



Нугманов
Радик

Поиск частиц тёмной материи в детекторе Борексино

Нугманов Радик

НИЯУ "МИФИ", НИЦ "Курчатовский Институт"

23.12.2019, Москва

Частицы тёмной материи, ускоренные в космических лучах

T. Bringmann and M. Pospelov. Novel direct detection constraints on light dark matter. *Phys. Rev. Lett.* 122, 171801 (2019)

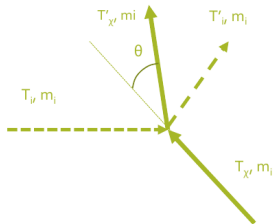


Рис.: Рассеяние частиц тёмной материи (сплошная линия) космическими лучами (пунктирная линия)

ТМКЛ - это вторичная компонента общего потока частиц ТМ с релятивистским импульсом, полученная путём рассеяния высокоэнергетических космических лучей на частицах холодной ТМ в гало Млечного пути

$$T_\chi^{max} = \frac{T_i^2 + 2m_i T_i}{T_i + (m_i + m_\chi)^2 / (2m_\chi)}$$

$$T_\chi' = T_\chi^{max} \frac{1 - \cos\theta}{2},$$

Метод поиска ТМКЛ

Метод поиска
ТМКЛ: рассеяния на протонах
сцинтиллятора

Массы сверху
вниз:

- 1 МэВ
- 10 МэВ
- 100 МэВ
- 1 ГэВ
- 10 ГэВ

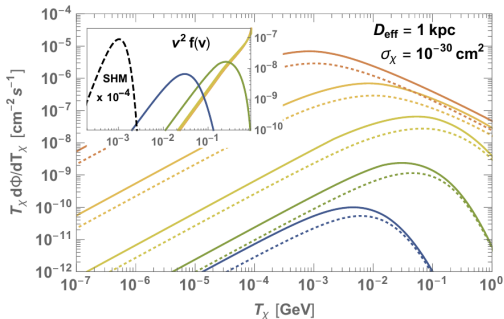


Рис.: Ожидаемый поток ТМКЛ для различных масс частиц ТМ.

Ожидаемый поток ТМКЛ очень мал. Даже для частиц χ с массой 1 МэВ, поток $10^{-5} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$.



В этом семестре

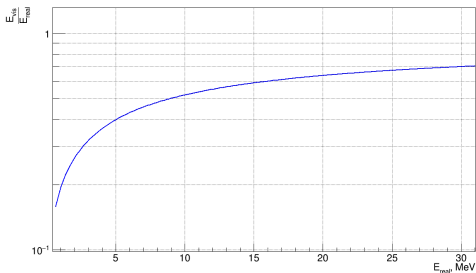
Продолжение работ, начатых в предыдущем семестре:

- Уточнение фонового вклада от атмосферных нейтрино путём доработки Монте-Карло данных атмосферных нейтрино (в котором учитывался фон от быстрых нейтронов)
- Новый анализ данных, который уточнил число отобранных событий-кандидатов
- Новые пределы для других масс частиц χ в диапазоне 0.01 – 10 ГэВ

Квенчинг протонов отдачи

Для работы взята зависимость квенчинга получена методом Монте-Карло (GEANT 4)

Quenching effect of protons in Borexino



Эмпирический закон Биркса:

$$\frac{dL}{dx} = \frac{\frac{dE}{dx}}{1 + k_B \left(\frac{dE}{dx} \right)}$$

$$k_B = 0.01055 \text{ см/МэВ}$$

Анализ чувствительности к ТМКЛ

Нугманов
Радик

$$\sigma_{\chi}^{SDlim} = \Gamma_p^{DM} \left(\frac{m_{\chi} + m_N}{m_{\chi} + m_p} \right)^2 \times \left(\int_{T_1}^{T_2} dT_p \int_{T_{\chi}}^{\infty} \frac{dT_{\chi}}{T_{max}} \frac{d\Phi_{chi}(m_{\chi})}{dT_{\chi}} \right)^{-1}$$

Полученная
область чув-
ствительности
рекордная
в диапа-
зоне масс χ
[0.01; 0.1] GeV

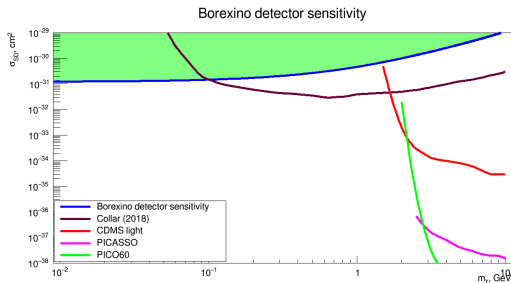


Рис.: Чувствительность к спин-зависимой части сечения ТМКЛ детектора Борексино



Источники фона

Нугманов
Радик

- Неидентифицированные мюоны и космогенные нейтроны
- Быстрые нейтроны
- Собственный фон детектора
- Атмосферные нейтрино

Критерии отбора событий

- Рассматриваются только такие события, которые зарегистрированы обеими системами сбора данных Борексино (LABEN и FADC)
- $t_{internal} > 2$ с, где $t_{internal}$ – время, прошедшее после попадания мюона в чувствительную часть детектора;
- $t_{external} > 2$ мс, где $t_{external}$ – время, прошедшее после попадания мюона в буферную часть детектора;
- $E_{event} > 3.0$ МэВ, где E_{event} – это видимая энергия события;
- $G > 0.02$, где G – значение параметра Гатти, рассчитанного для данного события;
- Событие имеет один кластер;
- Событие произошло в чувствительном объеме детектора.
- Оно не является шумом электроники;
- Тип триггера данного события равен 1;
- Условие одиночности события, т.е. до и после события в течение 2 мс не должно быть ни одного другого события;

Ожидаемый фон

Получен методом Монте-Карло

Energy distribution of atmospheric neutrinos

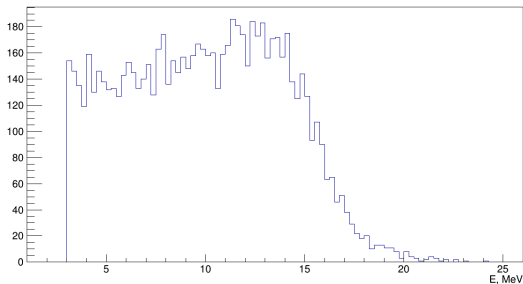


Рис.: Энергетическое рапределение протонов одачи от атмосферных нейтрино

Экспозиция: ~ 9000 лет

Скорость счёта: (0.92 ± 0.46) год $^{-1}$

- Время набора данных: с января 2010 по январь 2019
- Живое время: **5.645** лет

Отобрано 2 события:

№Run	№Вх	№FADC	E_{vis}^{FADC}	Gatti
23426	126562	5635	6.95	0.02
26218	372360	32863	5.52	0.06

Верхние ограничения получены методом
Фельдмана-Каузина:

$$\Phi(T_p) = \frac{N_{90}(\Delta T_p, n_{obs}, n_{bkg})}{\epsilon N_p \sigma(m_\chi) \Delta t}$$

- $\epsilon = 1$ эффективность регистрации
- $N_p = 7.38 \cdot 10^{31}$ количество протонов мишеней
- Δt - живое время сбора данных
- $\sigma(m_\chi)$ было взято из анализа чувствительности

Flux Upper limit 90% C.L. for CRDM in Borexino

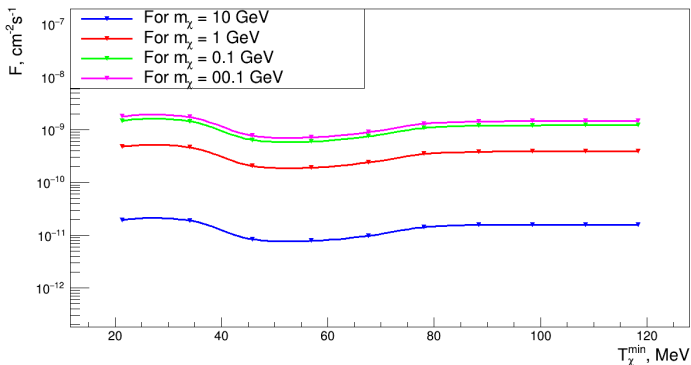


Рис.: Верхнее ограничение на поток ТМКЛ в зависимости от минимальной кинетической энергии ТМКЛ для различных масс χ

Интегральное значение верхнего предела для различных масс χ

Upper limit on CRDM flux, $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$	m_χ , GeV
$\Phi_{CRDM} < 1.59 \cdot 10^{-11}$	10
$\Phi_{CRDM} < 3.89 \cdot 10^{-10}$	1
$\Phi_{CRDM} < 1.21 \cdot 10^{-9}$	0.1
$\Phi_{CRDM} < 1.45 \cdot 10^{-9}$	0.01

Это первое экспериментальное ограничение на поток ТМКЛ в Борексино.

Заключение

- Проведена оценка чувствительности детектора Борексина к регистрации ТМКЛ.
- Произведён поиск таких событий в детекторе Борексина.
- Было получено первое экспериментальное ограничение на поток ТМКЛ в Борексина.
- Результаты представлены на митинге коллаборации Борексина в Милане 10.12.2019 г., а также на XVI Курчатовской междисциплинарной молодёжной научной школе 4.12.2019 г.

Дальнейшие направления работ:

- Посчитать эффективность регистрации ϵ
- Оценить фоновый вклад от неидентифицированных мюонов