

Зацепинские чтения

02-06-2023

«Темная материя, ускоренная при
упругом взаимодействии с космическими
лучами, и чувствительность

эмульсионного детектора NEWSdm»

Анохина А.М., Галкин В.И.,

МГУ имени М.В.Ломоносова,

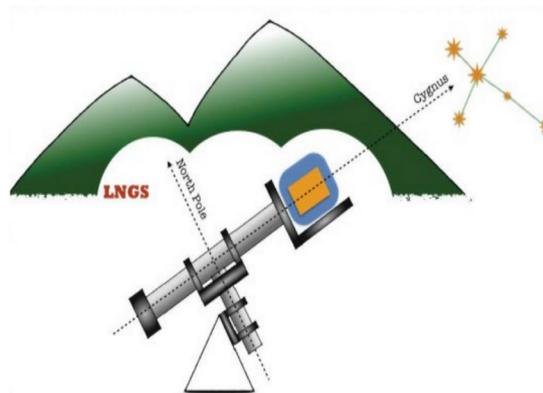
Физический факультет, НИИЯФ



Г.Т.Зацепин в ауд.5-08 ФФ

NEWSdm (Nuclear Emulsion for WIMP Search with a directional measurement), Gran Sasso, Италия. Наноэмульсия (размер зерен до 20 нм).

1) 2020-21 гг. рассмотрены модели WIMP — суперсимметричные расширения СМ, холодная темная материя со скоростями относительно Земли 220-240 км/сек, массы частиц — порядка массы Н (125 ГэВ/с**2). Рассмотрено образование ядер отдачи Н и СНО при упругом взаимодействии с «ветром» WIMP.
Оценен сигнал в 30 кг ядерной наноэмульсии.



Scheme of the NEWSdm detector installation.
Natali Polukhina, ...

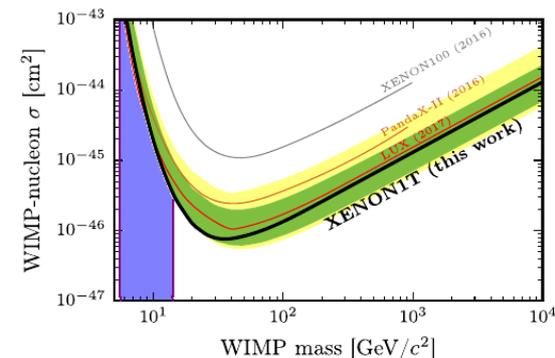
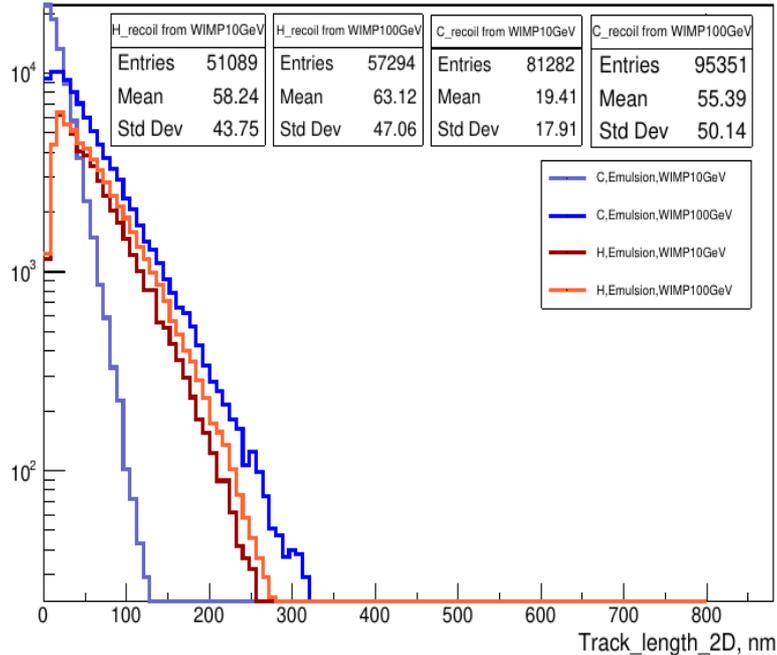


FIG. 4. The spin-independent WIMP-nucleon cross section limits as a function of the WIMP mass at 90% confidence level (black line) for this run of XENON1T. In green and yellow are the 1σ and 2σ sensitivity bands. Results from LUX [27] (the red line), PandaX-II [28] (the brown line), and XENON100 [23] (the gray line) are shown for reference.

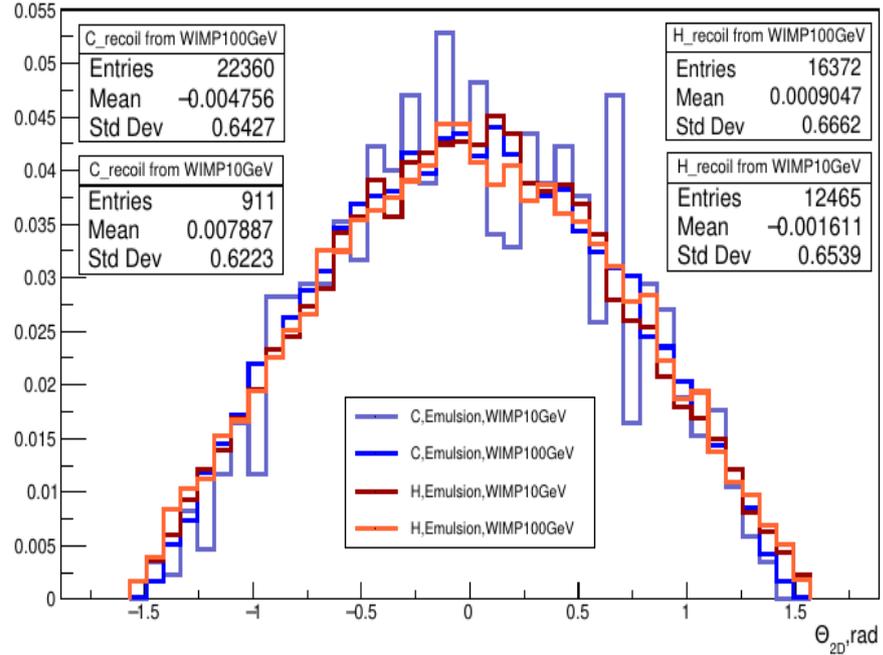
Directional Observation of Cold Dark Matter Particles (WIMP) in Light Target Experiments [Anna Anokhina](#) 1,2,* , [Vasilisa Gulyaeva](#) 1, [Emil Khalikov](#) 2, [Evgeny Kurochkin](#) 1,2, [Tatiana Roganova](#) 2, [Eduard Ursov](#) 1,2,*

1) Модель WIMP, распределения по длинам треков C и H (слева) и по направлениям (справа) в эмульсии с плотностью 3.44 г/см^{**2} .
 Направление 0 градусов соответствует направлению на созвездие Лебедь.

Emulsion, H & C recoil tracks, WIMP-10,100GeV, Track_length2D>2nm



Emulsion, Θ_{2D} for H & C recoil tracks, WIMP-10,100GeV, Track_length2D>80nm



Модель WIMP (массы 10, 100, 1000 ГэВ/с**2).

Оценки показали, что с учетом порогового ограничения на длину трека 80 нм, ожидается около ОДНОГО события, связанного с упругим рассеянием WIMP в 30 кг эмульсии.

Target matter	Element	N_{WIMP} per day in 1 kg	Mass fraction, kg	N_{WIMP} per year	N_{ν} per year
emulsion	H	$7.15 \cdot 10^{-7}$	1.11	$3 \cdot 10^{-4}$	0.058
emulsion	C	$3.28 \cdot 10^{-4}$	3.69	0.44	0.016
emulsion	N	$4.39 \cdot 10^{-4}$	0.54	0.087	<0.003
emulsion	O	$5.61 \cdot 10^{-4}$	2.76	0.56	<0.015

Novel direct detection constraints on light dark matter

Torsten Bringmann¹ and Maxim Pospelov^{2,3}

Reverse direct detection: Cosmic ray scattering with light dark matter

Christopher V. Cappiello, Kenny C. Y. Ng, and John F. Beacom
Phys. Rev. D **99**, 063004 – Published 8 March 2019

Production and attenuation of cosmic-ray boosted dark matter

Chen Xia^a, Yan-Hao Xu^a, and Yu-Feng Zhou^{a,b,c}

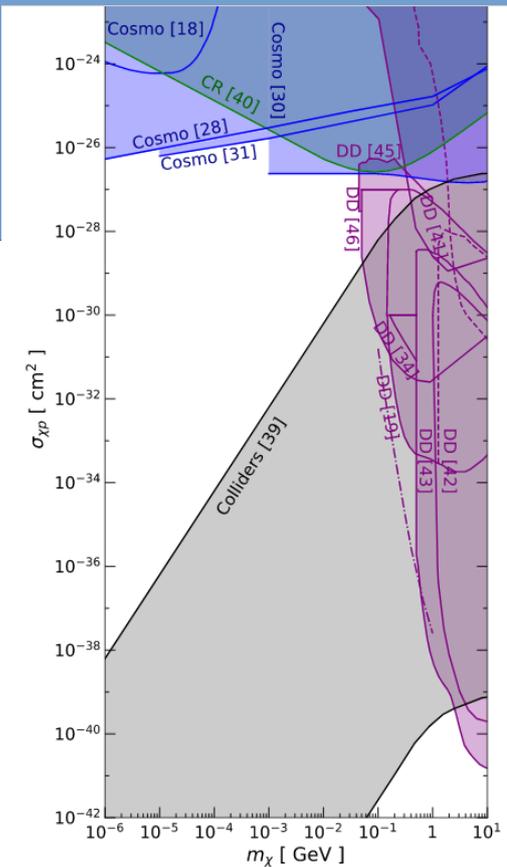
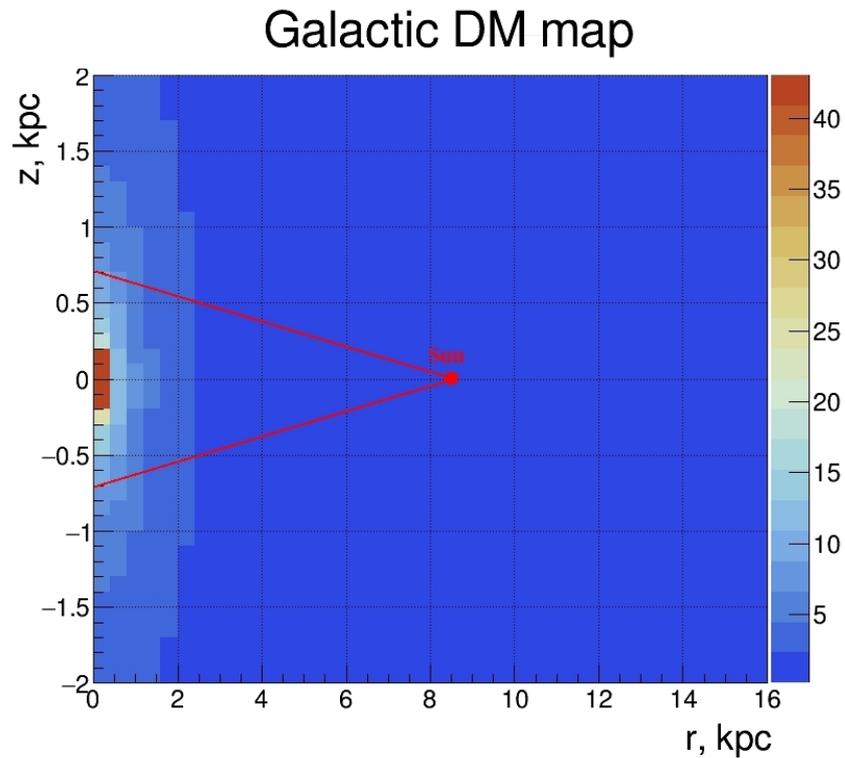
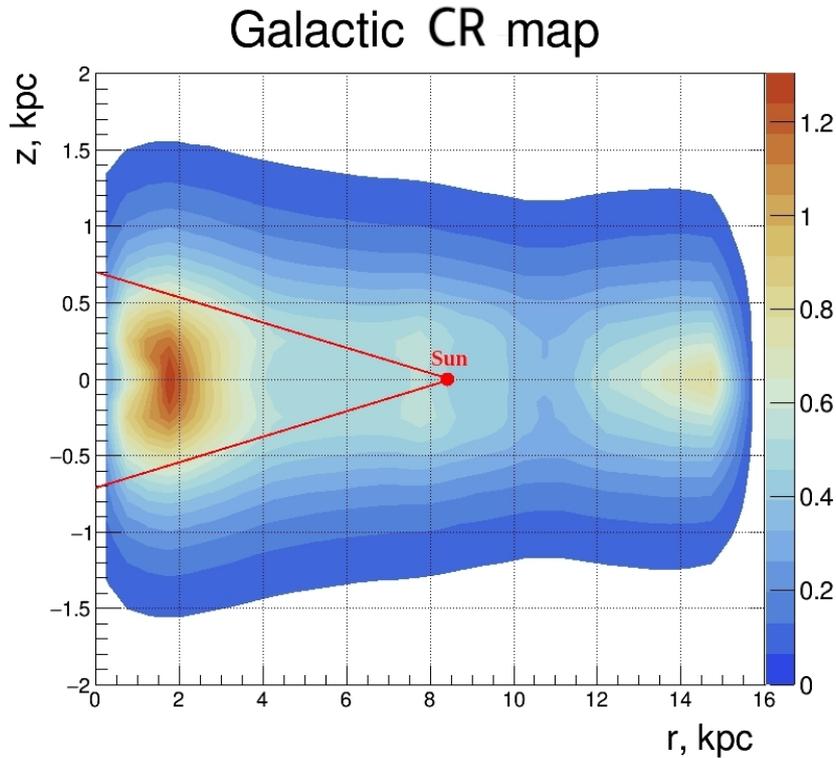


FIG. 1. Exclusion regions for DM-proton scattering from cosmology [18,28,30,31], colliders [39], CRs [40], and direct detection with XQC [41], DAMIC ([42]; ceiling from [35]), CRESST-II ([43]; ceiling from [44]), the CRESST surface run [19], XENON100 [34], EDELWEISS [45], and a near-surface detector at the University of Chicago [46,47]. The dashed curves are reanalyses of XQC and the CRESST surface run from Ref. [35]. The dash-dotted curve is a reanalysis of XENON1T from Ref. [48].

Directional Sensitivity of the NEWSdm Experiment to Cosmic Ray Boosted Dark Matter

N.Y. Agafonova,^c A. Alexandrov,^{a,b} A.M. Anokhina,^{g,1} T. Asada,^{a,b} V.V. Ashikhmin,^c V. Boccia,^{a,b} D. Centanni,^{a,i} M.M. Chernyavskii,^e N. Chin,^q N. D'Ambrosio,^h G. De Lellis,^{a,b} A. Di Crescenzo,^{a,b} Y.C. Dowdy,^d S. Dmitrievski,^k R.I. Enikeev,^c G. Galati,^{m,n} V.I. Galkin,^g A. Golovatiuk,^a S.A. Gorbunov,^e Y. Gornushkin,^k A.M. Guler,^l V.V. Gulyaeva,^g A. Iuliano,^{a,b} E.V. Khalikov,^g S.H. Kim,^o N.S. Konovalova,^e Y.O. Krasilnikova,^f A. Lauria,^{a,b} K.Y. Lee,^o V.P. Loschiavo,^{a,s} A.K. Managadze,^g A. Miloi,^k M.C. Montesi,^{a,b} T. Naka,^{d,p} N.M. Okateva,^e B.D. Park,^o D.A. Podgrudkov,^g N.G. Polukhina,^e T.M. Roganova,^g G. Rosa,^r M.A. Samoilov,^g Z.T. Sadykov,^f A. Sadovsky,^k K. Saeki,^d O. Sato,^p I.R. Shakiryanova,^c T.V. Shchedrina,^e T. Shiraishi,^q J.Y. Sohn,^o A. Sotnikov,^k N.I. Starkov,^e E.N. Starkova,^e D.M. Strelalina,^f V. Tioukov,^a E.D. Ursov,^g A. Ustuzhanin,^{f,s} S. Vasina,^k R.A. Voronkov,^e C.S. Yoon^o

2) Модель УСКОРЕННЫХ при взаимодействии с космическими лучами частиц темной материи. Массы частиц DM существенно меньше. Рассмотрен сценарий упругого взаимодействия DM и CR. Cosmic Ray Boosted Dark Matter. Поиск направленного сигнала от Центра Галактики.



Космические лучи — по данным GALPROP, темная материя - профиль Navarro-Frenk-White

$H^1, He^4, C^{12}, O^{16}, Ne^{20}, Mg^{24}, Si^{28}, S^{32}, Fe^{56}$ -95% of the flux from all CR nucleus

Cosmic Ray distributions:

GALPROP v.57,

CR Galactic disk is 40 kpc in diameter
and 2 kpc thick, Nuclei: H1 to Ni64

DM profile: Navarro-Frenk-White (NFW)

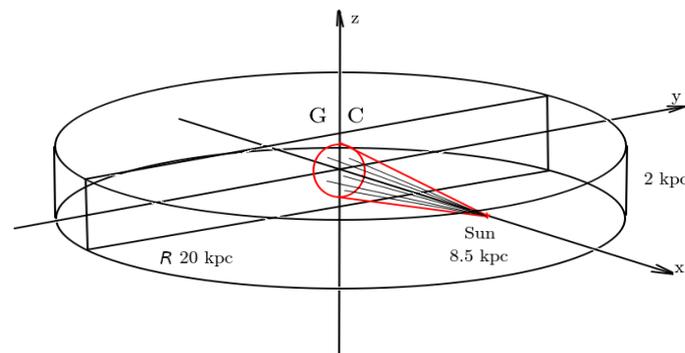
$$\rho_{\chi}^{\text{nfw}}(r) = \rho_s / [(r/r_s)(1 + r/r_s)^2]$$

with $r_s = 20 \text{ kpc}$ and

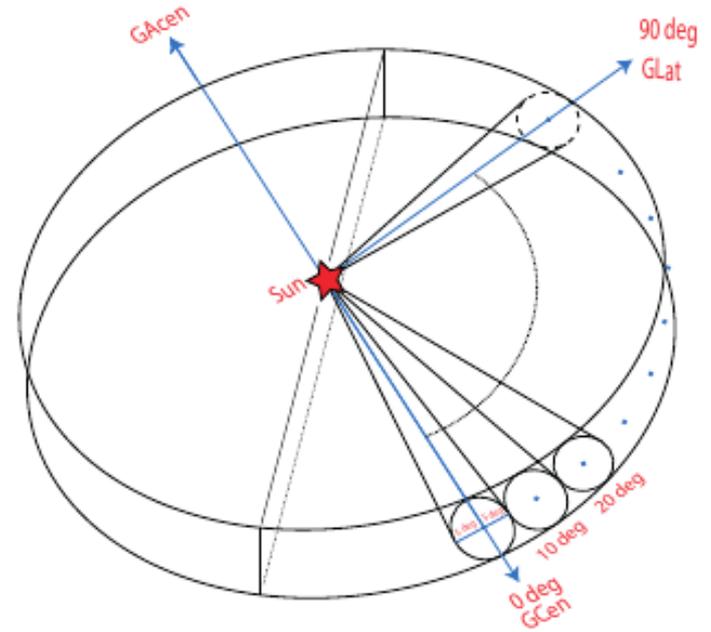
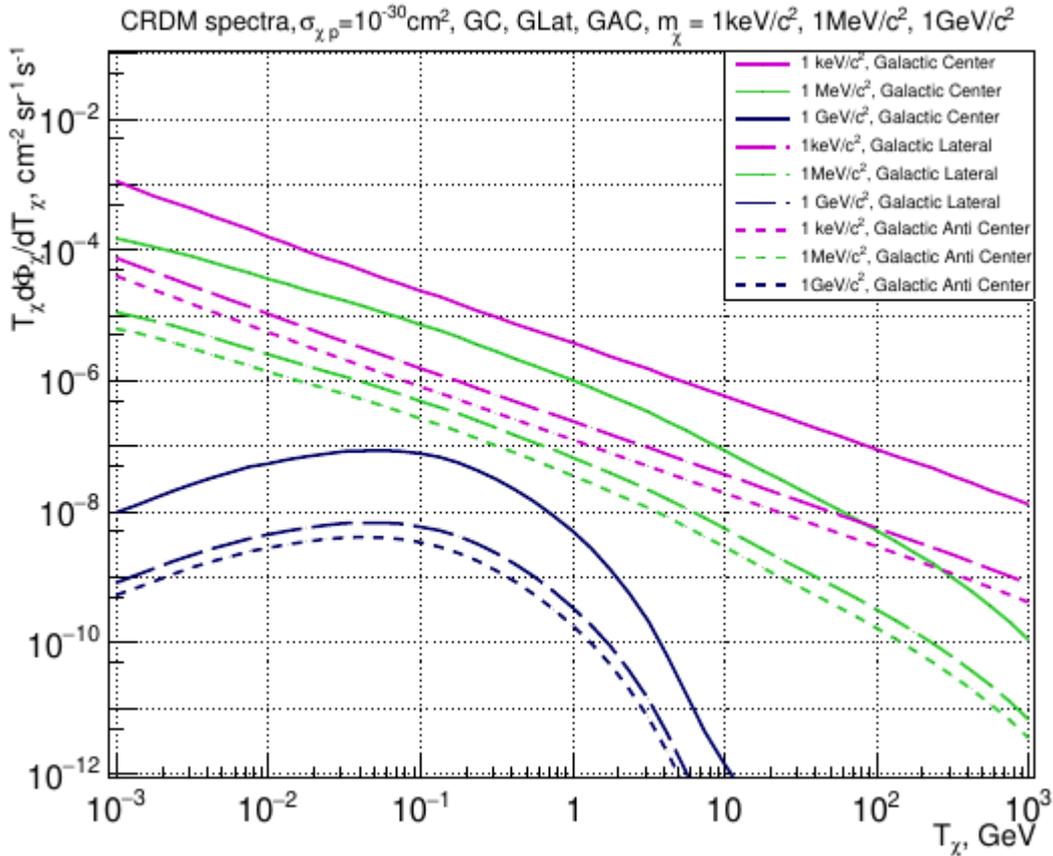
$$\rho_s = 0.35 \text{ GeV cm}^{-3}$$

Only elastic collisions,
form factor accounted for

$$\frac{d\Phi_{\chi}}{dT_{\chi}} = \int_{\text{l.o.s}} dl \frac{\rho_{\chi}(\mathbf{r})}{m_{\chi}} \int_{T_i^{\text{min}}} dT_i \frac{d\sigma_{\chi i}}{dT_{\chi}} \frac{d\Phi_i(\mathbf{r})}{dT_i}$$

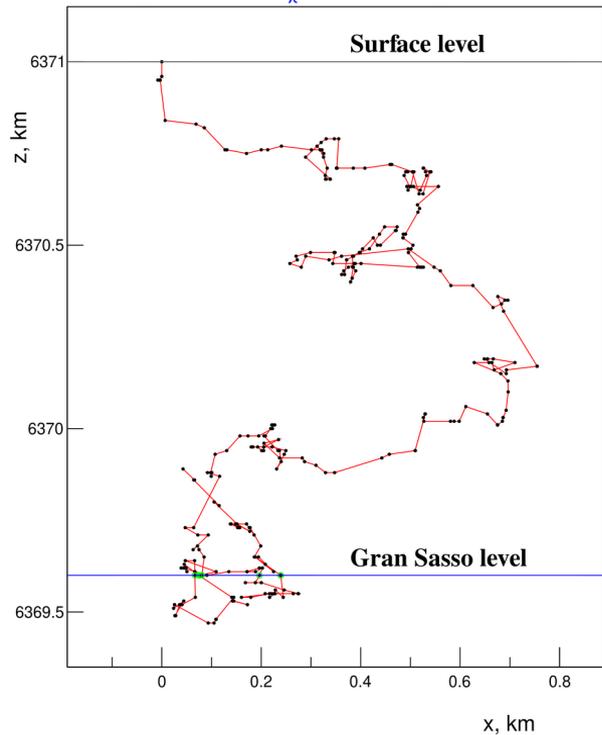


Спектры CRDM в направлении GC, Glat, GAC

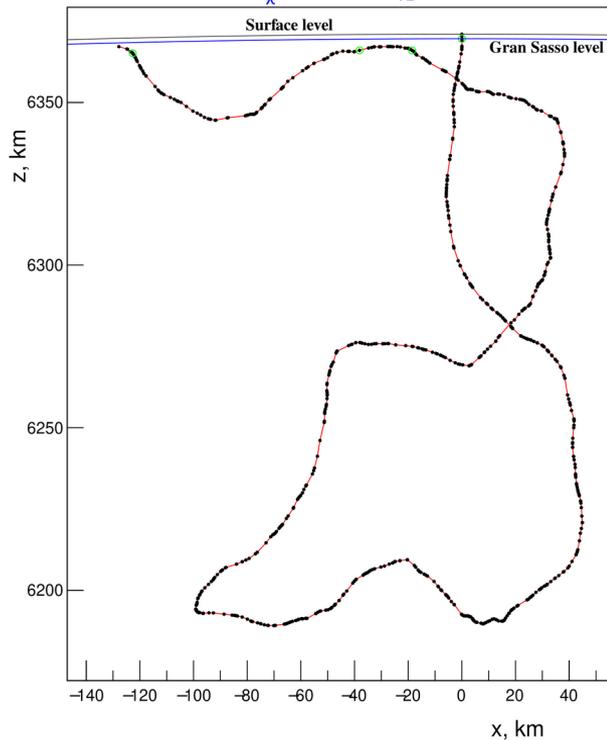


Траектории частиц ТМ

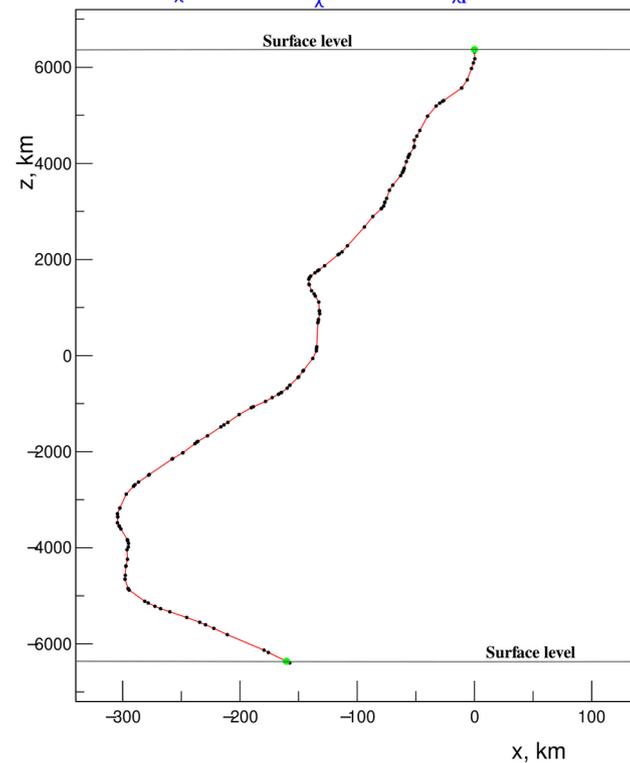
CRDM particle track inside the Earth
 $T_\chi=100\text{MeV}$, $m_\chi=100\text{MeV}$, $\sigma_{\chi p}=10^{-28}\text{cm}^2$



CRDM particle track inside the Earth
 $T_\chi=1\text{GeV}$, $m_\chi=10\text{MeV}$, $\sigma_{\chi p}=10^{-28}\text{cm}^2$



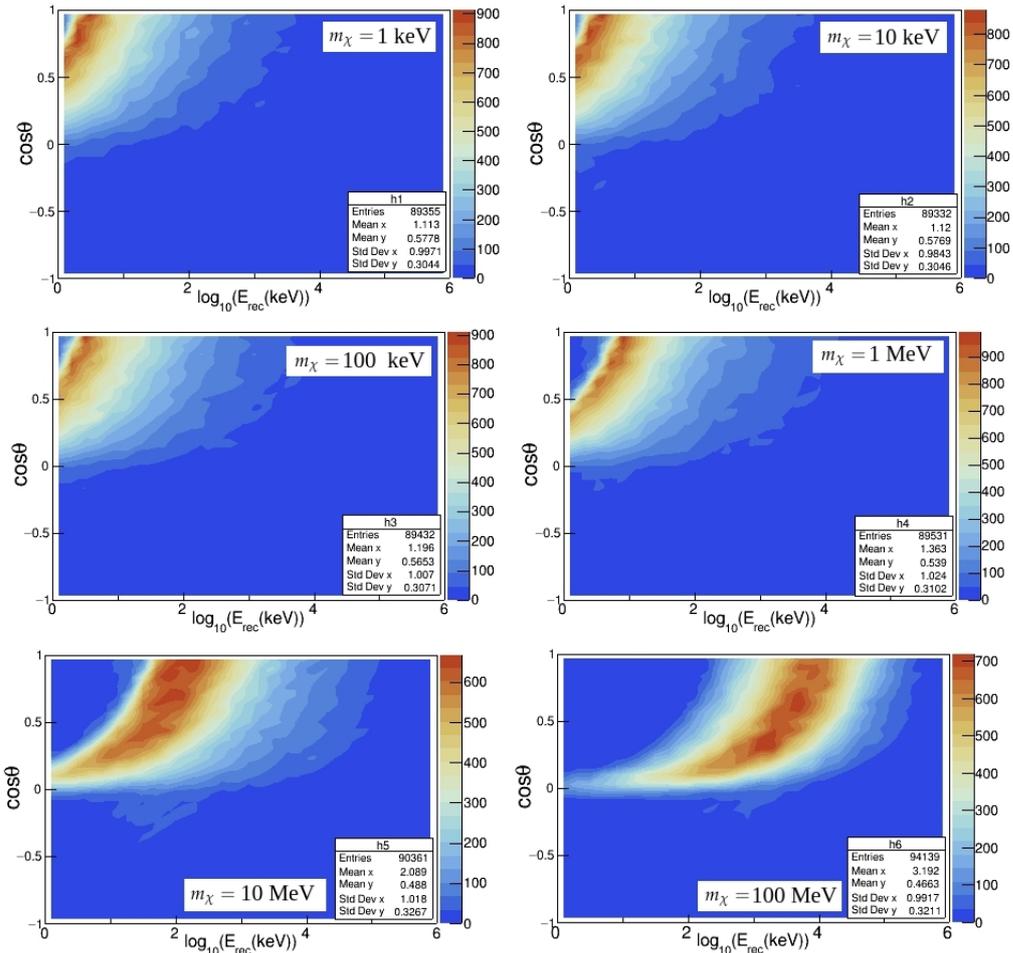
CRDM particle track inside the Earth
 $T_\chi=10\text{GeV}$, $m_\chi=10\text{MeV}$, $\sigma_{\chi p}=10^{-28}\text{cm}^2$



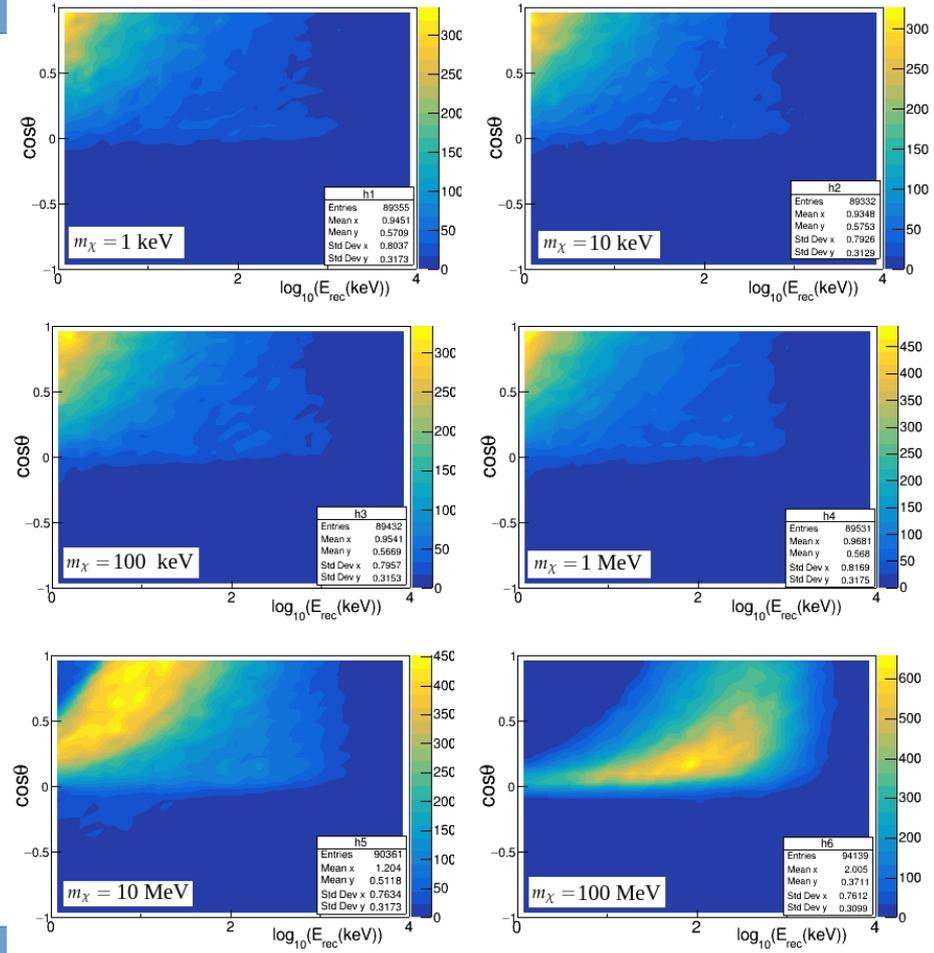
Распределения ядер отдачи (H и C) по энергиям и направлениям.

Массы частиц темной материи: 1, 10, 100 keV, 1, 10, 100 MeV, 1GeV, на поверхности Земли, Assergi.

E - $\cos\theta$, H recoils, Assergi Level $\sigma_{\chi p} = 10^{-28} \text{ cm}^2$

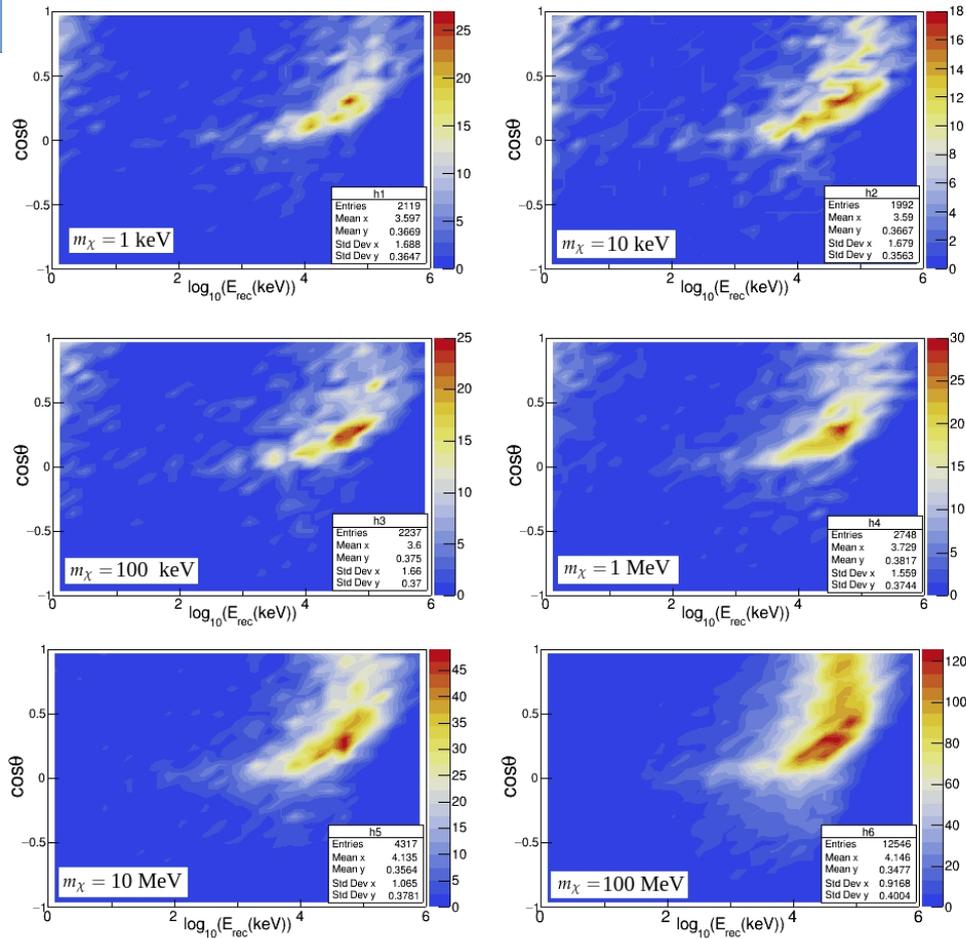


E - $\cos\theta$, C recoils, Assergi Level $\sigma_{\chi p} = 10^{-28} \text{ cm}^2$

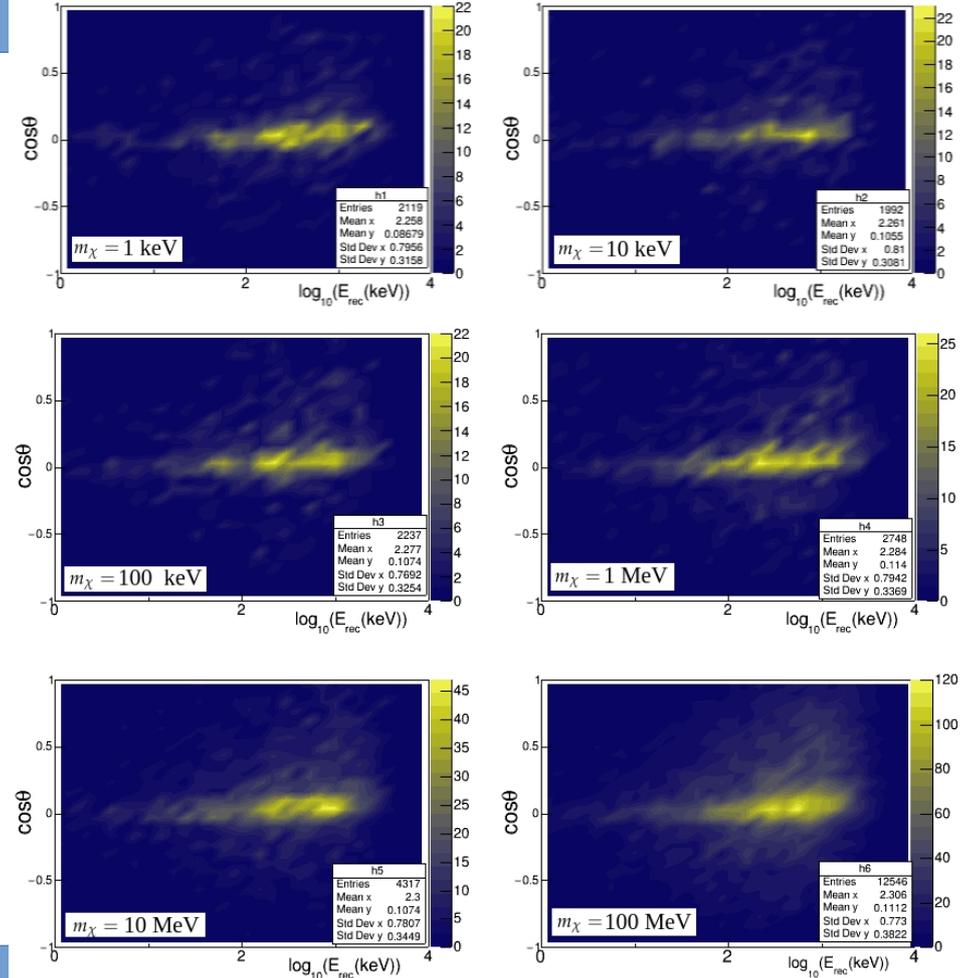


Распределения ядер отдачи по энергиям и направлениям. Массы частиц темной материи: 1, 10, 100 keV, 1, 10, 100 MeV, 1GeV, на уровне подземной лаборатории Gran Sasso.

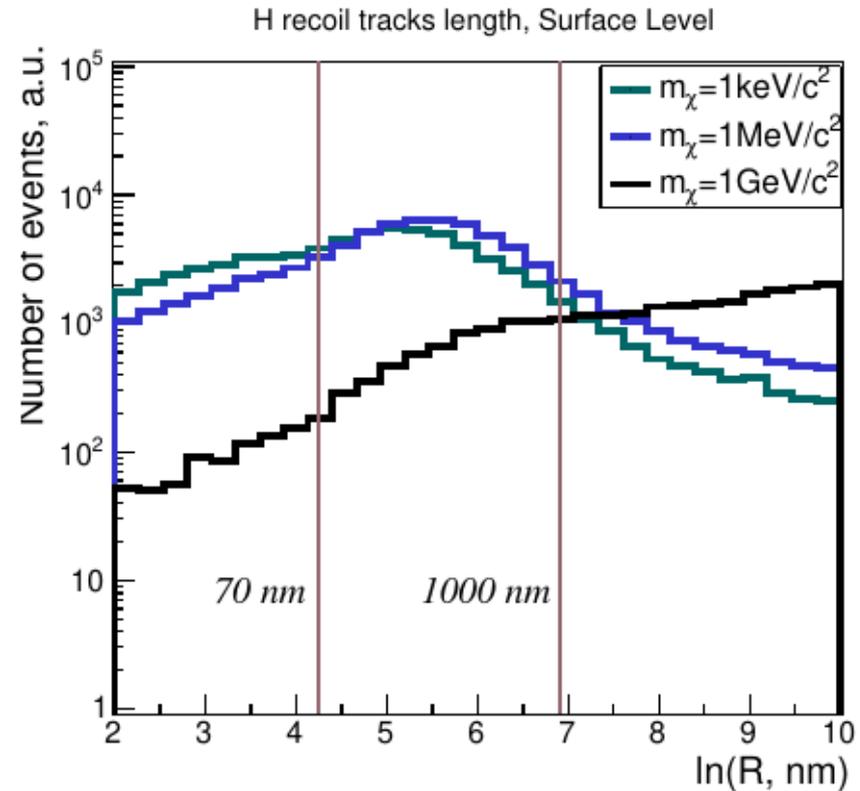
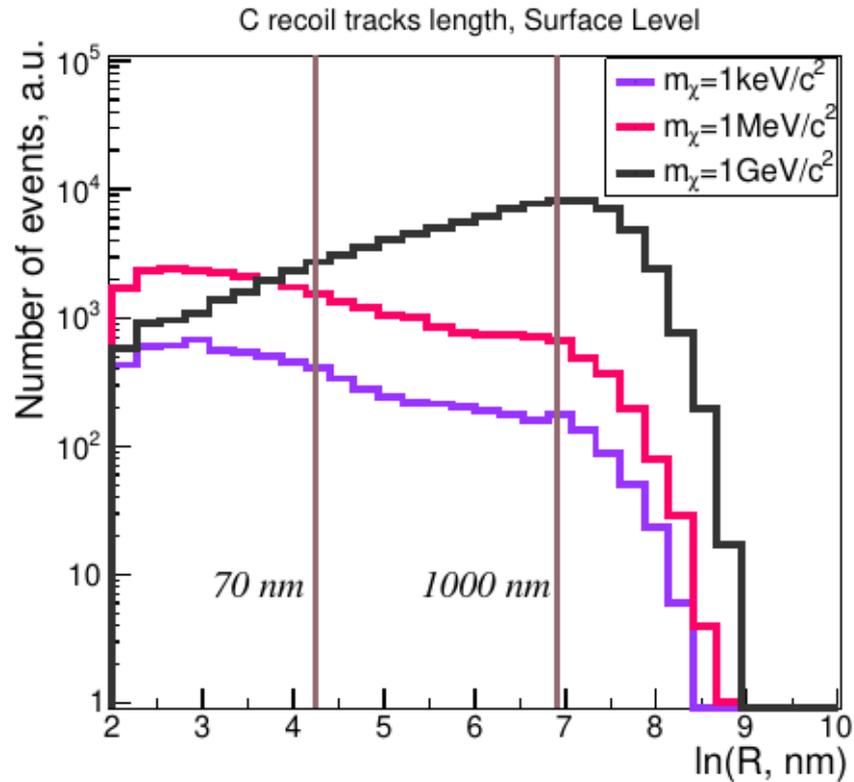
E - $\cos\theta$, H recoils, Underground Lab Level $\sigma_{\chi p} = 10^{-28} \text{ cm}^2$



E - $\cos\theta$, C recoils, Underground Lab Level $\sigma_{\chi p} = 10^{-28} \text{ cm}^2$



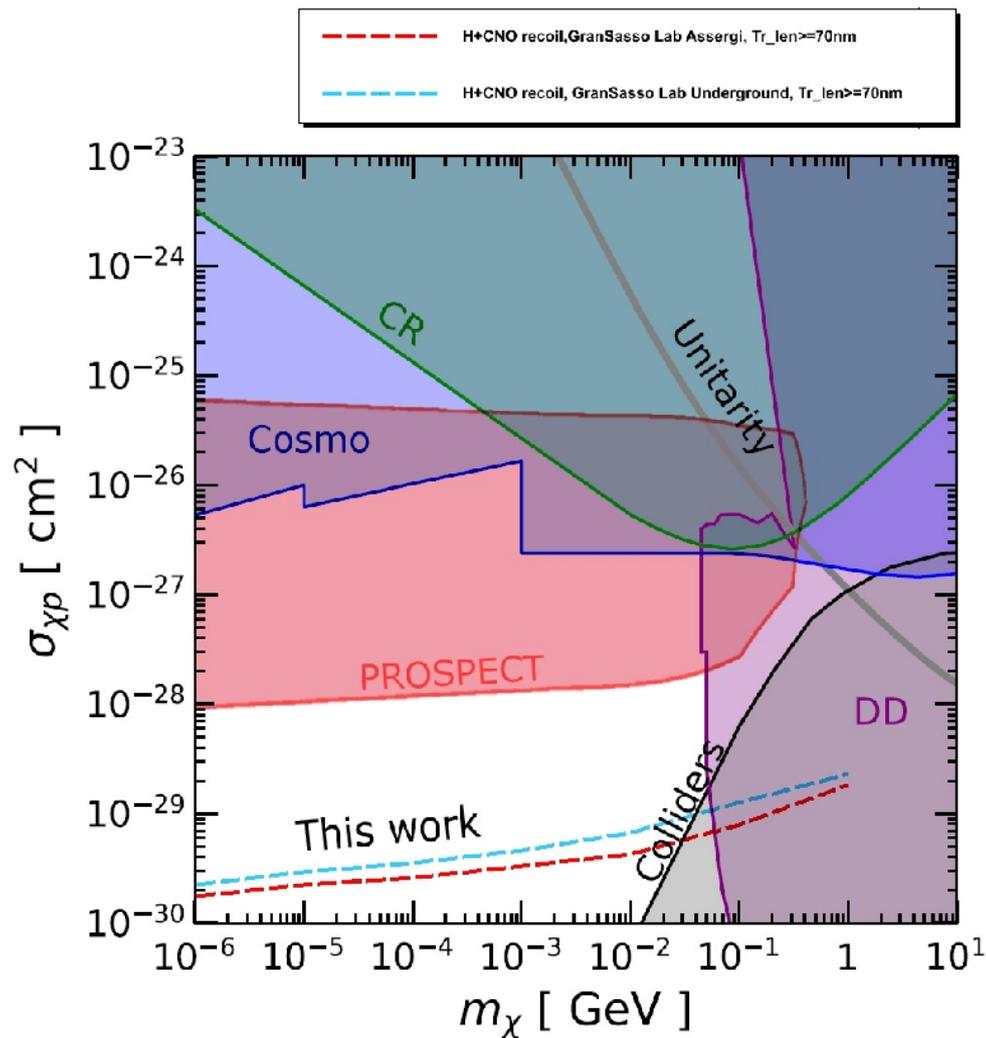
Распределения по длинам треков ядер отдачи С и Н (для $10^{*}5$ частиц DM на границе атмосферы). Уровень наблюдения — на поверхности Земли, Assergi.



Чувствительность 10 кг
наноэмульсии для регистрации
CRDM.

Пороговое значение длины трека
70 нм. Ядра отдачи H и CNO.

Красный штрих —
на Земле, Assergi,
бирюзовый штрих —
подземная лаб.



▶ Была рассмотрена модель ТЕМНОЙ МАТЕРИИ, взаимодействующей с частицами СМ посредством массивного темного фотона(медиатора), кинетически смешивающегося с γ/Z_0 , удовлетворяющая диапазону сечений взаимодействия частицы темной материи с баритонным веществом

▶ Диапазон сечений: $\sigma_{\chi p} = 10^{-30}$ до $\sigma_{\chi p} = 10^{-28}$

▶ Параметры для подбора следующие:

▶ $\sigma_{N \rightarrow \chi N}^V(\epsilon, \alpha', m_V, m_\chi)$, где эpsilon - константа кинетического смешивания

▶ Альфа - константа взаимодействия с ТМ

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_\chi - \frac{1}{4} V_{\mu\nu} V^{\mu\nu} + \frac{1}{2} m_V^2 V_\mu V^\mu - \frac{\epsilon}{2} V^{\mu\nu} F_{\mu\nu} + q_B g' V_\mu J_B^\mu + \dots$$

$$\mathcal{L}_\chi = \begin{cases} i\bar{\chi} \not{D}\chi - m_\chi \bar{\chi}\chi, & \text{(Dirac fermion DM)} \\ |D_\mu \chi|^2 - m_\chi^2 |\chi|^2, & \text{(Complex scalar DM)} \end{cases}$$

Light dark matter in neutrino beams: production modelling and scattering signatures at MiniBooNE, T2K and SHiP

Patrick deNiverville,¹ Chien-Yi Chen,^{1,2} Maxim Pospelov,^{1,2} and Adam Ritz¹

$$\frac{d\sigma_{N \rightarrow \chi N}^V}{dE_\chi} = \frac{\alpha' \kappa^2}{\alpha} \times \frac{4\pi\alpha^2 [F_{1,N}^2(Q^2)A(E, E_\chi) - \frac{1}{4}F_{2,N}^2(Q^2)B(E, E_\chi)]}{(m_V^2 + 2m_N(E - E_\chi))^2(E^2 - m_\chi^2)},$$

где E и E_χ - энергии ТМ до и после взаимодействия

$$Q^2 = 2m_N(E - E_\chi) \quad F_{1,N} = q_N / (1 + Q^2/m_N^2)^2$$

$$F_{2,N} = \kappa_N / (1 + Q^2/m_N^2)^2$$

$$q_p = 1, q_n = 0, \kappa_p = 1,79, \kappa_n = -1,9.$$

$$A(E, E_\chi) = 2m_N E E_\chi - m_\chi^2 (E - E_\chi),$$

$$B(E, E_\chi) = (E_\chi - E)[(E_\chi + E)^2 + 2m_N(E_\chi - E) - 4m_\chi^2]$$

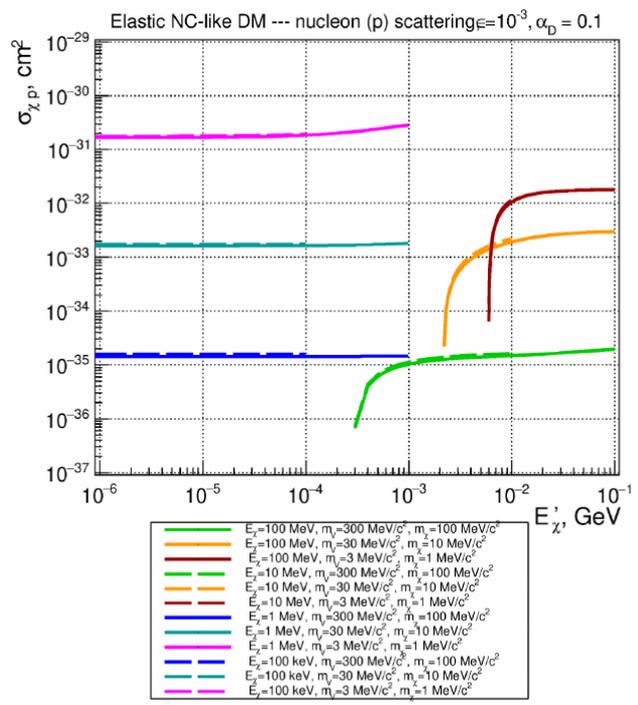
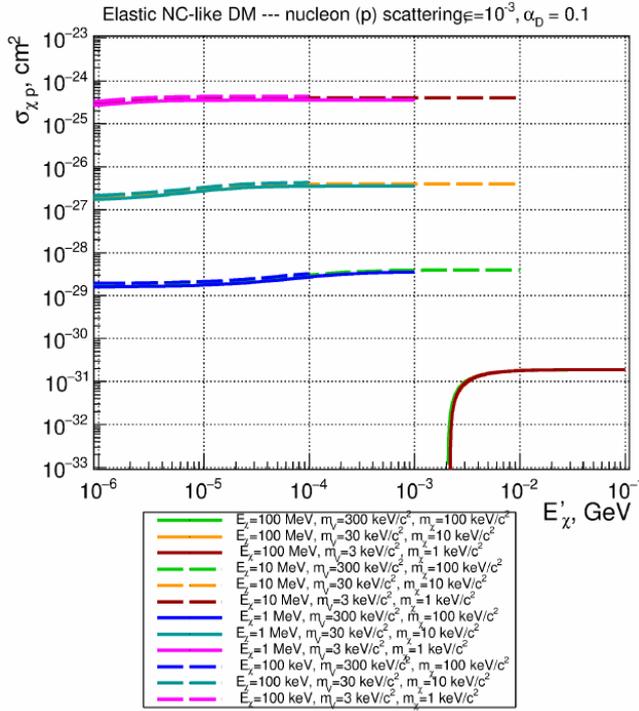
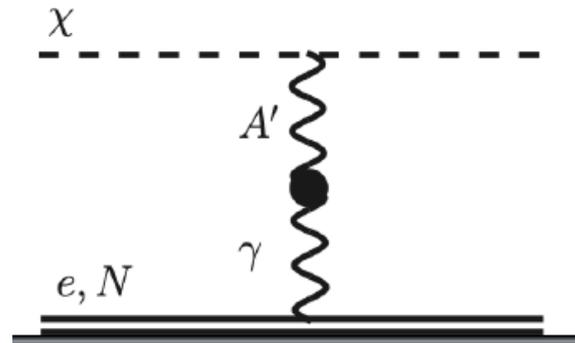


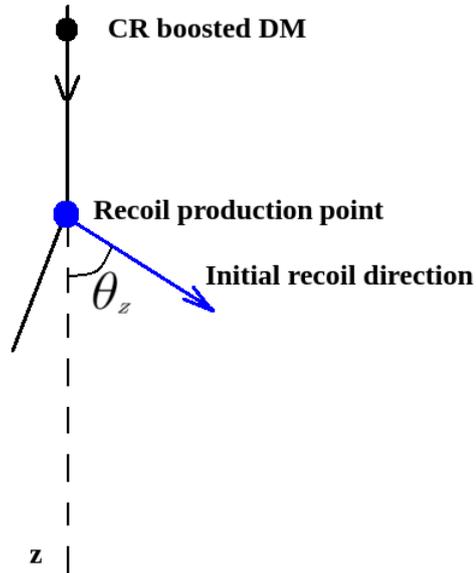
Рис. 6.3: Полное сечение упругого взаимодействия $\sigma_{\chi p}$ в зависимости от кинетической энергии рассеянной частицы темной материи E'_χ . Для масс m_χ 1, 10, 100 кэВ/с² и энергий до рассеяния $E_\chi = 0.1, 1, 10$ и 100 МэВ.

Рис. 6.4: Полное сечение упругого взаимодействия $\sigma_{\chi p}$ в зависимости от кинетической энергии рассеянной частицы темной материи E'_χ . Для масс $m_\chi = 1, 10, 100$ МэВ/с² и энергий до рассеяния $E_\chi = 0.1, 1, 10$ и 100 МэВ.

Возможны ли направленные наблюдения ?

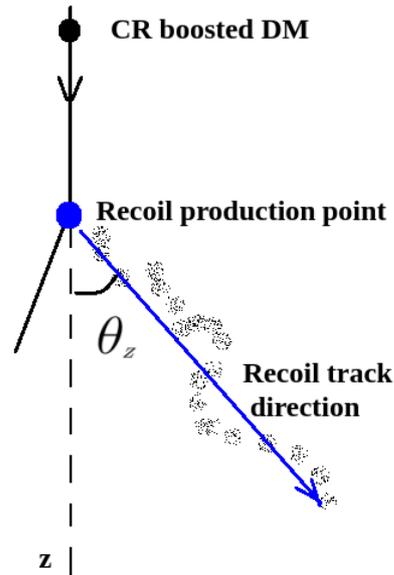
Cross section $\sigma_{\chi p} = 10^{-28} \text{ cm}^2$ is considered as an example, the final result is made for $\sigma = 10^{-28}, 10^{-29}, 10^{-30} \text{ cm}^2$

Galactic Center



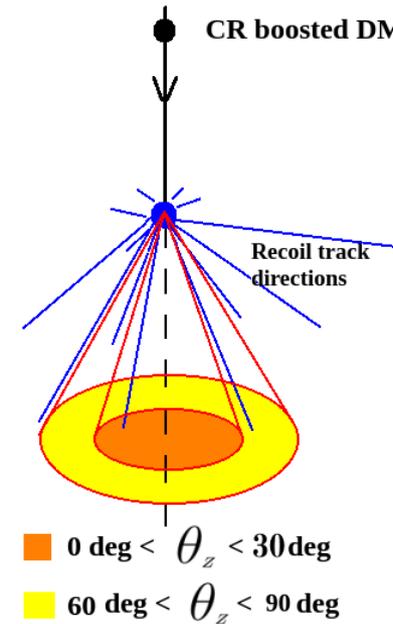
1. H and C recoil production in the elastic Interaction with boosted DM

Galactic Center



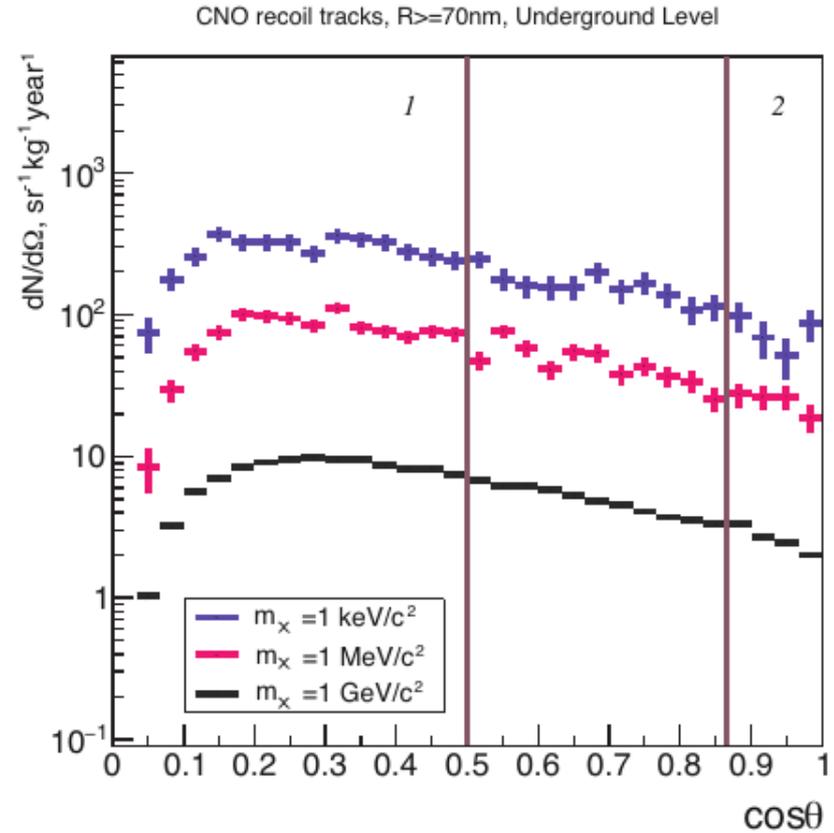
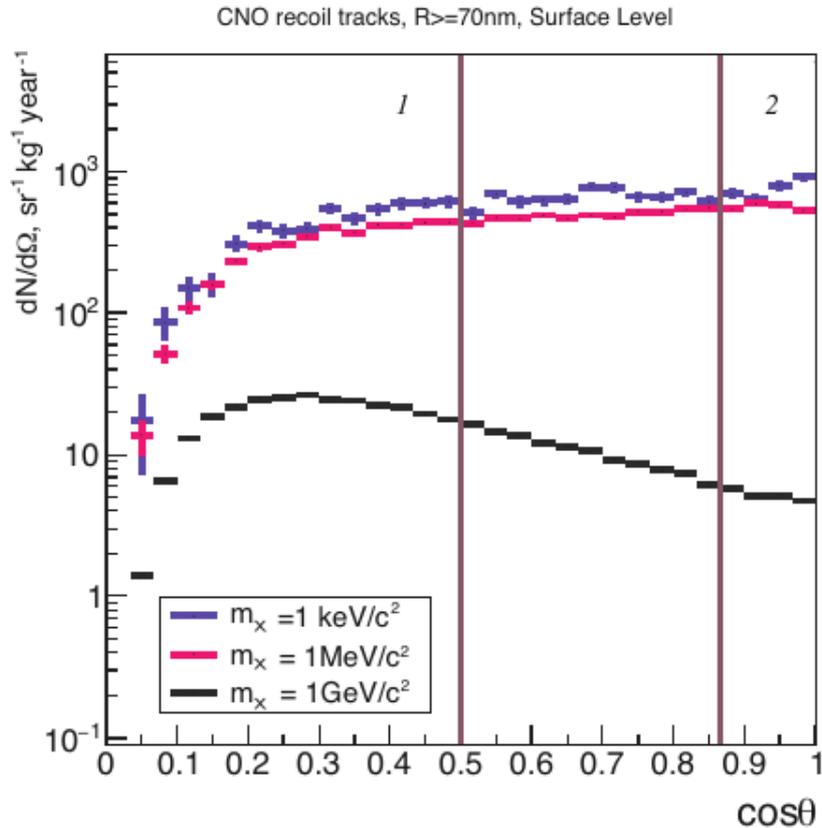
2. H and C recoil tracking with GEANT4 in the emulsion

Galactic Center



3. As an example, the number of events in two angle ranges was compared.

Угловые распределения ядер отдачи (CNO) на поверхности Земли и на уровне подземной лаборатории GranSasso

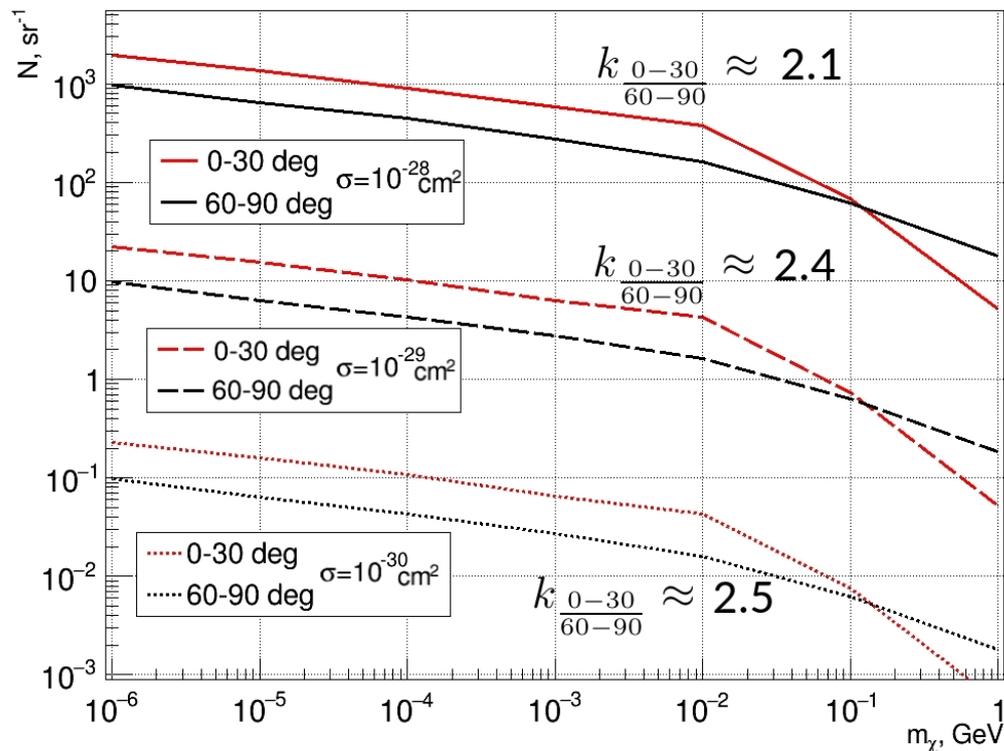


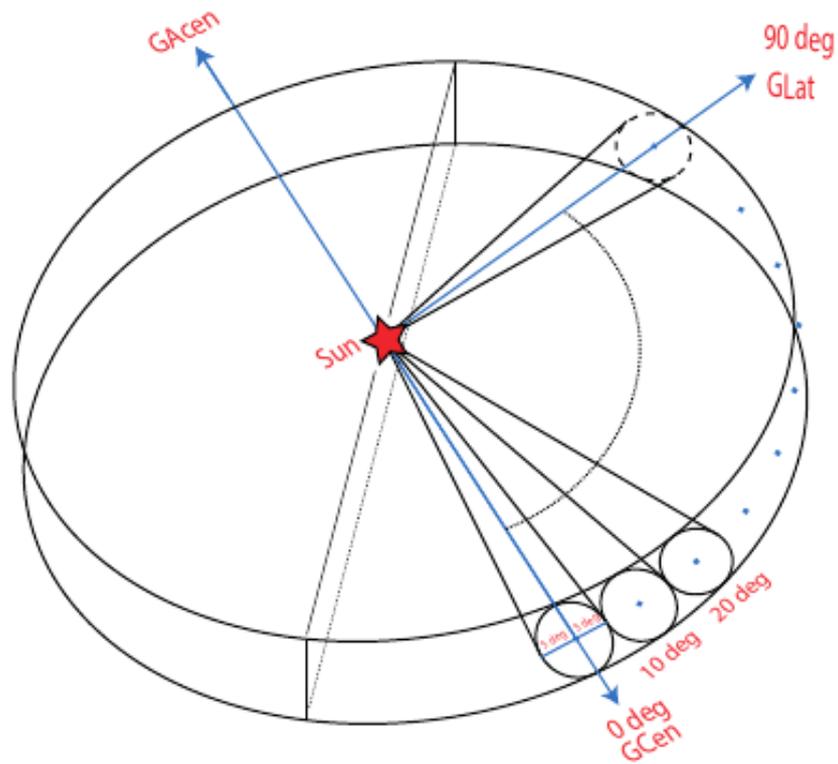
Направленность треков ядер отдачи для трех вариантов сечения (DM-p), для масс частиц DM (1,10,100keV, 1,10,100MeV,1GeV).

Уровень Земли (Assergi).

Вывод: направленные треки имеет смысл рассматривать для диапазона масс DM 1 keV — 10 MeV.

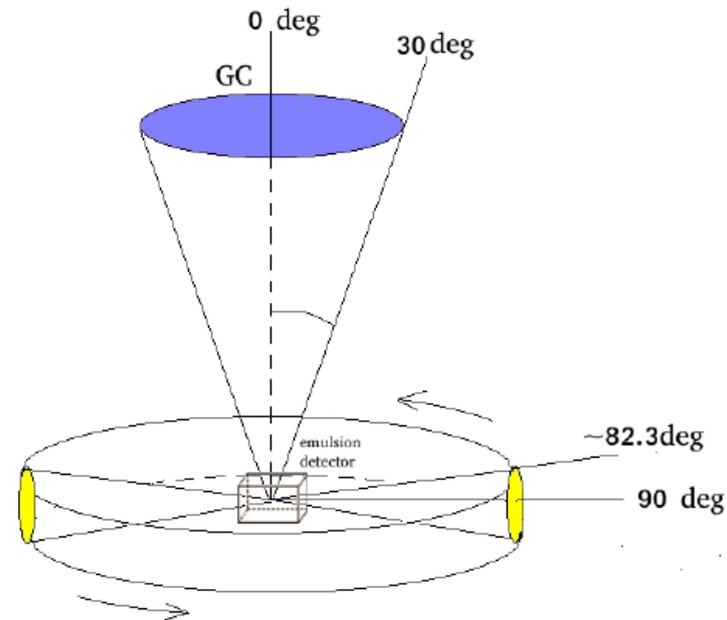
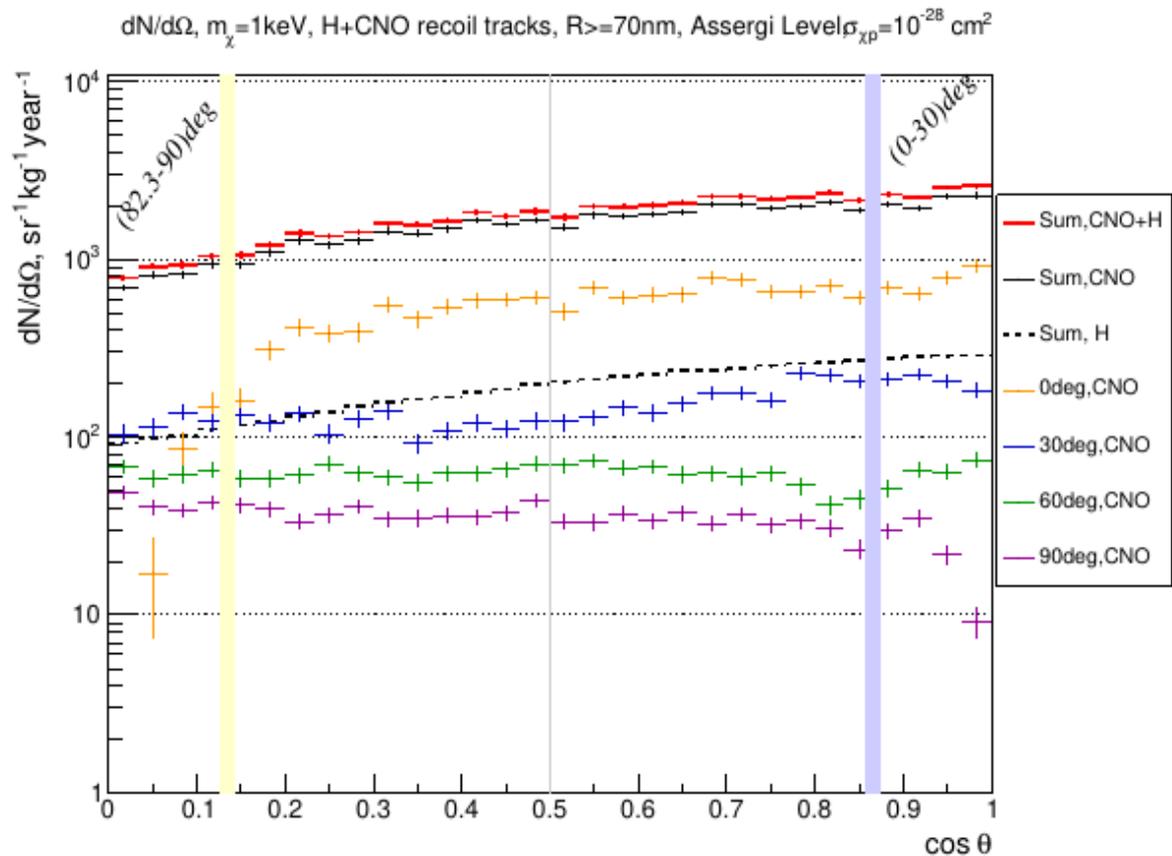
CRDM H+CNO recoils directional events (10 kg emulsion, 1 year), Assergi Level, (0 - 30) & (60 - 90)deg





. CRDM flux calculation scheme from GC to GLat direction.

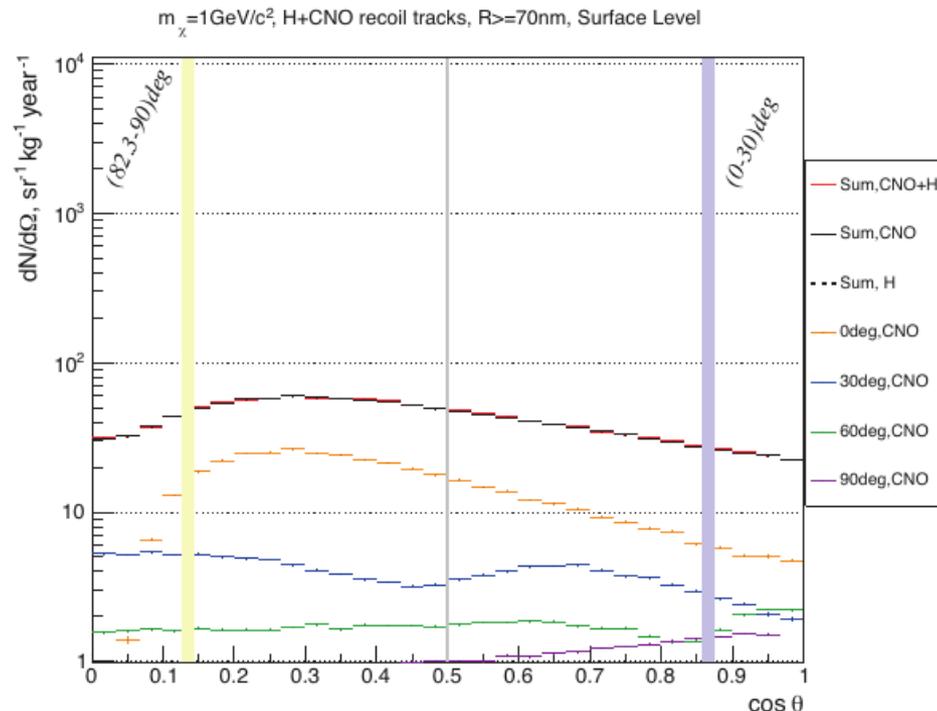
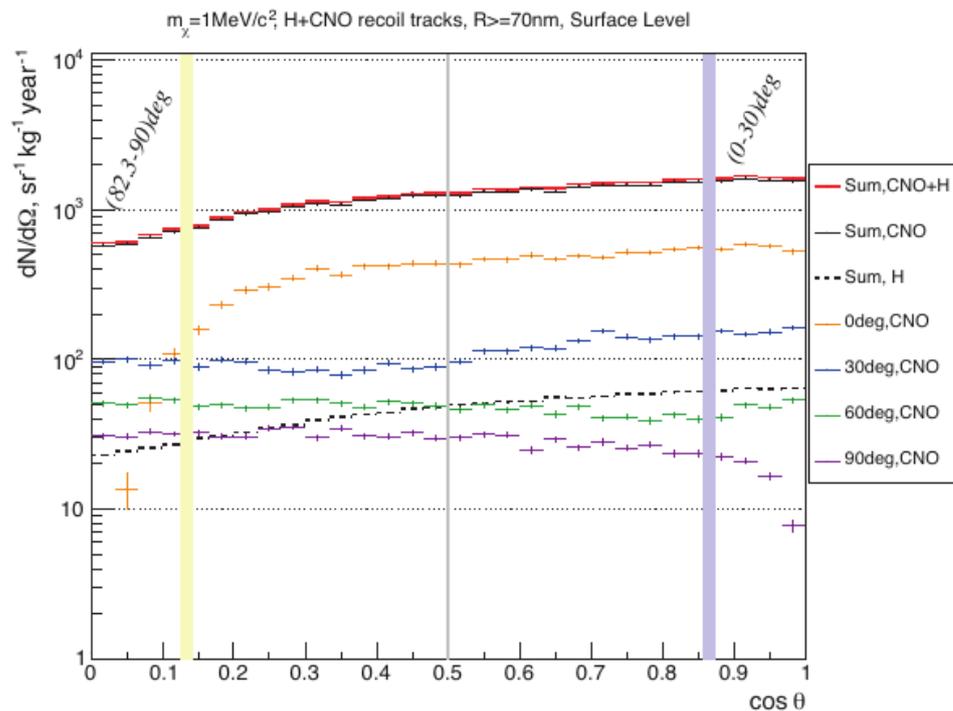
Сравнение количества треков ядер отдачи по направлению на Центр Галактики и в перпендикулярном направлении (в плоскости Галактики).



Сравнение количества треков ядер отдачи по направлению на Центр Галактики и в перпендикулярном направлении (в плоскости Галактики).

Table 1.

DM mass	N_{0-3}	N_{26-29}	$\frac{N_{26-29}}{N_{0-3}}$
1 keV/c^2	2319.8	8158.5	3.5
1 MeV/c^2	1820.2	6531.2	3.6
1 GeV/c^2	100.9	102.4	1.0



Спасибо за
внимание !