



Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Интенсивность потока мюонов космических лучей под большими зенитными углами

Научно-образовательный центр
НЕВОД



Работу выполнила

Пономарева Н.В., Б18-102

Научный руководитель:

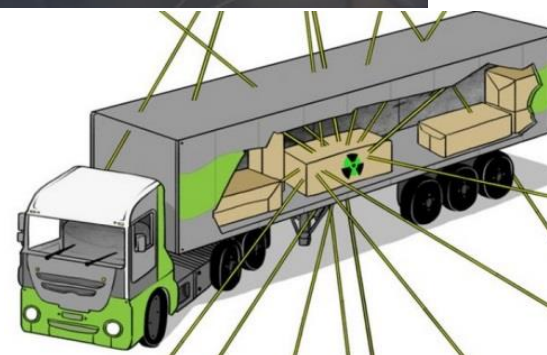
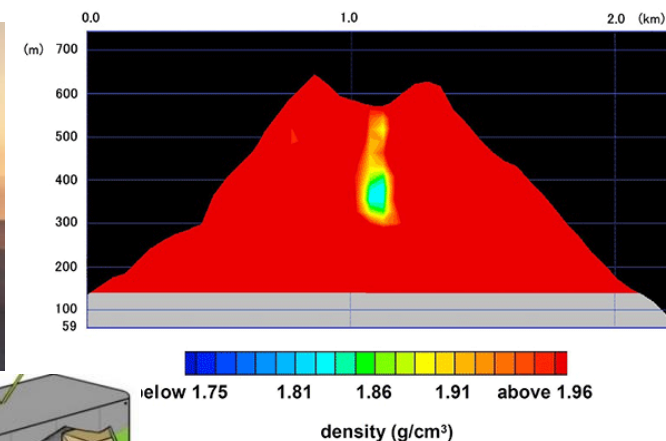
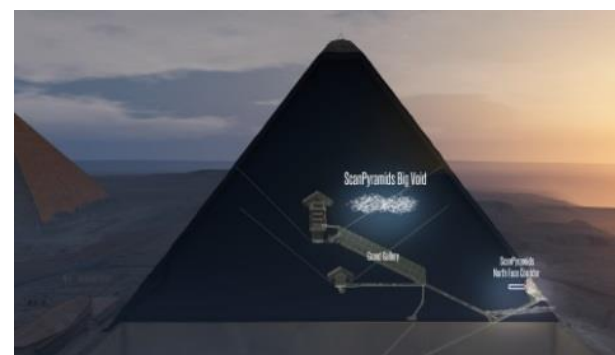
к.ф.-м.н. Дмитриева А.Н.

Актуальность

Интегральная интенсивность потока мюонов позволяет оценить, сколько времени потребуется для получения оптимального количества событий в различных экспериментах с мюонными детекторами с учетом их размеров и светосилы.

В настоящее время мюонная томография применяется в различных исследованиях:

- картирование внутренней структуры вулканов,
- геологические исследования (например, мониторинг подземных вод, особенно в районах, подверженных оползням и сильным осадкам),
- поиск «тайных комнат» в древних архитектурных объектах,
- мюонография расположения ядерного топлива в реакторах,
- предотвращение несанкционированного перемещения тяжелых делящихся веществ.



Супермодули координатного детектора ДЕКОР

Интенсивность потока мюонов

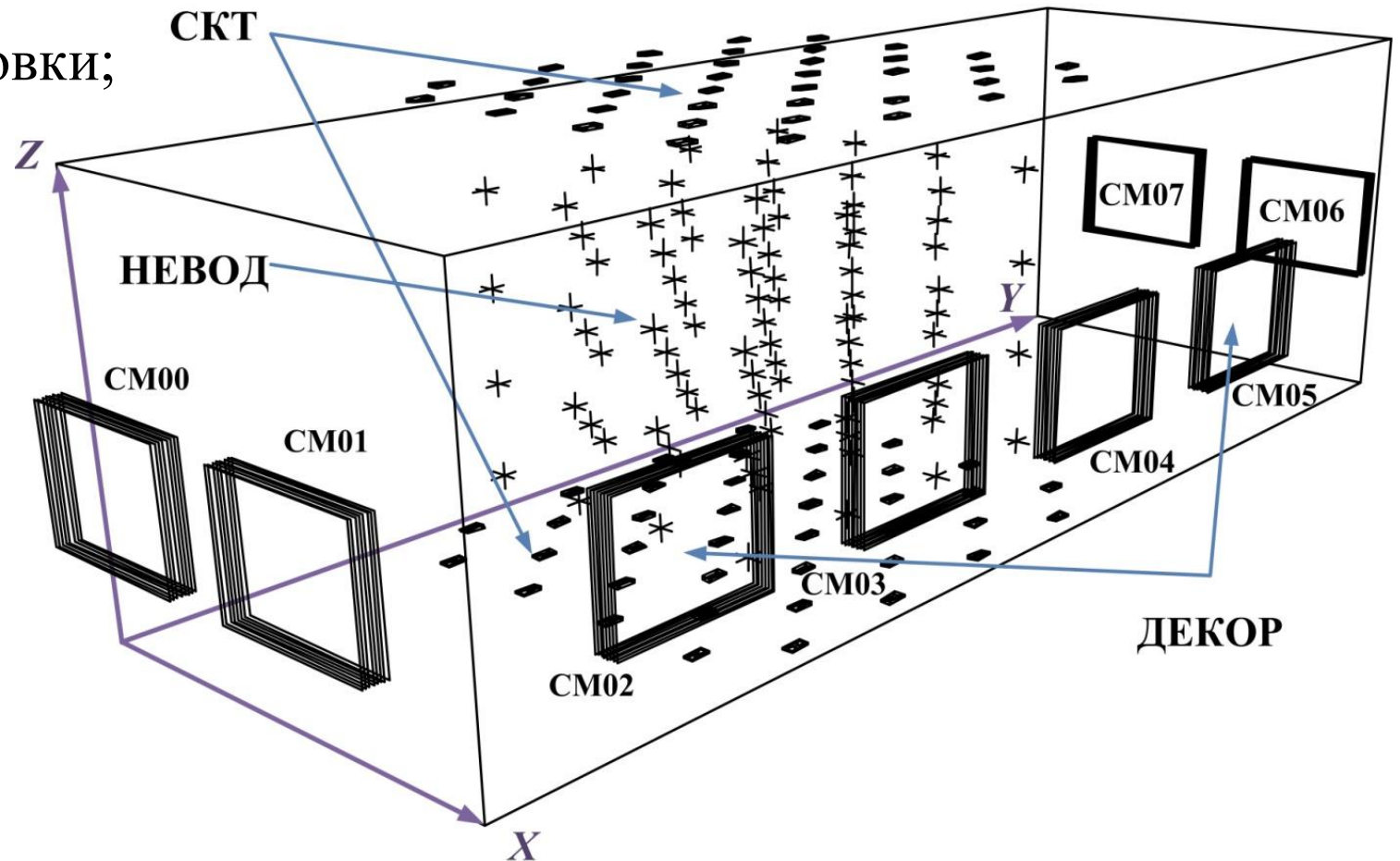
$$I(\theta, \varphi, E_{\min}) = \frac{N(\theta, \varphi, E_{\min})}{T \cdot \varepsilon_{CM1} \cdot \varepsilon_{CM2} \cdot S\Omega(\theta, \varphi, E_{\min})}$$

$N(\theta, \varphi, E_{\min})$ – число событий, зарегистрированных в данных угловых и энергетических интервалах;

T – «живое» время работы установки;

$\varepsilon_{CM1,2}$ – коэффициенты, учитывающие эффективность срабатывания отдельных супермодулей пары;

$S\Omega(\theta, \varphi, E_{\min})$ – светосила установки, с учетом эффективности регистрации и реконструкции треков.



Расчет светосилы установки методом Монте-Карло

Светосила: $S\Omega = \iiint S(\theta, \varphi) d\Omega(\theta, \varphi)$

$S(\theta, \varphi)$ —площадь, которую «видит» трек, летящий под зенитным углом θ и азимутальным углом φ , $d\Omega = \sin\theta d\theta d\varphi = -d\cos\theta d\varphi$ — элемент телесного угла

Розыгрыш точки:

$$X_{сл} = X_{min} - \gamma \cdot (X_{min} - X_{max}),$$

$$Y_{сл} = A \cdot X_{сл} + B,$$

$$Z_{сл} = Z_{min} + \gamma \cdot (Z_{max} - Z_{min}).$$

Розыгрыш азимутального угла:

$$\varphi_{сл} = \varphi_{min} + \gamma \cdot (\varphi_{max} - \varphi_{min}),$$

γ - базовая случайная величина

Розыгрыш зенитного угла:

$$\int_{\theta_{min}}^{\theta_{max}} \frac{\sin(\theta) d\theta}{\cos(\theta_{min}) - \cos(\theta_{max})} = \gamma, \quad \gamma \leftarrow \begin{array}{c} x \\ \uparrow \\ y \end{array}$$

$$\gamma = \frac{\cos(\theta_{min}) - \cos(\theta_{сл})}{\cos(\theta_{min}) - \cos(\theta_{max})},$$

$$\theta_{сл} = \arccos(\cos(\theta_{min}) - \gamma \cdot (\cos(\theta_{min}) - \cos(\theta_{max}))).$$

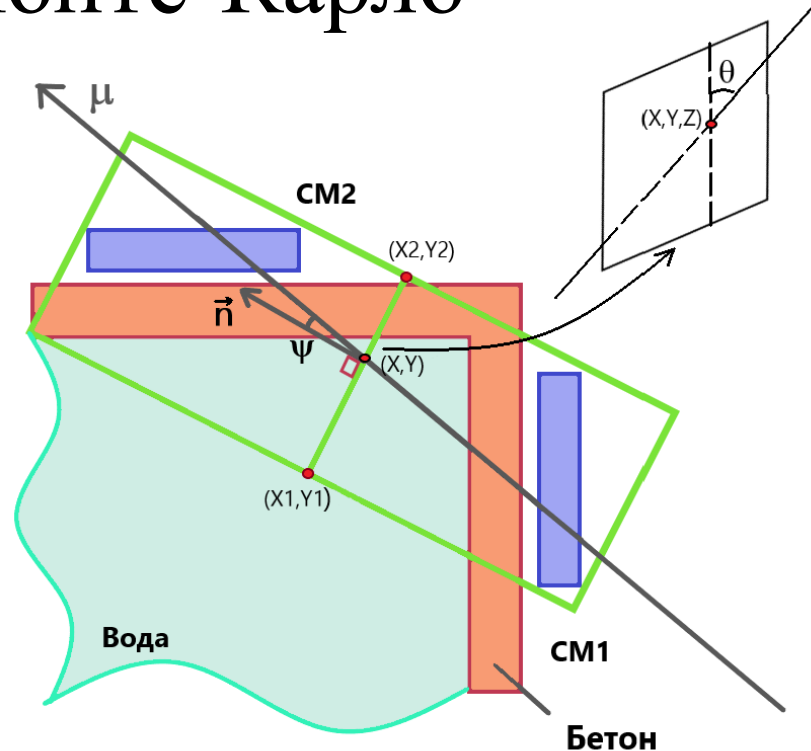


Схема вычисления светосилы пары CM01-CM02

Условия срабатывания СМ:

- условие BOUND: трек должен пройти не ближе 4 см от края СМ;
- учет внутренней структуры СМ: трек регистрируется СМ, если пройдет через внутренний объем работающей трубки, а не через холдер или зазор между трубками.

Если в каждом СМ срабатывает не менее двух четных и не менее двух нечетных плоскостей, а в сумме – не менее пяти, тогда считается, что частица зарегистрирована установкой.

Светосила:

$$S\Omega(\theta_i, \varphi_i, E_{\min_i}) = \frac{N_{reg}(\theta_i, \varphi_i, E_{\min_i}) \cdot S_{plane} \cdot \Delta\varphi \cdot \Delta\cos(\theta) \cdot \cos(\widehat{\vec{n}, \vec{r}})}{N_{total}},$$

$N_{reg}(\theta_i, \varphi_i, E_{\min_i})$ – количество треков частиц, зарегистрированных парой СМ с учетом выполнения условий срабатывания СМ;

S_{plane} – площадь плоскости;

$\Delta\varphi$ – разность между максимальным и минимальным азимутальными углами для каждой пары СМ;

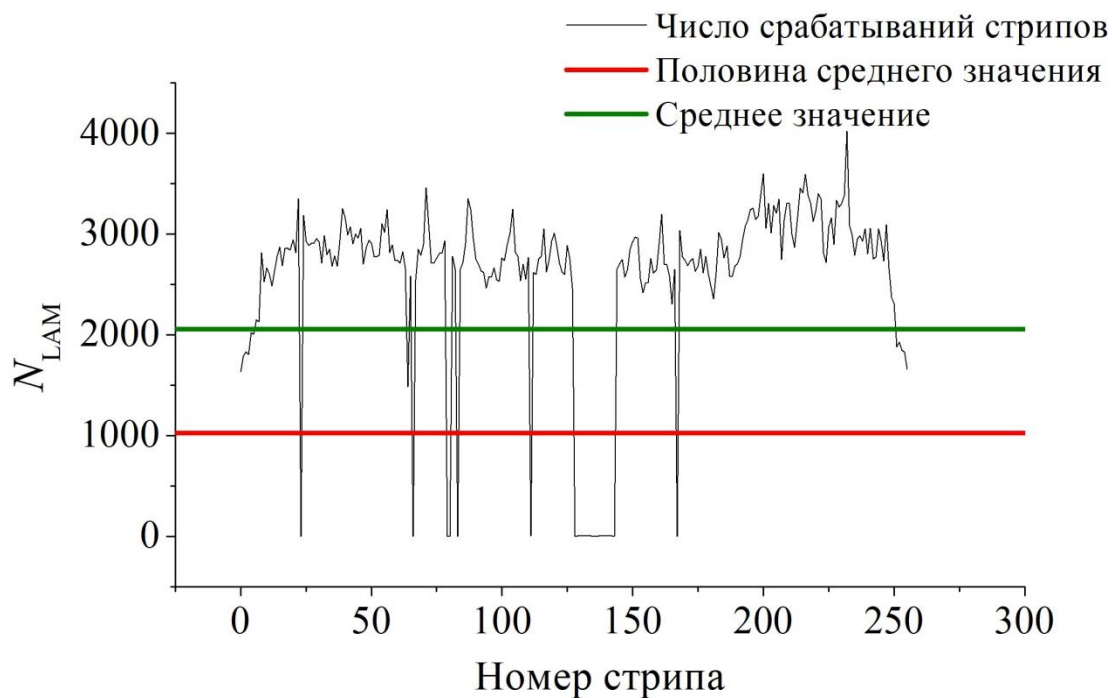
$\Delta\cos\theta$ – разность косинусов минимального и максимального зенитных углов для каждой пары СМ;

$\cos(\widehat{\vec{n}, \vec{r}})$ – косинус угла между направлением трека и нормалью к плоскости;

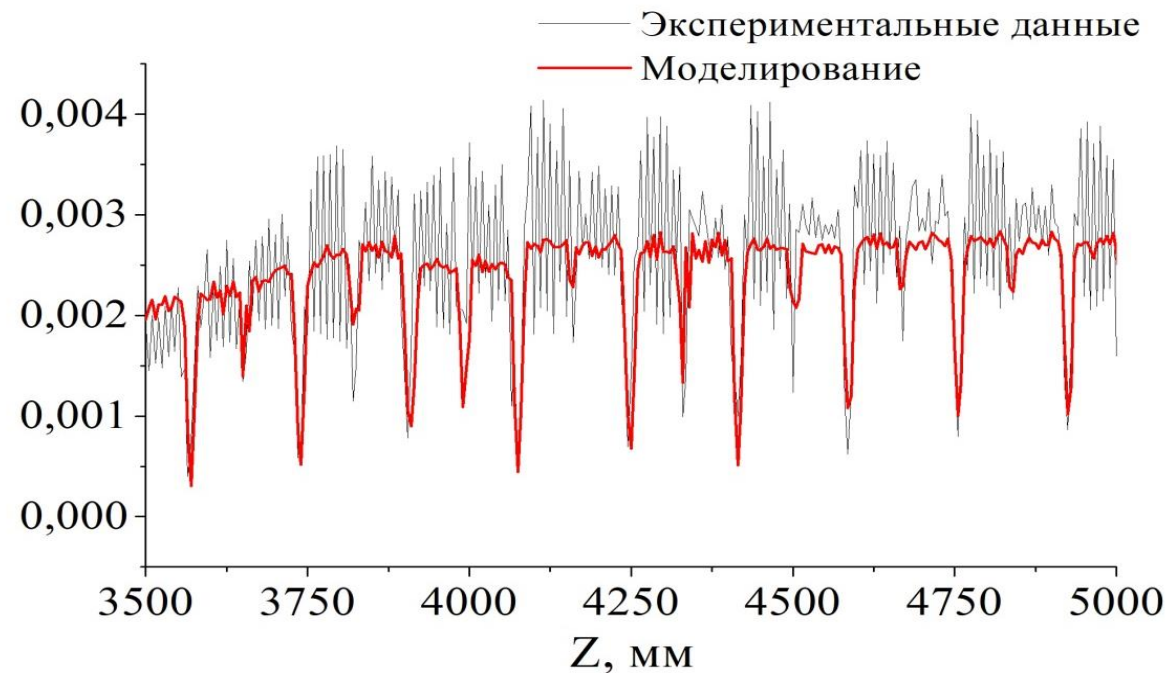
N_{total} – количество промоделированных треков частиц.

Проверка введения учета внутренней структуры

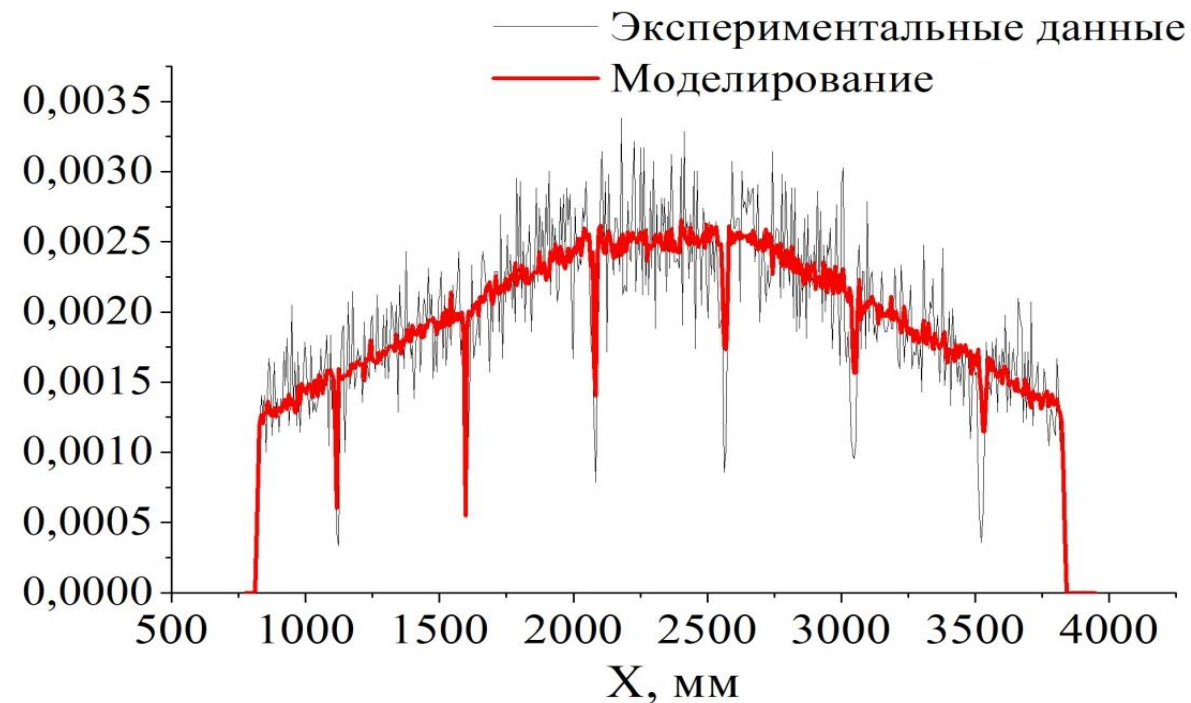
Учет отключенных полукамер



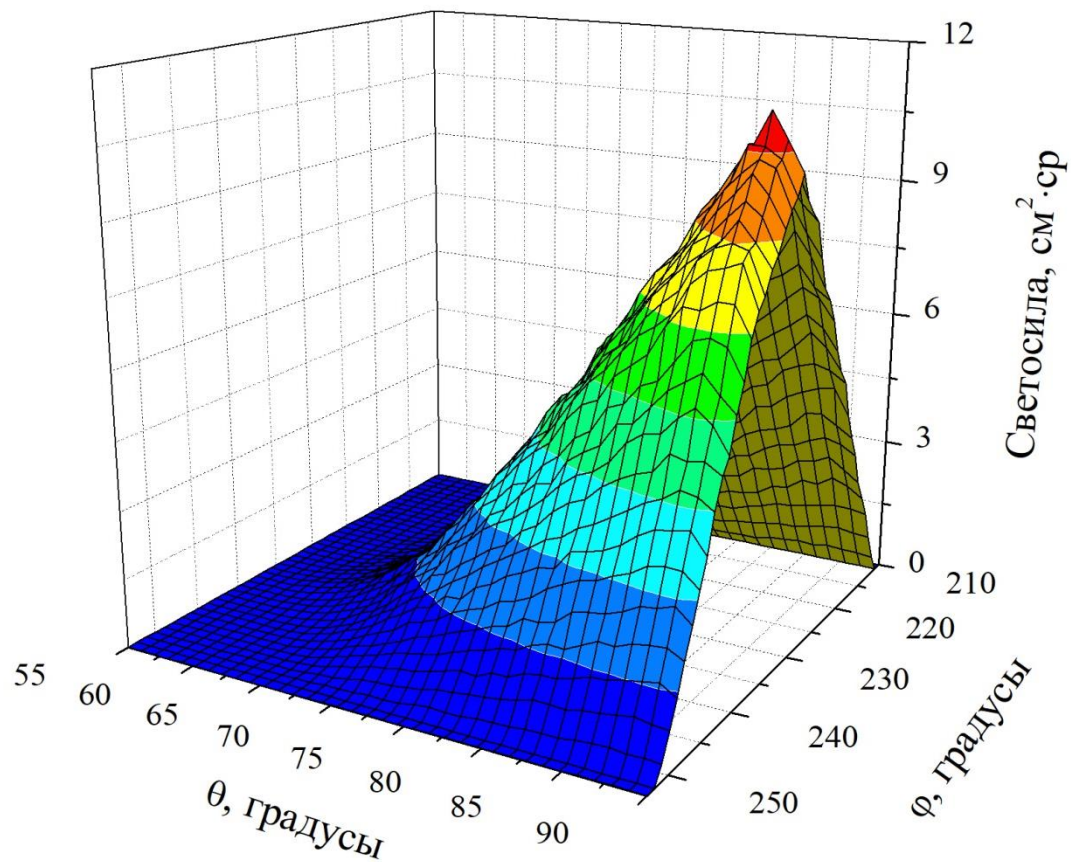
Нормированное количество треков



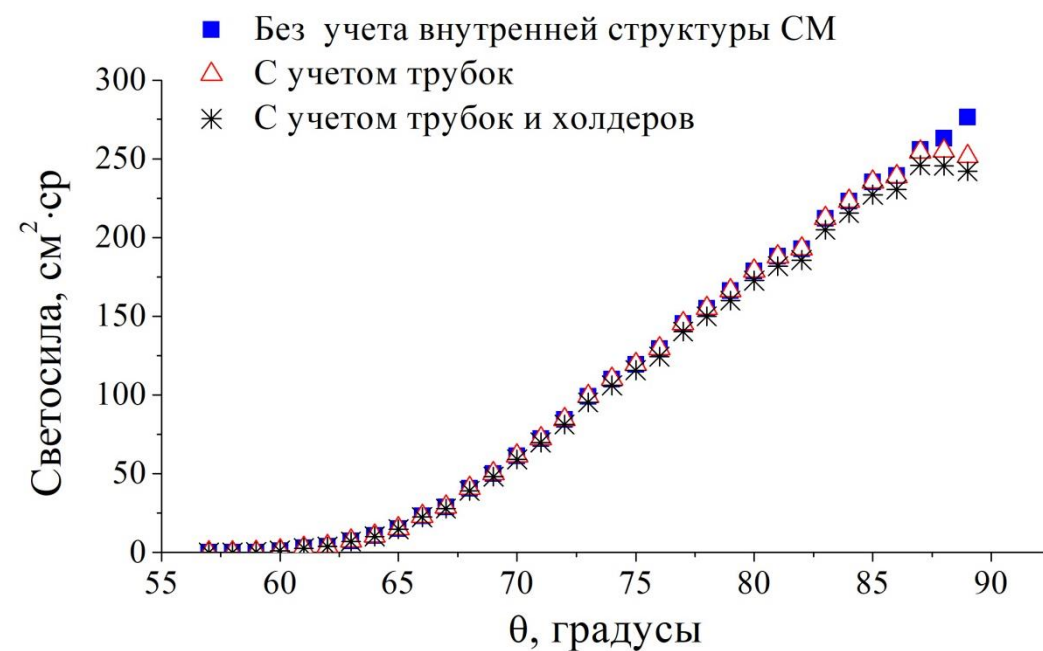
Нормированное количество треков



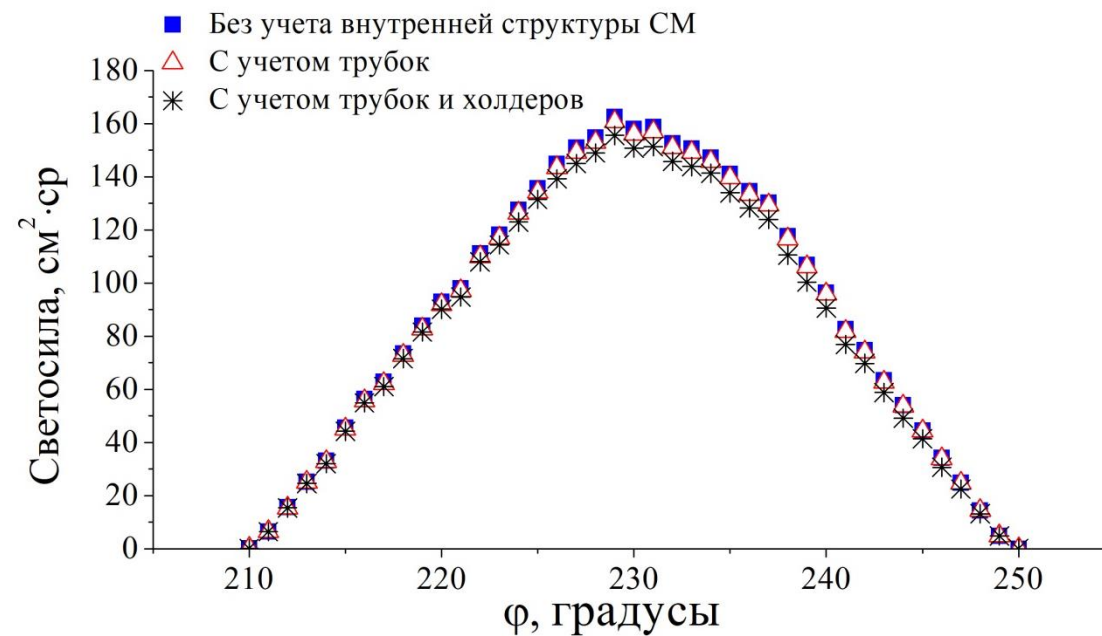
Светосила установки



Светосила пары СМ01-СМ02

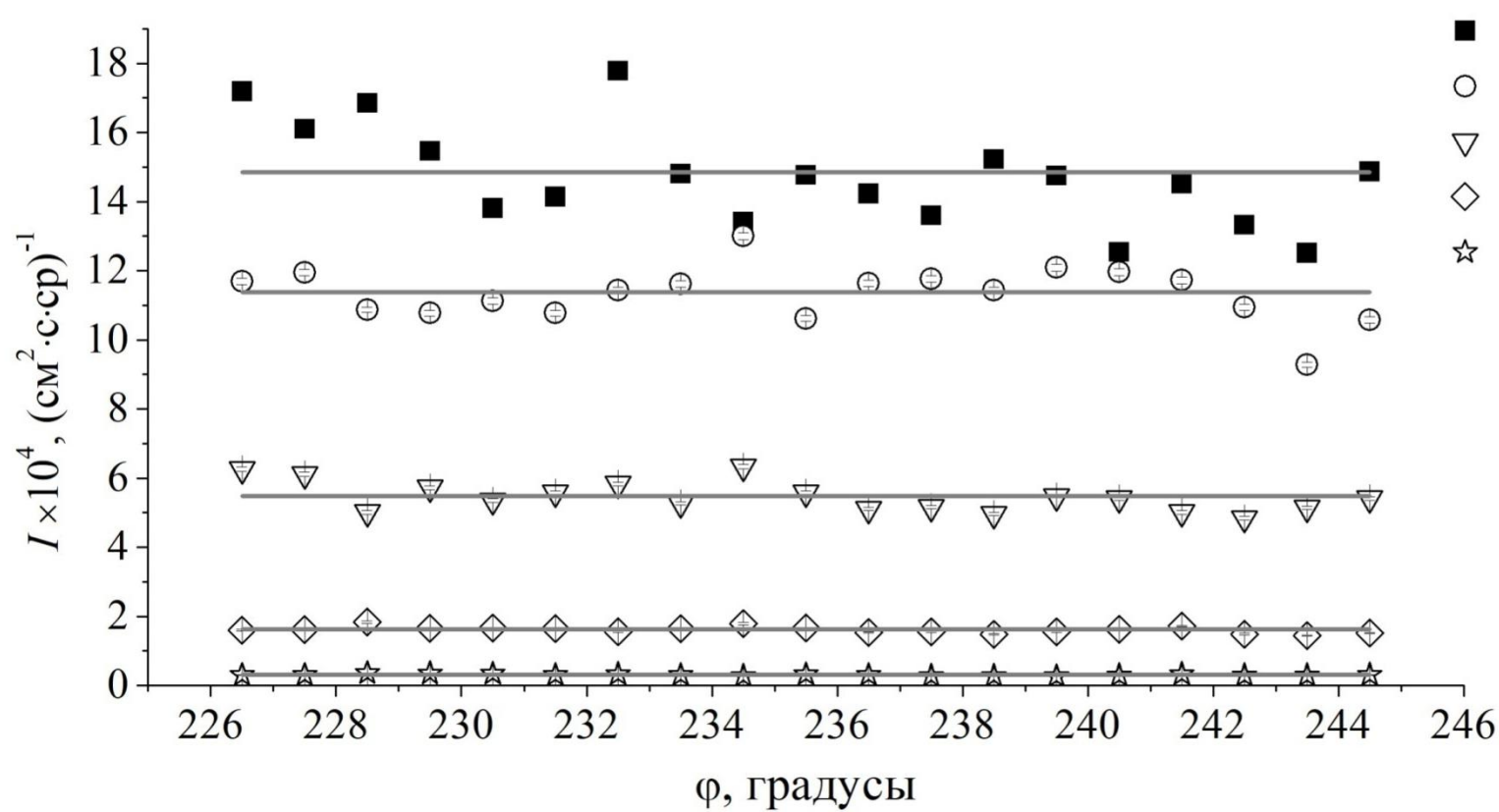


Зависимость светосилы от зенитного угла



Зависимость светосилы от азимутального угла

Интенсивность потока мюонов для пары СМ1-СМ2



Среднее арифметическое
взвешенное:

$$\langle I \rangle = \frac{\sum_{\varphi} I_{\varphi} / \Delta I_{\varphi}^2}{\sum_{\varphi} 1 / \Delta I_{\varphi}^2}$$

Заключение

- Написана функция, моделирующая случайный трек частицы;
- написана функция, рассчитывающая координаты всех объемов, составляющих внутреннюю структуру СМ, с учетом смещений относительно номинальных положений «SmeshDCR»;
- проверена корректность введения внутренней структуры в модель детектора;
- написана функция, проверяющая, может ли СМ зарегистрировать трек с учетом внутренней структуры СМ, условия BOUND и отключенных полукамер;
- рассчитана светосила пары СМ01-СМ02, построены распределения светосилы по зенитному и азимутальному углам;
- измерена интенсивность потока мюонов для пары СМ01-СМ02.

Спасибо за внимание!