

**ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТЕКТОРА ARICH  
В РАСПАДЕ  $D^{*\pm}$ -МЕЗОНА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ BELLE II  
С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО**

Н. АКОПОВ, Г. ГЕВОНДЯН\*, В. МУРАДЯН, Г. КАРЯН

Национальная научная лаборатория им. А.И. Алиханяна, Ереван, Армения

\*e-mail: gayane.gevondyan@yerphi.am

(Поступила в редакцию 4 ноября 2022 г.)

Дана оценка моделирования с применением метода Монте-Карло (МК) отношения сигнала к фону в спектре инвариантной массы системы каон–пион для распадов  $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$  и  $\bar{D}^0 \rightarrow K^+ \pi^-$ , производимых в цепочке распадов  $D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+$  и  $D^{*-} \rightarrow \bar{D}^0 \pi^-$ , в различных интервалах импульсов/углов пионов (когда пион попадает в акцептанс детектора ARICH) и каонов (каон регистрируется в ARICH). Табулированные значения упомянутых отношений будут использованы коллаборацией Belle II для изучения производительности работы детектора ARICH. Затем результаты эффективностей и вероятностей ложной идентификации сигналов, полученные на основе табулированных отношений, будут важным ингредиентом для будущих физических интерпретаций данных коллаборации Belle II.

## 1. Введение

Эксперимент Belle II на асимметричном  $e^+e^-$  коллайдере SuperKEKB [1,2] в Исследовательской организации ускорителей высоких энергий (КЕК, Цукуба, Япония) нацелен на поиск CP-асимметрии в различных редких распадах, а также на новую физику, выходящую за пределы Стандартной Модели, и предполагает набор данных с высокой статистикой, соответствующей интегральной светимости  $50 \text{ ab}^{-1}$ . Его предшественник, эксперимент Belle, позволял идентифицировать пионы и каоны с импульсами до 2 ГэВ/с в передней области детектора. Однако в эксперименте Belle II для поиска новой физики в таких процессах, как  $B \rightarrow \rho \gamma$  ( $\rho \rightarrow \pi\pi$ ), необходима идентификация заряженных частиц в передней области с более высокими значениями импульсов вплоть до 4 ГэВ/с. Для достижения этой цели к спектрометру Belle II был добавлен дополнительный детектор идентификации частиц (PID), называемый черенковским счетчиком изображений аэрогелевого кольца (ARICH – Aerogel Ring Imaging Cherenkov). Создание счетчика ARICH было завершено в октябре 2018 г., а в декабре 2018 г. детектор был установлен и интегрирован в схему оборудования спектрометра Belle II. Эффективность и вероятность ложной идентификации сигналов детектора ARICH являются основными характеристиками, существенными для физического интерпретация.

## 2. Детектор ARICH в эксперименте Belle II

Счетчик ARICH расположен в передней части спектрометра Belle II [1,2]. Это устройство для идентификации частиц нового типа, разработанное для эксперимента Belle II. Он имеет форму прямоугольного тороида с внешним радиусом 1140 мм, внутренним радиусом 420 мм и длиной 280 мм.

Для идентификации частиц детектором ARICH используются черенковские фотоны, излучаемые в аэрогелевом радиаторе, когда скорость частицы превышает значение скорости света в веществе. Излученные фотоны регистрируются системой лавинных фотодетекторов (HAPD) и измеряется угол излучения фотона. RICH детектором, измеряя угол излученного фотона, можно определить массу частицы по соотношению:

$$\cos\theta = \frac{\sqrt{(mc/\mathbf{p})^2+1}}{n}, \quad (1)$$

где  $\theta$  – угол эмиссии черенковских фотонов,  $m$  – масса частицы,  $n$  – индекс рефракции аэрогеля, и  $\mathbf{p}$  – импульс частицы, измеренный системой трековых детекторов.

Идентификация частиц счетчиком ARICH основана на сравнении наблюдаемой картины образов фотонов с функцией плотности вероятности (PDF), которая описывает ожидаемое распределение черенковских фотонов и фоновых попаданий фотонов на плоскость детектора (для заданных параметров заряженного трека) и предполагаемой гипотезы о типе частицы. Для каждого заряженного трека, проходящего через ARICH, оценивается значение функции правдоподобия для шести гипотез частиц: электрона, мюона, пиона, каона, протона и дейтрона. Функция правдоподобия для гипотезы частицы  $h$  определяется как:

$$L_h = \prod p_{h,i}(m_{h,i}); p_{h,i}(m_{h,i}) = \frac{e^{-n_{h,i}} n_{h,i}^{m_{h,i}}}{m_{h,i}!}, \quad (2)$$

где произведение берется по всем пикселям счетчика ARICH, а  $p_{h,i}(m_{h,i})$  – это вероятность наблюдать  $m_{h,i}$  попаданий на  $i$ -м пикселе, в то время как ожидается в среднем  $n_{h,i}$  попаданий (для принятой гипотезы  $h$ ) [1,2]. Поскольку в ARICH не различаются многофотонные попадания от однофотонных,  $p_{h,i}(m_i)$  можно перефразировать как:

$$p_{h,i}(nohit) = e^{-n_{h,i}}, \quad (3)$$

$$p_{h,i}(hit) = 1 - p_{h,i}(nohit) = 1 - e^{-n_{h,i}}, \quad (4)$$

На основе уравнений (2) и (3) уравнение (1) может быть переписано как:

$$\ln L_h = -N_h \sum [n_{h,i} + \ln(1 - e^{-n_{h,i}})], \quad (5)$$

где  $N_h$  есть ожидаемое полное число попаданий, и сумма берется по пикселям, где были попадания. Разделение между каонами и пионами производится наложением критерия отбора на логарифм отношения правдоподобия (см. уравнение (5)), которое определено как:

$$R_{K/\pi} = \frac{\ln L_K}{\ln L_K + \ln L_\pi}, \quad (6)$$

$$R_{\pi/K} = \frac{\ln L_\pi}{\ln L_K + \ln L_\pi}. \quad (7)$$

### 3. Определение эффективности

Эффективность регистрации детектора ARICH, а также вероятность ошибочной идентификации в зависимости от импульса частицы и угла являются очень важными характеристиками для любого детектора идентификации частиц (PID) в оценке различных наблюдаемых величин, таких как поперечное сечение, вклад в полное сечение и других. Обычный подход к расчету эффективности основан на использовании известных распадов резонансов с пионами, каонами и протонами в конечном состоянии. Для проведенных исследований были использованы распады  $D^{*-} \rightarrow \overline{D^0} \pi^-$  и  $D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+$ . Выполняя подгонку спектра инвариантных масс, образованного распадающимися частицами, а затем применяя условие нахождения инвариантной массы в окне подгоночных значений резонансной массы и ширины, можно с большой вероятностью определить тип адрона в конечном состоянии. На основе функции PID, определяемой как логарифмическая достоверность вероятности, заданная детектором ARICH, уравнение (5), мы можем рассчитать эффективность и вероятность ложной идентификации по формулам:

$$\epsilon_K = \frac{\text{число } K \text{ треков после } R_{K/\pi} > R_{cut}}{\text{число } K \text{ треков}}, \quad (8)$$

$$\epsilon_\pi = \frac{\text{число } \pi \text{ треков после } R_{\pi/K} > R_{cut}}{\text{число of } \pi \text{ треков}}, \quad (9)$$

$$\eta_K = \frac{\text{число } K \text{ треков после } R_{K/\pi} < (1 - R_{cut})}{\text{число } K \text{ треков}}, \quad (10)$$

$$\eta_\pi = \frac{\text{число } \pi \text{ треков после } R_{\pi/K} < (1 - R_{cut})}{\text{число } \pi \text{ треков}}, \quad (11)$$

где  $R_{\pi/K}$  и  $R_{K/\pi}$  определены по формулам (6,7) и было определено  $R_{cut} = 0.6$  после специальных исследований.

#### 3.1. Отбор событий

Чтобы реконструировать распады  $D^{*-} \rightarrow D^0 + \pi^-$  и  $D^{*+} \rightarrow \overline{D^0} + \pi^+$ , необходимо ввести ограничения. Треки должны быть заряжены противоположно. Кроме того, трек должен удовлетворять следующим требованиям:  $p_\perp$  (поперечный импульс)  $> 0.1$  ГэВ/с;  $pValue$  ( $\chi^2$  вероятность фитирования трека)  $> 0.001$ ;  $p$  (импульс)  $> 0.3$  ГэВ/с;  $0.0 < Q$  (энергия высвобождаемая при распаде)  $< 0.01$  ГэВ;  $0.866 < \cos\theta < 0.97$ .

### 4. Результаты и обсуждение

Типичные графики распределения инвариантной массы для цепочки распадов  $D^{*-} \rightarrow \overline{D^0} + \pi^-$  и  $D^{*+} \rightarrow D^0 + \pi^+$  показаны соответственно на рис. 1а и 1б. Также показан результат подгонки, выполненной комбинированной функцией Гаусса + полином Чебышева второго порядка. Для расчета эффективности в соответствии с уравнениями (8, 9) необходимо оценить, как число событий в числителе, так и в знаменателе после вычитания фона, т.е. на основе результатов подгонки для среднего и дисперсии оценить число событий в области сигнала (распределенного по Гауссу) в пределах  $M \pm 3\sigma$ . На рис. 1 (а также на рис.2) показана кривая 1, соответствующая подгонке функцией Гаусса, кривая 2 – подгонке полиномом

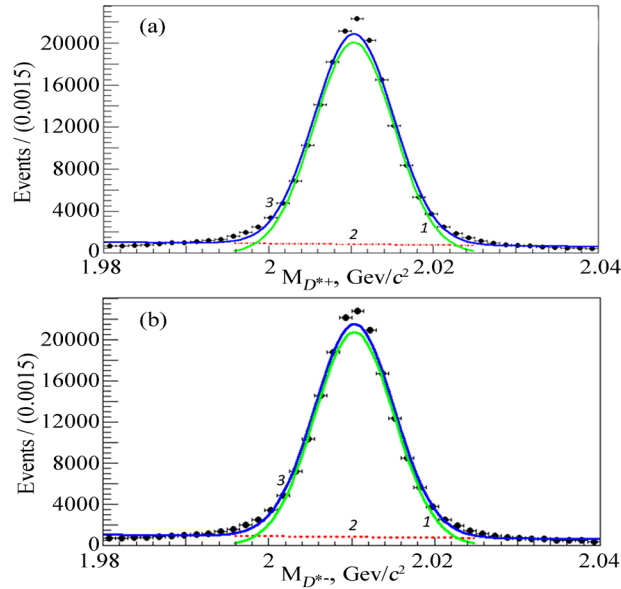


Рис.1. Распределение по инвариантной массе для (a)  $D^{*+}$  ( $\mu=2.010342 \pm 0.000014$ ,  $\sigma=0.004816 \pm 0.000013$ ,  $a_0=-0.2480 \pm 0.01$ ,  $n_{\text{bkg}}=34241 \pm 271$ ,  $n_{\text{sig}}=166159 \pm 453$ ) и (b)  $D^{*-}$  ( $\mu=2.010358 \pm 0.000014$ ,  $\sigma=0.004823 \pm 0.000013$ ,  $a_0=-0.2498 \pm 0.01$ ,  $n_{\text{bkg}}=33856 \pm 271$ ,  $n_{\text{sig}}=161505 \pm 448$ ).

Чебышева, кривая 3 – подгонке комбинированной функцией Гаусса + полиномом Чебышева, черными точками показано распределение инвариантной массы, полученное на основе моделирования по методу Монте-Карло. Из-за необходимости извлечения эффективности в зависимости от импульса адрона ( $\mathbf{p}_h$ ) и угла ( $\theta_h$ ) необходимо использовать в анализе множество двойных бинов по определенному импульсу адрона и углу. Это создает определенные трудности при ограниченной статистике данных по рассматриваемым распадам. При отсутствии достаточной статистики в некоторых двойных бинах становится невозможным выполнение процедуры подгонки, обеспечивающей стабильность полученных значений среднего  $\mu$  и дисперсии  $\sigma$ , а также чисел событий сигнала –  $N_{\text{signal}}$  и фона –  $N_{\text{back}}$ , которые позже будут использоваться для определения массового окна для извлечения эффективности и самой эффективности.

Трудности, связанные с возможным отсутствием статистики в экспериментальных данных для выполнения необходимой подгонки инвариантных масс-спектров по многим двойным бинам, можно разрешить с помощью следующей схемы:

1. проверить, насколько хорошо моделируемые данные МК согласуются с экспериментальными данными в терминах инвариантного спектра масс, при этом все применяемые ограничения должны быть идентичными для экспериментальных данных и данных МК;
2. в случае хорошего согласования мы можем использовать огромное количество заранее сгенерированных выборок МК, обеспечивающих достаточную статистику в каждом двойном бине импульса/угла для любой из исследованных мод распада;

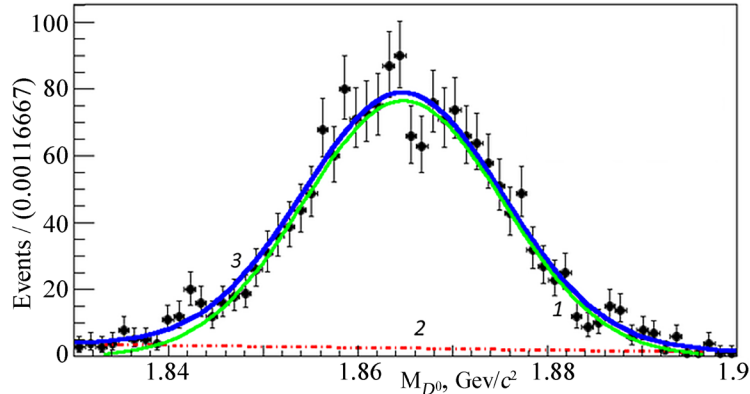


Рис.2. Распределение по инвариантной массе в 2.1–2.9 ГэВ/с и 0.34–0.38 рад двойном бине ( $\mu=1,8648\pm 0.00032$ ,  $\sigma=0.01050\pm 0.00033$ ,  $a_0=-0.4930\pm 0.23$ ,  $n_{\text{bkg}}=150\pm 41$ ,  $n_{\text{sig}}=1724\pm 57$ ).

3. выполнить процедуру подгонки с данными МК, затем определить отношение  $\mu$  сигнала к фоновым событиям для каждого двойного бина;

$$\mu(\mathbf{p}_h, \theta_h) = \frac{N_{\text{signal}}^h = \int N(x, M, \sigma) dx}{N_{\text{back}}^h = \int P(x, n) dx + N_{\text{signal}}^h}, \quad (12)$$

где  $N(x, M, \sigma)$  и  $P(x, n)$  — функция Гаусса и многочлен Чебышева порядка  $n$ , используемые для процедуры подгонки.

Табл.1. Коэффициенты  $\mu(\mathbf{p}_h, \theta_h) \pm \Delta\mu(\mathbf{p}_h, \theta_h)$  для случая отсутствия условия ARICH PID (в соответствии со знаменателем в выражениях (9, 11)), вычисленные для пионов

$\mathbf{p}_{\text{bin}}/\theta_{\text{bin}}$	1	2	3	4	5	6
1	0.732±0.0216	0.880±0.0115	0.906±0.0082	0.898±0.0085	0.943±0.0058	0.939±0.0066
2	0.766±0.0211	0.901±0.0106	0.939±0.0058	0.949±0.0052	0.948±0.0051	0.956±0.0053
3	0.839±0.0126	0.892±0.0082	0.892±0.0079	0.924±0.006	0.928±0.0056	0.927±0.0063
4	0.776±0.0155	0.845±0.0098	0.851±0.0095	0.879±0.0072	0.879±0.007	0.895±0.0076
5	0.763±0.0199	0.852±0.0122	0.801±0.0148	0.872±0.0101	0.886±0.009	0.892±0.01
6	0.755±0.0366	0.875±0.0209	0.871±0.0209	0.890±0.0169	0.897±0.0163	0.930±0.0167

Табл.2. Коэффициенты  $\mu(\mathbf{p}_h, \theta_h) \pm \Delta\mu(\mathbf{p}_h, \theta_h)$  для случая с условием ARICH PID (в соответствии с числителем в выражениях (8, 9)), вычисленные для пионов

$\mathbf{p}_{\text{bin}}/\theta_{\text{bin}}$	1	2	3	4	5	6
1	0.788±0.0212	0.895±0.0116	0.918±0.0087	0.911±0.0088	0.955±0.0055	0.944±0.0069
2	0.801±0.0208	0.910±0.0101	0.950±0.0056	0.955±0.0051	0.952±0.0052	0.964±0.005
3	0.858±0.012	0.901±0.0083	0.908±0.0078	0.932±0.0059	0.939±0.0053	0.935±0.0064
4	0.808±0.0147	0.865±0.0096	0.871±0.0093	0.896±0.0071	0.889±0.007	0.905±0.0078
5	0.806±0.0194	0.877±0.0118	0.822±0.0149	0.882±0.0103	0.888±0.0094	0.898±0.0107
6	0.835±0.0371	0.893±0.0209	0.897±0.0197	0.905±0.0166	0.912±0.0163	0.938±0.017

Табл.3. Коэффициенты  $\mu(\mathbf{p}_h, \theta_h) \pm \Delta\mu(\mathbf{p}_h, \theta_h)$  для случая с условием ARICH misID (в соответствие с числителем в выражениях (10,11)), вычисленные для пионов

$\mathbf{p}_{bin}/\theta_{bin}$	1	2	3	4	5	6
1	0.647±0.1142	0.849±0.0495	0.977±0.0114	0.949±0.0163	0.961±0.0124	0.938±0.0175
2	0.691±0.0631	0.979±0.0103	0.949±0.0149	0.964±0.0114	0.939±0.0139	0.943±0.014
3	0.901±0.0336	0.954±0.0182	0.944±0.018	0.920±0.0176	0.929±0.0144	0.920±0.0153
4	0.909±0.034	0.929±0.0226	0.869±0.0264	0.941±0.0175	0.913±0.0143	0.880±0.0193
5	0.785±0.0874	0.896±0.0277	0.889±0.0243	0.866±0.0229	0.890±0.0194	0.887±0.0217
6	1.000±0.0066	0.868±0.0391	0.830±0.0461	0.797±0.0482	0.832±0.0473	0.925±0.0386

Табл.4. Коэффициенты  $\mu(\mathbf{p}_h, \theta_h) \pm \Delta\mu(\mathbf{p}_h, \theta_h)$  для случая отсутствия условия ARICH PID (в соответствие со знаменателем в выражениях (9,11)), вычисленные для каонов

$\mathbf{p}_{bin}/\theta_{bin}$	1	2	3	4	5	6
1	0.768±0.0181	0.832±0.0122	0.832±0.0117	0.864±0.0102	0.871±0.0094	0.866±0.0108
2	0.816±0.0171	0.884±0.0094	0.917±0.0071	0.928±0.0065	0.939±0.0058	0.940±0.0064
3	0.737±0.0216	0.927±0.0094	0.932±0.006	0.946±0.005	0.951±0.0046	0.953±0.0052
4	0.824±0.0163	0.938±0.0071	0.906±0.0069	0.916±0.006	0.939±0.0048	0.938±0.0056
5	0.876±0.0136	0.902±0.0092	0.876±0.0101	0.927±0.0066	0.944±0.0054	0.945±0.0063
6	0.851±0.0205	0.941±0.0105	0.915±0.0133	0.919±0.0113	0.945±0.0092	0.942±0.0105

Табл.5. Коэффициенты  $\mu(\mathbf{p}_h, \theta_h) \pm \Delta\mu(\mathbf{p}_h, \theta_h)$  для случая с условием ARICH PID (в соответствие с числителем в выражениях 8, 9), вычисленные для каонов

$\mathbf{p}_{bin}/\theta_{bin}$	1	2	3	4	5	6
1	0.831±0.0145	0.874±0.0109	0.883±0.0098	0.909±0.0084	0.918±0.0076	0.913±0.0091
2	0.858±0.015	0.904±0.0085	0.940±0.0062	0.949±0.0056	0.956±0.0049	0.952±0.0059
3	0.766±0.0209	0.948±0.0081	0.945±0.0056	0.959±0.0044	0.959±0.0043	0.961±0.0048
4	0.834±0.0161	0.956±0.0059	0.921±0.0066	0.929±0.0056	0.954±0.0042	0.947±0.0054
5	0.905±0.0122	0.916±0.0087	0.907±0.0091	0.949±0.0058	0.957±0.0049	0.958±0.0057
6	0.881±0.0194	0.973±0.008	0.943±0.0117	0.949±0.0095	0.952±0.009	0.957±0.0097

Величины  $\mu(\mathbf{p}_h, \theta_h)$  будут применяться для экспериментальных инвариантных масс – спектров в каждом двойном бине  $(\mathbf{p}_h, \theta_h)$  для определения событий сигнала по формуле:

$$N_{\text{signal}}^{\text{data}}(\mathbf{p}_h, \theta_h) = N_{\text{total}}^{\text{data}}(\mathbf{p}_h, \theta_h)\mu(\mathbf{p}_h, \theta_h). \quad (13)$$

Действия по описанной схеме в соответствии с формулами (12) и (13) должны быть проделаны в двух вариантах: сначала для спектров, фитированных с применением  $R_{\text{cut}}$  (соответственно, числителю в выражениях (8, 9)), затем без

Табл.6. Коэффициенты  $\mu(\mathbf{p}_h, \theta_h) \pm \Delta\mu(\mathbf{p}_h, \theta_h)$  для случая с условием ARICH misID (в соответствии с числителем в выражениях (10, 11)), вычисленные для каонов

$\mathbf{p}_{\text{bin}}/\theta_{\text{bin}}$	1	2	3	4	5	6
1	0.760±0.0459	0.880±0.0264	0.821±0.0294	0.858±0.0234	0.829±0.0260	0.858±0.0234
2	0.871±0.0332	0.906±0.0254	0.912±0.0191	0.910±0.0188	0.936±0.0141	0.890±0.0217
3	0.774±0.059	0.968±0.0191	0.971±0.0127	0.924±0.0179	0.939±0.0132	0.951±0.0143
4	0.900±0.0462	0.963±0.0188	1.000±0.0024	0.950±0.0137	0.927±0.0136	0.926±0.0175
5	0.973±0.031	0.866±0.0414	0.953±0.0326	0.933±0.0184	0.951±0.0133	0.889±0.0256
6	0.964±0.1309	0.963±0.0374	0.717±0.1172	0.922±0.001	0.922±0.0326	0.981±0.0145

применения  $R_{\text{cut}}$  (соответственно знаменателю в выражениях (8, 9)). Коэффициенты  $\mu$  также должны быть определены для случаев, когда пион или каон находятся в акцептансе ARICH. Тогда на финальной стадии будут получены четыре таблицы со значениями коэффициентов  $\mu$ .

Для оценки статистических ошибок  $\Delta\mu$ , в выражении (12), ошибки, полученные при подгонке спектра инвариантных масс в разных импульсных (угловых) интервалах из выборок МК:  $\Delta N_{\text{signal}}^{\text{МК}}$  и  $\Delta N_{\text{back}}^{\text{МК}}$  использовались для определения значений  $\Delta\mu$  с учетом корреляции между выборками событий  $N_{\text{signal}}$  и  $N_{\text{back}}$  в виде:

$$\Delta\mu = \frac{1}{N_{\text{total}}} \sqrt{(\mu\Delta N_{\text{total}})^2 + \Delta N_{\text{signal}}^2 - 2\mu^{3/2}\Delta N_{\text{signal}}\Delta N_{\text{total}}}, \quad (14)$$

где  $N_{\text{total}} = N_{\text{signal}} + N_{\text{back}}$ ,  $\Delta N_{\text{total}} = \sqrt{\Delta N_{\text{signal}}^2 + \Delta N_{\text{back}}^2}$ .

На основании этих неопределенностей следующий перенос ошибок на уровне выражения (13) будет окончательно выполнен. В настоящей работе мы использовали  $6 \times 6$  двумерный биннинг по  $\mathbf{p}_h$  ГэВ/с: 0.5—1.3—2.1—2.9—3.7—4.5—5.3 и  $\theta_h$  rad: 0.3—0.34—0.38—0.42—0.46—0.5—0.54. Вычисленные значения  $\mu(\mathbf{p}_h, \theta_h)$  и их ошибки  $\Delta\mu(\mathbf{p}_h, \theta_h)$  приведены в таблицах 1–6.

#### 4.1. Инструменты, использованные для процедуры фитирования

Для выполнения большого объема необходимых фитирований во многих двойных импульсных/угловых бинах процедура фитирования была реализована с использованием Python библиотеки RooFit [3].

В результате фитирования возможно определить не только необходимые параметры Гауссиана и полинома, но также числа сигнальных и фоновых событий в пределах  $\pm 3\sigma$  и оценки погрешностей для указанных чисел. На рис.2 показан типичный пример с фитированным спектром для объединенной  $D^0\bar{D}^0$  выборки в определенном двойном  $(\mathbf{p}_h, \theta_h)$  бине.

#### 4.2. Использованные МК выборки

МК выборки, использованные для извлечения отношений  $\mu(\mathbf{p}_h, \theta_h)$  (см. уравнение (12)), были получены с помощью системы GRID [4] на основе

огромного количества так называемых «общих (generic)» МК выборок, подготовленных коллаборацией Belle II, которые включают в себя различные кварковые комбинации такие как, например:  $u\bar{u}$ ,  $d\bar{d}$ ,  $s\bar{s}$ ,  $c\bar{c}$  так же как  $B^0\bar{B}^0$ ,  $B^-B^+$  пары которые объединены с весами, пропорциональными соответствующему сечению для процессов  $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$ .

Основной генератор моделирования взаимодействий адронов — это пакет Pythia8 [5], а проводка заряженных треков через материал мишени и детекторов осуществляется с помощью пакета Geant4 [6]. Все моделирования выполнены в оболочке специального математического обеспечения для анализа эксперимента Belle II (basf2 [7]), с детальным моделированием откликов вовлеченных детекторов и с учетом их калибровочных констант. Также осуществляется полная реконструкция заряженных треков на основе их следов в соответствующих детекторах. Подобное максимально реалистичное моделирование с учетом характеристик всего спектрометра Belle II обеспечивает хорошее согласование для сравнения данных с моделированием по методу МК, примеры такого сравнения могут быть найдены в опубликованных статьях [8–10].

## 5. Заключение

Разработан эффективный подход, имплементированный для решения проблемы оценки производительности детектора ARICH, который играет важную роль в идентификации заряженных частиц спектрометром эксперимента Belle II. Продемонстрирована схема извлечения отношений числа сигнальных событий к числу фоновых событий в спектрах инвариантной массы рассмотренных распадов  $D^{*\pm} \rightarrow D^0 (\bar{D}^0) \pi^\pm \rightarrow (K^\mp \pi^\pm) \pi^\pm$ , как функция импульса и угла пионов и каонов с помощью метода Монте-Карло, который обеспечивает достаточную статистику для стабильного фитирования спектров инвариантной массы комбинированной функцией Гаусса и полинома Чебышева. Разработанный подход может быть легко применен для других распадов с различными комбинациями частиц в конечном состоянии.

Полученные результаты будут использованы коллаборацией Belle II в будущих исследованиях таких важных проблем современной физики, как нарушение CP-четности, а также поиска новой физики за пределами Стандартной Модели.

Мы благодарим программу поддержки аспирантов за 2021 год (EIF and PMI PhD supporting program 2021) и Гос. Комитет Армении по науке за предоставление гранта No. 20ГТСТГ-1С010. Также многих коллег Национальной научной лаборатории имени А. И. Алиханяна за полезные обсуждения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **T. Abe et al.** [Belle II Collaboration]. arXiv:1011.0352 [physics.ins-det].
2. **I. Adachi, T.E. Browder, P. Krizan, S. Tanaka, Y. Ushiroda.** Nucl. Inst. Meth. A, **907**, 46 (2018).
3. [https://root.cern/doc/master/group/tutorial\\_roofit.html](https://root.cern/doc/master/group/tutorial_roofit.html).
4. **T. Nakamura, G. Iwai, H. Matsunaga, K. Murakami, T. Sasaki, S. Suzuki, W. Takase.** J. Phys.: Conf. Ser., **898**, 052042 (2017).



5. **T. Sjostrand, S. Ask, J.R. Christiansen, R. Corke, N. Desai, P. Ilten, S. Mrenna, S. Prestel, C.O. Rasmussen, P.Z. Skands.** *Comput. Phys. Commun.*, **191**, 159 (2015).
6. **S. Agostinelli et al.** *Nucl. Instrum. Meth. A*, **506**, 250 (2003).
7. **T. Kuhr, C. Pulvermacher, M. Ritter, T. Hauth, N. Braun.** *Comput. Softw. Big Sci.*, **3**, 1 (2019).
8. **F. Abudinén, N. Akopov, A. Aloisio, et al.** *Eur. Phys. J. C*, **82**, 283 (2022).
9. **F. Abudinén et al.** *Phys.Rev.Lett.*, **127**, 211801 (2021).
10. **F. Abudinén et al.** *Phys.Rev.Lett.*, **127**, 181802 (2021).

ՄՈՆԻՏԵ ԿԱՌԼՈ ՄԵԹՈԴԻ ՄԻԶՈՑՈՎ BELLE II ԳԻՏԱՓՈՐՁՈՒՄ ARICH  
ԳՐԱՆՑԻՉԻ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ  
D<sup>\*±</sup>-ՄԵԶՈՆՆԵՐԻ ՕԳՆՈՒԹՅԱՄԲ

Ն.ԱԿՈՊՈՎ, Գ.ՂԵՎՈՆԴՅԱՆ, Վ. ՄՈՒՐԱԴՅԱՆ, Գ. ՔԱՌՅԱՆ

Տրված է մոդելավորման գնահատականը Մոնտե Կարլո մեթոդի միջոցով, գնահատելով ազդանշանի և ֆոնի հարաբերակցությունը պիոնկաոն համակարգի ինվարիանտ զանգվածի սպեկտրում, օգտագործելով  $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$  ու  $\overline{D}^0 \rightarrow K^+ \pi^-$  տրոհումները, որոնք սկիզբ են առնում  $D^{*+} \rightarrow D^0 + \pi^+$  և  $D^{*-} \rightarrow \overline{D}^0 + \pi^-$  տրոհումներից տարբեր իմպուլսային/անկյունային բիներում: Ստացված աղյուսակային տվյալները կօգտագործվեն Belle II գիտափորձի անդամների կողմից՝ ARICH գրանցիչի կատարողականությունն ուսումնասիրելու համար: Այնուհետև ARICH գրանցիչի արդյունավետության և սխալ նույնականացման հավանականության արդյունքներ՝ ստացված աղյուսակային տվյալների հիման վրա՝ կդառնան ապագայում ֆիզիկայում վերլուծությունների կարևոր բաղադրիչ:

INVESTIGATIONS OF CHARACTERISTICS FOR ARICH DETECTOR WITH  
D<sup>\*±</sup>-MESONS DECAY AT BELLE II EXPERIMENT  
USING THE MONTE CARLO METHOD

N. AKOPOV, G. GHEVONDYAN, V. MURADYAN, G. KARYAN

An estimate is given of the simulation with the Monte Carlo method using the signal to background ratios in invariant mass spectra of pion-kaon system for decays of  $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$  and  $\overline{D}^0 \rightarrow K^+ \pi^-$  originated from decays of  $D^{*+} \rightarrow D^0 + \pi^+$  and  $D^{*-} \rightarrow \overline{D}^0 + \pi^-$  at different momentum/angular bins of pions (when pion is coming to the ARICH acceptance) and kaons (kaon is in ARICH acceptance). The tabulated data for mentioned ratios will be used by Belle II collaboration to study the ARICH performance. Then the results of ARICH efficiencies and misidentification probability extracted based on tabulated ratios, will become important ingredient for future physics analysis.