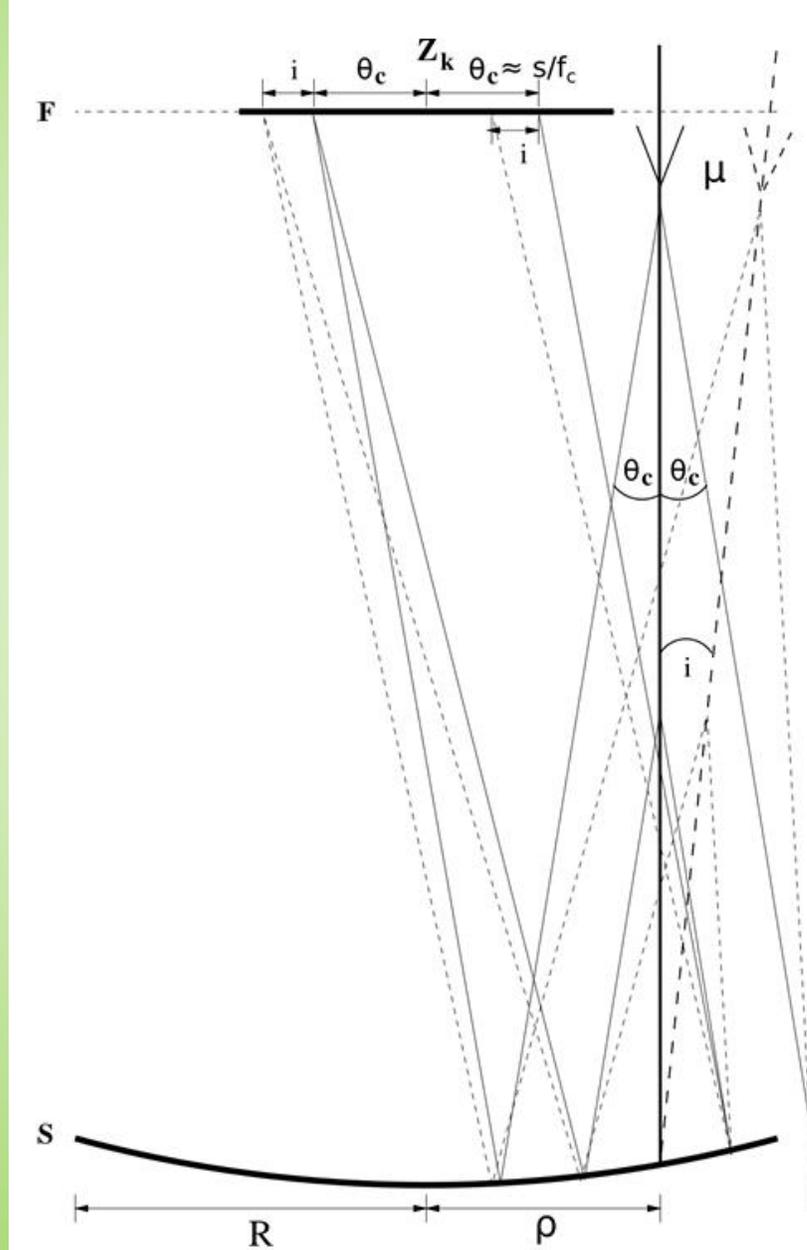
Теоретическое определение радиуса черенковского кольца

$$\frac{s}{\sin \theta} = \frac{f}{\sin \left(\frac{\pi}{2} - \theta \right)}$$

$$\frac{s}{\theta} \approx f$$

$$\theta \approx \frac{1}{f} s$$

$$k_f = 0,1206^\circ/\text{см}$$



Расчёт плотности распределения фотонов в кольце

$$\frac{dN}{dl} = 2\pi\alpha \sin^2 \theta \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \frac{\eta(\lambda)}{\lambda^2} d\lambda =$$

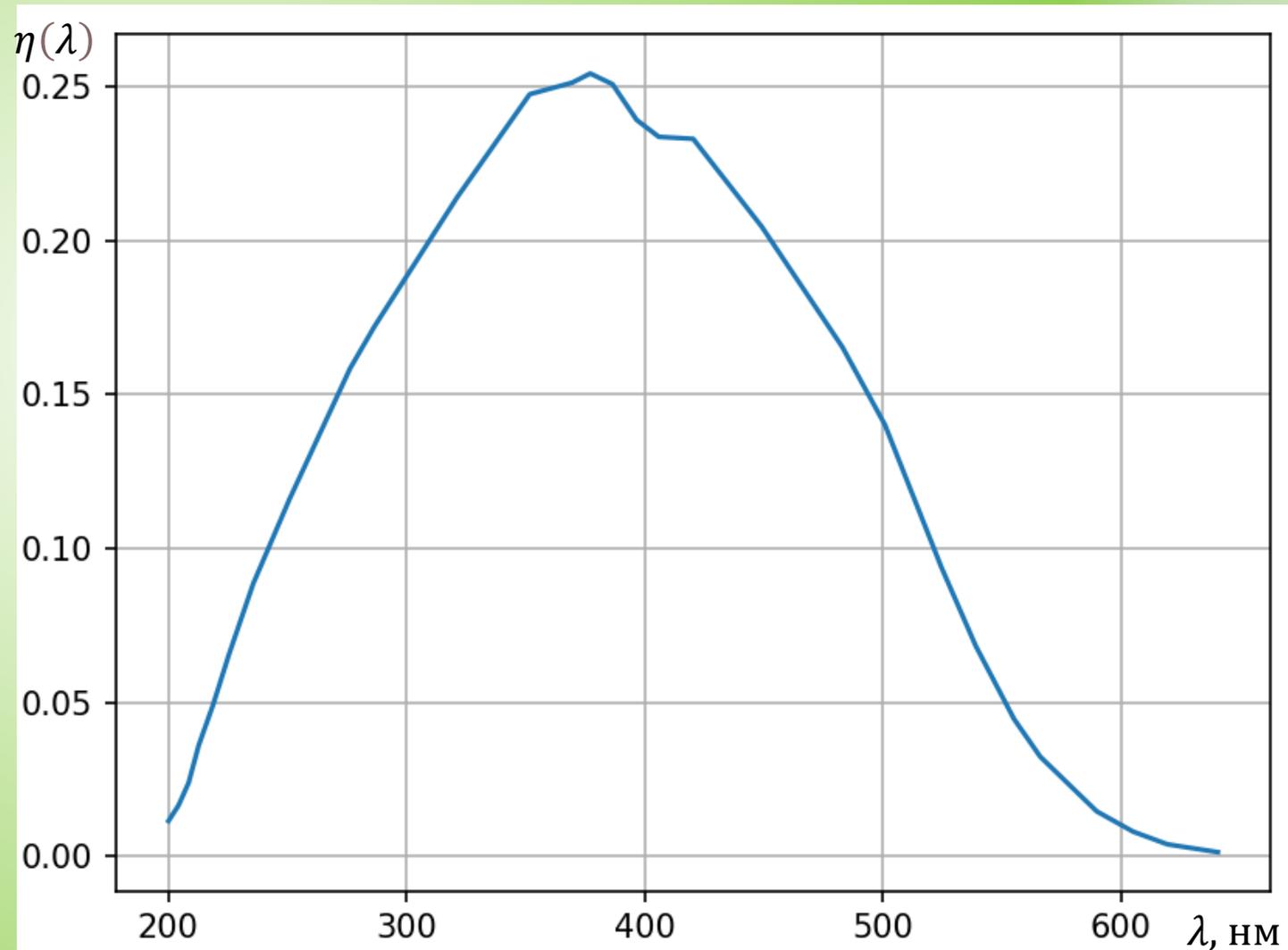
$$= 11,1 \frac{\text{ФОТОНОВ}}{\text{М}}$$

$$h = \frac{D}{\text{tg } \theta} = 94 \text{ м}$$

$$N = \frac{dN}{dl} * h = 1043 \text{ фотона}$$

$$P = \frac{2\pi r}{\omega} = 22,85 \text{ пикселя}$$

$$\rho = \frac{N}{P} = 46 \frac{\text{ФОТОНОВ}}{\text{ПИКСЕЛЯ}}$$

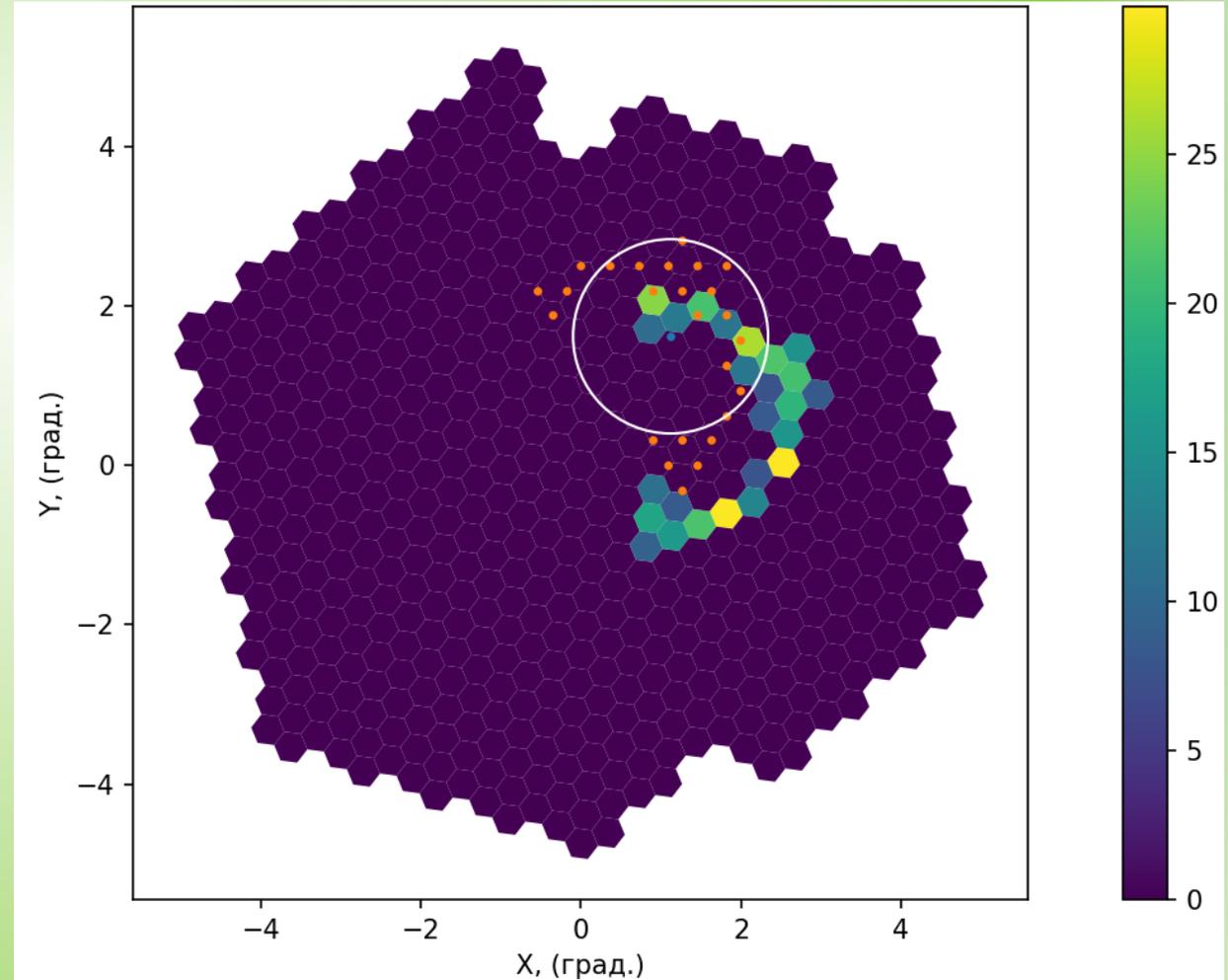
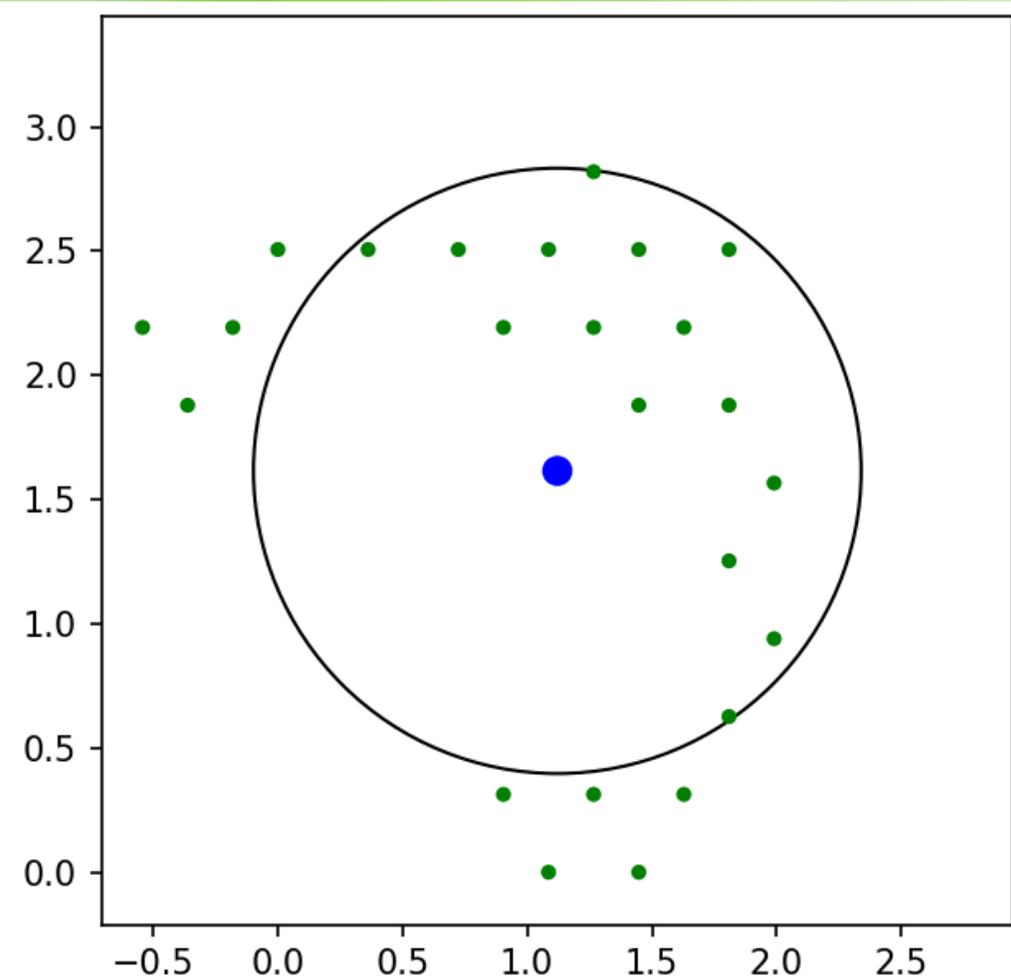


Аппроксимация черенковских колец окружностями

$$x_c = \frac{\sum_i N_i x_i}{\sum_i N_i} = 9,29 \text{ см} = 1,12^\circ$$

$$y_c = \frac{\sum_i N_i y_i}{\sum_i N_i} = 13,40 \text{ см} = 1,62^\circ$$

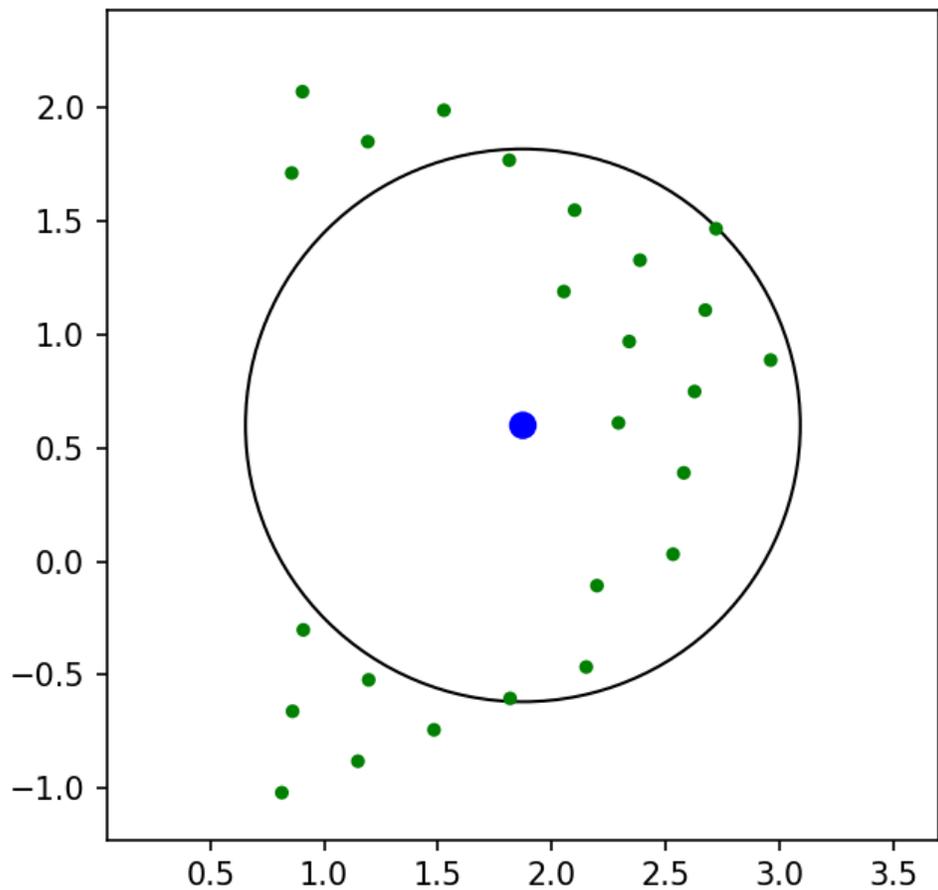
$$R = \sqrt{\frac{\sum_i N_i ((x_c - x_i)^2 + (y_c - y_i)^2)}{\sum_i N_i}} = 10,1 \text{ см} = 1,22^\circ$$



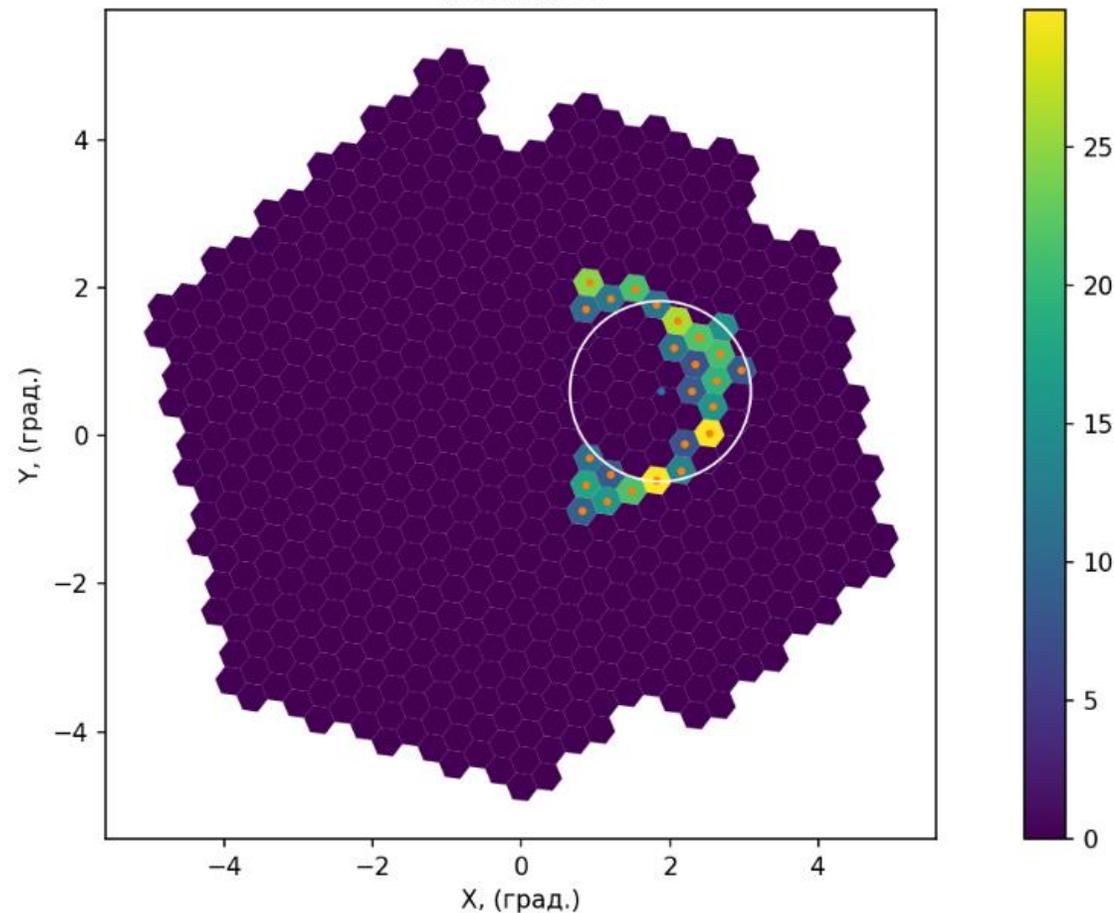
Применение матрицы поворота

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos 37^\circ & -\sin 37^\circ \\ \sin 37^\circ & \cos 37^\circ \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

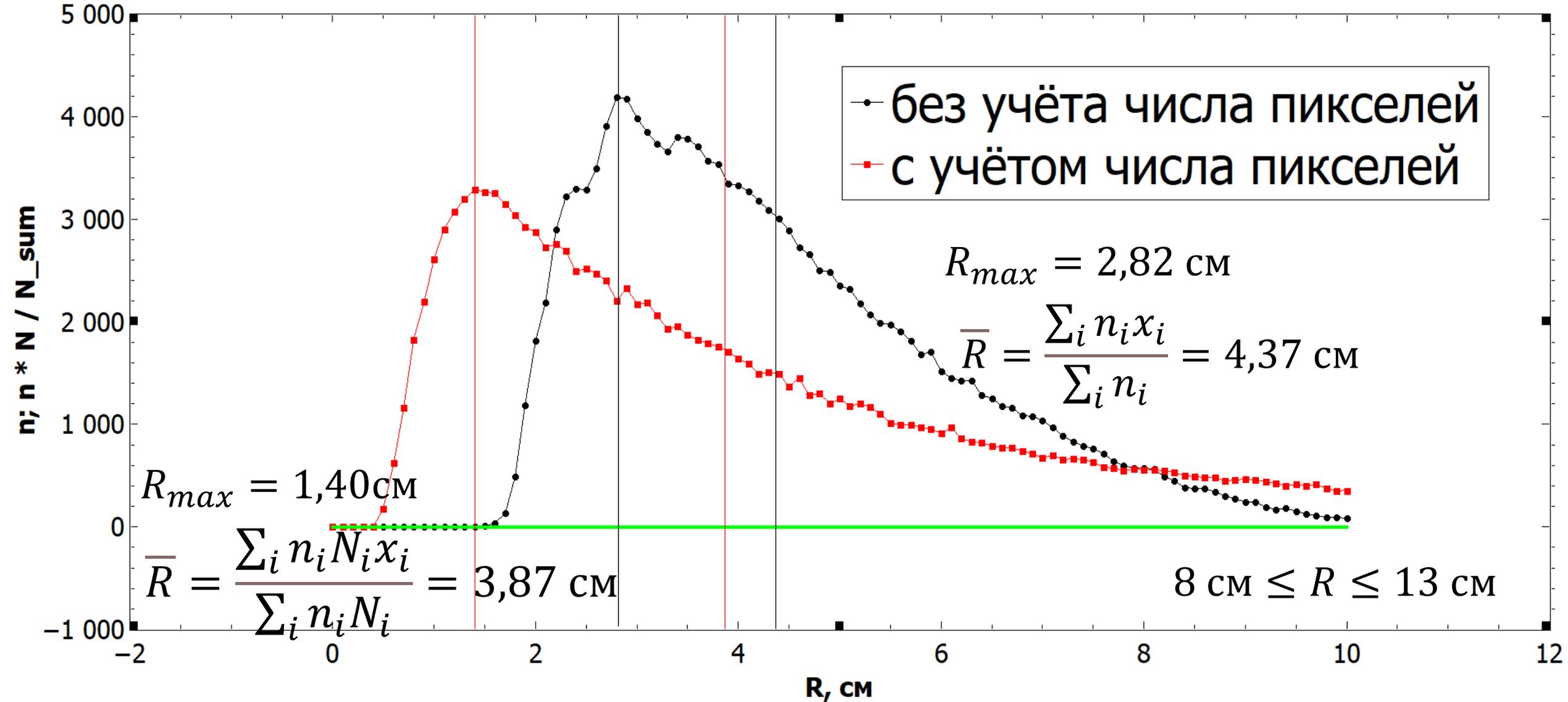
Circle3



TAIGA-IACT



Построение распределения радиусов черенковских колец



Заключение

В данной работе:

- был частично реализован алгоритм для первичного выделения событий от одиночных мюонов в эксперименте TAIGA;
- был произведён расчёт линейной плотности потока черенковских фотонов;
- был изучен подход к выделению одиночных мюонов по форме регистрируемых изображений и применён к смоделированному набору данных, что позволило сравнить полученные значения радиусов мюонных колец с теоретически рассчитанным.

Список использованной литературы

- [1] Atwood W. B., Abdo A. A., Ackermann M. et al. The Large Area Telescope on the Fermi Gamma-ray Space Telescope Mission // The Astrophysical Journal. — 2009. — May. — Vol. 697, no. 2. — P. 1071–1102. — Access mode: <https://doi.org/10.1088/0004-637x/697/2/1071>.
- [2] Hinton J. The status of the HESS project // New Astronomy Reviews. — 2004. — Apr. — Vol. 48, no. 5-6. — P. 331–337. — Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.newar.2003.12.004>.
- [3] Cortina J. Highlights of the MAGIC telescopes // International Cosmic Ray Conference. — Vol. 11 of International Cosmic Ray Conference. — 2011. — Jan. — P. 147. — 1110.4747.
- [4] Perkins J. S., Maier G., The VERITAS Collaboration. VERITAS Telescope 1 Relocation: Details and Improvements // arXiv e-prints. — 2009. — Dec. — P. arXiv:0912.3841. — 0912.3841.
- [5] Acharya B., Actis M., Aghajani T. et al. Introducing the CTA concept // Astroparticle Physics. — 2013. — Mar. — Vol. 43. — P. 3–18. — Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.astropartphys.2013.01.007>.
- [6] Hassan T., Arrabito L., Bernlör K. et al. Second large scale Monte Carlo study for the Cherenkov Telescope Array // 34th International Cosmic Ray Conference (ICRC2015). — Vol. 34 of International Cosmic Ray Conference. — 2015. — Jul. — P. 971. — 1508.06075.