

Рождение барион-фотона в адронных столкновениях

Московский Физико-Технический Институт
Институт Ядерных Исследований РАН
Физический Институт Академии Наук ФИАН РАН

Иван Маслаков 4 курс ФОПФ,
научный руководитель Д.С. Горбунов



Модель

Введение калибровочной группы $U(1)_B$ с механизмом Хиггса в темном секторе:

Преобразование кваркового поля под $U(1)_B$:

$$\begin{pmatrix} u \\ d \\ s \end{pmatrix} \rightarrow e^{ib\beta(x)} \begin{pmatrix} u \\ d \\ s \end{pmatrix}$$

ВАЖНО!

$\mathcal{J}_B^\mu$ - аномальный
 $(\mathcal{J}_B^\mu - \mathcal{J}_L^\mu)$ - нет

$$\mathcal{L}_{\text{int}} = (b + \varepsilon Q_q e) \bar{q} \gamma^\mu q B_\mu - \varepsilon e l \gamma^\mu l B_\mu + \frac{m_b^2}{2} B_\mu B^\mu$$

кварки (красная линия)

лептоны (синяя линия)

В-бозон (барион-фотон) (черная линия)

Масса от механизма Хиггса в темном секторе (красная линия)

b – константа связи барионной группы
 e – электромагнитной
 ε маленький

Это на уровне кварков, а какая эффективная теория?

π-р и р-р рассеяние в TiMoFeу и киральная теория. Лагранжиан с первыми резонансами

Поля модели:

пионы

$$a_\mu \approx \frac{1}{2f_\pi} \partial_\mu \pi^a \sigma_a$$

нуклоны

$$N = \begin{pmatrix} p \\ n \end{pmatrix}$$

Векторные мезоны

$$\rho_\mu = \frac{\sigma_a}{2} \rho_\mu^a$$

изобары

$$\Delta_\mu = \begin{pmatrix} \Delta_\mu^{++} \\ \Delta_\mu^+ \\ \Delta_\mu^0 \\ \Delta_\mu^- \end{pmatrix}$$

+ калибровочные

Нелинейное представление киральной группы

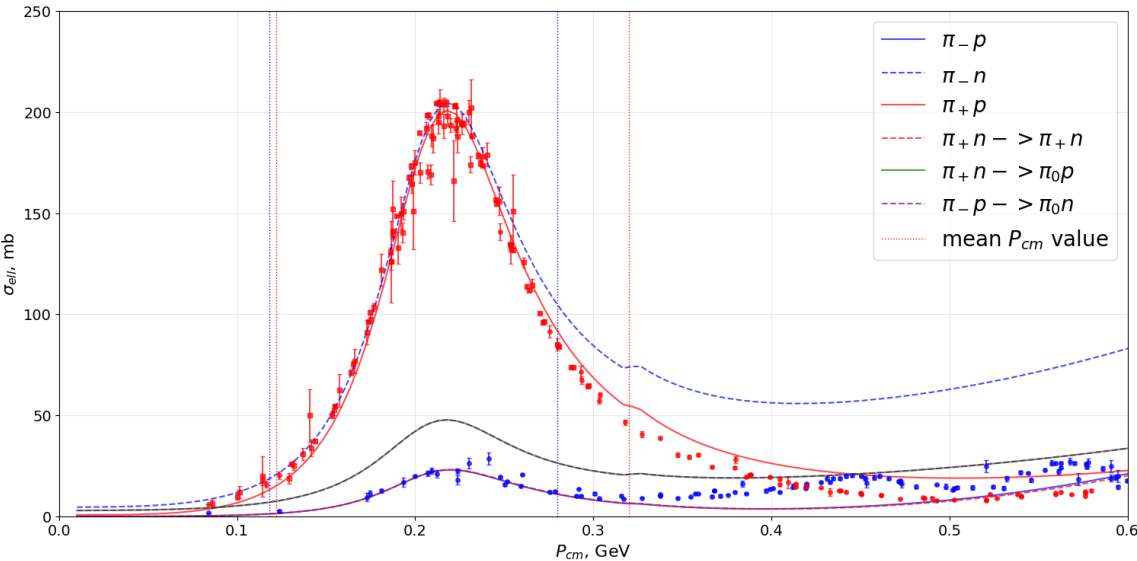
Некоторые члены взаимодействия:

$$\mathcal{L}_{\pi N} = \underline{g_a} \bar{N} \gamma^\mu \gamma^5 a_\mu N$$

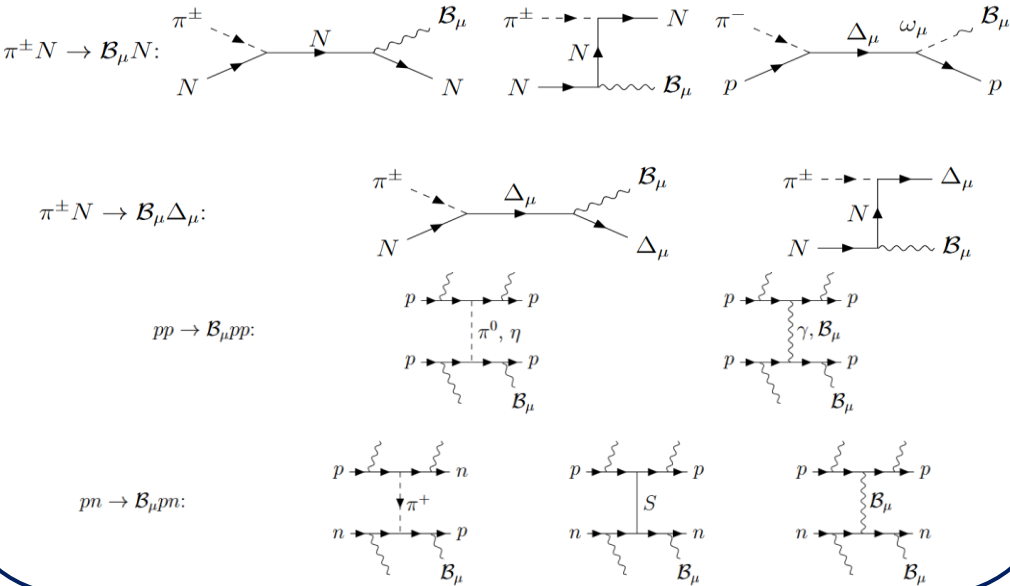
$$\mathcal{L}_{\Delta \pi N} = \underline{g_{\pi N \Delta}} \bar{\Delta}_\mu^b a_\nu^b \Theta^{\mu \nu} N + \text{h.c.}$$

$$\mathcal{L}_{\rho N} = -\underline{g_\rho} \bar{N} \gamma^\mu \rho_\mu N$$

Проверяем, что описываем SM процессы (пр упругое рассеяние без участия В-бозона):

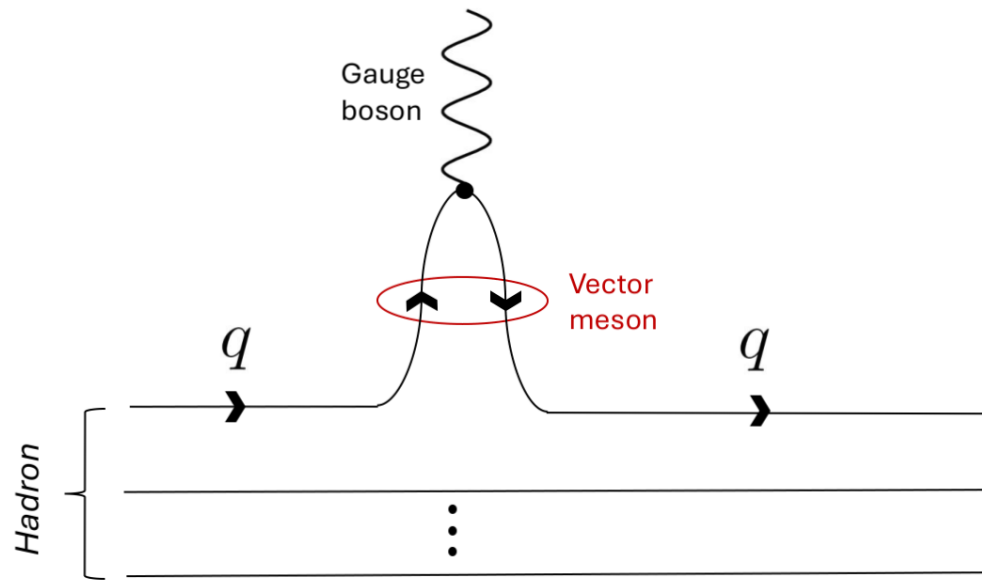


Некоторые диаграммы



Добавление В-бозона в модель

Интуиция: Рассматриваем смешивание нейтральных векторных мезонов ρ, ω и ϕ с фотоном и В-бозоном. При этом фотонные формфакторы (Дирак и Паули) известны из эксперимента.



Оба тока, генерируемые нейтральными мезонами имеют одинаковую структуру, поскольку эти мезоны состоят из пар кварк-антикварк одного аромата.

$$\mathcal{J}_{\text{em}}^\mu : \quad \frac{2}{3} \quad - \frac{1}{3}$$
$$\omega = \frac{u\bar{u} + d\bar{d}}{\sqrt{2}}$$
$$\mathcal{J}_B^\mu : \quad 1 \quad 1$$

Red arrows point from the $\frac{2}{3}$ and $-\frac{1}{3}$ terms in the first equation to the $u\bar{u}$ and $d\bar{d}$ terms in the second equation. Blue arrows point from the $u\bar{u}$ and $d\bar{d}$ terms in the second equation to the 1 and 1 terms in the third equation.

Какой лагранжиан описывает это взаимодействие?

Аналог VMD. Сигма модель. Формфактор смешивания с векторными мезонами

Сигма модель пионов эквивалентна теории со скрытой калибровочной симметрией, чьи векторные бозоны отождествляются с мезонами:

$$U(3)_L \times U(3)_R / U(3)_V \quad \longleftrightarrow \quad \begin{aligned} & [U(3)_L \times U(3)_R]_{\text{global}} \times [U(3)_V]_{\text{local}} \\ & \mathcal{L}_A^V = -\frac{f_\pi^2}{4} \text{Tr}(D_\mu \xi_L^\dagger \cdot \xi_L^\dagger \pm D_\mu \xi_R^\dagger \cdot \xi_R^\dagger)^2 \\ & U(x) \equiv \xi_L^\dagger(x) \xi_R(x) \\ & D_\mu \xi_L = (\partial_\mu - ig V_\mu) \xi_L + i \xi_L A_{L\mu} \\ & D_\mu \xi_R = (\partial_\mu - ig V_\mu) \xi_R + i \xi_R A_{R\mu} \end{aligned}$$

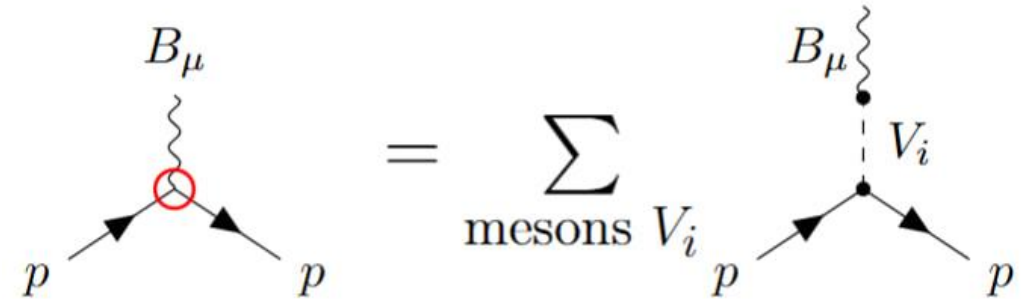
Среди калибровочных групп оставляем только барионную и электромагнитную

Преобразование барионной группы принадлежит также и к преобразованиям сигма-модели.

$$\begin{aligned} \delta \mathcal{B}_\mu &= \frac{1}{b} \partial_\mu \beta, \\ \delta U &= i\beta[\Omega, U], \\ \delta A_\mu^{L,R} &= i\beta[\Omega, A_\mu^{L,R}] + \frac{1}{g} \Omega \partial_\mu \beta \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_3 &= -\frac{b}{2g} \left(m_v^2 \text{Tr}(\Lambda(A_\mu^L + A_\mu^R)) \right) & \mathcal{L}_4 &= \frac{b^2}{g^2} \text{Tr}(\Lambda) \frac{m_v^2}{2} \mathcal{B}_\mu \mathcal{B}^\mu \\ \epsilon_\omega^B &\approx \sqrt{2} \frac{b}{g} \left(\frac{m_\omega^2}{m_\omega^2 - m_b^2 + im_\omega \Gamma_\omega} \right) & \epsilon_\phi^B &\approx -\frac{b}{g} \left(\frac{m_\phi^2}{m_\phi^2 - m_b^2 + im_\phi \Gamma_\phi} \right) \end{aligned}$$

Формфактор как эффективная вершина:



Обычные фф Дирака и Паули и их разложение:

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{NG} &= QG_\mu \bar{N}_a(p) \left(F_1^a((p-p')^2) \gamma^\mu + F_2^a((p-p')^2) \frac{(p-p')_\nu}{2M_N} \sigma^{\mu\nu} \right) N_a(p') \\ F_{a,i}^g(t) &= \sum_V A_{a,v}^i(t) \epsilon_v^g(t) \end{aligned}$$

Сравниваем фф для фотона и В-бозона, видим что F2 мал:

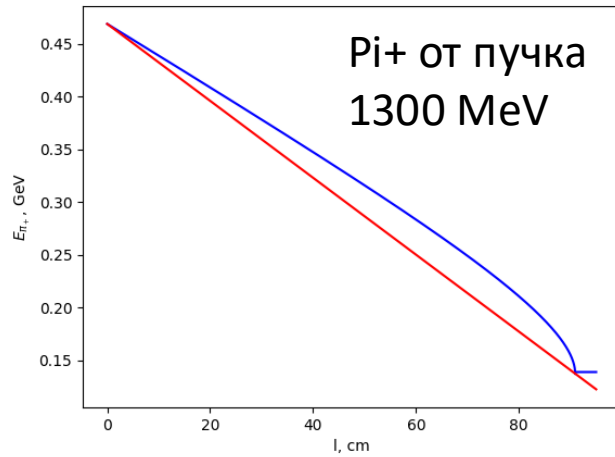
$$F_1^B(t) = \frac{m_\omega^2}{m_\omega^2 - t + im_\omega \Gamma_\omega}$$

Торможение, вероятность распада, геометрия установки

$$\left\langle -\frac{dE_\pi}{dl} \right\rangle = \rho K \frac{Z}{A\beta_\pi^2} \left(\ln \left(\frac{2m_e\beta_\pi^2\gamma_\pi^2}{I} \right) - \beta_\pi^2 - \frac{\delta(\beta_\pi\gamma_\pi)}{2} \right)$$

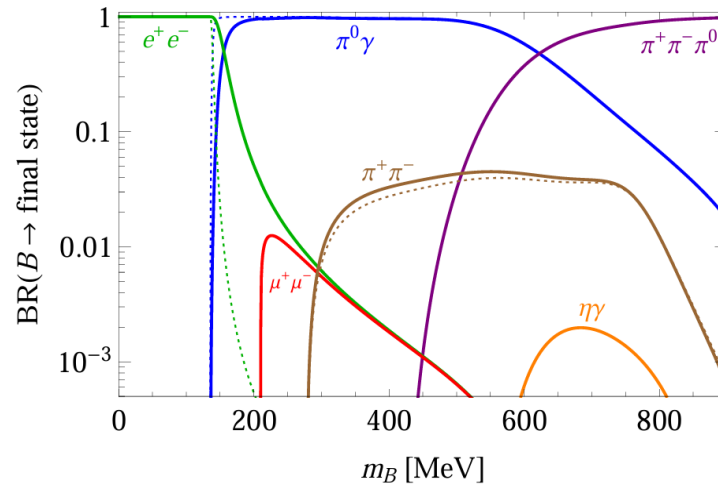
$$\delta(\beta\gamma) = \begin{cases} \delta_0 10^{2(x-x_0)}, & x < x_0, \\ 2(\ln 10)x - \bar{C} + a(x_1 - x)^k, & x_0 \leq x < x_1 \end{cases}$$

$$x = \log_{10}(\beta\gamma)$$

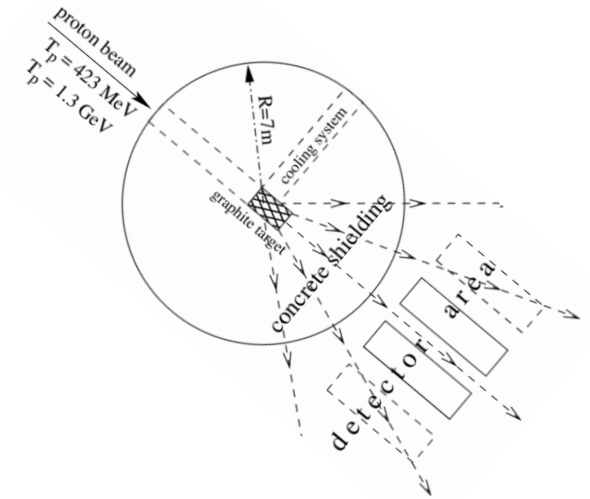


$$P_{\text{det}} = e^{-\frac{L_{\text{dump}}}{\lambda}} \left(1 - e^{-\frac{L_{\text{det}}}{\lambda}} \right)$$

$$\lambda = \gamma\beta \frac{k_z}{m_b \Gamma_{\text{tot}}}$$



$$r_s(l) = \frac{1}{2\pi(1 - \cos \theta_{\text{bin}})} \frac{d^2}{(L_{\text{dump}} - l)^2}$$



Интегрирование
по фазовому
пространству:

$$N_{\mp} = \eta_{\text{det}} \rho \frac{N_A}{A} N_{\pi\mp} N_{p(n)} \times \int_0^{l_{\text{max}}} dl \int_0^{p_{\text{lab}}(l)} dk \frac{d\sigma_{\mp}(E(l))}{dk} P_{\text{det}}(k) r_s(l)$$

$$N_{pN \rightarrow N\Delta} = \eta_{\text{det}} \rho \frac{N_A}{A} N_{\text{POT}} N_{p(n)} \lambda_{\text{int}} r_s\left(\frac{\lambda_{\text{int}}}{2}\right) \times \int_0^{k_{\text{max}}} \frac{\sigma_{pN \rightarrow N\Delta\mathcal{B}}(k_z, E_{\frac{1}{2}} = 2.117\text{GeV})}{dk_z} P_{\text{det}}(k_z) dk_z$$

$$N_{pN \rightarrow NN} = \eta_{\text{det}} \rho \frac{N_A}{A} N_{\text{POT}} N_{p(n)} \times \sum_{l_i} r_s(l_i) \Delta l_i \int_0^{k_{\text{max}}} \frac{\sigma_{pN \rightarrow N\Delta\mathcal{B}}(k_z, E_i)}{dk_z} P_{\text{det}}(k_z) dk_z$$

π -p и p-p рассеяние в TiMoFe_y

Закрашенные области могут быть исключены с вероятностью 95%

