



Исследование возможности подавления фотонов конечного состояния в распадах частиц скрытой массы

Басов Я.А.

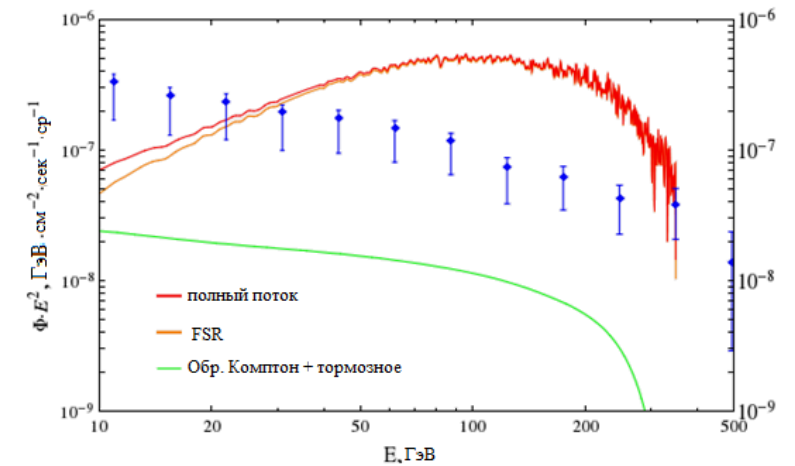
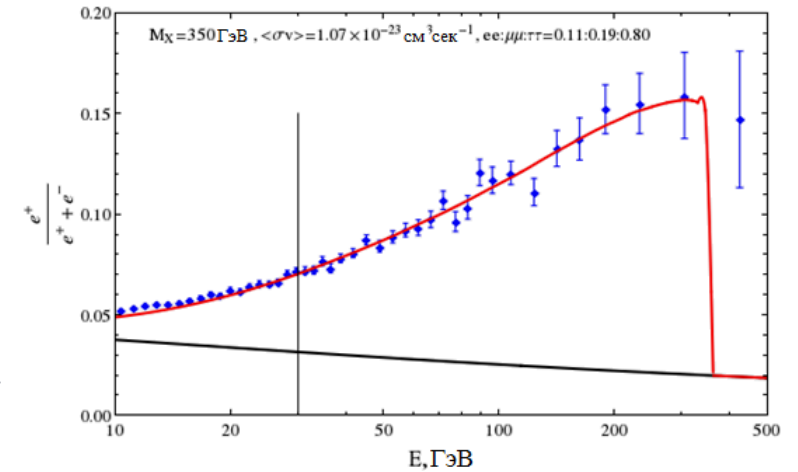
Научный руководитель: Белоцкий К.М.



Введение

Цель работы: поиск принципиальной возможности подавления гамма-излучения в моделях распада частиц скрытой массы для решения проблемы позитронной аномалии в КЛ.

Актуальность: позитронная аномалия не имеет общепринятого объяснения, модели со скрытой массой имеют проблемы по превышению гамма-фона из-за сопутствующего излучения.

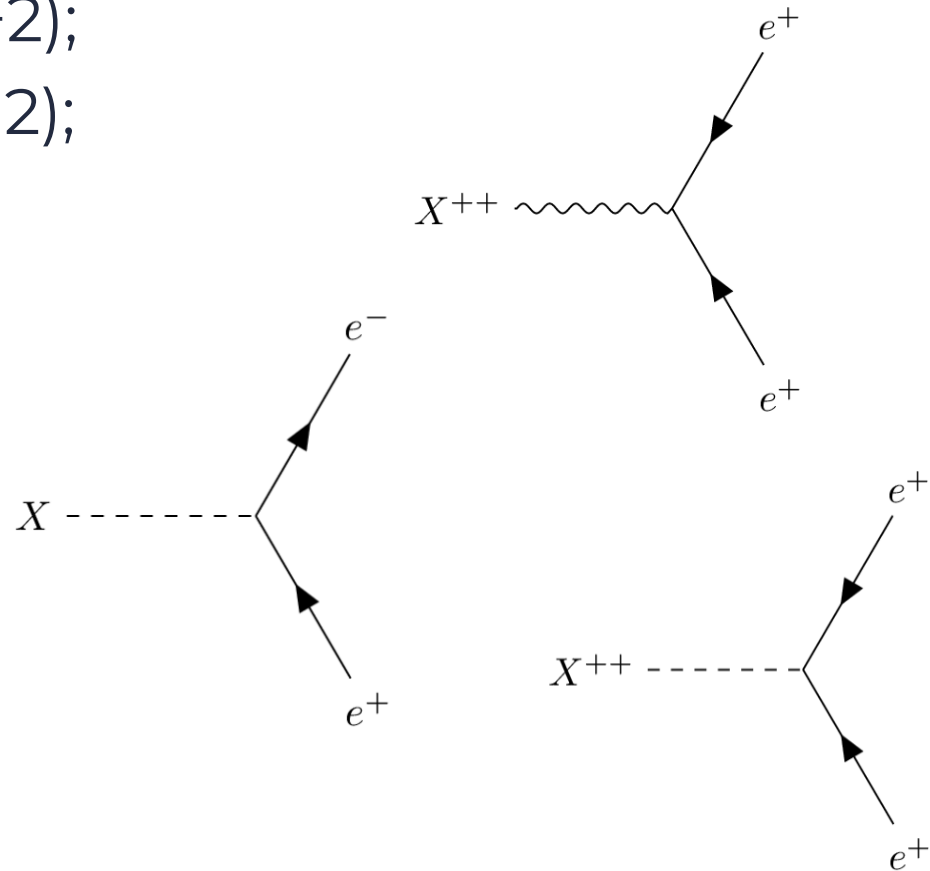


Рассматриваемые модели

Частицы скрытой массы **X** и **Y** в распадах $X \rightarrow e^+ + e^\pm, X \rightarrow e^+ + Y$:

- скалярный **бозон X** (заряды 0, +1, +2);
- векторный **бозон X** (заряды 0, +1, +2);
- **фермион Y** (заряд 0).

Цель – уменьшить количество фотонов по отношению к количеству позитронов



Лагранжианы моделей

$$\mathcal{L}_{X_{\text{Scalar}}^0} = \frac{1}{2}\partial_\mu X \partial^\mu X - \frac{1}{2}M_X^2 X^2 - \bar{\psi}(a + b\gamma^5)X\psi,$$

$$\mathcal{L}_{X_{\text{Vector}}^0} = -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + \frac{1}{2}M_X^2 X_\mu X^\mu - \bar{\psi}(a + b\gamma^5)\gamma^\mu X_\mu\psi,$$

$$\mathcal{L}_{X_{\text{Scalar}}^+} = D_\mu X^\dagger D^\mu X - M_X^2 X^\dagger X + \bar{Y}(i\gamma^\mu \partial_\mu Y - m_Y)Y - (\bar{\psi}(a + b\gamma^5)XY + h.c.),$$

$$\mathcal{L}_{X_{\text{Vector}}^+} = -\frac{1}{2}F_{\mu\nu}^\dagger F^{\mu\nu} + M_X^2 X_\mu^\dagger X^\mu + \bar{Y}(i\gamma^\mu \partial_\mu Y - m_Y)Y - (\bar{\psi}(a + b\gamma^5)\gamma^\mu X_\mu Y + h.c.),$$

$$\mathcal{L}_{X_{\text{Scalar}}^{++}} = D_\mu X^\dagger D^\mu X - M_X^2 X^\dagger X - (\bar{\psi}(a + b\gamma^5)X\psi^C + h.c.),$$

$$\mathcal{L}_{X_{\text{Vector}}^{++}} = -\frac{1}{2}F_{\mu\nu}^\dagger F^{\mu\nu} + M_X^2 X_\mu^\dagger X^\mu - (\bar{\psi}(a + b\gamma^5)\gamma^\mu X_\mu\psi^C + h.c.).$$

Расчет распада X на 2 частицы

$$\Gamma_{X_S^0} = \frac{M_X}{8\pi} \sqrt{1 - \frac{4m_e^2}{M_X^2}} \left(a^2 \left(1 - \frac{4m_e^2}{M_X^2} \right) + b^2 \right),$$

$$\Gamma_{X_S^{++}} = \frac{M_X}{4\pi} \sqrt{1 - \frac{4m_e^2}{M_X^2}} \left(a^2 \left(1 - \frac{4m_e^2}{M_X^2} \right) + b^2 \right),$$

$$\Gamma_{X_V^0} = \frac{M_X}{12\pi} \sqrt{1 - \frac{4m_e^2}{M_X^2}} \left(a^2 \left(1 + \frac{2m_e^2}{M_X^2} \right) + b^2 \left(1 - \frac{4m_e^2}{M_X^2} \right) \right),$$

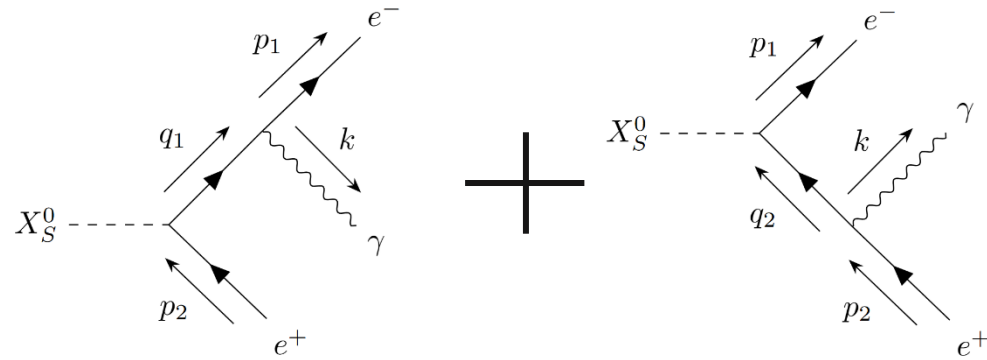
$$\Gamma_{X_V^{++}} = \frac{M_X}{6\pi} \sqrt{1 - \frac{4m_e^2}{M_X^2}} \left(b^2 \left(1 - \frac{4m_e^2}{M_X^2} \right) \right),$$

$$\Gamma_{X_S^+} = \frac{M_X}{8\pi} \sqrt{\left(1 - \frac{(m_e + m_Y)^2}{M_X^2} \right) \left(1 - \frac{(m_e - m_Y)^2}{M_X^2} \right)} \left(a^2 \left(1 - \frac{(m_e + m_Y)^2}{M_X^2} \right) + b^2 \left(1 - \frac{(m_e - m_Y)^2}{M_X^2} \right) \right),$$

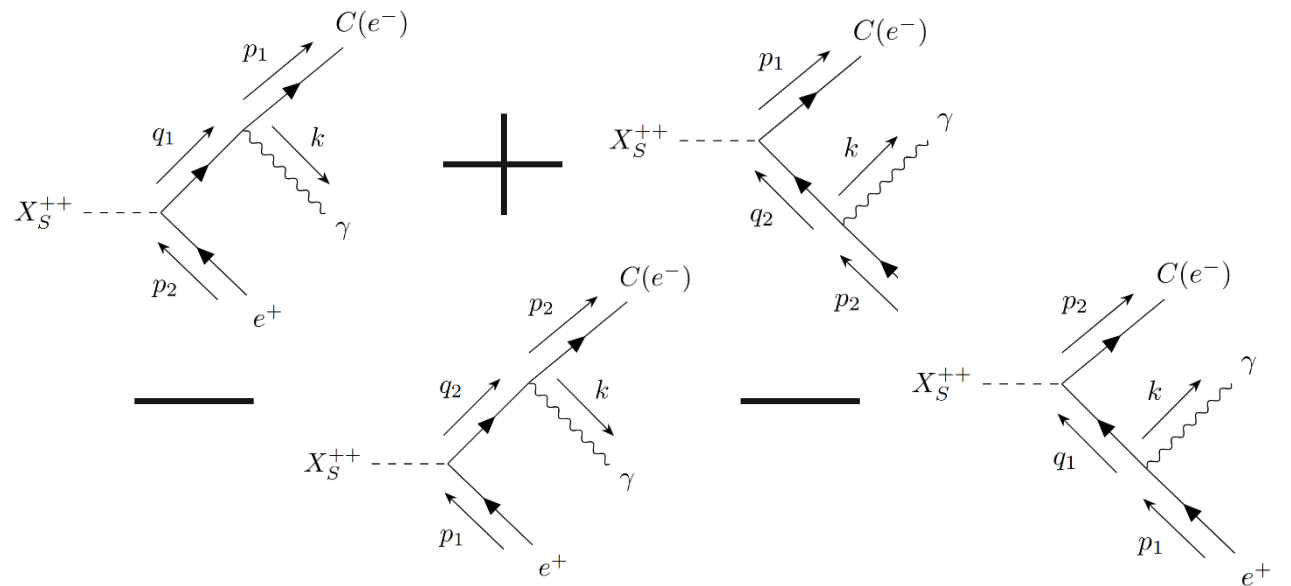
$$\Gamma_{X_V^+} = \frac{M_X}{12\pi} \sqrt{\left(1 - \frac{(m_e + m_Y)^2}{M_X^2} \right) \left(1 - \frac{(m_e - m_Y)^2}{M_X^2} \right)} \cdot \left(a^2 \left(1 - \frac{m_e^2 - 6m_e m_Y + m_Y^2}{2M_X^2} - \frac{(m_e^2 - m_Y^2)^2}{2M_X^4} \right) + b^2 \left(1 - \frac{m_e^2 + 6m_e m_Y + m_Y^2}{2M_X^2} - \frac{(m_e^2 - m_Y^2)^2}{2M_X^4} \right) \right).$$

Расчет распада X на $e^+e^\pm$ и фотон

Диаграммы Фейнмана для распада $X^0 \rightarrow e^+e^-\gamma$:



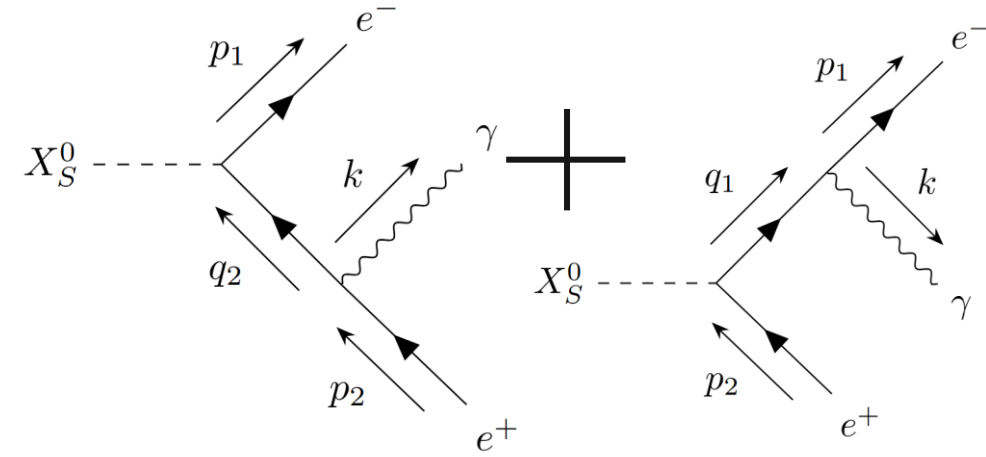
Диаграммы Фейнмана для распада $X^{++} \rightarrow e^+e^+\gamma$:



Расчет распада X^0 (скаляр) на e^+e^- и фотон

$$i\mathcal{M} = i\mathcal{M}_A + i\mathcal{M}_B = -ie\bar{u}(p_1) \left(\gamma^\mu \frac{\hat{q}_1 + m_e}{2p_1 \cdot k} (a + b\gamma^5) + (a + b\gamma^5) \frac{-\hat{q}_2 + m_e}{2p_2 \cdot k} \gamma^\mu \right) \epsilon_\mu^*(k) v(p_2)$$

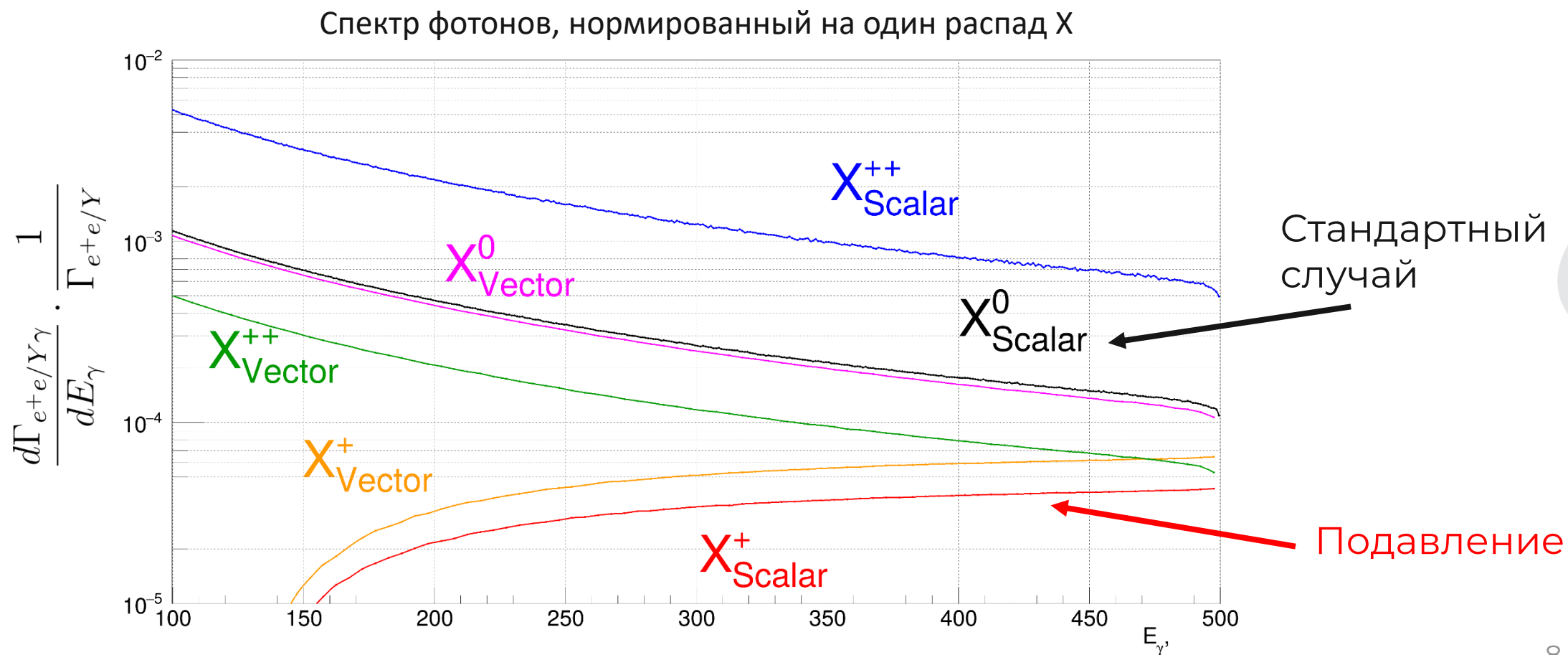
$$E_1^\pm = \frac{(E_{1m} - E_\gamma)(M_X - E_\gamma) \pm E_\gamma \sqrt{(E_{\gamma m} - E_\gamma)(A - E_\gamma)}}{M_X - 2E_\gamma},$$



$$\frac{d\Gamma}{dE_\gamma} = \frac{e^2}{2M_X^2(2\pi)^3} \left(m_e^2 \left(a^2 E_{\gamma m} + b^2 \frac{M_X}{2} \right) \left(\frac{1}{E_1 + E_\gamma + E_{2m} - M_X} - \frac{1}{E_{1m} - E_1} \right) + \right. \\ \left. + \frac{M_X}{E_\gamma} (a^2 (E_\gamma^2 - 2E_\gamma E_{\gamma m} + 2E_{\gamma m} E) + b^2 (E_\gamma^2 - M_X E_\gamma + M_X E)) \ln \frac{E_1 + E_\gamma + E_{2m} - M_X}{E_{1m} - E_1} \right) \Bigg|_{E_1^-}^{E_1^+}.$$

Моделирование

Моделирование распадов производилось в Монте-Карло генераторе **MadGraph 5**. Для значений $M_X = 1000$ ГэВ, $m_Y = 0, 1$ ГэВ, получены спектры фотонов:



Заключение

Для моды распада бозона с **зарядом +1** зафиксировано **подавление** выхода фотонов с энергией выше 100 ГэВ **в 200 раз** по отношению к распаду нейтральной скалярной частицы. Эта модель наиболее перспективна для разрешения позитронной аномалии, но требует физической интерпретации.

Полученные в настоящей работе энергетические спектры могут быть использованы для **моделирования рождения частиц** в распадах скрытой массы и **распространения** космических лучей по Галактике.

Спасибо за внимание

