



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2007–23
ОЭФ

А.М. Блик, А.М. Горин, С.В. Донсков, С. Инаба ¹, В.Н. Колосов,
А.А. Леднев, В.А. Лишин, Ю.В. Михайлов, В.А. Поляков,
В.Д. Самойленко, А.Е. Соболев, В.П. Сугоняев, К. Такаматсу ¹,
Т. Тсуру ¹, Г.В. Хаустов

**ИЗМЕРЕНИЕ МАТРИЧНОГО ЭЛЕМЕНТА РАСПАДА
 $\eta' \rightarrow \eta\pi^0\pi^0$ НА УСТАНОВКЕ ГАМС-4 π**

Направлено в ЯФ

¹ Национальная лаборатория физики высоких энергий – КЕК, Тсукуба, Япония

Протвино 2007

Аннотация

А.М. Блик, А.М. Горин, С.В. Донсков и др. Измерение матричного элемента распада $\eta' \rightarrow \eta\pi^0\pi^0$ на установке ГАМС-4 π : Препринт ИФВЭ 2007–23. – Протвино, 2007. – 7 с., 4 рис., 1 табл., библиогр.: 16.

На статистике $\approx 15 \times 10^3$ событий определены параметры диаграммы Далитца распада $\eta' \rightarrow \eta\pi^0\pi^0$. Эксперимент выполнен на установке ГАМС-4 π .

Abstract

Blik A.M., Gorin A.M., Donskov S.V. et al. Matrix Element Measurement of the decay $\eta' \rightarrow \eta\pi^0\pi^0$ with GAMS-4 π .: IHEP Preprint 2007–23. – Protvino, 2007. – p. 7, figs. 4, tables 1, refs.: 16.

The parameters of Dalitz diagram for the decay $\eta' \rightarrow \eta\pi^0\pi^0$ was been measured with statistics about $\approx 15 \times 10^3$ events. The experiment was been performed with GAMS-4 π Setup.

Введение

Исследование матричных элементов распадов имеет большое значение для понимания динамики процесса и структуры частиц. Адронные распады η' -мезона рассматриваются в работах, посвященных киральной теории [1, 2, 3], влиянию глюонной компоненты [4], возможному нонету легких скаляров [5]. На новом уровне точности распады η' -мезона будут изучаться на установках WASA [6] и MAMI-C [7].

Целью настоящей работы является изучение матричного элемента распада

$$\eta' \rightarrow \eta\pi^0\pi^0. \quad (1)$$

В общем виде матричный элемент (1) записывается как

$$|M|^2 \propto 1 + aY + bY^2 + cX + dX^2, \quad (2)$$

a, b, c, d — действительные параметры, а X и Y — переменные Далитца

$$X = \frac{\sqrt{3}}{Q}(T_{\pi_1^0} - T_{\pi_2^0}), \quad Y = \left(2 + \frac{m_\eta}{m_{\pi^0}}\right)\frac{T_\eta}{Q} - 1, \quad (3)$$

где $T_{\pi_1^0}, T_{\pi_2^0}, T_\eta$ — кинетические энергии π^0 - и η -мезонов в системе покоя η' -мезона ($T_{\pi_1^0} > T_{\pi_2^0}$), $Q = T_{\pi_1^0} + T_{\pi_2^0} + T_\eta = m_{\eta'} - m_\eta - 2m_{\pi^0}$. В PDG [8] и ранних работах применяется линейная параметризация матричного элемента

$$M^2 \propto |1 + \alpha Y|^2 + cX + dX^2, \quad (4)$$

α — комплексная величина. С теоретической точки зрения параметр $c = 0$, для распада (1) — это следствие Бозе-Эйнштейн симметрии волновой функции, а для моды $\eta' \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$ — следствие сохранения зарядовой четности. Отметим, что в современных теоретических работах обычно применяется представление (2). При этом выполняются следующие соотношения между коэффициентам (2) и (4):

$$a = 2\text{Re}(\alpha), \quad b = \text{Re}^2(\alpha) + \text{Im}^2(\alpha). \quad (5)$$

Первые прецизионные измерения матричного элемента распада (1) были выполнены сотрудничеством ГАМС [9] в 1986 г. На статистике 5400 событий получены следующие значения параметров:

$$\begin{aligned} \operatorname{Re}(\alpha) &= -0,058 \pm 0,013, \\ \operatorname{Im}(\alpha) &= 0,00 \pm 0,13, \\ d &= 0,00 \pm 0,03. \end{aligned}$$

Последний анализ Далитц-плота изотопически сопряженной моды

$$\eta' \rightarrow \eta\pi^+\pi^- \quad (6)$$

проведен экспериментом ВЕС [10]. Данные этой работы основываются на 14×10^3 событиях зарядовообменной реакции и на 7×10^3 событиях дифракционного образования η' -мезона. Усредненные значения параметров матричного элемента (6) равны

$$\begin{aligned} a &= -0,127 \pm 0,016 \pm 0,008, \\ b &= -0,106 \pm 0,028 \pm 0,014, \\ c &= 0,015 \pm 0,011 \pm 0,014, \\ d &= -0,082 \pm 0,017 \pm 0,008. \end{aligned}$$

1. Отбор событий

Эксперимент выполнен на модернизированной установке ГАМС-4 π , краткое описание которой приведено в работе [11]. ГАМС-4 π является усовершенствованной версией установки ГАМС-2000 [12]. Несмотря на изменения, которые были внесены в детекторы, постановка эксперимента осталась прежней, методика калибровки установки и геометрическая реконструкция событий описаны ранее [13, 14].

Данные были получены в сеансе 2002 г. на ускорителе У-70 ИФВЭ. Источником моноэнергетических η' -мезонов служила реакция перезарядки

$$\pi^- p \rightarrow \eta' n \quad (7)$$

при импульсе π^- -мезона 32,5 ГэВ/с. Для дальнейшего анализа использованы события, в которых программа реконструкции восстановила шесть γ -квантов в электромагнитном калориметре ГАМС. Подавление аппаратурного фона без существенной потери эффективности регистрации исследуемого процесса (1) было достигнуто следующими стандартными отборами:

- расстояние между осями ливней в ГАМС больше 45 мм;
- расстояние точки попадания γ -кванта в ГАМС от оси пучка больше 40 мм (для подавления фона в наиболее загруженных центральных счетчиках ГАМС);
- энергия каждого γ -кванта больше 0,5 ГэВ, и в центральной области порог плавно повышается до 0,7 ГэВ;
- суммарная энергия в ГАМС ограничена интервалом 28–36 ГэВ.

События, не удовлетворяющие любому из вышеперечисленных требований, исключены из дальнейшей обработки.

Для выделения $\eta\pi^0\pi^0$ -системы был выполнен кинематический 4С-фит (фиксированы массы нейтрона отдачи, η - и π^0 -мезонов, уровень достоверности $CL(4C) > 0,1$).

В области масс η' -мезона достаточно интенсивно образуется система $3\pi^0$, в том числе из распада $\eta' \rightarrow 3\pi^0$. Конечное разрешение детектора ГАМС и большая комбинаторная множественность (45 комб./соб) приводят к тому, что событие $3\pi^0$ может быть ошибочно принято как $\eta\pi^0\pi^0$, и может внести искажения в параметры исследуемого матричного элемента. Чтобы подавить $3\pi^0$ -систему, были отброшены события, которые после 4С-фита гипотезой ($n, 3\pi^0$) имели вероятность $CL(4C) > 0,1$. Проведенное моделирование показало, что после этого комбинаторный фон $3\pi^0$ -системы составляет $\approx 10^{-3}$, что с учетом вероятности распада $BR(\eta' \rightarrow 3\pi^0) = 1,55 \times 10^{-3}$ [8] является пренебрежимо малой величиной.

Как видно из рис. 1, распад (1) выделяется практически без фона, уровень подложки в районе η' -мезона составляет $\approx 2\%$. Поэтому процедура вычитания фона не применялась.

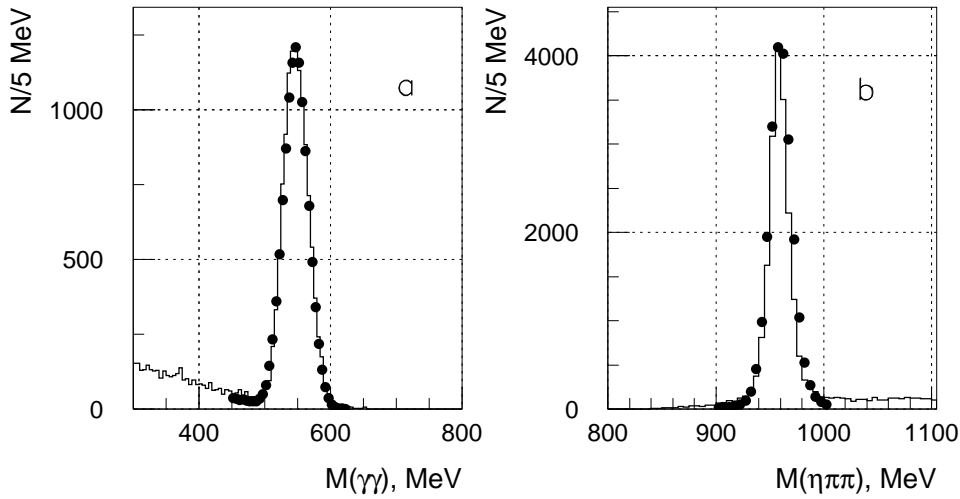


Рис. 1. (а) Спектр масс нефитированной пары γ -квантов после 3С-фита (фиксированы массы нейтрона отдачи и двух π^0 -мезонов), когда масса $\pi^0\pi^0\gamma\gamma$ -системы находится в интервале 920–1000 МэВ. (б) Спектр масс $\eta\pi^0\pi^0$ -системы после 4С-фита. Разрешение $\sigma(4C) = 9,7$ МэВ. Точками показан спектр Монте-Карло событий.

При построении диаграммы Далитца использованы события с массой в интервале $930 < M(\eta\pi^0\pi^0) < 990$ МэВ, для которых выполнен 5С-фит (добавлено условие $M(\eta') = M(\eta\pi^0\pi^0)$, $CL(5C) > 0,1$). Диаграмма Далитца распада (1) показана на рис. 2 и содержит 15×10^3 событий.

2. Анализ данных

Экспериментальный спектр квадрата матричного элемента фитируется функцией

$$F(X, Y) = A(F_1(X, Y) + aF_2(X, Y) + bF_3(X, Y) + cF_4(X, Y) + dF_5(X, Y)) \quad (8)$$

с параметрами a, b, c, d . A — нормировочный множитель.

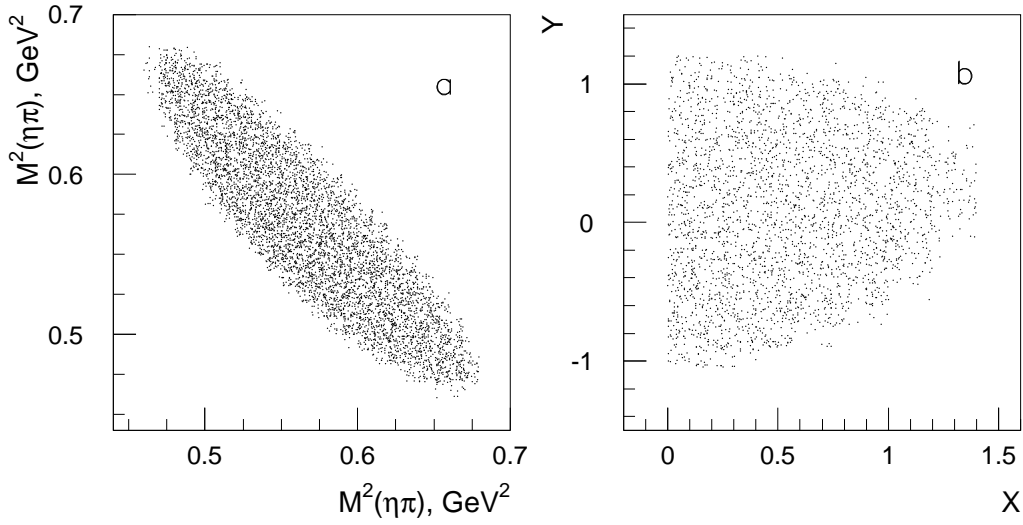


Рис. 2. Экспериментальный вид диаграммы Далитца распада $\eta' \rightarrow \eta\pi^0\pi^0$: **(a)** — в переменных $(M^2(\eta\pi_1^0), M^2(\eta\pi_2^0))$; **(b)** — в переменных (X, Y) .

Функция (8) для определения параметров квадрата матричного элемента строится следующим образом. Распад (1) разыгрывается методом Монте-Карло с постоянным матричным элементом, и для событий, прошедших отборы, создается набор гистограмм $F_i(X, Y)$, где каждое событие входит с весом w_i , $w_1 = 1$, $w_2 = Y_{tr}$, $w_3 = Y_{tr}^2$, $w_4 = X_{tr}$, $w_5 = X_{tr}^2$, где X_{tr} и Y_{tr} — истинные значения переменных Далитца до пропуска через установку. Как легко видеть, набор весов соответствует переменным в формуле (2). Такой способ позволяет учесть миграцию событий в плоскости $X - Y$ и уменьшить систематические ошибки [15].

Точность и однозначность восстановления переменных Далитца во всем кинематическом диапазоне показана на рис. 3. Разрешение по переменным X и Y составляет $\sigma_X = 0,11$, $\sigma_Y = 0,075$. Бин гистограммы на рис. 2 выбран равным $2\sigma_X \times 2\sigma_Y$, так что примерно половина событий находится в своем истинном бине.

При фитировании методом наименьших квадратов

$$\chi^2 = \sum_{X,Y} \frac{(N(X, Y) - F(X, Y))^2}{\sigma_N^2}, \quad (9)$$

где $N(X, Y)$ — число событий в бине (X, Y) экспериментальной гистограммы (рис. 4), $\sigma_N^2 = N(X, Y)$, были получены следующие значения параметров матричного элемента и корреляционной матрицы ($\chi^2/NDF = 78./84$):

$$\begin{aligned} a &= -0,066 \pm 0,016 \\ b &= -0,063 \pm 0,028 \\ c &= -0,107 \pm 0,096 \\ d &= 0,018 \pm 0,078 \end{aligned} \begin{pmatrix} 1,000 & -0,395 & 0,191 & -0,210 \\ & 1,000 & -0,600 & 0,512 \\ & & 1,000 & -0,968 \\ & & & 1,000 \end{pmatrix}. \quad (10)$$

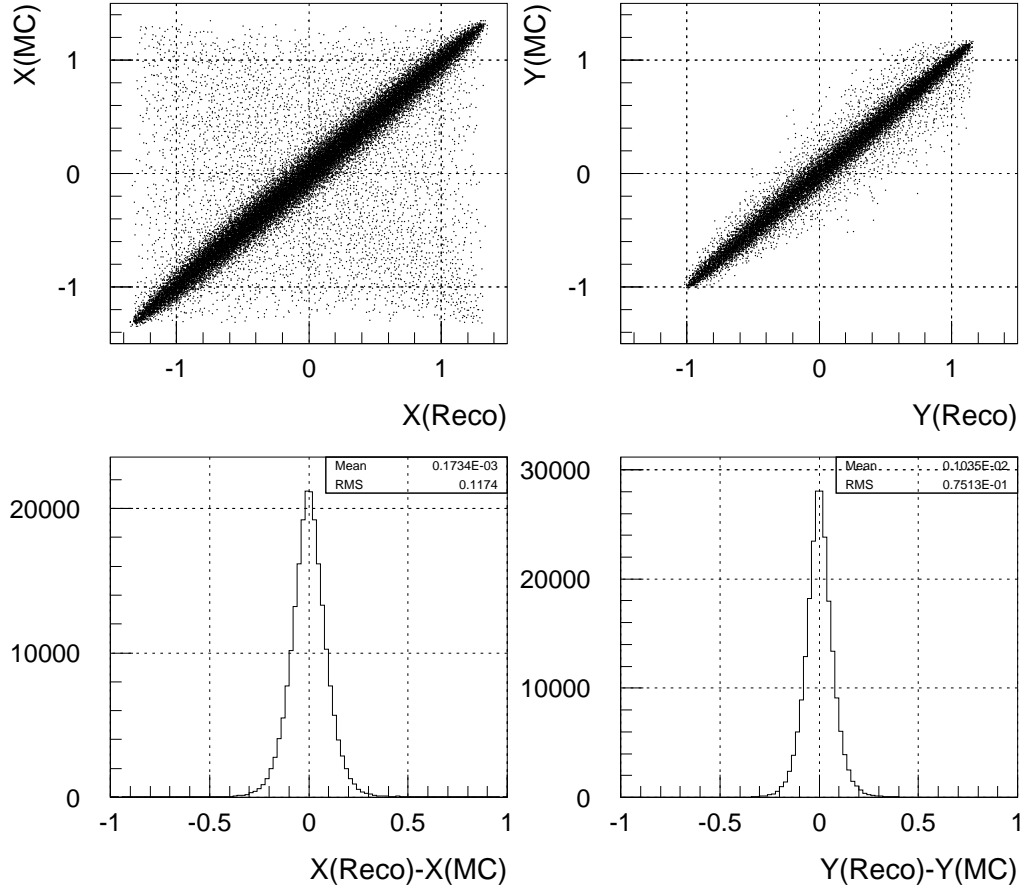


Рис. 3. Восстановление кинематических переменных X и Y .

Как было отмечено выше, с учетом симметрии Бозе-Эйнштейна $s = 0$, и фитирование с этим условием ($\chi^2/NDF = 79./85$)

$$\begin{aligned}
 a &= -0,067 \pm 0,016 \\
 b &= -0,064 \pm 0,029 \\
 d &= -0,067 \pm 0,020
 \end{aligned}
 \begin{pmatrix}
 1,000 & 0,151 & -0,698 \\
 & 1,00 & -0,406 \\
 & & 1,000
 \end{pmatrix}. \quad (11)$$

Для сравнения с нашей предыдущей работой был выполнен фит с линейной параметризацией (4) матричного элемента, что приводит к следующим значениям параметров ($\chi^2/NDF = 84./85$):

$$\begin{aligned}
 Re(\alpha) &= -0,042 \pm 0,008 \\
 Im(\alpha) &= -0,00 \pm 0,07 \\
 d &= -0,054 \pm 0,019
 \end{aligned}
 \begin{pmatrix}
 1,000 & -0,024 & -0,171 \\
 & 1,000 & -0,017 \\
 & & 1,000
 \end{pmatrix}. \quad (12)$$

Полученные значения параметра наклона в пределах ошибки совпадают для представлений матричного элемента (2) и (4), но отрицательное значение коэффициента b говорит о том, что они не эквивалентны [1, 10].

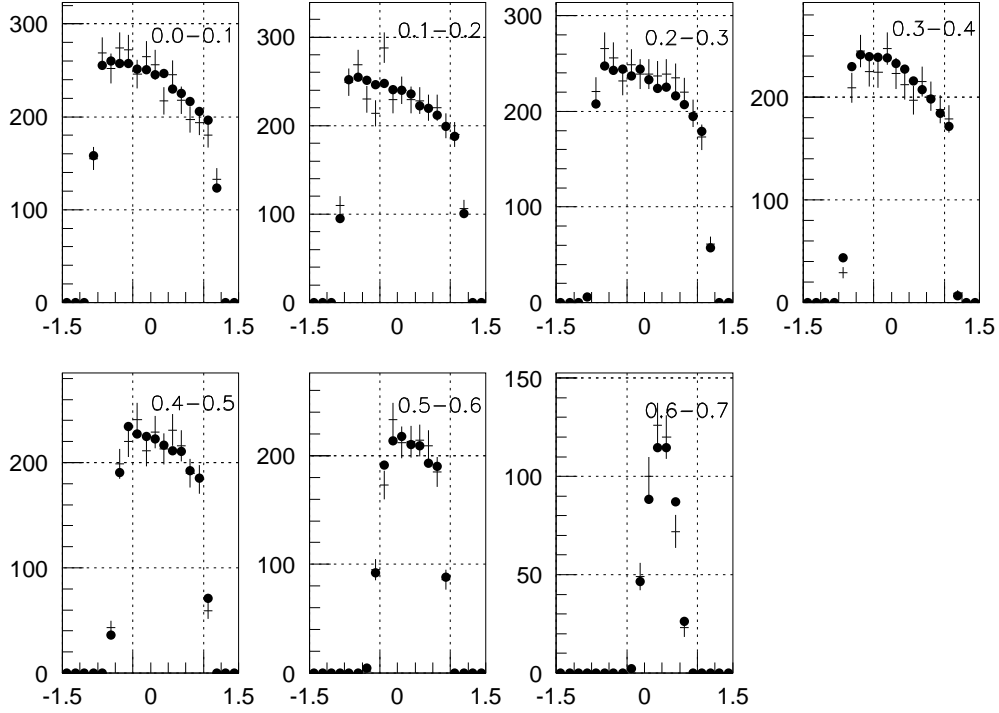


Рис. 4. Экспериментальные распределения переменной Y в различных интервалах X . Фитирование выполнено методом наименьших квадратов.

Для оценки систематической погрешности менялись условия отбора событий и порогового значения уровня достоверности кинематического фита. Полученные систематические ошибки приведены в табл. 1, их величины меньше статистических ошибок.

Таблица 1. Параметры матричного элемента.

Парам.	ГМС-4 π	Part.Data Group 2006	[1]	[2]
a	$-0.066 \pm 0.016 \pm 0.003$			
b	$-0.063 \pm 0.028 \pm 0.004$			
c	$-0.107 \pm 0.096 \pm 0.003$			
d	$0.018 \pm 0.078 \pm 0.006$			
a ($c \equiv 0$)	$-0.067 \pm 0.016 \pm 0.004$		-0.127 ± 0.009	-0.105
b ($c \equiv 0$)	$-0.064 \pm 0.029 \pm 0.005$		-0.049 ± 0.036	-0.065
d ($c \equiv 0$)	$-0.067 \pm 0.020 \pm 0.003$		0.011 ± 0.021	-0.004
Re(α)	-0.042 ± 0.008	-0.065 ± 0.009		
Im(α)	0.00 ± 0.07			
d	-0.054 ± 0.019			

Заклучение

В работе определены параметры матричного элемента распада (1) в обобщенном и линейном представлениях. Показано, что эти представления матричного элемента не эквивалентны. Результаты работы суммированы в табл. 1.

Работа была выполнена в рамках проекта РФФИ 05-02-16861-а.

Авторы благодарны В.Б.Аникееву и В.Ф.Образцову за полезные обсуждения.

Список литературы

- [1] B.Borasoy and R.Niβler, e-Print Archive: hep-ph/0510384.
- [2] N.Beisert and B.Borasoy, e-Print Archive: hep-ph/0301058.
- [3] J.Bijnens, e-Print Archive: hep-ph/051176.
- [4] S.D.Bass, e-Print Archive: hep-ph/0111180.
- [5] A.H.Fariborz and J.Schechter, e-Print Archive: hep-ph/9902238.
- [6] H.Adam et al. e-Print Archive: nucl-ex/0411038.
- [7] A.Starostin. www.fz-juelich.de/ikp/hpc2005/Talks/.
- [8] Particle Data Group, Journal of Physics G, V.33 (2006).
- [9] D.Alde et al., Phys.Lett. B, V.177 (1987), 115; Алди Д и др. ЯФ. Т.45 (1987), 117.
- [10] V.Dorofeev et al. e-Print Archive: hep-ph/0607044.
- [11] Блик А.М. и др. Препринт ИФВЭ 2005-47, Протвино, 2005; ЯФ. Т. 70 (2007), 1.
- [12] Алди Д. и др. ЯФ. Т. 49 (1989) 1021; Phys.Lett. B V. B216 (1989), 451.
Здесь же даны ссылки на предыдущие работы.
- [13] Бинон Ф. и др. Черенковские детекторы и их применение в науке и технике. – М.: Наука, 1990. С. 149.
- [14] Леднев А.А. Препринт ИФВЭ 93-152, Протвино, 1993.
- [15] I.V.Ajinenko et al. Phys.Lett. B567 (2003), 159.
- [16] O.P.Yushchenko et al. Phys.Lett. B 589 (2004), 111.

Рукопись поступила 25 декабря 2007 г.

А.М. Блик, С.В. Донсков, С. Инаба и др.
Измерение матричного элемента распада $\eta' \rightarrow \eta\pi^0\pi^0$ на установке ГАМС-4п.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы **Л^AT_EX**.

Редактор Н.В.Ежела.

Подписано к печати 26.12.2007. Формат 60 × 84/8.
Офсетная печать. Печ.л. 1,12. Уч.-изд.л. 0,9. Тираж 90. Заказ 131.
Индекс 3649. ЛР 020498 17.04.97.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий
142284, Протвино Московской обл.

