

1 Мотивация

Λ_c , будучи самым лёгким из очарованных барионов, распадается исключительно посредством слабого взаимодействия, благодаря чему является эталоном исследования слабого взаимодействия среди очарованных барионов, при этом на данный момент существует одно исследование эксперимента CLEO по измерению формфакторов $\Lambda_c \rightarrow \Lambda e \nu_e$. Так же существует несколько численных расчетов по измерению формфакторов в различных приближениях.

2 Выражение формфакторов

Используя выражение спиральных амплитуд в системе отсчета Λ_c через матричные элементы тока слабого перехода и поляризации W -бозона, получим:

$$\left. \begin{aligned} H_{t\frac{1}{2}}^V &= \frac{\sqrt{Q_+}}{\sqrt{q^2}} \left(\mathfrak{F}_1^V (M_{\Lambda_c} - M_{\Lambda}) + \mathfrak{F}_3^V \frac{q^2}{M_{\Lambda_c}} \right), \\ H_{1\frac{1}{2}}^V &= \sqrt{2Q_-} \left(-\mathfrak{F}_1^V - \mathfrak{F}_2^V \frac{M_{\Lambda_c} + M_{\Lambda}}{M_{\Lambda_c}} \right), \\ H_{0\frac{1}{2}}^V &= \frac{\sqrt{Q_-}}{\sqrt{q^2}} \left(\mathfrak{F}_1^V (M_{\Lambda_c} + M_{\Lambda}) + \mathfrak{F}_2^V \frac{q^2}{M_{\Lambda_c}} \right), \end{aligned} \right| \left. \begin{aligned} H_{t\frac{1}{2}}^A &= \frac{\sqrt{Q_-}}{\sqrt{q^2}} \left(-\mathfrak{F}_1^A (M_{\Lambda_c} + M_{\Lambda}) + \mathfrak{F}_3^A \frac{q^2}{M_{\Lambda_c}} \right), \\ H_{1\frac{1}{2}}^A &= \sqrt{2Q_+} \left(\mathfrak{F}_1^A - \mathfrak{F}_2^A \frac{M_{\Lambda_c} - M_{\Lambda}}{M_{\Lambda_c}} \right), \\ H_{0\frac{1}{2}}^A &= \frac{\sqrt{Q_+}}{\sqrt{q^2}} \left(-\mathfrak{F}_1^A (M_{\Lambda_c} - M_{\Lambda}) + \mathfrak{F}_2^A \frac{q^2}{M_{\Lambda_c}} \right), \end{aligned} \right.$$

Где q^μ — 4-импульс W -бозона, M_x — масса частицы x , $Q_\pm = (M_{\Lambda_c} \pm M_{\Lambda})^2 - q^2$, $\mathfrak{F}_\mu^{A,V}$ — формфакторы, $H_{\lambda_W \lambda_\Lambda}^{A,V}$ — спиральная амплитуда, A — аксиальная компонента, V — векторная, λ_x — спиральность частицы x , t — синглетное состояние W -бозона. Решение данной системы уравнений позволяет свести задачу к вычислению спиральных амплитуд.

3 Метод измерения спиральных амплитуд

С помощью формализма спиральных амплитуд можно описать процесс $\Lambda_c \rightarrow \Lambda l \nu_l$ и получить его угловое распределение.

$$\frac{d\Gamma}{dq^2 d\cos\theta_l d\cos\theta_p d\cos\theta_d d\varphi_l d\varphi_p d\chi} \propto f_{\text{sig}}^{\Lambda l \nu_l} (\theta_\Lambda, \theta_l, \theta_p, \varphi_\Lambda, \varphi_l, \varphi_p; P_L, H_{\lambda_\Lambda \lambda_W}^{V,A}) = q^2 \sqrt{Q_+ Q_-} \times \\ \left\{ H_{1\frac{1}{2}}^2 (1 - P_L \cos\theta_\Lambda) (1 + \alpha_\Lambda \cos\theta_p) (1 \pm \cos\theta_l)^2 + H_{-1\frac{1}{2}}^2 (1 + P_L \cos\theta_\Lambda) (1 - \alpha_\Lambda \cos\theta_p) (1 \mp \cos\theta_l)^2 + \right. \\ \left. + 2 \sin^2 \theta_l \left[H_{0\frac{1}{2}}^2 (1 + P_L \cos\theta_\Lambda) (1 + \alpha_\Lambda \cos\theta_p) + H_{0\frac{1}{2}}^2 (1 - P_L \cos\theta_\Lambda) (1 - \alpha_\Lambda \cos\theta_p) \right] - \right. \\ \left. - 2\sqrt{2} \alpha_\Lambda \sin\theta_p \sin\theta_l \cos\chi \left[H_{1\frac{1}{2}} H_{0\frac{1}{2}} (1 - P_L \cos\theta_\Lambda) (1 \mp \cos\theta_l) + H_{-1\frac{1}{2}} H_{0\frac{1}{2}} (1 + P_L \cos\theta_\Lambda) (1 \pm \cos\theta_l) \right] - \right. \\ \left. - 2\alpha_\Lambda P_L \sin\theta_\Lambda \sin\theta_p \sin^2 \theta_l \left[2H_{0\frac{1}{2}} H_{0\frac{1}{2}} \cos\varphi + H_{1\frac{1}{2}} H_{-1\frac{1}{2}} \cos(\varphi + 2\chi) \right] + \right. \\ \left. + 2\sqrt{2} P_L \sin\theta_\Lambda \sin\theta_l \cos(\varphi + \chi) \left[H_{1\frac{1}{2}} H_{0\frac{1}{2}} (\mp 1 + \alpha_\Lambda \cos\theta_p) (1 \pm \cos\theta_l) \right] \right. \\ \left. + H_{-1\frac{1}{2}} H_{0\frac{1}{2}} (\mp 1 - \alpha_\Lambda \cos\theta_p) (1 \mp \cos\theta_l) \right\}$$

Где \pm соответствует: плюс — состоянию Λ_c^+ , минус — состоянию Λ_c^- .

Где переменные (рис. 1): в системе отсчета Λ_c с осью z вдоль импульса e^+e^- , θ_Λ , φ_Λ — полярные углы p_Λ ; в системе отсчета W -бозона с осью z вдоль импульса Λ_c , θ_l , φ_l — углы p_l ; так же введены следующие сокращения $\varphi = \varphi_p - \varphi_\Lambda$, $\chi = \pi - \varphi_l - \varphi_p$. θ_p , φ_p — углы p_p . И измеряемые параметры: P_L — продольная поляризация Λ , $H_{\lambda_\Lambda \lambda_W}^{V,A}$ — спиральные амплитуды.

Для уменьшения количества фитируемых параметров можно рассмотреть случай перехода W^\pm -бозона в π^\pm , в таком случае угловое распределение будет описываться:

$$\frac{dW_{\lambda_{\Lambda_c}}}{d\cos\theta_p d\cos\theta_p d\varphi_{\lambda_{\Lambda_c}} \varphi_{\lambda_{\Lambda_p}}} \propto f_{\text{sig}}^{\Lambda \pi} = 1 + \alpha_\Lambda \alpha_{\Lambda_c} \cos\theta_p + \\ + P_L \left[\cos(\alpha_\Lambda + \alpha_{\Lambda_c} \cos\theta_p) - \alpha_\Lambda \sqrt{1 - \alpha_{\Lambda_c}^2} \cos(\delta + \Delta) \cos\theta_p \cos\theta_\Lambda \right]$$

Где обозначения переменных сохранены. Новые переменные (рис. 2), δ — фаза между спиральными амплитудами W -бозона и является фитируемым параметром, и Δ — угол между плоскостью $p_{e^+e^-}$, p_{Λ_c} и p_p , p_π .

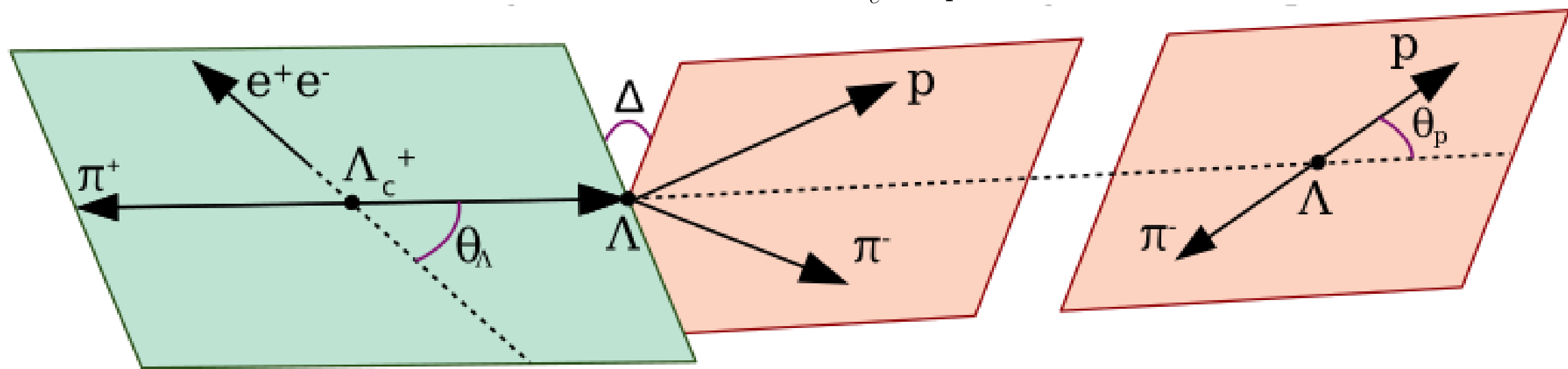


Рис. 2: Кинематика распада $\Lambda_c \rightarrow \Lambda \pi$

4 Тагирование

Для восстановления ν в полулептонном канале, улучшения разрешения в канале $\Lambda \pi$, использовалась технология тагирования, для чего рассматривались события $e^-e^+ \rightarrow \Lambda_c X_c$, где $X_c^+ = D^0 p$; $D^+ p \pi^-$; $D^{*0} p$; $D^{*+} p \pi^-$. Инклюзивный отбор событий происходил по следующим критериям:

$$\left. \begin{aligned} &\mathfrak{L}(K/\pi, K/p) > \{0.6, 0.6\} \\ &\mathfrak{L}(p/\pi, p/K) > \{0.6, 0.4\} \\ &goodBelleKshort = 1 \\ &E_\gamma > 50 MeV \\ &|M_{K_S} - M_{K_S}^{PDG}| < 15 MeV \end{aligned} \right| \left. \begin{aligned} &|M_D - M_D^{PDG}| < 15 MeV \\ &|M_{D^*} - M_{D^*}^{PDG}| < 2 MeV \\ &\text{Для всех заряженных треков} \\ &dz < 2 cm; dr < 0.5 cm; \\ &|M_{\pi^0} - M_{\pi^0}^{PDG}| < 15 MeV. \end{aligned} \right.$$

Где *goodBelleKshort* — кат принятый и оптимизированный в *Belle* для K -мезонов.

По итогу отбора было получено (рис. 3)

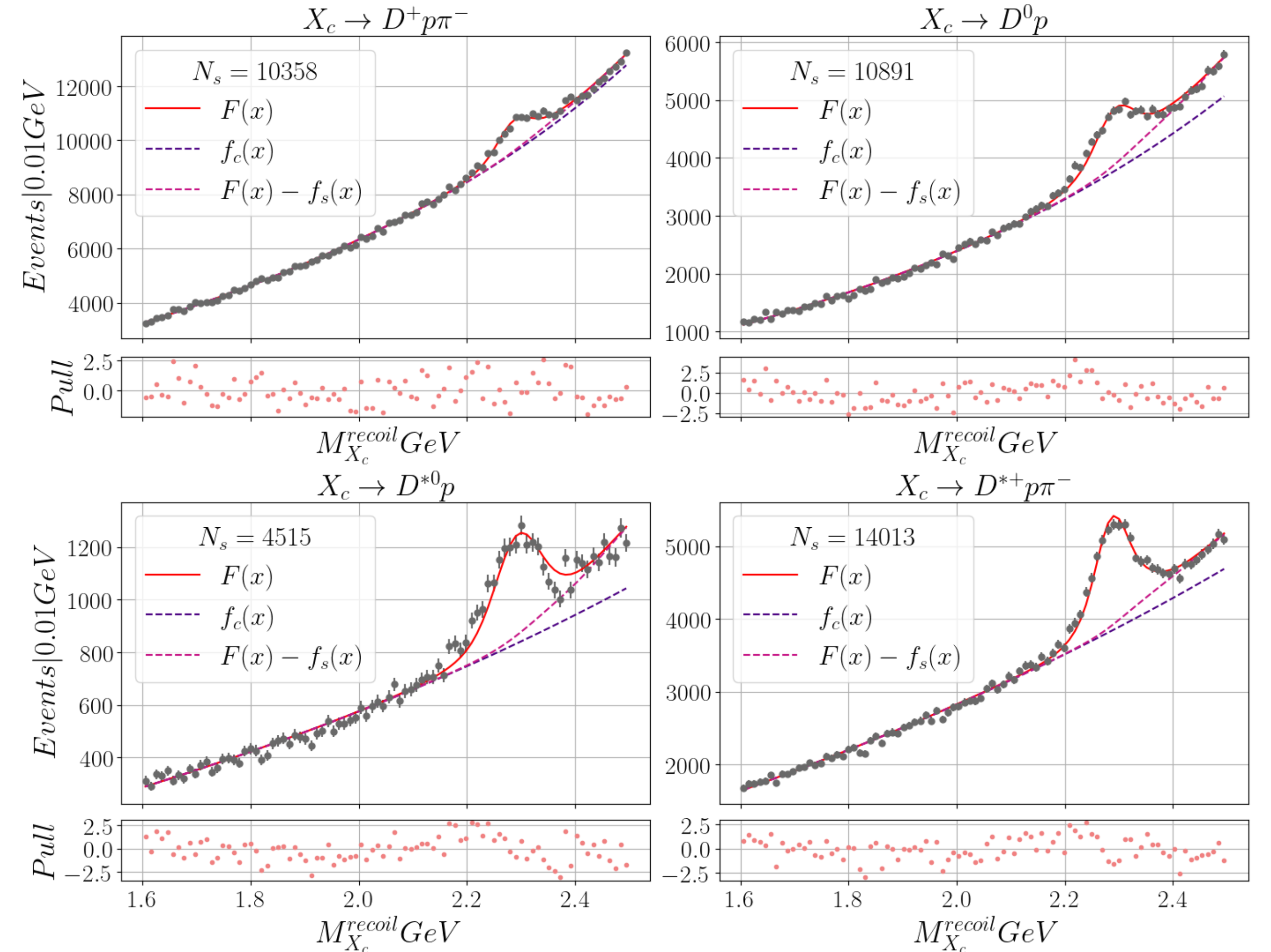


Рис. 3: Количество сигнальных событий в каналах X_c . N_s — предполагаемое кол-во затагированных Λ_c

Подгонка данных производилась функцией:

$$F(x) = f_s(x) + f_c(x) + f_{bg}(x)$$

Где $f_s(x)$ — сигнальная функция гауссовой формы; $f_c(x)$ — функция комбинаторного фона экспоненциальной формы; $f_{bg}(x)$ — функция потерь растет корневым образом начиная с массы Λ_c .

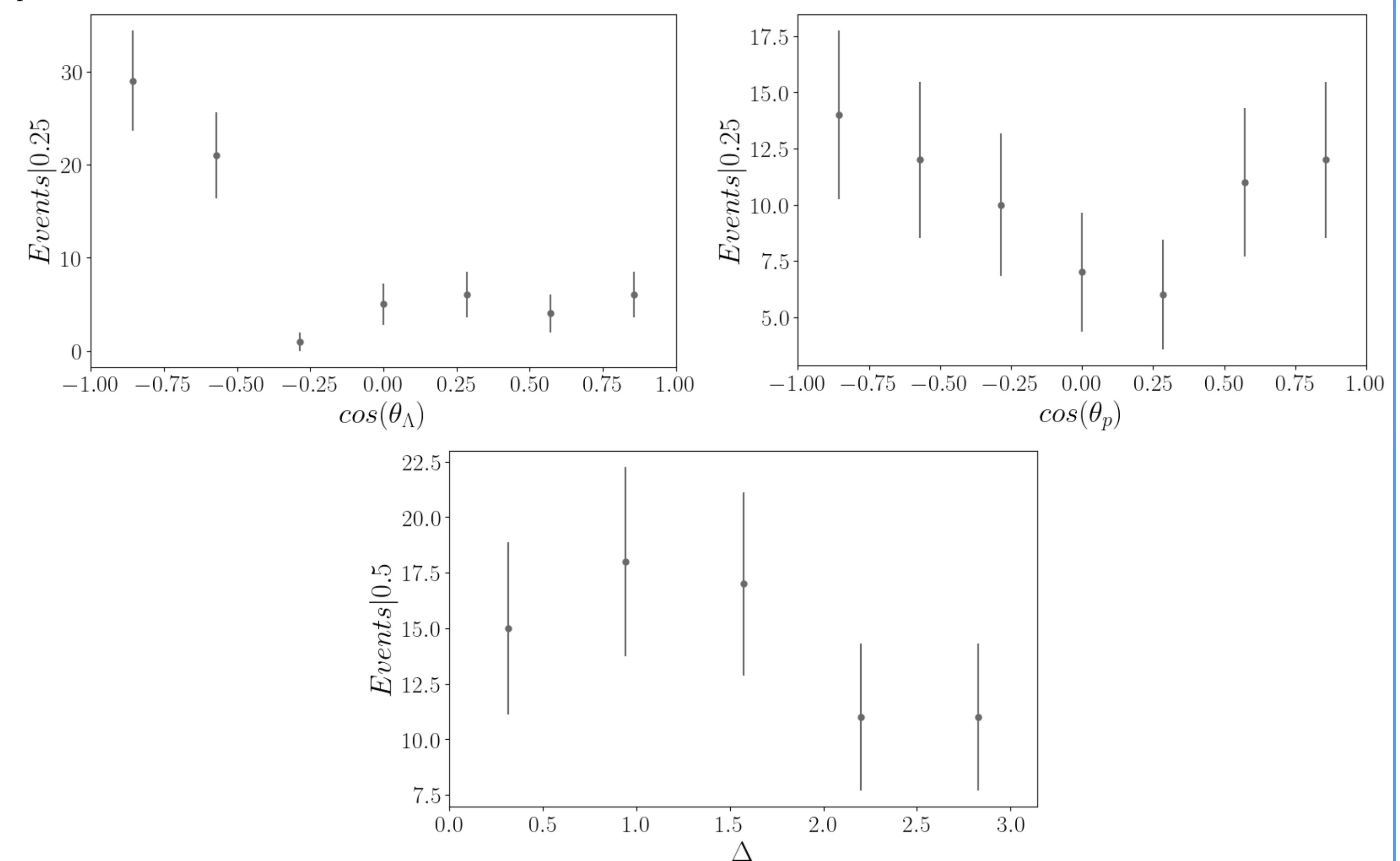
5 Эксклюзивное восстановление

Для эксклюзивного отбора в канале $\Lambda_c \rightarrow \Lambda \pi$ добавлялись критерии:

$$\left. \begin{aligned} &goodBelleLambda = 1 \\ &|M_{\Lambda^0} - M_{\Lambda^0}^{PDG}| < 15 MeV. \\ &|M_{\Lambda_c} - M_{\Lambda_c}^{PDG}| < 60 MeV. \end{aligned} \right| \left. \begin{aligned} &N_{ROE} = 0 \\ &D^* \rightarrow D... : |M_{D^*} - M_D - \Delta_M^{PDG}| < 3 MeV \end{aligned} \right.$$

Где *goodBelleLambda* кат на Λ -барионы, аналогичен *goodBelleKshort*; N_{ROE} — количество заряженных треков задетектированных в событиях, не вошедших в Λ_c или X_c .

По итогу отбора было получено 77 событий, их распределения по переменным $\cos\theta_\Lambda$, $\cos\theta_p$, Δ представлены ниже.



6 Выводы

На данный момент было затагировано всего ~ 39000 Λ_c , из которых согласно только брэнчгеновому соотношению должно быть ~ 503 в канале $\Lambda_c \rightarrow \Lambda \pi$. Но после полной реконструкции события остается всего 77. Для этих событий были получены распределения величин $\cos\theta_\Lambda$, $\cos\theta_p$, Δ .

Был предложен метод измерения формфакторов распада опираясь на связь со спиральными амплитудами и распределений углов, а так же метод улучшения опираясь на события $\Lambda_c \rightarrow \Lambda l \nu_l$ с известной спиральностью W -бозона.