

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



Р2 - 8827

А.Атанасов, В.Великов, К.Георгеску, Ф.Никитиу,
Ю.А.Щербаков

А.С.

π ^4He -РАССЕЯНИЕ
В ГЛАУБЕРОВСКОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

1975

Ранг публикаций Объединенного института ядерных исследований

Препринты и сообщения Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ) являются самостоятельными публикациями. Они издаются в соответствии со ст. 4 Устава ОИЯИ. Отличие препринтов от сообщений заключается в том, что текст препринта будет впоследствии воспроизведен в каком-либо научном журнале или аperiodическом сборнике.

Индексация

Препринты, сообщения и депонированные публикации ОИЯИ имеют единую нарастающую порядковую нумерацию, составляющую последние 4 цифры индекса.

Первый знак индекса - буквенный - может быть представлен в 3 вариантах:

“Р” - издание на русском языке;

“Е” - издание на английском языке;

“Д” - работа публикуется на русском и английском языках.

Препринты и сообщения, которые рассылаются только в страны-участницы ОИЯИ, буквенных индексов не имеют.

Цифра, следующая за буквенным обозначением, определяет тематическую категорию данной публикации. Перечень тематических категорий изданий ОИЯИ периодически рассылается их получателям.

Индексы, описанные выше, проставляются в правом верхнем углу на обложке и титульном листе каждого издания.

Ссылки

В библиографических ссылках на препринты и сообщения ОИЯИ мы рекомендуем указывать: инициалы и фамилию автора, далее - сокращенное наименование института-издателя, индекс, место и год издания.

Пример библиографической ссылки:

И.И.Иванов. ОИЯИ, Р2-4985, Дубна, 1971.

P2 - 8827

А.Атанасов,* В.Великов,* К.Георгеску, Ф.Никитиу,
Ю.А.Щербаков

π ^4He -РАССЕЯНИЕ
В ГЛАУБЕРОВСКОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

*Пловдивский государственный университет

В последнее время получено значительное количество новых экспериментальных данных по упругому рассеянию пионов на ${}^4\text{He}$. В ряде экспериментов /1-3/ при энергии пионов около 100 МэВ и в области /3,3/ резонанса были измерены как угловые распределения, так и полные сечения рассеяния.

При теоретическом анализе этих процессов применяются в основном два подхода: а/ оптическая модель с подходяще подобранным потенциалом или с потенциалом, полученным путем приближенного суммирования актов единичного взаимодействия в теории многократного рассеяния /4,5/; б/ глауберовская модель /4,6/. Как правило, оба подхода являются в основном нерелятивистскими. В анализе экспериментальных данных /в основном, на ядре ${}^{12}\text{C}$ / на основании обоих подходов получается удовлетворительное соответствие теоретических и экспериментальных дифференциальных сечений рассеяний в области до первого минимума / -70 - 80 °/. При больших углах теоретические кривые заметно расходятся с экспериментальными точками. Это особенно заметно при описании $\pi^{-4}\text{He}$ -рассеяния при энергиях 110, 180 и 260 МэВ /6/.

В настоящей работе рассматривается описание упругого рассеяния пионов с ядрами ${}^4\text{He}$ в области резонанса /3,3/ на основе глауберовского подхода с учетом релятивистской кинематики. При этом в модели используются следующие предположения: 1/ движение нуклонов, составляющих ядро, происходит значительно медленнее, чем движение налетающей частицы, так, что акт взаимодействия пиона с нуклоном в принципе может описываться квази-

потенциальным уравнением*, а движение нуклонов в ядре - нерелятивистским уравнением Шредингера; 2/ применимость импульсного приближения, т.е. амплитуда рассеяния "пион-нуклон" в ядре равна амплитуде для свободных частиц; 3/ полный фазовый сдвиг, возникающий при прохождении пиона через ядро, представляется в виде суммы фазовых сдвигов на отдельных нуклонах; 4/ пренебрегается перевертыванием спина, эффектами перезарядки и отдачи ядра; 5/ в течение всего времени прохождения пионов через ядро, нуклоны в ядре считаются покоящимися, а после того, как будет вычислена амплитуда рассеяния на такой системе закрепленных нуклонов, производится усреднение ее по всем возможным положениям нуклонов с помощью волновой функции ядра. Последняя определяется на основе одночастичной осцилляторной оболочечной модели ядра.

В предложенной схеме решения проблемы рассеяния пионов на ${}^4\text{He}$ существенны два момента: релятивистское описание взаимодействия пиона с нуклоном и учет многократного рассеяния пиона в ядре.

В глауберовском приближении амплитуду рассеяния пиона на нуклоне можно представить в виде:

$$f(\Lambda q) = \frac{qW}{2\pi i} \int d^2b e^{i\Lambda \vec{q} \cdot \vec{b}} f(\vec{b}; W). \quad /1/$$

Здесь $\Lambda \vec{q} = \vec{q}' - \vec{q}$ - переданный импульс, \vec{b} - вектор, перпендикулярный вектору $\vec{q} + \vec{q}'$, где направление z определяется вектором $\vec{q} + \vec{q}'$, а q^2 является квадратом относительного импульса:

* Квазипотенциальное уравнение /7,8/ совпадает с уравнением Шредингера, в котором сделаны подстановки:
 $m \rightarrow m_W = \frac{m_\pi m_N}{W}$, $E \rightarrow \frac{q^2}{2m_W}$. Следовательно, можно

использовать глауберовскую теорию рассеяния, однако классическое выражение для квадрата относительного импульса заменяется релятивистским /1'/. На энергетической поверхности

$$W = p_\pi^0 + p_N^0 = q_\pi^0 + q_N^0.$$

$$q^2 = \frac{W^4 - 2(m_\pi^2 + m_N^2)W^2 + (m_\pi^2 - m_N^2)^2}{4W^2} \quad /1'/$$

Амплитуду упругого рассеяния пиона на ${}^4\text{He}$ в глауберовском приближении, по аналогии с нерелятивистским описанием /9/, можно представить в виде:

$$F(\Lambda q) = \frac{qW}{i} \int_0^\infty J_0(2qb \sin \frac{\theta}{2}) \{ [1 + \Gamma(b; W)]^4 - 1 \} b db /2/$$

где θ и q являются, соответственно, углом рассеяния и импульсом пиона в системе центра масс $\pi^{-4}\text{He}$. Усредненная профилирующая функция дается формулой

$$\Gamma(b; W) = \frac{i}{2\pi qW} \int e^{i\Lambda q \cdot b} f(\Lambda q) \rho(\Lambda q) d^2 \Lambda q \quad /3/$$

где $f(\Lambda q)$ является амплитудой единичного акта рассеяния пиона на нуклоне, а $\rho(\Lambda q) = \exp[-\frac{1}{4}a^2(\Lambda q)^2]$ представляет собой нуклонный формфактор в ядре. Значение параметра $a = 1,37 \text{ Фм}$ мы фиксировали из опытов по рассеянию электронов на ядре ${}^4\text{He}$ /10/.

Разложим $f(\Lambda q)$ по парциальным волнам и, ограничиваясь только s - и p -волнами, которые дают основной вклад в упругое рассеяние в рассматриваемой области энергии, получим:

$$f(\Lambda q) = \frac{W}{q} [a_{0,1/2} (2a_{1,3/2} + a_{1,1/2}) \cos \theta],$$

где величины $a_{l,j}$ связаны с фазами $\delta_{l,j}$ посредством уравнений

$$a_{l,j} = e^{i\delta_{l,j}} \sin \delta_{l,j}.$$

Усредняя по изоспину, получаем:

$$f(\Lambda q) = C_0 + C_1 (\Lambda q)^2 \quad /4/$$

где

$$C_0 = \frac{W}{3q} [2(e^{i\delta_{33}} \sin \delta_{33} + 2e^{i\delta_{33}} \sin \delta_{33} + e^{i\delta_{31}} \sin \delta_{31}) +$$

$$+ e^{i\delta_{11}} \sin \delta_{11} + 2e^{i\delta_{13}} \sin \delta_{13} + e^{i\delta_{11}} \sin \delta_{11}] \quad /5a/$$

$$C_1 = -\frac{W}{3q^3} [2e^{i\delta_{33}} \sin\delta_{33} + e^{i\delta_{31}} \sin\delta_{31} + e^{i\delta_{13}} \sin\delta_{13} + \\ + \frac{1}{2} e^{i\delta_{11}} \sin\delta_{11}]. \quad /56/$$

Через δ и δ обозначены сдвиги фаз s -волн при $T=1/2$ и $T=3/2$, а сдвиги фаз p -волн обозначены через δ_{11} , δ_{13} , δ_{31} и δ_{33} , где первый индекс равен удвоенному изотопическому спину T/P -состояния/, а второй - удвоенному угловому моменту.

Имея в виду /5/ и /4/, определяем $F(b; W)$ из /3/ и получаем

$$F(\Lambda q) = \frac{qW}{i} \int_0^\infty J_0(2qb \sin \frac{\theta}{2}) [1 + (A + Bb) e^{-b^2/a^2}] - i b db. \quad /6/$$

Здесь

$$A = \frac{2i}{qa^2 W} \left[C_0 + 4 \frac{C_1}{a^2} \right], \quad B = -\frac{8i}{qa^6 W} C_1.$$

Дифференциальное и полное сечения упругого рассеяния определяются следующими выражениями:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{1}{W^2} |F(\Lambda q)|^2, \quad \sigma_{tot} = \frac{4\pi}{qW} \text{Im} F(\theta=0). \quad /7/$$

При вычислениях дифференциального и полного сечений рассеяния данные о фазовых сдвигах были взяты из работы /11/ и интерполированы для значений энергии, при которых были получены экспериментальные данные.

На рис. 1-3 показаны вычисленные дифференциальные сечения для энергий рассеяния 68, 97 и 154 МэВ, а также экспериментальные данные из работ /1,2/. При энергии 68 МэВ рассчитанное дифференциальное сечение рассеяния плохо согласуется с экспериментом. В области больших углов, как в минимуме, так и около него, четко

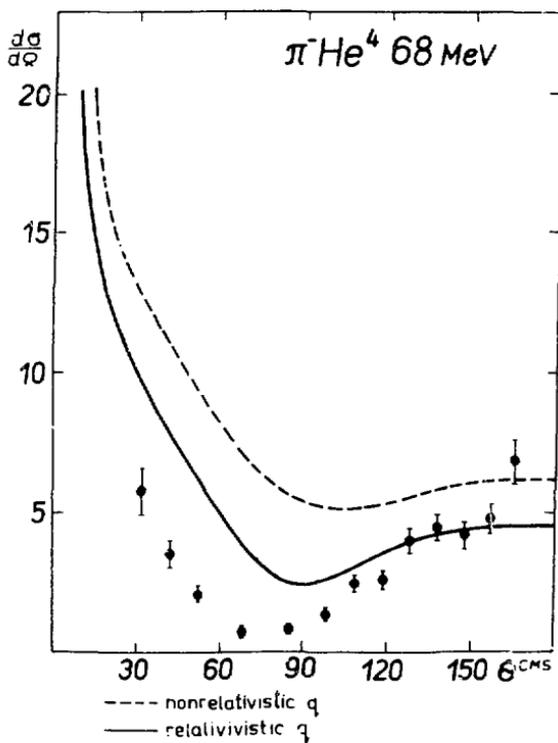


Рис. 1. Упругое рассеяние π^- -мезонов на ${}^4\text{He}$ при энергии 68 МэВ. \blacklozenge - эксперимент, сплошная кривая - расчеты с использованием релятивистской кинематики, штриховая кривая - нерелятивистское приближение.

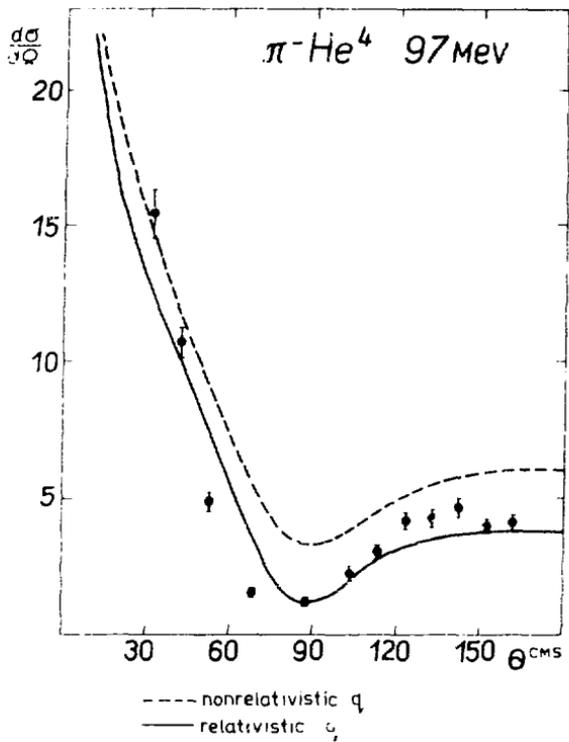


Рис. 2. $\pi^- \text{He}^4$ -упругое рассеяние при 97 МэВ. Обозначения те же, что и на рис. 1.

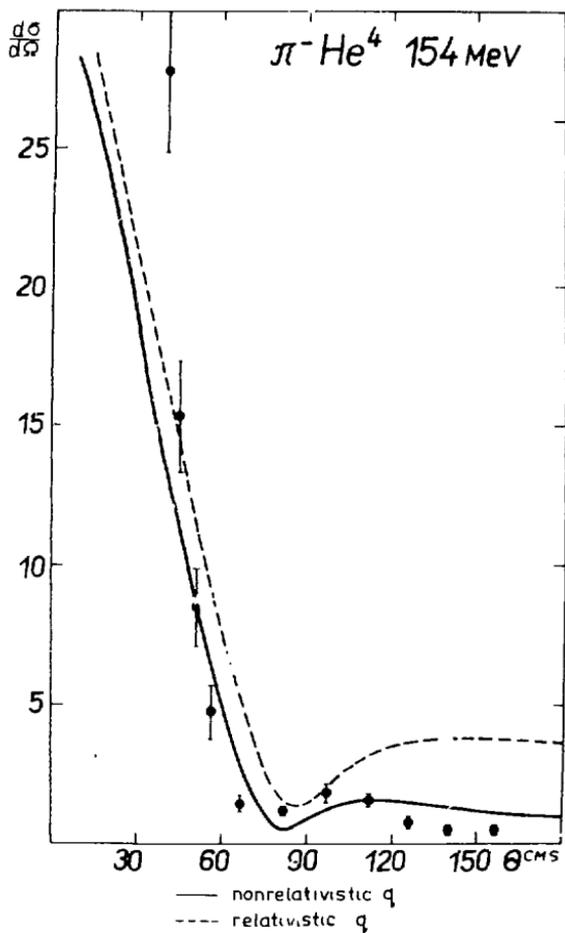


Рис. 3. $\pi^- \text{He}^4$ -упругое рассеяние при энергии 154 МэВ. Обозначения - см. рис. 1.

видна разница между нерелятивистской⁴ и релятивистской кинематикой в глауберовском подходе. В последнем случае расчетные и экспериментальные данные заметно сближаются. Конечно, трудно надеяться, что при столь малых энергиях можно получить хорошее описание упругого рассеяния на основе используемого подхода. В этой области энергий, возможно, более разумно использовать оптическую модель /12/.

При энергии 97 МэВ имеется лучшее совпадение теоретических и экспериментальных сечений, хотя в области самых малых углов отличие оказывается весьма заметным. Как и при 68 МэВ, минимум оказывается в области углов около 90°, в то время как эксперимент дает 70-80°. Кривая, вычисленная на основе нерелятивистского глауберовского подхода, находится выше как экспериментальных точек, так и кривой из глауберовского подхода с релятивистской кинематикой.

При энергии 154 МэВ картина заметно не улучшается по сравнению со 100 МэВ. При малых углах остается существенное отклонение от экспериментальных данных. При больших углах поведение теоретической кривой качественно воспроизводит результаты эксперимента, и в этой области очень заметен релятивистский эффект.

С возрастанием энергии минимум в теоретических кривых смещается в область меньших углов. При этом "релятивистский" минимум находится всегда ближе к экспериментальному, чем "нерелятивистский".

Значение параметра a , связанного с радиусом ядра ^{4}He можно несколько варьировать, но и в этом случае не удастся получить лучшего соответствия между расчетными и экспериментальными данными в области малых углов.

В заключение следует отметить, что с использованием глауберовского приближения с релятивистской кинематикой удастся получить в общем удовлетворительное описание экспериментальных данных при 97 и 154 МэВ. Однако есть и некоторые трудности. Во-первых, это несоответствие теории и эксперимента в области самых

⁴ В нерелятивистском случае мы брали $q^2 = \frac{2m_{\pi} m_{^4\text{He}}}{m_{\pi} + m_{^4\text{He}}} T$, где T - кинетическая энергия пиона в с.с.м.

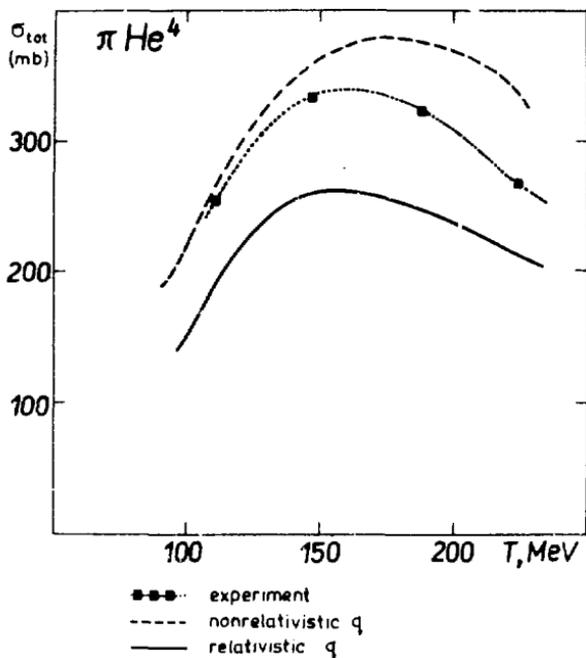


Рис. 4. Энергетическая зависимость полного сечения упругого рассеяния пионов на ^4He . ■ - эксперимент, пунктирная кривая произвольно проведена через экспериментальные точки, штриховая кривая - нерелятивистское приближение, сплошная - релятивистское.

малых углов, которое более заметно при 154 МэВ, чем при 97 МэВ. Вторая трудность состоит в том, что вычисленное на основе использованной модели полное сечение, является заниженным по сравнению с экспериментальными величинами /рис. 4/. Надо иметь в виду, однако, что мы не учитывали ферми-движение в ядре, а это имеет существенное значение в /3,3/-резонансной области для рассеяния вперед ¹³. Можно надеяться, что последовательный учет перечисленных выше факторов может позволить получить лучшие результаты в описании упругого π^- He-рассеяния в /3,3/-резонансной области в глауберовском приближении.

Авторы выражают глубокую благодарность И.Тодорову, П.Н.Боголюбову и В.Р.Гарсеванияшвили за интерес к работе и ценные замечания.

Литература

1. I.V.Falomkin, M.M.Kulyukin, V.I.Lyashenko, F.Nichitii, G.B.Pontecorvo, Yu.A.Sccherbakov. *Lett. Nuovo Cimento*, V3, n. 11, 461 (1972).
2. M.Albu, T.Besliu, R.Garfagnini, M.M.Kulyukin, V.I.Lyashenko, A.Mihul, F.Nichitii, G.Piragino, G.B.Pontecorvo, I.V.Falomkin, Yu.A.Shcherbakov. *Preprint JINR, P1-7628, Dubna, 1973.*
3. C.Wilkin, C.R.Cox, J.J.Domingo, K.Gabathuler, E.Pedroni, J.Rohlin, P.Schwaller, M.V.Tanner. *Nucl. Phys.*, B62, 61 (1973).
4. J.F.Germond and J.P.Amiet. *Nucl.Phys.*, A216, 157 (1973).
5. E.H.Auerbach, D.M.Fleming and M.M.Sternheim. *Phys.Rev.*, 162, 1683 (1967).
6. J.P.Stroot. *Proc. 4th Int. Conf. on High Energy Physics and Nuclear Structure. Dubna, 1971, p. 221.*
7. V.A.Matveev, R.M.Muradyan, A.N.Tavkhelidze. *JINR, E2-3408, Dubna, 1967.*
8. I.T.Todorov. *Phys.Rev.*, D3, 2351 (1971).
9. M.M.Sternheim. *Phys.Rev.*, 135, B912 (1964).
10. R.F.Frosch, J.S.McCarthy, R.E.Rand and M.R.Yearian. *Phys.Rev.*, 160, 874 (1967).

11. *N Partial-Wave Amplitudes, UCRL-20030 (1970) (Particle Data Group).*
12. *R. Mach. Nucl. Phys., A205 (1973).*
13. *G. Faldt. Nucl. Phys., B10, 597 (1969).*

Рукопись поступила в издательский отдел
24 апреля 1975 года.

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория физики твердого тела

Нет ли пробелов в Вашей библиотеке?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

16-4888	Дозиметрия излучений и физика защиты ускорителей заряженных частиц. Дубна, 1969.	250 стр.	2 р.	64 к.
Д1-5969	Труды Международного симпозиума по физике высоких энергий. Дрезден, 1971.	773 стр.	7 р.	69 к.
Д1-6004	Бинарные реакции адронов при высоких энергиях. Дубна, 1971.	768 стр.	7 р.	60 к.
Д10-6142	Труды Международного симпозиума по вопросам автоматизации обработки данных с пузырьковых и искровых камер. Дубна, 1971.	564 стр.	6 р.	14 к.
Д113-6210	Труды VI Международного симпозиума по ядерной электронике. Варшава, 1971.	372 стр.	3 р.	67 к.
Д1-6349	Труды IV Международной конференции по физике высоких энергий и структуре ядра. Дубна, 1971.	670 стр.	6 р.	95 к.
Д1-6465	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1972.	525 стр.	5 р.	85 к.
Р2-6762	Р.М. Мурадян. Автомодельность в инклюзивных реакциях. Лекция, прочитанная на Школе молодых ученых по физике высоких энергий. Сухуми, 1972.	111 стр.	1 р.	10 к.
Д1-6840	Материалы II Международного симпозиума по физике высоких энергий и элементарных частиц. Штрбске Плесо, ЧССР, 1972.	398 стр.	3 р.	96 к.
Д3-7154	Пропорциональные камеры. Дубна, 1973.	173 стр.	2 р.	20 к.
Д2-7161	Нелокальные, нелинейные и нерезонируемые теории поля. Алушта, 1973.	280 стр.	2 р.	75 к.

Условия обмена

Препринты и сообщения ОИЯИ рассылаются бесплатно, на основе взаимного обмена, университетам, институтам, лабораториям, библиотекам, научным группам и отдельным ученым более 50 стран.

Мы ожидаем, что получатели изданий ОИЯИ будут сами проявлять инициативу в бесплатной рассылке публикаций в Дубну. В порядке обмена принимаются научные книги, журналы, репринты и иного вида публикации по тематике ОИЯИ.

Единственный вид публикаций, который нам присылать не следует, - это репринты /оттиски статей, уже опубликованных в научных журналах/.

В ряде случаев мы сами обращаемся к получателям наших изданий с просьбой бесплатно прислать нам какие-либо книги или выписать для нашей библиотеки научные журналы, издающиеся в их странах.

Отдельные запросы

Издательский отдел ежегодно выполняет около 3 000 отдельных запросов на высылку репринтов и сообщений ОИЯИ. В таких запросах следует обязательно указывать индекс запрашиваемого издания.

Адреса

Письма по всем вопросам обмена публикациями, а также запросы на отдельные издания следует направлять по адресу:

*101000 Москва,
Главный почтамт, п/я 79.
Издательский отдел
Объединенного института
ядерных исследований.*

Адрес для посылки всех публикаций в порядке обмена, а также для бесплатной подписки на научные журналы:

*101000 Москва,
Главный почтамт, п/я 79.
Научно-техническая библиотека
Объединенного института
ядерных исследований.*



Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.
Заказ 19662. Тираж 690. Уч.-изд. листов 0,69.
Редактор О.С.Виноградова. Подписано к печати 21.5.75 г.
Корректор Н.А.Кураева