

Установление пределов на поток частиц тёмной материи при помощи детектора Борексино

ВЫПОЛНИЛ: СТУДЕНТ ГРУППЫ Б19-102

КИСЕЛЕВ КИРИЛЛ КЛАУДИОВИЧ

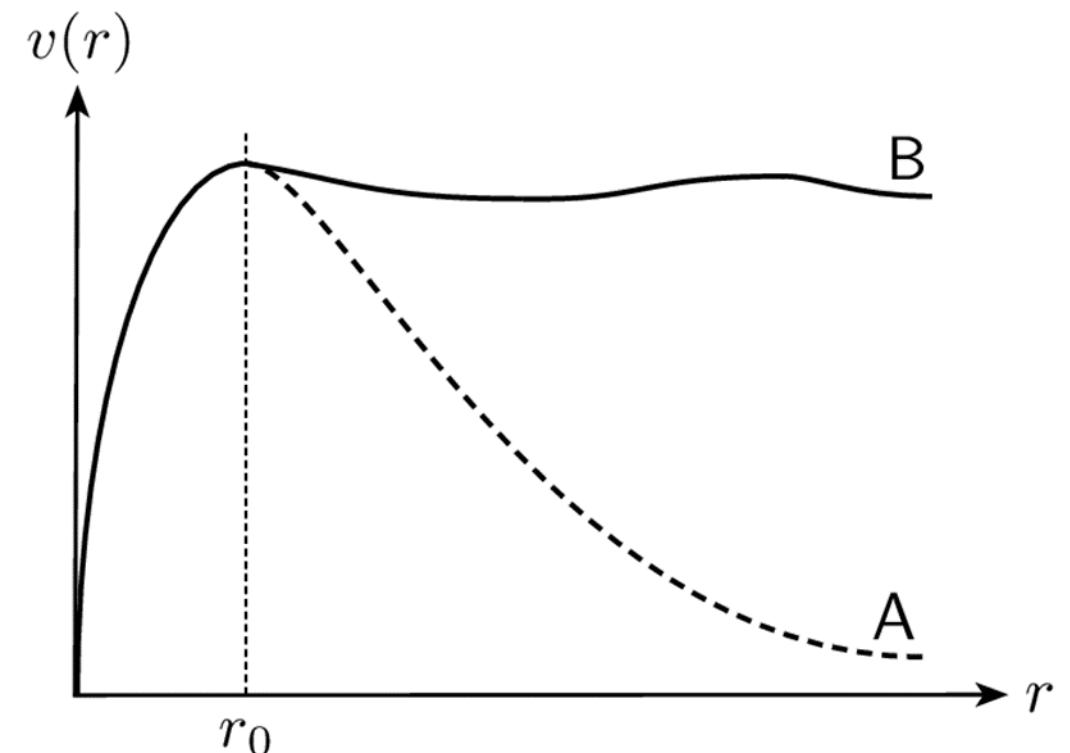
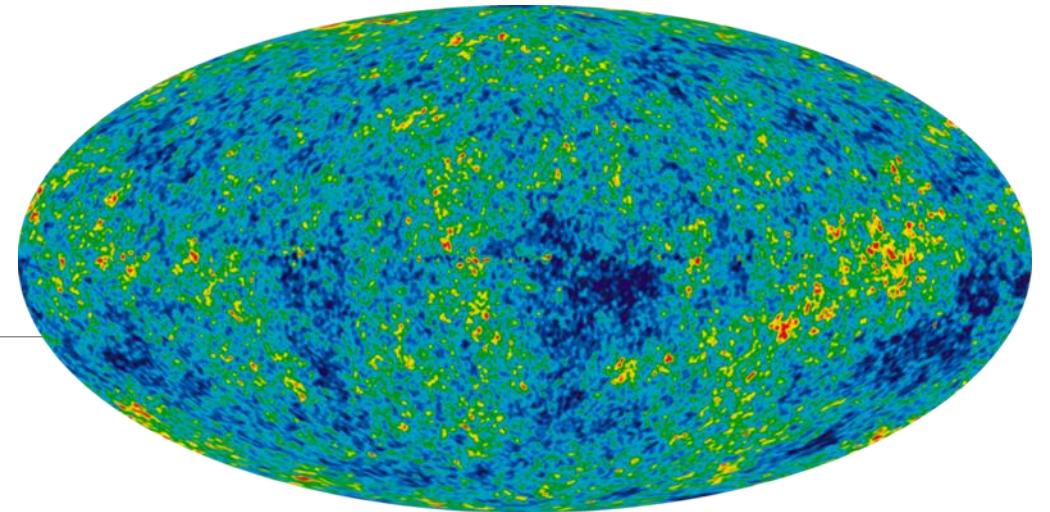
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ: МЛАДШИЙ НАУЧНЫЙ СОТРУДНИК

НУГМАНОВ РАДИК РАФАЭЛЬЕВИЧ

Тёмная материя

Свидетельства существования:

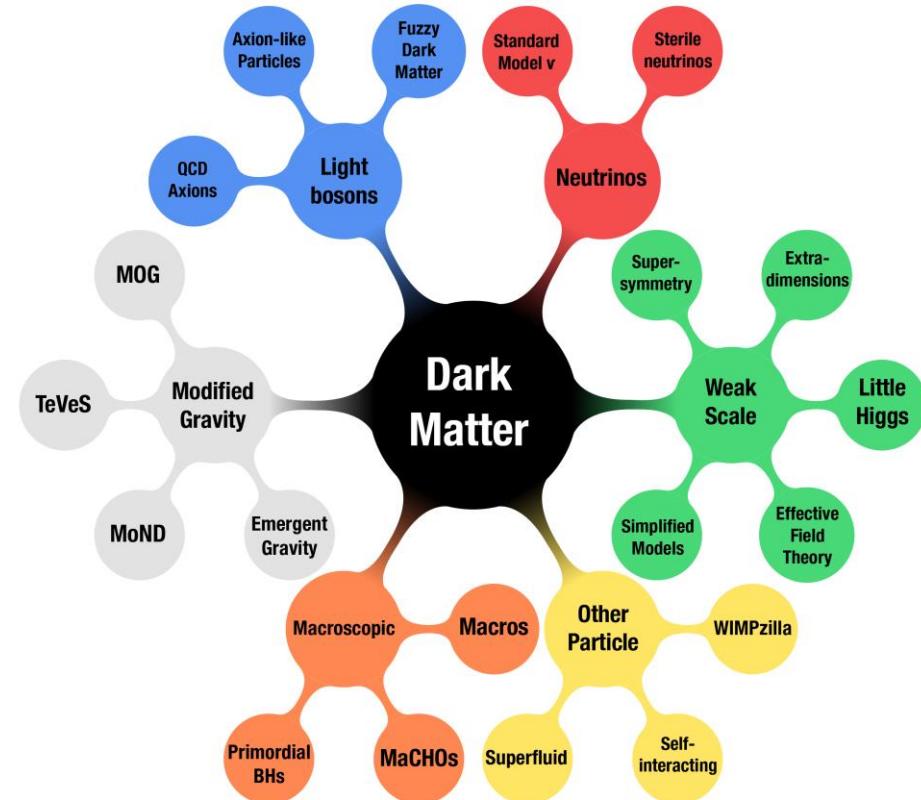
- Анизотропия реликтового излучения
- Кривые вращения галактик
- Гравитационное линзирование



Тёмная материя

Кандидаты на роль тёмной материи:

- Нейтрино
- Аксионы
- WIMP
- MACHO
- Частицы из теории суперсимметрии

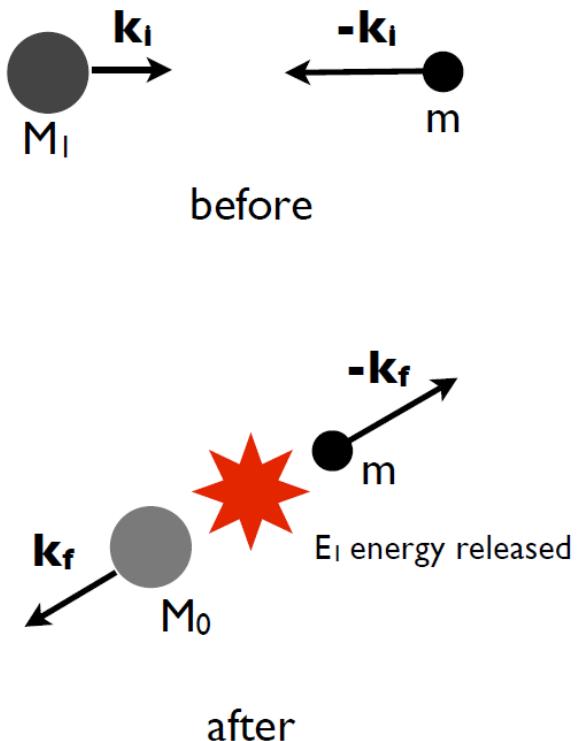


Цель работы

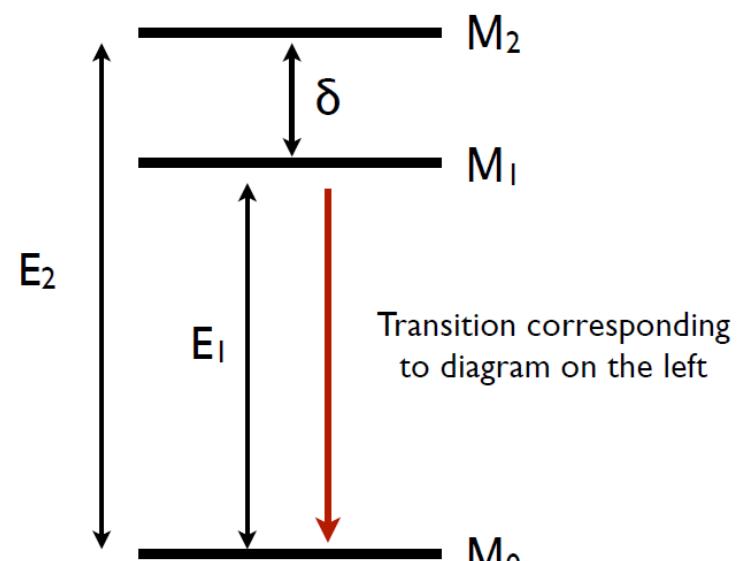
Расчёт теоретического спектра энергии событий-кандидатов от взаимодействия с частицами тёмной материи.

Возбуждённая тёмная материя

WIMP-p collision in CM frame



Generic XDM Energy Levels



Расчёт спектра по энергии отдачи протона

Спектр по энергии отдачи протона:

$$\frac{dR}{dE_R} = \frac{N_T F \rho_D}{M} \int_{v_{min}}^{\infty} v f(v, v_E, v_{esc}) dv \frac{d\sigma}{dE_R}$$

Из кинематики реакции можно получить

$$\frac{d\sigma}{dE_R} = \frac{\sigma_n}{2mv^2}$$

$$v_{min} = \frac{|E_R - \Delta E|}{\sqrt{2mv^2}}$$

Расчёт спектра по энергии отдачи протона

Максвелловское распределение частиц тёмной материи по скоростям:

$$f(v, v_{esc}) = \begin{cases} \left(\frac{3 - \frac{8}{\pi}}{2\pi v_0^2} \right)^{\frac{3}{2}} 4\pi v^2 e^{-\frac{\left(3 - \frac{8}{\pi}\right)v^2}{2v_0^2}} & \text{for } v < v_{esc} \\ 0 & \text{for } v > v_{esc} \end{cases}$$

Расчёт спектра по энергии отдачи протона

После взятия интеграла и отбрасывания второго слагаемого получим:

$$\frac{dR}{dE_R} \approx \frac{N_T F \rho_D \sigma_n}{2mM} \sqrt{\frac{2 \left(3 - \frac{8}{\pi}\right)}{\pi v_0^2}} e^{-\frac{(E_R - \Delta E)^2 \left(3 - \frac{8}{\pi}\right)}{4v_0^2 m \Delta E}} = A e^{-\frac{(E_R - \Delta E)^2}{2\sigma_1^2}}$$

где введены обозначения

$$A = \frac{N_T F \rho_D \sigma_n}{2mM} \sqrt{\frac{2 \left(3 - \frac{8}{\pi}\right)}{\pi v_0^2}}, \sigma_1^2 = \frac{2v_0^2 \Delta E m}{3 - \frac{8}{\pi}}$$

Учёт разрешения детектора

Вид функции отклика детектора Борексино:

$$G(E, E') = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} e^{-\frac{(E-E')^2}{2\sigma_0^2}}$$

где $\sigma_0 = 0.11\sqrt{E}$

Учёт разрешения детектора

Спектр событий с учётом разрешения детектора даётся формулой

$$\frac{dR}{dE} = \int_{E'_{min}}^{E'_{max}} \frac{dR}{dE'} G(E, E') dE' = \int_0^{\infty} \frac{dR}{dE_R} G(E, E_R) dE_R$$

Взятие интеграла приведёт к

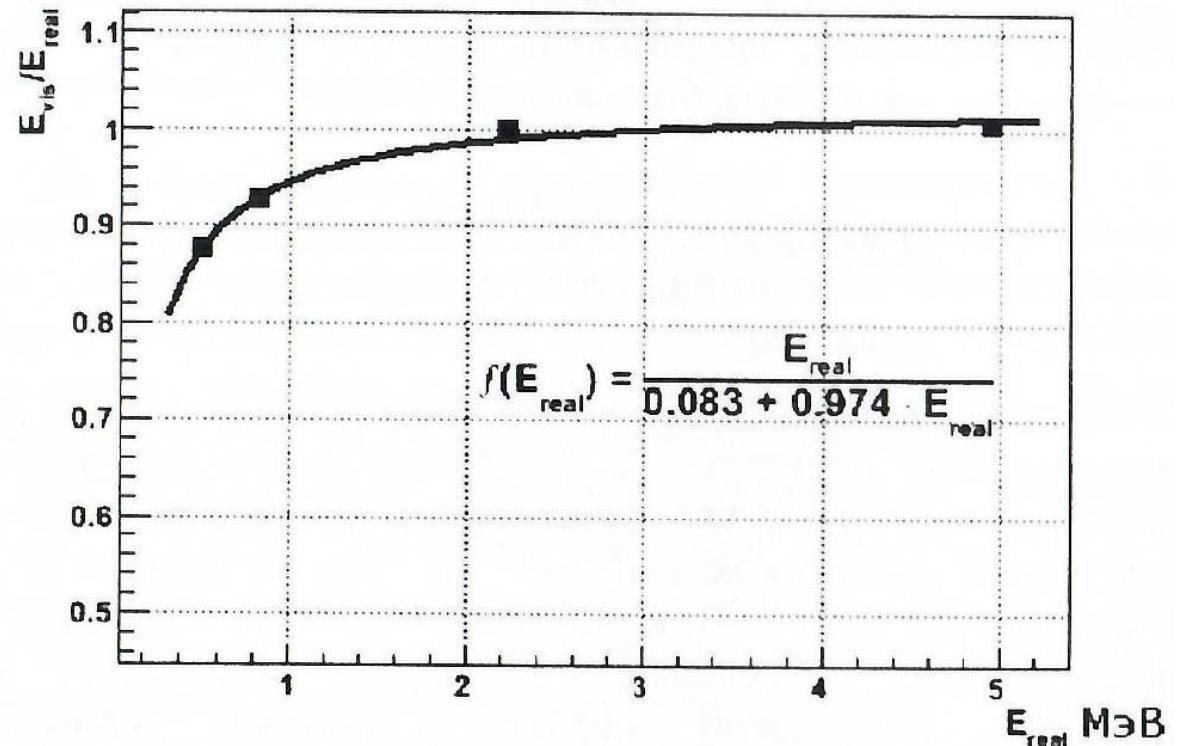
$$\frac{dR}{dE} = A \frac{\sigma}{\sigma_0} \left(1 - \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left(\frac{\tilde{E}}{\sqrt{2}\sigma} \right) \right) e^{-\frac{(E-\Delta E)^2}{2(\sigma_1^2 + \sigma_0^2)}}$$

Обозначения: $\sigma^2 = \frac{\sigma_1^2 \sigma_0^2}{\sigma_1^2 + \sigma_0^2}$, $\tilde{E} = \frac{E \sigma_1^2 + \Delta E \sigma_0^2}{\sigma_1^2 + \sigma_0^2}$

Учёт эффекта квенчинга

Экспериментальная зависимость видимой в детекторе Борексино энергии от действительной энергии регистрируемой частицы выглядит следующим образом:

$$E_{vis} = \frac{E^2}{0.083 + 0.974E}$$



Учёт эффекта квенчинга

Переход к спектру по энергии с учётом эффекта квенчинга:

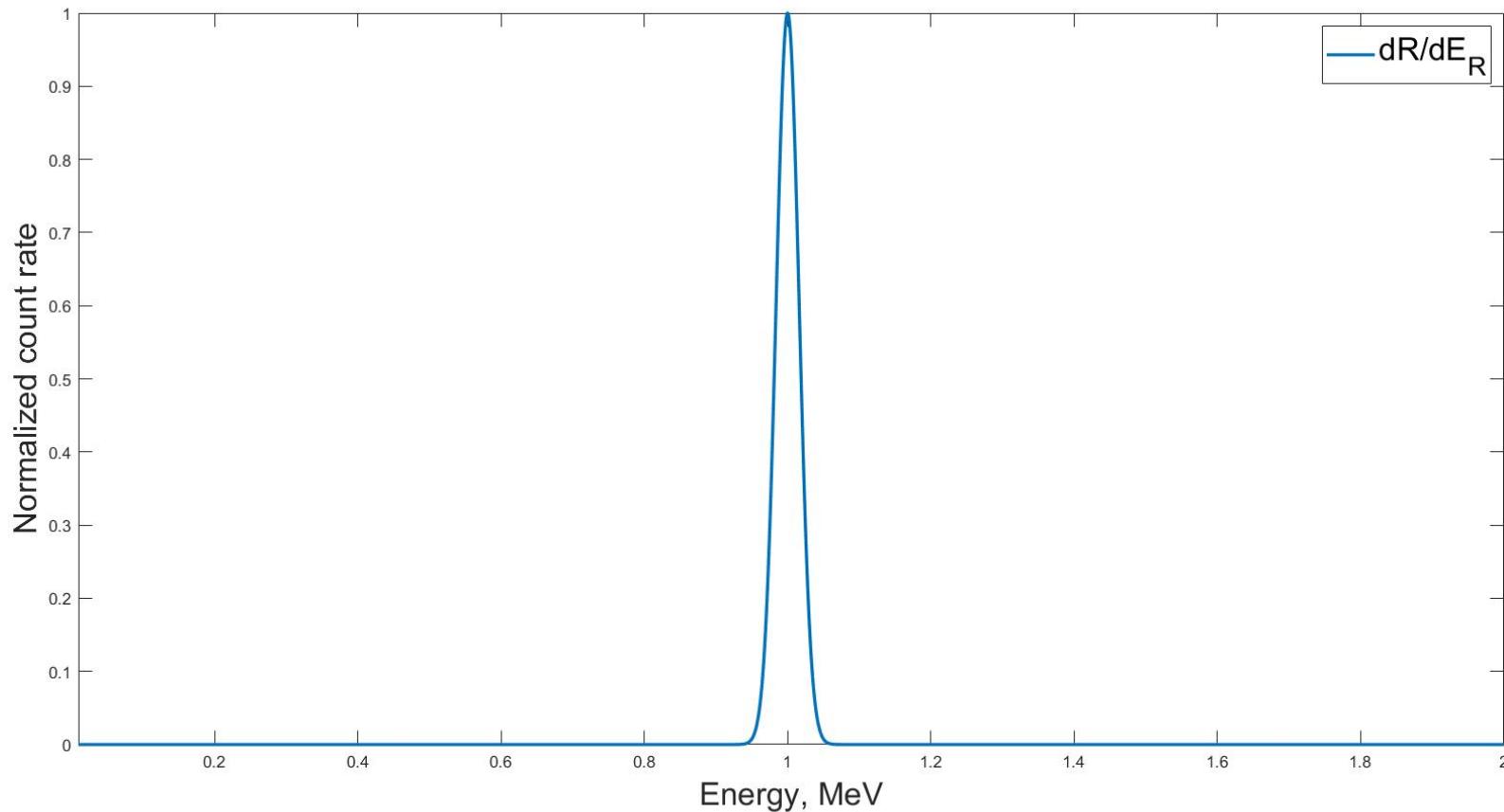
$$\frac{dR}{dE_{vis}} = \frac{dR}{dE} \frac{\partial E}{\partial E_{vis}}$$

Проделав вычисления, получим итоговую формулу:

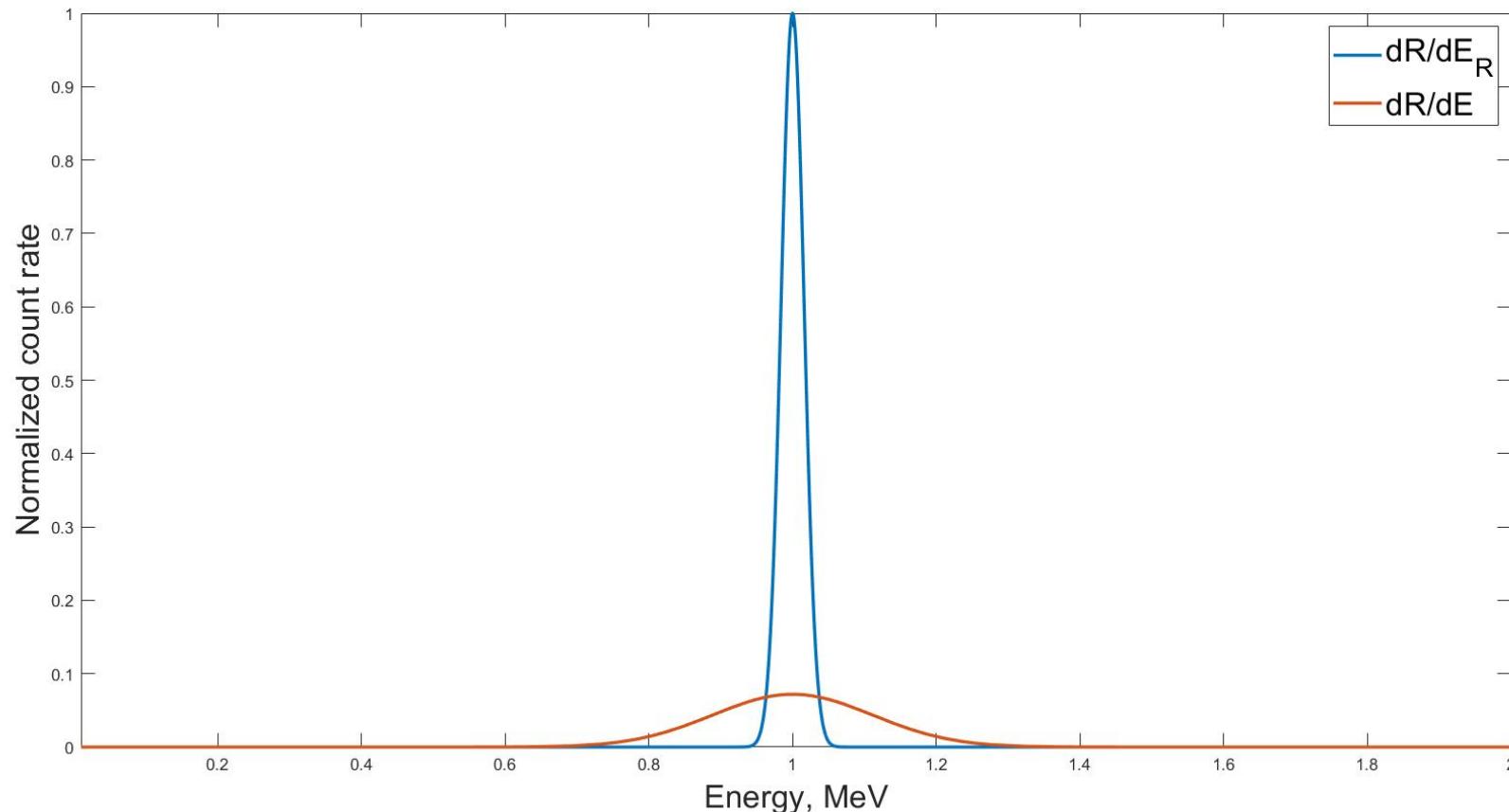
$$\frac{dR}{dE_{vis}} = \left(0.487 + \frac{0.475E_{vis} + 0.083}{\sqrt{0.949E_{vis}^2 + 0.332E_{vis}}} \right) \left(1 - \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left(\frac{\tilde{E}}{\sqrt{2}\sigma} \right) \right) A \frac{\sigma}{\sigma_0} e^{-\frac{(E(E_{vis}) - \Delta E)^2}{2(\sigma_1^2 + \sigma_0^2)}}$$

где $E(E_{vis}) = \frac{0.974E_{vis} + \sqrt{0.949E_{vis}^2 + 0.332E_{vis}}}{2}$

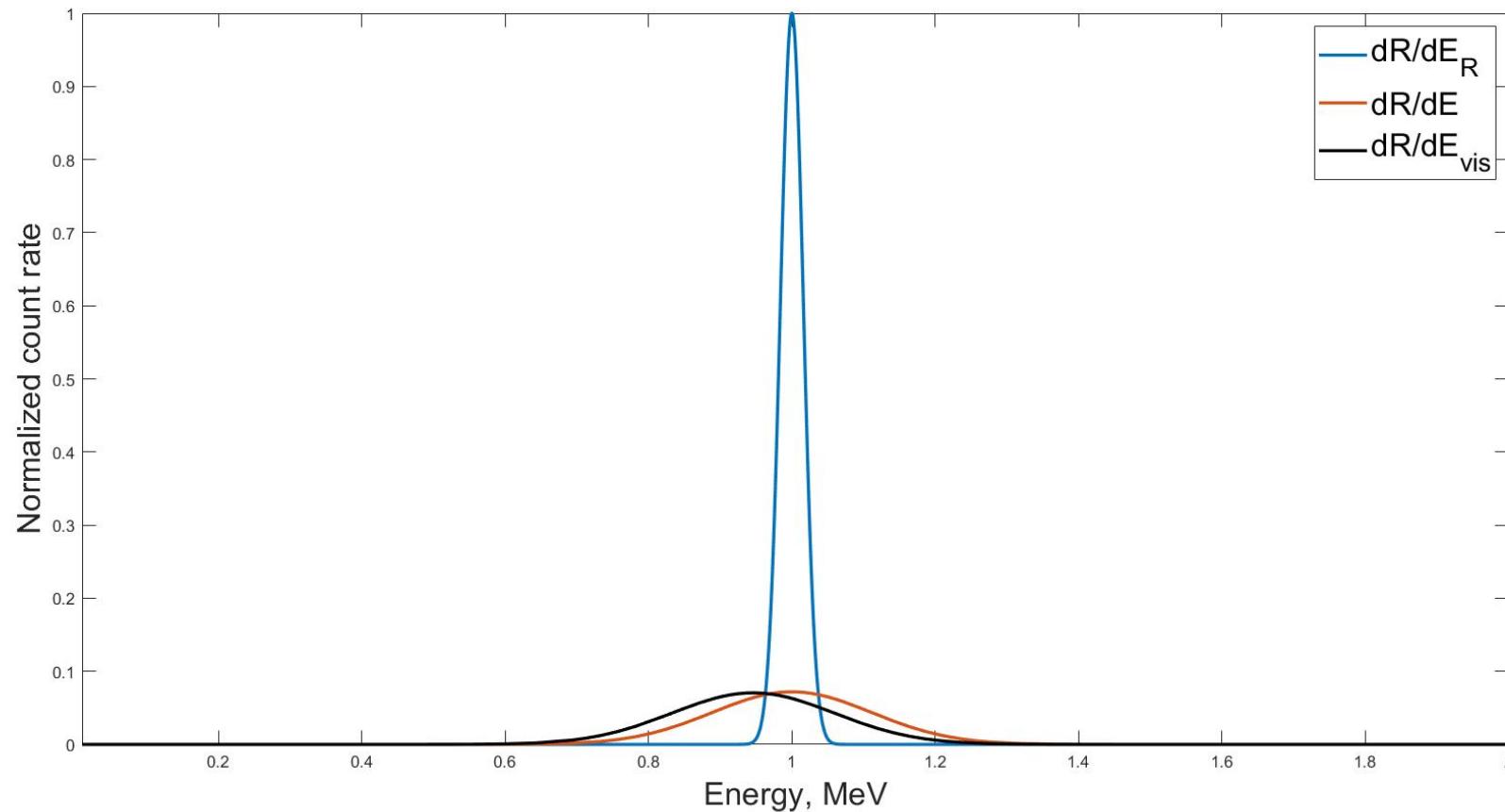
Сравнение зависимостей



Сравнение зависимостей



Сравнение зависимостей



Предполагаемый метод отбора событий-кандидатов

Ранее использованные критерии отбора:

- Мюонное вето
- Событие-кандидат на должно быть шумом электроники
- Тип триггера 1
- Событие-кандидат должно иметь один кластер

Дополняющие критерии отбора:

- Параметр Гатти
- Параметр «tail-to-total»

Заключение

Был получен вид теоретического спектра по энергии событий от тёмной материи, который даёт повод для экспериментального поиска возбуждённой тёмной материи с помощью детектора Борексино.

Также были предложены критерии отбора событий-кандидатов.

Спасибо за внимание!
