

РАСПАДЫ СТРАННЫХ МЕЗОНОВ ПРИ НИЗКИХ ЭНЕРГИЯХ

Введение

Задача изучения низкоэнергетических взаимодействий каонов остается актуальной на протяжении многих десятилетий. Изучение распадов -мезонов позволяет получить информацию о возможных проявлениях новой физики за рамками Стандартной Модели (СМ). Их можно назвать окном в мир «новой» физики. С этой точки зрения представляется крайне важным получение достоверных количественных оценок параметров данных распадов в рамках СМ. Каонные распады рассматриваются в целом ряде обзоров, например, [1, 2]. Экспериментальное изучение этих распадов ведется рядом экспериментальных групп (BNL KEK - JAEA IHEP, Protvino INFN, Frascati) [3]. В данной работе изучаются распады $K \rightarrow \pi l \nu_l$ (K_{l3} - распады). Для них получены параметры наклона λ'_+ ; λ'_- ; λ'_0 , а также воспроизведено соотношение Каллана-Треймана-Матура-Окубо-Пандита (КТМОП) [4, 5]. Все рассмотрение проводилось в рамках Модели Конфаймированных Кварков (МКК) [6].

1. Получение параметров K_{l3} распадов

Матричный элемент распада $K \rightarrow \pi e \nu$ определяется диаграммами, приведенными на рисунке 1, и может быть записан в виде:

$$M^\mu(p_1, p_2) = F_+(t)(p_1 + p_2)^\mu + F_-(t)(p_1 - p_2)^\mu,$$

где

$$F_+(t) = F_+^{(a)}(t) + F_+^{(b)}(t)$$

$$F_-(t) = F_-^{(a)}(t) + F_-^{(b)}(t)$$

Импульсы p_1, p_2 – импульсы каона и -мезона, $t = (p_1 - p_2)^2$. Индексы a и b означают вклады диаграмм $1a$ и $1b$ соответственно. Указанные вклады в МКК имеют вид:

$$F_{\pm}^{(a)}(t) = \sqrt{2h_K h_{\pi}} F_{VPP}^{\mp}(t, m_K^2, m_{\pi}^2, \Lambda_s, \Lambda_u, \Lambda_u).$$

где h_K, h_{π}, h_{K^*} – константы взаимодействия мезонов с кварками, вычисленные в МКК с помощью условия связности. $F_{VPP}^{\pm}(t, m_K^2, m_{\pi}^2, \Lambda_s, \Lambda_u, \Lambda_u)$ – петлевые интегралы, описывающий $V \rightarrow PP$ переход, их явный вид приведен в [7].

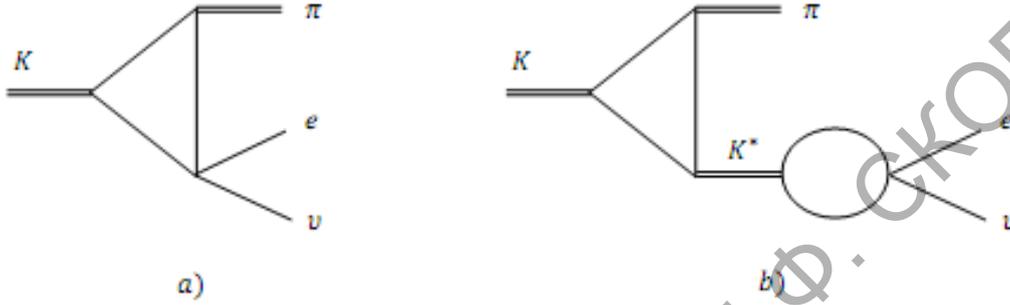


Рисунок 1 – Диаграммы, описывающие распад $K \rightarrow \pi e \nu$

Учет вклада промежуточных адронных состояний проведен в, так называемом, цепочном приближении. Пропагатор промежуточного векторного мезона в цепочном приближении определяется следующим образом:

$$h_V G_V^{\mu\nu}(p) = \frac{1}{\Pi_1(p^2) - \Pi_1(m_V^2)} \left\{ -g^{\mu\nu} + p^{\mu} p^{\nu} \frac{\Pi_2(p^2)}{\Pi_1(p^2) - \Pi_1(m_V^2) + p^2 \Pi_2(p^2)} \right\}.$$

Здесь $\Pi_1(p^2)$ и $\Pi_2(p^2)$ – поляризационные операторы.

После стандартных преобразований нами получены следующие выражения для вкладов промежуточного векторного мезона в форм-факторы $F_{\pm}^b(t)$:

$$F_{+}^b(t) = -F_{+}^a(t) \frac{t}{\Pi_1(t) - \Pi_1(m_{K^*}^2)} F_{VV}(t),$$

$$F_{-}^b(t) = F_{-}^a(t) \frac{m_K^2 - m_{\pi}^2}{\Pi_1(t) - \Pi_1(m_{K^*}^2)} F_{VV}(t),$$

$F_{VV}(t)$ – петлевой интеграл, описывающий поперечную часть $V \rightarrow V$ перехода.

В рамках алгебры токов Калланом, Трейманом [4], Матуро, Окубо и Пандитом [5] было установлено простое соотношение между $F_+(m_K^2)$ и $F_-(m_K^2)$:

$$F_+(m_K^2) + F_-(m_K^2) = \frac{f_K}{f_\pi}.$$

Вычисляя значения $F_\pm(t)$ при $t = m_K^2$ ($m_\pi^2 = 0$) получаем:

$$F_+(m_K^2) + F_-(m_K^2) = 0,9 \frac{f_K}{f_\pi}.$$

Таким образом, в рамках МКК с 10% точностью удалось воспроизвести киральное соотношение КТМОП. Следует заметить, что в данном случае вклады промежуточных состояний сокращаются.

Векторный формфактор $F_+(t)$ представляет собой s -волновую проекцию матричного элемента $\langle 0 | \bar{s} \gamma^\mu u | K \pi \rangle$. s -волновую проекцию определяет скалярный формфактор, представляющий собой комбинацию $F_\pm(t)$:

$$F_0(t) = F_+(t) + \frac{t}{m_K^2 - m_\pi^2} F_-(t).$$

Удобно рассматривать формфакторы, нормированные к значению в нуле

$$f_{+,0}(t) = \frac{F_{+,0}(t)}{F_{+,0}(0)}.$$

Обычно, для анализа экспериментальных данных используют следующую параметризацию

$$f_{+,0}(t) = 1 + \lambda'_{+,0} \frac{t}{m_\pi^2} + \frac{1}{2} \lambda''_{+,0} \left(\frac{t}{m_\pi^2} \right)^2 + \dots$$

Параметр наклона $\lambda'_{+,0}$ вычисляется как

$$\lambda'_{+,0} = m_\pi^2 f'_{+,0}(0).$$

Полученные значения параметров λ'_+ , λ'_- , λ'_0 а также усредненное экспериментальное значение приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения параметров наклона K_{l3} , полученные в МКК

λ'	МКК	Эксперимент
λ'_-	3	0 [8]
λ'_0	16,5	$11,7 \pm 1,4$ [8]
λ'_+	31	$29,86 \pm 0,2$ [9]

Заключение

В рамках Модели Конфайнмированных Кварков получены значения параметров для распада $K \rightarrow \pi l \nu_l$, λ'_+ , λ'_- , λ'_0 , показано, что учет промежуточного векторного мезона K^* значительно приближает полученные значения к экспериментальным. Также с 10% точностью удалось воспроизвести киральное соотношение Каллана-Треймана-Матуро-Окубо-Пандита.

Литература

1. *B, D and K Decays* / M. Artuso [et al.] // Eur. Phys. J. – 2008. – Vol. C57. – P. 309–492.
2. Portoles, J. Important rare kaon decays / J. Portoles // Nucl. Phys. Proc. Suppl. – 2012. – Vol. 273, – P. 254–259.
3. Komsubara, T. K. Experiments with K-Meson Decays / T. K. Komsubara // Prog.Part.Nucl.Phys. – 2012. – Vol. 67. – P. 995–1018.
4. Callan, C. G. Equal Time Commutators and K Meson Decays / C. G. Callan, S. B. Treiman // Phys. Rev. Lett. – 1966. – Vol. 16. – P. 153–157.
5. Matur, V. Algebra of Currents and K_{l3} Decay / V. Matur, S. Okubo, L. Pandit // Phys. Rev. Lett. – 1966. – Vol. 16. – P. 371–374, 601.
6. Efimov, G. V. The Quark Confinement Model of Hadrons / G. V. Efimov, M. A. Ivanov. – London. IOP Publishing Ltd, 1993.
7. Авакян, Е. З. Редкие распады странных мезонов / Е. З. Авакян, С. Л. Авакян // Журнал Белорусского государственного университета. Физика. – 2019. – № 1. – С. 51–62.
8. Particle Data Group J. / S. Beringer [et al.] // Phys. Rev. – 2012. – Vol. D86, № 1. – P. 010001.

9. High statistics measurement of the $K^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu$ (Ke3) decay formfactors / V. Obraztsov [et al.] // Nucl. Part. Phys. Proc. – 2016. – Vol. 273-275. – P. 1330–1333.