

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Интенсивность потока мюонов космических лучей под большими зенитными углами

Пономарева Н.В.

Б18-102

Научный руководитель:

Дмитриева А.Н.

2021 г.

Цель : исследовать зависимость потока мюонов от пороговой энергии и от зенитного угла для околоризонтальных направлений

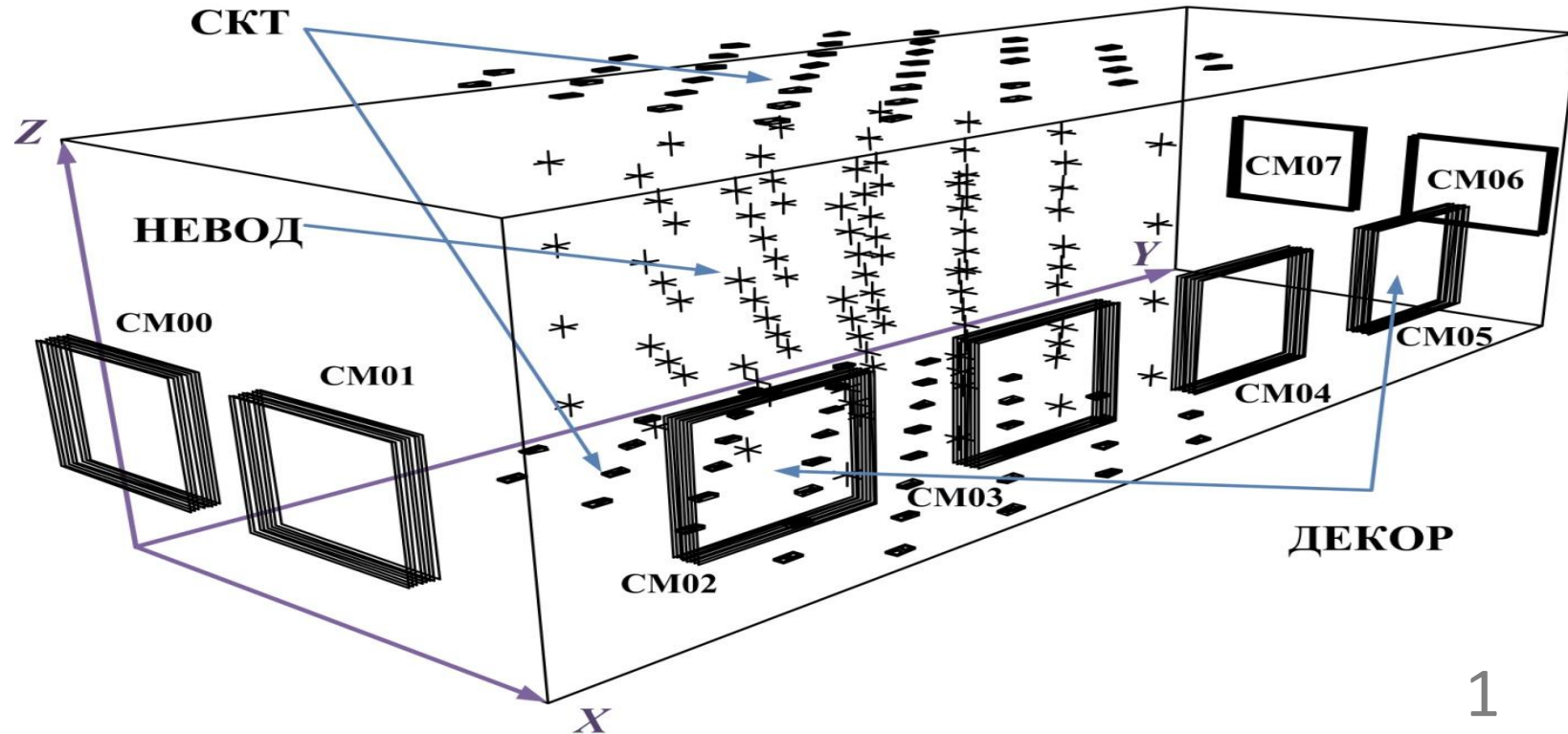
$$\frac{\text{Интенсивность потока мюонов:}}{I(\theta, \varphi, E_{\min})} = \frac{N(\theta, \varphi, E_{\min})}{T \cdot \varepsilon_{CM1} \cdot \varepsilon_{CM2} \cdot S\Omega(\theta, \varphi, E_{\min})}$$

Цель на текущий семестр: рассчитать светосилу установки с учетом внутренней структуры СМ.

$N(\theta, \varphi, E_{\min})$ – число событий, зарегистрированных в данных угловых и энергетическом интервалах;
 T – "живое" время измерений;

$\varepsilon_{CM1,2}$ - 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

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

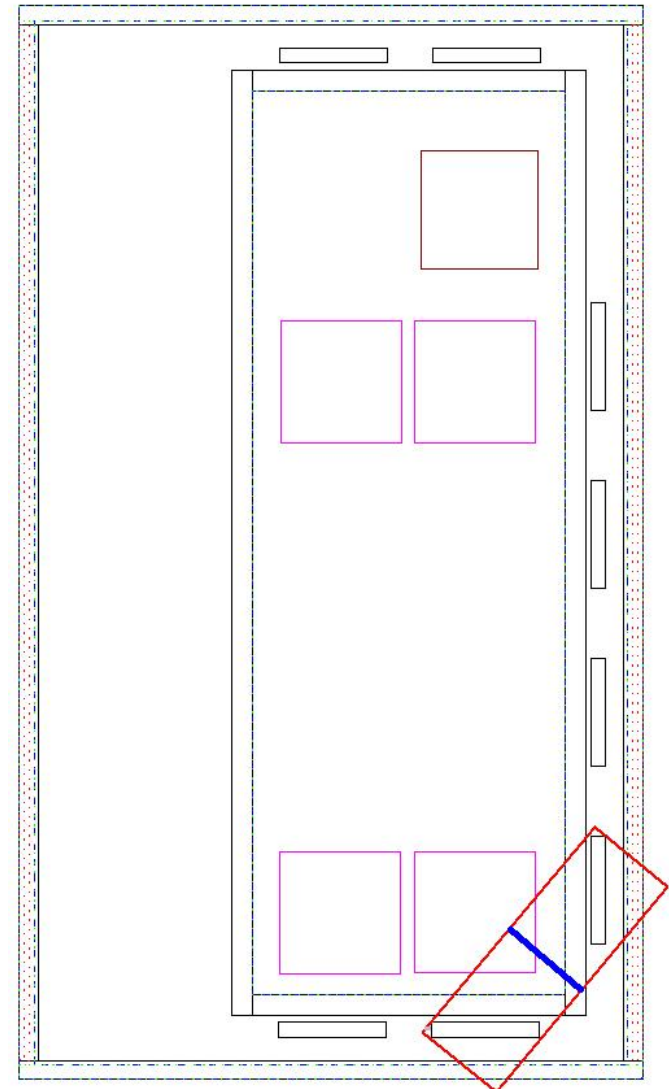
$S(\theta, \varphi)$ - площадь, которую «видит» трек, летящий под зенитным углом θ и азимутальным углом φ ;

$d\Omega = \sin \theta d\theta d\varphi$ - элемент телесного угла.

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 трубки, а не через холдер или зазор между трубками.

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



Расчет светосилы установки

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

$N_{reg} (\theta_i, \varphi_i, E_{\min_i})$ - 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;

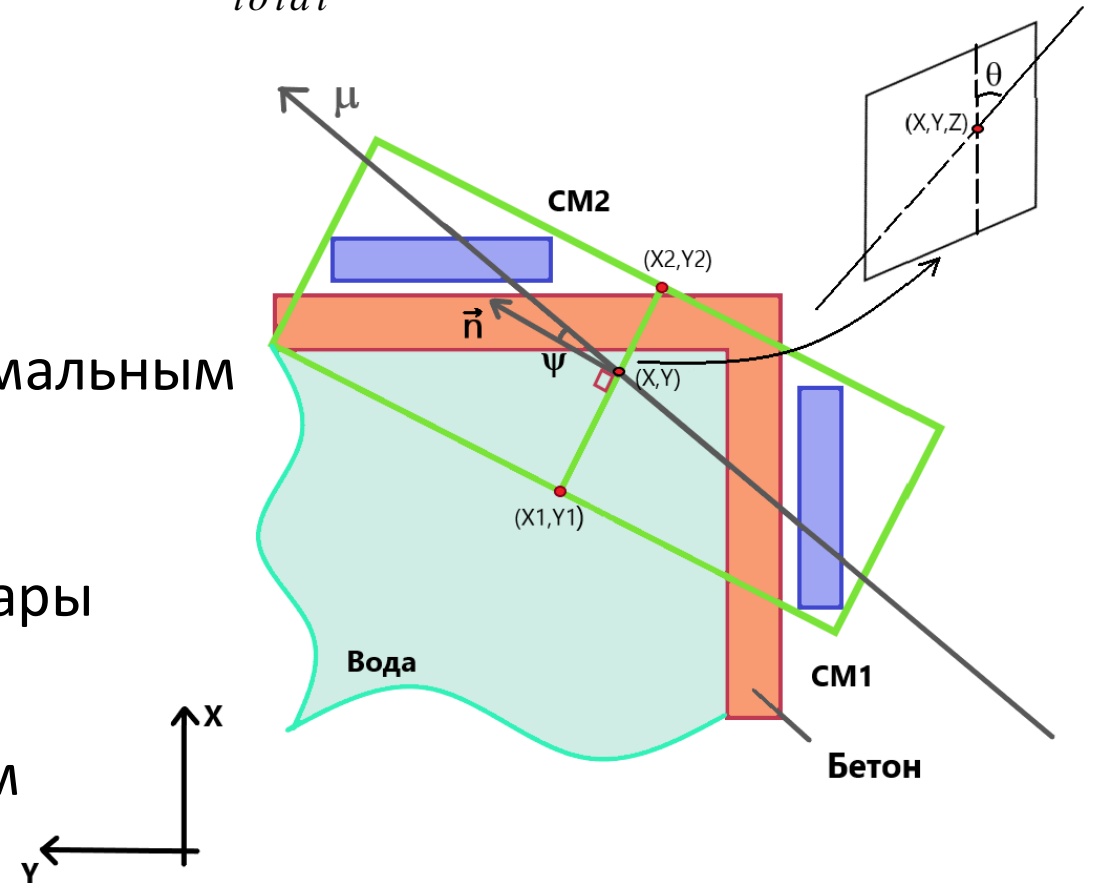


Схема вычисления светосилы пары СМ1-СМ2

Розыгрыш трека

Координаты случайной 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:

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

Косинус
случайного угла
и сам угол:

Розыгрыш зенитного угла:

$$d\Omega = \sin \theta d\theta d\varphi = -\cos \theta d\varphi$$

$$\int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} f(\theta) d\theta = \int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} G \sin(\theta) d\theta = \cos(\theta_{\min}) - \cos(\theta_{\max}),$$

$$G = \frac{1}{\cos(\theta_{\min}) - \cos(\theta_{\max})},$$

$$\int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} \frac{\sin(\theta) d\theta}{\cos(\theta_{\min}) - \cos(\theta_{\max})} = \gamma, \gamma - \text{базовая случайная величина,}$$

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

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

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

Учет внутренней структуры СМ

Каждая плоскость состоит из шестнадцати камер, которые расположены на расстоянии 7.44 мм. Расстояние между полукамерами внутри камеры - 3.15 мм, между трубками в полукамере – 1 мм. Расчет координат вершин трубок идет от опорной точки (X_0, Y_0, Z_0) ближайшей к бассейну плоскости СМ.

Для СМ0 и СМ1:

Сначала рассчитаны координаты центров трубок:

$$X_{\text{центр}} = X_0,$$

$$Y_{\text{центр}} = Y_0 - 60.00 \cdot t, \quad t = 0 \div 8,$$

$$Y_{\text{центр}} = Y_0 + 9.95 \cdot i + 3.15 \cdot \left[\frac{i}{8} \right] + 4.29 \cdot \left[\frac{i}{16} \right], \quad i = 0 \div 255,$$

t - номер плоскости; i – номер трубки в плоскости.

Расчет координат вершин:

$$X = X_{\text{центр}} + 3108.75 \cdot \left[\frac{q}{2} \right], \quad q = 0 \div 3,$$

$$Y = Y_{\text{центр}} + \frac{8.95}{2} \cdot (-1)^{\left[\frac{q}{2} \right] - (q \bmod 2)}, \quad q = 0 \div 3,$$

$$Z = Z_{\text{центр}} + \frac{8.95}{2} \cdot (-1)^{p+1}, \quad p = 0 \div 1,$$

q – номер точки в верхней или нижней плоскости трубки; $p = 0$ – нижняя плоскость, $p = 1$ – верхняя плоскость.

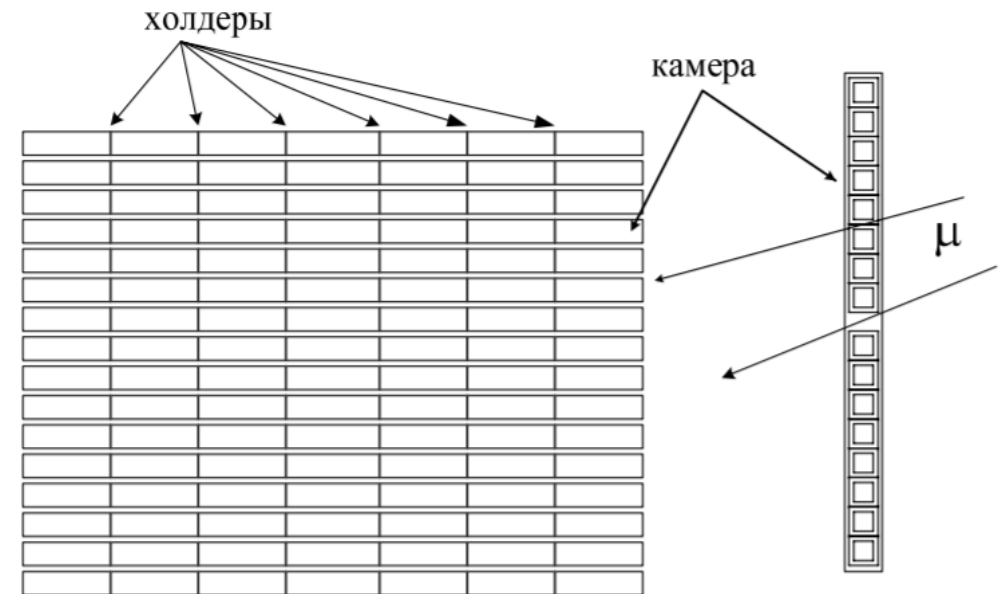
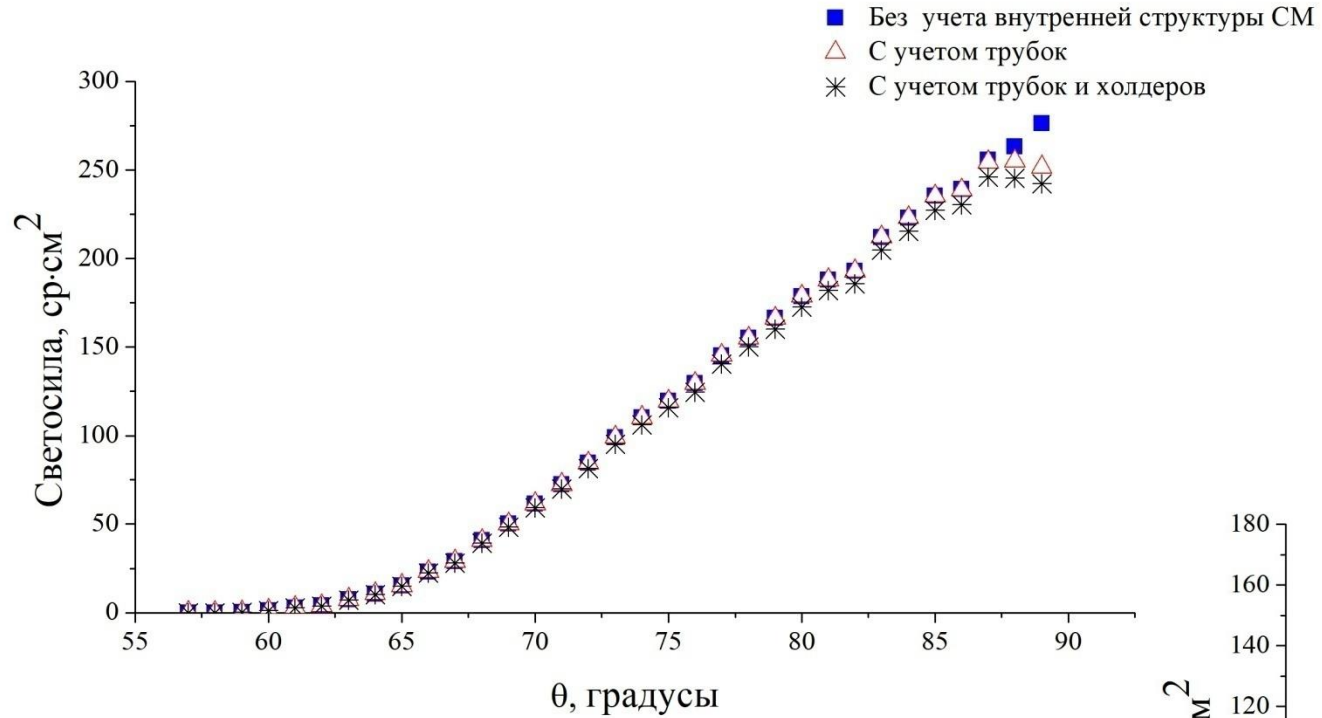


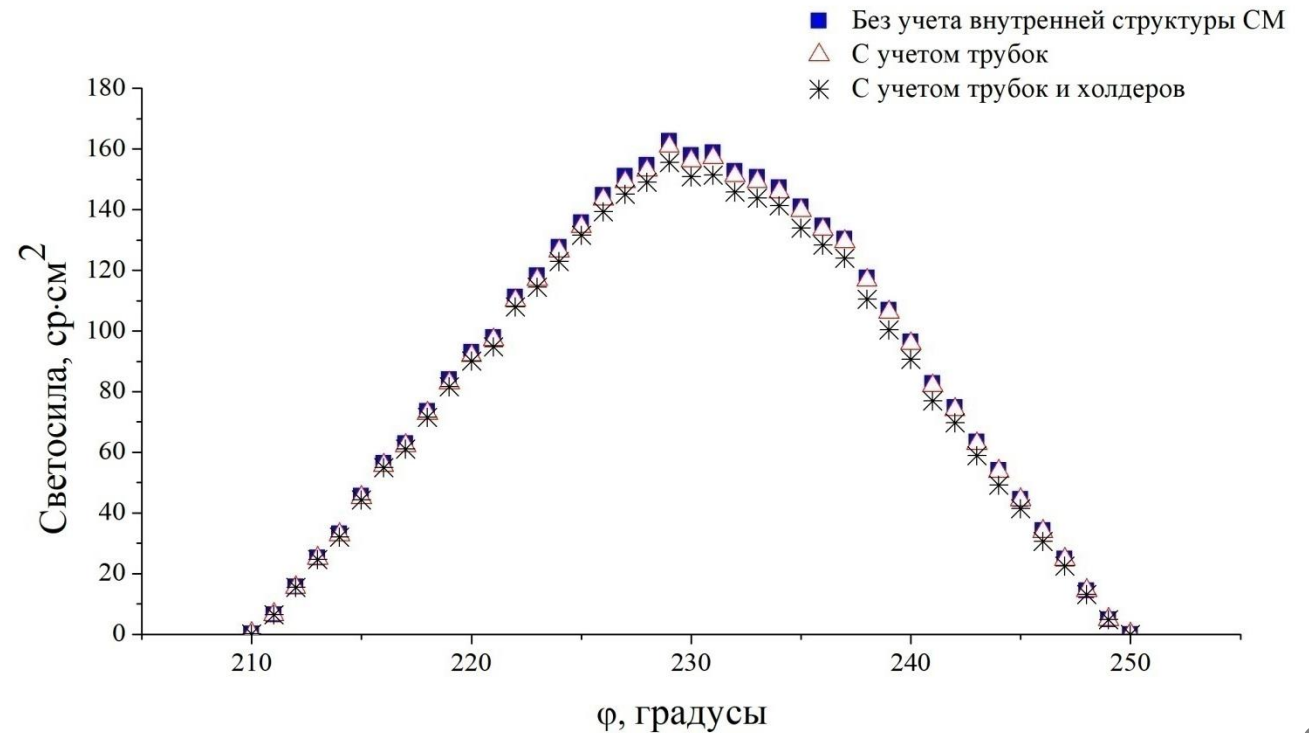
Схема внутренней структуры плоскости СМ и примеры треков, которые не будут зарегистрированы плоскостью

Светосила



Зависимость светосилы от
зенитного угла

Зависимость светосилы
от азимутального угла



Заключение

Получены следующие результаты:

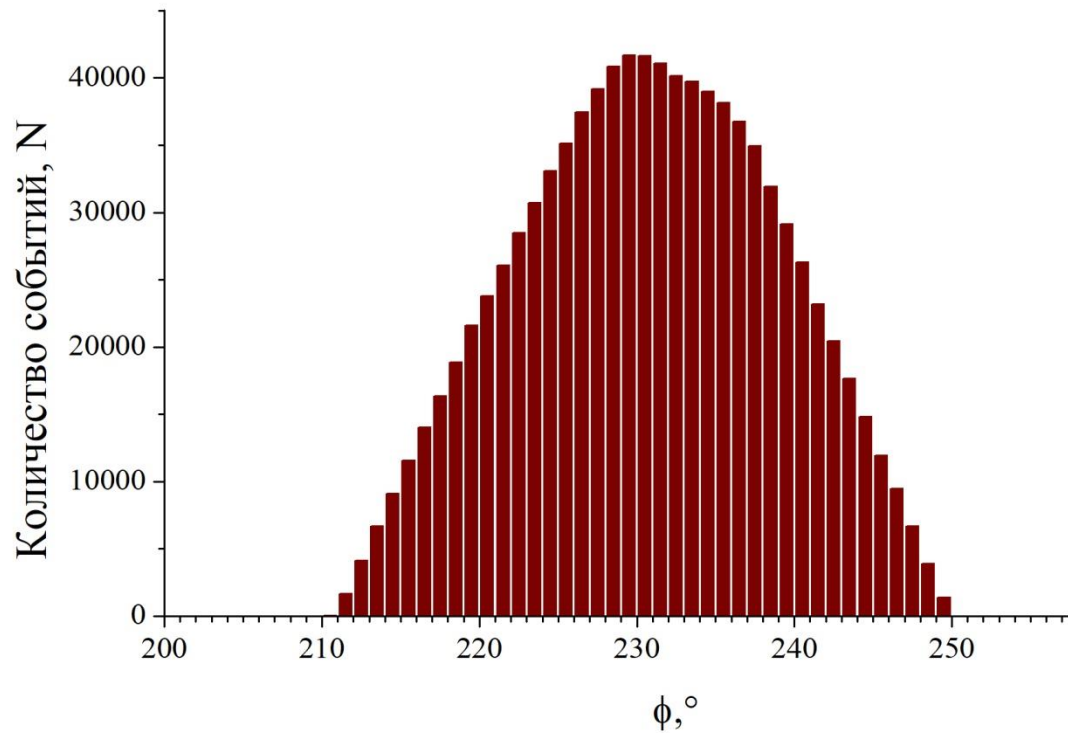
- написана функция, моделирующая случайный трек частицы;
- написана функция, рассчитывающая координаты всех объемов, составляющих внутреннюю структуру СМ;
- написана функция, проверяющая, сможет ли СМ зарегистрировать трек с учетом внутренней структуры СМ и условия BOUND;
- рассчитана светосила пары СМ1-СМ2.

Спасибо за внимание!

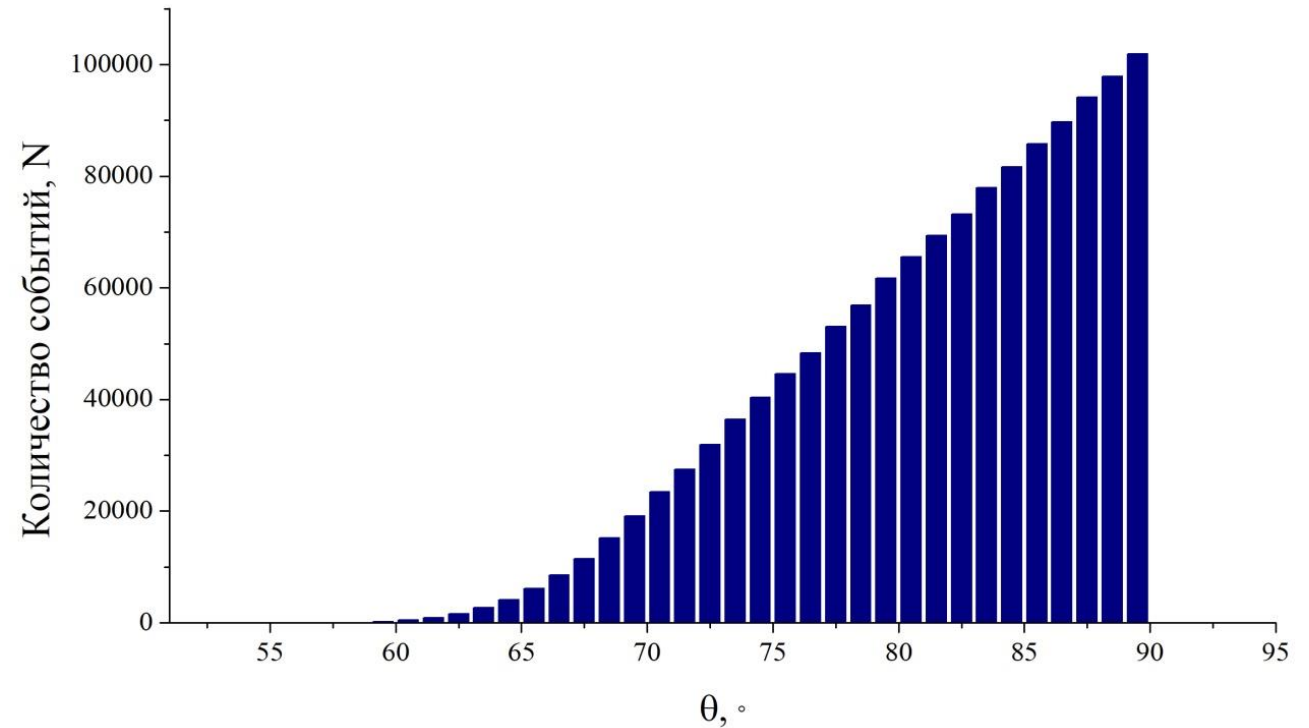
Результаты моделирования

Распределения построены для пары CM12 с учетом выполнения условия BOUND

$$N_{total} = 10\,000\,000$$



Распределение моделированных треков по азимутальному углу



Распределение моделированных треков по зенитному углу