

ISSN 1991-346X

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

# Х А Б А Р Л А Р Ы

---

---

## ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА  
СЕРИЯСЫ**



**СЕРИЯ**

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ**



**PHYSICO-MATHEMATICAL  
SERIES**

**5 (303)**

**ҚЫРКҮЙЕК – ҚАЗАН 2015 ж.  
СЕНТЯБРЬ – ОКТЯБРЬ 2015 г.  
SEPTEMBER – OCTOBER 2015**

1963 ЖЫЛДЫҢ ҚАҢТАР АЙЫНАН ШЫҒА БАСТАҒАН  
ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1963 ГОДА  
PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ  
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД  
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА  
АЛМАТЫ, НАН РК  
ALMATY, NAS RK

Б а с р е д а к т о р

ҚР ҰҒА академигі,

**Мұтанов Г. М.**

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Әшімов А.А.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Байғұнчечков Ж.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Жұмаділдаев А.С.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Қалменов Т.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Мұқашев Б.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Өтелбаев М.О.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Тәкібаев Н.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Харин С.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбішев М.Е.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Жантаев Ж.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Қалимолдаев М.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Косов В.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Мұсабаев Т.А.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Ойнаров Р.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Рамазанов Т.С.** (бас редактордың орынбасары); физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Темірбеков Н.М.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Өмірбаев У.У.**

Р е д а к ц и я к ең е с і:

Украинаның ҰҒА академигі **И.Н. Вишневский** (Украина); Украинаның ҰҒА академигі **А.М. Ковалев** (Украина); Беларусь Республикасының ҰҒА академигі **А.А. Михалевич** (Беларусь); Әзірбайжан ҰҒА академигі **А. Пашаев** (Әзірбайжан); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **И. Тигиняну** (Молдова); мед. ғ. докторы, проф. **Иозеф Банас** (Польша)

Главный редактор

академик НАН РК

**Г. М. Мутанов**

Редакционная коллегия:

доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.А. Ашимов**; доктор техн. наук, проф., академик НАН РК **Ж.Ж. Байгунчеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.С. Джумадильдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Т.Ш. Кальменов**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Б.Н. Мукашев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **М.О. Отелбаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Н.Ж. Такибаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **С.Н. Харин**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Е. Абишев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Ж.Ш. Жантаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Н. Калимолдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **В.Н. Косов**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.А. Мусабаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Р. Ойнаров**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.С. Рамазанов** (заместитель главного редактора); доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Н.М. Темирбеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **У.У. Умирбаев**

Редакционный совет:

академик НАН Украины **И.Н. Вишневский** (Украина); академик НАН Украины **А.М. Ковалев** (Украина); академик НАН Республики Беларусь **А.А. Михалевич** (Беларусь); академик НАН Азербайджанской Республики **А. Пашаев** (Азербайджан); академик НАН Республики Молдова **И. Тигиняну** (Молдова); д. мед. н., проф. **Иозеф Банас** (Польша)

«Известия НАН РК. Серия физико-математическая». ISSN 1991-346X

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5543-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz) / [physics-mathematics.kz](http://physics-mathematics.kz)

---

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2015

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

Editor in chief

**G. M. Mutanov**,  
academician of NAS RK

Editorial board:

**A.A. Ashimov**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **Zh.Zh. Baigunchekov**, dr. eng. sc., prof., academician of NAS RK; **A.S. Dzhumadildayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **T.S. Kalmenov**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **B.N. Mukhashev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.O. Otelbayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **N.Zh. Takibayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **S.N. Kharin**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.Ye. Abishev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Zh.Sh. Zhantayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.N. Kalimoldayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **V.N. Kosov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.A. Mussabayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **R. Oinarov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.S. Ramazanov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK (deputy editor); **N.M. Temirbekov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **U.U. Umirbayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK

Editorial staff:

**I.N. Vishnievski**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.M. Kovalev**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.A. Mikhalevich**, NAS Belarus academician (Belarus); **A. Pashayev**, NAS Azerbaijan academician (Azerbaijan); **I. Tighineanu**, NAS Moldova academician (Moldova); **Joseph Banas**, prof. (Poland).

**News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series.**  
**ISSN 1991-346X**

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 5543-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz) / [physics-mathematics.kz](http://physics-mathematics.kz)

---

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2015

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

## PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 5, Number 303 (2015), 159 – 165

## CALCULATION OF DECAY WIDTHS FOR $K_0^*(800)$ AND $f_0(980)$ SCALAR MESONS IN COVARIANT QUARK MODEL

A. N. Issadykov<sup>1</sup>, M. A. Ivanov<sup>2</sup>, S. A. Zhaugasheva<sup>3</sup>, G. S. Nurbakova<sup>3</sup>, B. A. Mukushev<sup>4</sup>

<sup>1</sup>L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

<sup>2</sup>Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia,

<sup>3</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

<sup>4</sup>Shakarim State University, Semey, Kazakhstan.

E-mail: issadykov.a@gmail.com

**Key words:** Decay width, covariant quark model, scalar meson, diquark state.

**Abstract.** In paper we calculated the decay widths of scalar mesons with a mass below 1 GeV.  $K_0^*(800)$  and  $f_0(980)$  mesons were taken under the assumption that they are consist of bound states of two quarks. The widths for different decay modes of mesons were obtained in covariant quark model. The computed width for the decay mode  $K_0^*(800) \rightarrow K\pi$  is different from the experimental data, thereby giving direct evidence that  $K_0^*(800)$  meson is not diquark state and with a high probability tetraquark state. But widths obtained for the strong decays of  $f_0(980)$  meson are consistent with experimental data. Based on this data, it is possible to judge the  $f_0(980)$  meson as a particle consisting of two quarks. From the obtained data it can be assumed that the scalar resonances ( $J^{PC} = 0^{++}$ ) below 1 GeV may be tetraquark and diquark states.

УДК 539.126.4

## ВЫЧИСЛЕНИЕ ШИРИН РАСПАДОВ СКАЛЯРНЫХ МЕЗОНОВ $K_0^*(800)$ И $f_0(980)$ В КОВАРИАНТНОЙ МОДЕЛИ КВАРКОВ

А. Н. Исадыков<sup>1</sup>, М. А. Иванов<sup>2</sup>, С. А. Жаугашева<sup>3</sup>, Г. С. Нурбакова<sup>3</sup>, Б. А. Мукушев<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

<sup>2</sup>Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия,

<sup>3</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

<sup>4</sup>Государственный университет им. Шакарима, Семей, Казахстан

**Ключевые слова:** ширина распада, ковариантная модель кварков, скалярный мезон, дикварковое состояние.

**Аннотация.** В работе были вычислены ширины распадов скалярных мезонов с массой меньше 1 ГэВ. Скалярные мезоны  $K_0^*(800)$  и  $f_0(980)$  брались в предположении, что они состоят из связанных состояний двух кварков. Ширины для разных мод распадов мезонов были получены в ковариантной модели кварков. Для моды распада  $K_0^*(800) \rightarrow K\pi$  вычисленная ширина отличается на порядок от экспериментальных значений, тем самым дает прямое подтверждение того, что  $K_0^*(800)$  мезон не является дикварковой системой и с большой долей вероятности предполагается тетракварковой структурой. Но для сильных распадов скалярного  $f_0(980)$  мезона полученные ширины согласуются с экспериментальными данными. Исходя из полученных данных, можно судить о  $f_0(980)$  мезоне как о частице состоящей из двух кварков. Из полученных данных можно предположить, что скалярные резонансы ( $J^{PC} = 0^{++}$ ) с массами меньше 1 ГэВ могут быть как тетракварковыми, так и дикварковыми состояниями.

**Введение.** Понимание природы скалярных мезонов является важной темой в последние 30-40 лет. Важность природы скалярных мезонов состоит в том, что свойства скалярных мезонов, особенно с массами ниже 1 ГэВ, трудно понять в модели конститuentных кварков, и тем самым исследование легких скалярных мезонов может помочь нам понять непertурбативные свойства КХД. Кроме того, поскольку скалярные мезоны имеют одинаковые квантовые числа как вакуум, это может помочь нам раскрыть механизм нарушения CP-симметрии, которое до сих пор является одним из самых глубоких проблем в физике частиц.

Многие свойства скалярных мезонов не столь ясны, хотя они были исследованы в протяжении нескольких десятилетий. Экспериментально трудно определить скалярные мезоны из-за их больших ширин распада, причиной которых являются сильные перекрытия между резонансными и основными состояниями, а также потому, что несколько каналов распада открыты в течение короткого интервала масс. Из-за не точности данных о скалярных мезонах, не так легко выявить природу их структуры [1-3]. В настоящее время наблюдения показывают, что известные  $0^{++}$  мезоны ниже 2 ГэВ могут быть разделены на два класса: первый класс с массами ниже (или вблизи) 1 ГэВ, а второй с массами выше 1 ГэВ [1]. Есть мнение, что скалярные мезоны с массами ниже 1 ГэВ, в том числе два изосинглета  $f_0(500)$  и  $f_0(980)$ , один изотриплет  $a_0(980)$  и два изодублета  $K_0^*(800)$ , могут быть отнесены в один нонет [4-10]. Напротив, существует другое мнение, основанное на линейной сигма модели и унитарной модели кварков, что  $f_0(500)$ ,  $f_0(980)$ ,  $a_0(980)$  и  $K_0^*(1430)$  образуют скалярный нонет [11, 12].

В работах [4-7, 13-16] вычислялись распады легких скалярных мезонов с массами ниже 1 ГэВ в предположениях, что они являются мультикварковыми состояниями, а в [13, 17-21] - молекулярными состояниями. Кроме того, свойства некоторых из этих легких скалярных мезонов были также исследованы в  $q\bar{q}$  картине [12, 22-25]. В работе [26], расчеты показывают, что скалярные мезоны с массами выше 1 ГэВ являются  $q\bar{q}$  состояниями.

В настоящей работе мы вычисляем ширины сильного распада  $K_0^*(800)$  и  $f_0(980)$  мезонов, которые, как предполагается, состоят из кварка и антикварка (дикварковое состояние).

Эта статья организована следующим образом: в разделе «Скалярные мезоны  $K_0^*(800)$  и  $f_0(980)$ » мы рассуждаем о структурах  $K_0^*(800)$  и  $f_0(980)$  мезонов, приводим экспериментальные значения их масс и ширин распада. В разделе «Ковариантная модель кварков» кратко излагается наш подход, в рамках которого были сделаны все расчеты. В разделе «Лагранжиан кварк-адронного взаимодействия» описаны краткие теоретические предпосылки, которые описывают взаимодействие адронов с их составляющими кварками. Зафиксированные параметры, используемые в ковариантной модели кварков приведены в разделе «Параметры модели». Наши расчеты и краткие выводы приведены в последних разделах статьи.

**Скалярные мезоны  $K_0^*(800)$  и  $f_0(980)$ .** SU (3) нонет скалярных мезонов ниже 1 ГэВ можно записать в матричной форме

$$\hat{S} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{i=0}^8 S^i \lambda^i, \quad (1)$$

где  $\lambda^0 = \sqrt{\frac{2}{3}} I$ .

Физические скалярные поля связаны с декартовой основой в следующем порядке:

$$\begin{aligned} S^\pm &= \frac{1}{\sqrt{2}} (S^1 \mp iS^2), \quad S^0 = S^3, \\ S_S^+ &= \frac{1}{\sqrt{2}} (S^4 - iS^5), \quad S_S^0 = \frac{1}{\sqrt{2}} (S^6 - iS^7), \\ S_S^- &= \frac{1}{\sqrt{2}} (S^4 + iS^5), \quad \bar{S}_S^0 = \frac{1}{\sqrt{2}} (S^6 + iS^7), \\ S' &= S^0 \cos \theta_S + S^8 \sin \theta_S, \quad S = -S^0 \sin \theta_S + S^8 \cos \theta_S, \end{aligned}$$

где  $\theta_S$  это октет-синглетный угол смешивания. Вершина  $\bar{q}\hat{S}q$  будет записываться в виде

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{S\bar{q}q} &= \bar{q}\hat{S}q = \\ &= S^+ \bar{u}d + S^- \bar{d}u + S^0 \frac{1}{\sqrt{2}} (\bar{u}u - \bar{d}d) + S_S^+ \bar{u}s + S_S^0 \bar{d}s + S_S^- \bar{s}u + \bar{S}_S^0 \bar{s}d \end{aligned}$$

==== 160 ====

$$\begin{aligned}
& +S' \left( \cos\delta_S \frac{1}{\sqrt{2}} (\bar{u}u + \bar{d}d) - \sin\delta_S \bar{s}s \right) \\
& -S \left( \sin\delta_S \frac{1}{\sqrt{2}} (\bar{u}u + \bar{d}d) + \cos\delta_S \bar{s}s \right), \quad (2)
\end{aligned}$$

где  $\delta_S = \theta - \theta_I$ , с идеальным углом смешивания  $\theta_I = \arctan(1/\sqrt{2})$ . Мы будем использовать обозначения из работы [27] для скалярных мезонов ниже 1 ГэВ:

$$\begin{aligned}
S_S & \equiv K_0^*(800), I(J^P) = \frac{1}{2}(0^+), m_{K_0^*(800)} = 682 \pm 29 \text{ МэВ}; \\
S & \equiv f_0(980), I^G(J^{PC}) = 0^+(0^{++}), m_{f_0(980)} = 990 \pm 20 \text{ МэВ}.
\end{aligned}$$

Кроме того, мы предполагаем, что  $\delta_S = 0$ , чтобы обеспечить чистое  $\bar{s}s$  состояние для  $f_0(980)$  мезона.

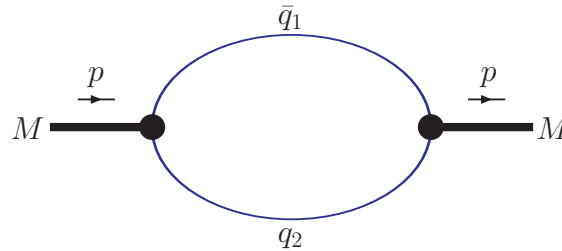
$K_0^*(800)$  мезон имеет моды распада  $K_0^*(800) \rightarrow K\pi$ . Полная ширина распада мезона  $\Gamma = 547 \pm 24 \text{ МэВ}$ .

$f_0(980)$  мезон имеет моды распада  $f_0(980) \rightarrow \pi\pi$  и  $f_0(980) \rightarrow K\bar{K}$ . Полная ширина распада мезона  $\Gamma = 40 \div 100 \text{ МэВ}$ . Все данные были получены из PDG14 [28]. В данной работе ширины распада скалярных мезонов были вычислены в ковариантной модели кварков.

**Ковариантная модель кварков.** Ковариантная модель кварков является эффективным квантово-полевым подходом к адронным взаимодействиям, основанным на лагранжиане взаимодействия адронов с их составляющими кварками. Знание соответствующего интерполирующего кваркового тока позволяет вычислить самосогласованным образом матричные элементы физических процессов. Константа связи адронов с их интерполирующими кварковыми токами определяются из условия связности  $Z_H=0$ , предложенного в работах [29, 30] и в дальнейшем используемого во многих разделах физики частиц [31]. Здесь  $Z_H$  есть константа перенормировки волновой функции адрона. В случае простейшего скалярного (псевдоскалярного) бесспинового поля данное условие записывается в виде:

$$Z_H = 1 - g_H^2 \Pi'_H(m_H^2) = 0, \quad (3)$$

где  $\Pi'_H(m_H^2)$  есть производная массового оператора, соответствующего в лидирующем по  $1/N_c$  - разложению собственной энергетической диаграмме на рисунке.



Собственная энергетическая диаграмма адрона, состоящего из кварка и антикварка

В ковариантной модели кварков эффективным образом вводится инфракрасное обрезание в пространстве параметров Фока-Швингера, по которым проводится интегрирование в выражениях для матричных элементов. Такая процедура позволяет устранить все пороговые сингулярности, соответствующие рождению кварков, и тем самым гарантировать конфайнмент кварков. В модели отсутствуют ультрафиолетовые расходимости благодаря вершинным адрон-кварковым формфакторам, которые описывают нелокальную структуру адронов. Ковариантная модель кварков содержит несколько свободных параметров: массы конституэнтных кварков, параметр инфракрасного обрезания, который характеризует область конфайнмента, и параметры, которые описывают эффективный размер адронов. Преимуществом нашего подхода является то, что оно имеет четкую и последовательную математическую структуру с минимальным количеством свободных параметров.

**Лагранжиан кварк-адронного взаимодействия.** В этом разделе описаны краткие теоретические предпосылки, лежащие в основе ковариантной кварковой модели. Отправной точкой

является релятивистский – инвариантный лагранжиан, описывающий взаимодействие некоторого адрона с его составляющими кварками. При этом адронное состояние описывается полем  $H(x)$ , удовлетворяющим соответствующему свободному уравнению движения, а кварковая часть представляет собой интерполирующий кварковый ток  $J_H(x)$  с квантовыми числами данного адрона

$$L_{\text{int}}(x) = g_H H(x) \cdot J_H(x) + h.c. \quad (4)$$

Отметим, что в случае тождественных частиц, т.е. когда античастица совпадает с частицей ( $\pi^0$  - мезон,  $\phi$  - мезон, и т.п.), эрмитово – сопряженная часть совпадает с первоначальным лагранжианом и поэтому, ее нужно опустить. В случае простейших кварк – антикварковых состояний (мезонов) интерполирующий кварковый ток записывается в виде:

$$J_M(x) = \int dx_1 \int dx_2 F_M(x; x_1, x_2) \bar{q}_2(x_2) \Gamma_M q_1(x_1). \quad (5)$$

Здесь  $\Gamma_M$  – матрица Дирака, обеспечивающая нужные квантовые числа для мезона:  $I$ -скаляр,  $i\gamma^5$ -псевдоскаляр,  $\gamma^\mu$ -вектор,  $\gamma^\mu\gamma^5$ -аксиал,  $\sigma^{\nu\mu} = (i/2)(\gamma^\mu\gamma^\nu - \gamma^\nu\gamma^\mu)$  - тензор. Вершинная функция  $F_M$  эффективно описывает распределение кварков внутри мезона. В принципе она может быть связана с амплитудой Бете – Солпитера, но на данном этапе будем считать ее феноменологической функцией. Из требования трансляционной инвариантности следует, что эта функция должна удовлетворять соотношению  $F_M(x+a; x_1+a, x_2+a) = F_M(x; x_1, x_2)$ , где  $a$ -произвольный 4-х вектор. Выбираем следующую форму для функции  $F_M$ , удовлетворяющую данному условию:

$$F_M(x; x_1, x_2) = \delta(x - x_1\omega_1 - x_2\omega_2) \Phi_M((x_1 - x_2)^2), \quad (6)$$

где  $\omega_i = m_{q_i} / (m_{q_1} + m_{q_2})$ . Данный выбор соответствует выделению системы центра масс двух кварков и умножению на функцию  $\Phi_M$ , зависящей лишь от квадрата относительной координаты. От функции  $\Phi_M$  требуется достаточно быстрое убывание ее Фурье – образа в евклидовой области.

**Параметры модели.** Вначале определим число свободных параметров в ковариантной кварковой модели в случае мезонов, рассматриваемых как кварк-антикварковые состояния. Для данного мезона  $H_i$  имеется константа связи  $g_{H_i}$ , параметр  $\Lambda_{H_i}$ , две из возможных четырех величин конституэнтных масс кварков  $m_{q_j}$  ( $m_u = m_d, m_s, m_c, m_b$ ) и универсальный параметр инфракрасного обрезания (конфайнмента)  $\lambda$ . Легко посчитать, что в случае  $n_H$  мезонов имеется  $2n_H + 5$  свободных параметров. Условие связанности накладывает  $n_H$  ограничений на число модельных параметров, что символически можно записать как

$$f_{H_i}(g_{H_i}, \Lambda_{H_i}, m_{q_i}, \lambda) = 1. \quad (7)$$

Данное условие может быть использовано, чтобы исключить константу связи  $g_H$  из числа свободных параметров. Остальные  $n_H + 5$  параметров определяются с помощью фитирования по экспериментальным данным.

Результаты лучшего фита были достигнуты при значениях свободных параметров модели, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Значение свободных параметров

$m_u$	$m_s$	$\lambda$	
0.241	0.428	0.181	ГэВ

**Численные результаты.** В рамках ковариантной модели кварков были вычислены ширины распада  $K_0^*(800)$  и  $f_0(980)$  мезонов для разных мод распада. Полученные данные приведены для



разных значений (ГэВ) параметра  $\Lambda$ , который обозначает размер мезона. В настоящий момент, невозможно определить размер скалярных мезонов экспериментально, в связи с этим мы варьируем параметр  $\Lambda$  в разумных пределах. Результаты вычислений приведены в таблице 2. Для сравнения приведены экспериментальные данные по данным модам распада.

Таблица 2 – Ширины распадов  $K_0^*(800)$  и  $f_0(980)$  мезонов в ковариантной модели кварков

Моды распада	$\Gamma_{\text{теор}}, \text{ГэВ}$					$\Gamma_{\text{эксп}}, \text{ГэВ}$
	$\Lambda=0.75$	$\Lambda=0.85$	$\Lambda=1$	$\Lambda=1.2$	$\Lambda=1.5$	
$K_0^*(800) \rightarrow K\pi$	0.0539	0.05515	0.05475	0.0529	0.04937	0.547
$f_0(980) \rightarrow \pi\pi$	0.179	0.178	0.174	0.168	0.158	0.04÷0.1
$f_0(980) \rightarrow K\bar{K}$	0.05499	0.05274	0.05032	0.04748	0.0439	0.04÷0.1

Для моды распада  $K_0^*(800) \rightarrow K\pi$  вычисленная ширина отличается на порядок от экспериментальных значений, тем самым дает прямое подтверждение того, что  $K_0^*(800)$  мезон не является дикварковой системой и с большой долей вероятности предполагается тетракварковой структурой. Для сильных распадов скалярного  $f_0(980)$  мезона полученные ширины согласуются с экспериментальными данными. Исходя из полученных данных, можно судить о  $f_0(980)$  мезоне как о частице, состоящей из двух кварков. Из этого можно предположить, что скалярные резонансы ( $J^{PC} = 0^{++}$ ) с массами в области 1 ГэВ могут быть как тетракварковыми системами, так и дикварковыми системами.

**Выводы.** В рамках ковариантной модели кварков были вычислены ширины распада  $K_0^*(800)$  и  $f_0(980)$  мезона для разных мод распада. Для моды распада  $K_0^*(800) \rightarrow K\pi$  вычисленная ширина отличается на порядок от экспериментальных значений, тем самым дает прямое подтверждение того, что  $K_0^*(800)$  мезон не является дикварковой системой и с большой долей вероятности предполагается тетракварковой структурой. Для сильных распадов скалярного  $f_0(980)$  мезона полученные ширины согласуются с экспериментальными данными. Исходя из полученных данных, можно судить о  $f_0(980)$  мезоне как о частице, состоящей из двух кварков. Из этого можно предположить, что скалярные резонансы ( $J^{PC} = 0^{++}$ ) с массами в области 1 ГэВ могут быть как тетракварковыми системами, так и дикварковыми системами. Для полного понимания природы скалярных мезонов с массами до 1 ГэВ необходимо провести вычисления ширин распадов исходя из предположения, что они являются молекулярными, либо мультикварковыми состояниями.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Amsler C. et al. “[Particle Data Group]” // Phys. Lett. B 667, 1 (2008).
- [2] Godfrey S. and Napolitano J. // Rev. Mod. Phys. 71, 1411 (1999), [arXiv:hep-ph/9811410].
- [3] Close F. E. and Tornqvist N. A. // J. Phys. G 28, R249 (2002), [arXiv:hep-ph/0204205].
- [4] Jaffe R. L. // Phys. Rev. D 15, 267 (1977).
- [5] Jaffe R. L. // Phys. Rev. D 15, 281 (1977).
- [6] Alford M. G. and Jaffe R. L. // Nucl. Phys. B 578, 367 (2000), [arXiv:hep-lat/0001023].
- [7] Maiani L., Piccinini F., Polosa A. D. and Riquer V. // Phys. Rev. Lett. 93, 212002 (2004)
- [8] Oller J. A., Oset E. and Pelaez J. R. // Phys. Rev. D 59, 074001 (1999), [arXiv:hep-ph/9804209].
- [9] Ishida M. // Prog. Theor. Phys. 101, 661 (1999), [arXiv:hep-ph/9902260].
- [10] Scadron M. D., Rupp G., Kleefeld F. and van Beveren E. // Phys. Rev. D 69, 014010 (2004), [arXiv:hep-ph/0309109].
- [11] Tornqvist N. A. // Eur. Phys. J. C 11, 359 (1999), [arXiv:hep-ph/9905282].
- [12] Tornqvist N. A. // Z. Phys. C 68, 647 (1995), [arXiv:hep-ph/9504372].
- [13] Weinstein J. D. and Isgur N. // Phys. Rev. D 41, 2236 (1990).
- [14] Pelaez J. R. // Mod. Phys. Lett. A 19, 2879 (2004), [arXiv:hep-ph/0411107].
- [15] Pelaez J. R. and Rios G. // Phys. Rev. Lett. 97, 242002 (2006), [arXiv:hep-ph/0610397].
- [16] Pelaez J. R. // Phys. Rev. Lett. 92, 102001 (2004), [arXiv:hep-ph/0309292].
- [17] Branz T., Gutsche T. and Lyubovitskij V. E. // Eur. Phys. J. A 37, 303 (2008), [arXiv:0712.0354 [hep-ph]].
- [18] Branz T., Gutsche T. and Lyubovitskij V. E. // Phys. Rev. D 78, 114004 (2008), [arXiv:0808.0705 [hep-ph]].
- [19] Giacosa F., Gutsche T. and Lyubovitskij V. E. // Phys. Rev. D 77, 034007 (2008), [arXiv:0710.3403 [hep-ph]].
- [20] Branz T., Gutsche T. and Lyubovitskij V. E. // AIP Conf. Proc. 1030, 118 (2008), [arXiv:0805.1647 [hep-ph]].

- [21] Branz T., Gutsche T. and Lyubovitskij V. E. // arXiv:0812.0942 [hep-ph].  
[22] Faessler A., Gutsche T., Ivanov M. A., Lyubovitskij V. E. and Wang P. // Phys. Rev. D 68, 014011(2003), [arXiv:hep-ph/0304031].  
[23] van Beveren E. and Rupp G. // Eur. Phys. J. C 22, 493 (2001), [arXiv:hep-ex/0106077].  
[24] Celenza L. S., Gao S. f., Huang B., Wang H. and Shakin C. M. // Phys. Rev. C 61, 035201 (2000).  
[25] Yong-Liang Ma “Properties of the Scalar Mesons below 1.0 GeV as Hadronic Molecules”// [arXiv:0906.3842v2 [hep-ph]]  
[26] Bhavyashri, Vijaya Kumar K. B., Ma Y. L. and Prakash A. // [arXiv:0811.4308 [hep-ph]]  
[27] Olive K. A. et al (Particle Data Group Collaboration) // Chin. Phys. C 38, 090001 (2014).  
[28] <http://pdg.lbl.gov/2014/tables/rpp2014-tab-mesons-light.pdf>  
[29] Ivanov M.A., Santorelli P. and Tancredi N. “The Semileptonic form-factors of B and D mesons in the quark confinement model” // Eur. Phys. J. A. – 2000 – Vol.9. – P.109.  
[30] Ivanov M.A., Körner J.G. and Santorelli P. “The Semileptonic decays of the B meson” // Phys. Rev. D. – 2001 – Vol.63. – P.074010.  
[31] Faessler A. et al. “The Exclusive rare decays  $B \rightarrow K(K^*) \bar{l}l$  and  $B_c \rightarrow D(D^*) \bar{l}l$  in a relativistic quark model” // Eur. Phys. J. direct C. – 2002 – Vol.4. – P.18.

### REFERENCES

- [1] Amsler C. et al. “[Particle Data Group]”, *Phys. Lett. B*, 2008, 667, 1, (in Eng.).  
[2] Godfrey S. and Napolitano J., *Rev. Mod. Phys.*, **1999**, 71, 1411, [arXiv:hep-ph/9811410], (in Eng.).  
[3] Close F. E. and Tornqvist N. A., *J. Phys. G*, **2002**, 28, R249, [arXiv:hep-ph/0204205], (in Eng.).  
[4] Jaffe R. L., *Phys. Rev. D*, **1977**, 15, 267, (in Eng.).  
[5] Jaffe R. L., *Phys. Rev. D*, **1977**, 15, 281, (in Eng.).  
[6] Alford M. G. and Jaffe R. L., *Nucl. Phys. B*, **2000**, 578, 367, [arXiv:hep-lat/0001023], (in Eng.).  
[7] Maiani L., Piccinini F., Polosa A. D. and Riquer V., *Phys. Rev. Lett.*, **2004**, 93, 212002, (in Eng.).  
[8] Oller J. A., Oset E. and Pelaez J. R. *Phys. Rev. D*, **1999**, 59, 074001, [arXiv:hep-ph/9804209], (in Eng.).  
[9] Ishida M., *Prog. Theor. Phys.* 101, 661 (1999), [arXiv:hep-ph/9902260], (in Eng.).  
[10] Scadron M. D., Rupp G., Kleefeld F. and van Beveren E., *Phys. Rev. D*, **2004**, 69, 014010, [arXiv:hep-ph/0309109], (in Eng.).  
[11] Tornqvist N. A., *Eur. Phys. J. C*, **1999**, 11, 359, [arXiv:hep-ph/9905282], (in Eng.).  
[12] Tornqvist N. A., *Z. Phys. C*, **1995**, 68, 647, [arXiv:hep-ph/9504372], (in Eng.).  
[13] Weinstein J. D. and Isgur N., *Phys. Rev. D*, **1990**, 41, 2236, (in Eng.).  
[14] Pelaez J. R., *Mod. Phys. Lett. A*, **2004**, 19, 2879, [arXiv:hep-ph/0411107], (in Eng.).  
[15] Pelaez J. R. and Rios G., *Phys. Rev. Lett.*, **2006**, 97, 242002, [arXiv:hep-ph/0610397], (in Eng.).  
[16] Pelaez J. R., *Phys. Rev. Lett.*, **2004**, 92, 102001, [arXiv:hep-ph/0309292] (in Eng.).  
[17] Branz T., Gutsche T. and Lyubovitskij V. E., *Eur. Phys. J. A*, **2008**, 37, 303, [arXiv:0712.0354 [hep-ph]] (in Eng.).  
[18] Branz T., Gutsche T. and Lyubovitskij V. E., *Phys. Rev. D*, **2008**, 78, 114004, [arXiv:0808.0705 [hep-ph]] (in Eng.).  
[19] Giacosa F., Gutsche T. and Lyubovitskij V. E., *Phys. Rev. D*, **2008**, 77, 034007, [arXiv:0710.3403 [hep-ph]], (in Eng.).  
[20] Branz T., Gutsche T. and Lyubovitskij V. E., *AIP Conf. Proc.*, **2008**, 1030, 118, [arXiv:0805.1647 [hep-ph]], (in Eng.).  
[21] Branz T., Gutsche T. and Lyubovitskij V. E., arXiv:0812.0942 [hep-ph], (in Eng.).  
[22] Faessler A., Gutsche T., Ivanov M. A., Lyubovitskij V. E. and Wang P., *Phys. Rev. D*, **2003**, 68, 014011, [arXiv:hep-ph/0304031], (in Eng.).  
[23] Van Beveren E. and Rupp G., *Eur. Phys. J. C*, **2001**, 22, 493 [arXiv:hep-ex/0106077], (in Eng.).  
[24] Celenza L. S., Gao S. f., Huang B., Wang H. and Shakin C. M., *Phys. Rev. C*, **2000**, 61, 035201, 38, 090001, (in Eng.).  
[25] Yong-Liang Ma “Properties of the Scalar Mesons below 1.0 GeV as Hadronic Molecules”, [arXiv:0906.3842v2 [hep-ph]], (in Eng.).  
[26] Bhavyashri, Vijaya Kumar K. B., Ma Y. L. and Prakash A., [arXiv:0811.4308 [hep-ph]], (in Eng.)  
[27] Olive K. A. et al (Particle Data Group Collaboration), *Chin. Phys. C*, **2014**, 38, 090001, (in Eng.).  
[28] <http://pdg.lbl.gov/2014/tables/rpp2014-tab-mesons-light.pdf>, (in Eng.)  
[29] Ivanov M.A., Santorelli P. and Tancredi N. “The Semileptonic form-factors of B and D mesons in the quark confinement model”, *Eur. Phys. J. A.*, **2000**, Vol.9., P.109, (in Eng.).  
[30] Ivanov M.A., Körner J.G. and Santorelli P. “The Semileptonic decays of the B meson”, *Phys. Rev. D.*, **2001**, Vol.63., P.074010, (in Eng.).  
[31] Faessler A. et al. “The Exclusive rare decays  $B \rightarrow K(K^*) \bar{l}l$  and  $B_c \rightarrow D(D^*) \bar{l}l$  in a relativistic quark model”, *Eur. Phys. J. direct C.*, **2002**, Vol.4., P.18, (in Eng.).

**$K_0^*(800)$  ЖӘНЕ  $f_0(980)$  СКАЛЯРЛЫҚ МЕЗОНДАРДЫҢ ЫДЫРАУ ЕНІН КВАРКТАРДЫҢ КОВАРИАНТТЫҚ МОДЕЛІНІҢ НЕГІЗІНДЕ ЕСЕПТЕУ****А. Н. Исадыков<sup>1</sup>, М. А. Иванов<sup>2</sup>, С. А. Жауғашева<sup>3</sup>, Г. С. Нұрбакова<sup>3</sup>, Б. А. Мукушев<sup>4</sup>****Тірек сөздер:** ыдырау еңі, кварктардың коварианттық моделі, скалярлық мезон, дикваркттық күй.

**Аннотация.** Жұмыста массалары 1 ГэВ-тен аз скалярлық мезондардың ыдырау ені есептелінген.  $K_0^*(800)$  және  $f_0(980)$  скалярлық мезондары екі кварктың байланысқан күйінде тұратын болжамымен алынған. Мезондардың әртүрлі ыдырау модаларының ені кварктардың коварианттық моделі аясында есептелінген.  $K_0^*(800) \rightarrow K\pi$  ыдырау модасының ені тәжірибелік деректерден біршама аз, сонымен  $K_0^*(800)$  мезонының дикваркттық жүйесі емес, үлкен ықтималдықпен тетракваркттық құрылым екенін тікелей дәлелі болып табылады. Бірақ  $f_0(980)$  мезонының күшті ыдырау ендері тәжірибелік деректермен толық келісімде. Осыған орай алынған деректерге сүйене,  $f_0(980)$  мезонының екі кварктан құралған бөлшек екенін жорамалдаймыз. Осы есептелінген мәліметтерге сүйене, массалары 1 ГэВ-тен аз скалярлық резонанстарды ( $J^{PC} = 0^{++}$ ) тетракварк жүйесі, әрі дикварк жүйесі ретінде болатынын болжаймыз.

*Поступила 15.15.2015 г.*

---

**Publication Ethics and Publication Malpractice  
in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct ([http://publicationethics.org/files/u2/New\\_Code.pdf](http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf)). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

[www:nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

<http://www.physics-mathematics.kz>

Редактор *М. С. Ахметова*  
Верстка на компьютере *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 25.09.2015.  
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.  
11,0 п.л. Тираж 300. Заказ 5.