

Ш-259

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

7 - 7706

Шарифов Кабил Насырович

УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕЙТРОНОВ
В РЕАКЦИЯХ С ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ

Специальность 01.04.16 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1974

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители:

доктор физико-математических наук
кандидат физико-математических наук

Ю.Ц.ОГАНЕСЯН
С.А.КАРАМЯН

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
кандидат физико-математических наук

Г.Н.СМИРЕНКИН
В.В.ПАПКОВИЧ

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Радиевый институт им. В.Г.Хлопина, г.Ленинград.

Автореферат разослан "22" II 1974 года

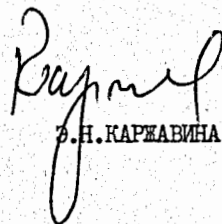
Защита диссертации состоится "26" III 1974 года
в "15" часов на заседании Объединенного Ученого совета ЛНФ
и ЛЯР ОИЯИ (Дубна, Московской области).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Отзывы и замечания просим направлять по адресу:

г.Дубна, Московской области, Объединенный институт ядерных исследований, ученому секретарю Объединенного Ученого совета ЛЯР и ЛНФ.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА


Е.Н.КАРЖАВИНА

" " января 1974 года

7 - 7706

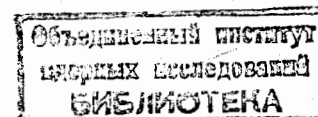
Шарифов Кабил Насырович

УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕЙТРОНОВ
В РЕАКЦИЯХ С ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ

Специальность 01.04.16 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)



Вопросы, связанные с взаимодействием ускоренных тяжелых ионов с ядрами, достаточно хорошо изучены. Установлено, что для ионов с массой $A \leq 40$ одним из основных процессов является реакция полного слияния сталкивающихся ядер $^{I}/$. Образующееся при этом составное ядро характеризуется значительной энергией возбуждения (до 100 Мэв) и высоким угловым моментом (до $50 - 60 \hbar$).

Вследствие этих обстоятельств многие детали микроскопической структуры ядер оказываются несущественными, и основные свойства ядра достаточно хорошо описываются на основе статистической модели, где используются такие характеристики, как температура ядра, момент инерции, энтропия и т.д. Поэтому для описания распада таких ядер используется статистическая теория составного ядра $^{2}/$. В настоящее время получено много экспериментальных данных по процессу образования и распада высоковозбужденных состояний ядер. Однако данные эти далеко не достаточны для того, чтобы получить детальное представление о том, насколько существующие модели правильно описывают состояния ядер в широкой области Z, A энергии возбуждения и углового момента. Вместе с тем известно, что в реакциях с тяжелыми ионами составные ядра в процессе своего распада испытывают в основном испускание нейтронов. В связи с этим изучение каскадного испарения нейтронов представляется важным и интересным этапом в понимании процессов, протекающих при девозбуждении составного ядра.

Известно также, что с процессом испарения нейтронов для ядер $Z \geq 80$ начинает сильно конкурировать деление на два осколка.

Вопросам деления высоковозбужденных ядер посвящено много работ. Детально измерены вероятности деления, массовые и зарядовые распределения осколков, спектры кинетических энергий и т.д.

Однако для понимания механизма ядер весьма важно знать среднее число нейтронов на акт деления $\bar{\nu}$. Здесь необходимо отметить, что если при малых энергиях возбуждения значение ν для большинства ядер измерено, то при больших энергиях возбуждения такие данные практически отсутствуют. Поэтому настоящая работа посвящена вопросам, связанным с определением среднего числа нейтронов $\bar{\nu}$ при делении тяжелых ядер вплоть до $^{278}110$, образующихся в реакциях $^{238}U + ^{40}Ar$, $^{238}U + ^{22}Ne$, $^{238}U + ^{16}O$, $^{238}U + ^{12}C$, $^{209}Bi + ^{40}Ar$, $^{209}Bi + ^{22}Ne$, $^{209}Bi + ^{16}O$, $^{209}Bi + ^{12}C$, $^{197}Au + ^{40}Ar$, $^{197}Au + ^{22}Ne$, $^{197}Au + ^{16}O$, $^{197}Au + ^{12}C$.

Кроме того, исследовано угловое распределение нейтронов, испускаемых возбужденными составными ядрами, образующимися в реакциях $^{96}Mo + ^{40}Ar$, $^{96}Mo + ^{22}Ne$, $^{96}Mo + ^{16}O$, $^{96}Mo + ^{12}C$, $^{73}Ge + ^{22}Ne$, $^{73}Ge + ^{12}C$, $^{108}Ag + ^{40}Ar$, $^{108}Ag + ^{22}Ne$, $^{108}Ag + ^{16}O$, $^{108}Ag + ^{12}C$, $^{141}Pr + ^{22}Ne$, $^{141}Pr + ^{12}C$.

Диссертация состоит из трех глав. В первой главе дается анализ имеющихся в литературе данных, основанный на сравнении их с предсказаниями, выполненными на основе статистической модели. Обращается внимание на характер распада составного ядра, обладающий большой энергией возбуждения (E^*) и большим угловым моментом.

Во второй главе описывается экспериментальная методика и приводятся данные по среднему числу нейтронов, испускаемых на акт деления составных ядер со значением параметра делимости $34,5 \leq \frac{Z^2}{A} \leq 43,5$.

Экспериментальная установка основана на регистрации осколков деления ^{237}Np под действием нейтронов деления составных ядер, образующихся в вышеперечисленных реакциях.

Несмотря на то, что эффективность нейтронного детектора составляет 10^{-6} , наличие широкого плато сечения деления под действием нейтронов позволило использовать, по существу, всеволновый миниатюрный нейтронный детектор и провести одновременно измерение угловых распределений и полного числа нейтронов и осколков деления.

Схематический вид экспериментальной установки представлен на рис. I/3, 4/. В выбранной схеме опыта фон не превышал 5% от наблюдаемого эффекта. Типичные угловые распределения нейтронов и осколков деления для реакции $^{209}Bi + ^{40}Ar$, полученные с помощью нашей установки, показаны на рис. 2.

Используя интенсивные пучки ионов ^{40}Ar , ^{22}Ne , ^{16}O , ^{12}C , полученные на 310 см циклотроне тяжелых ионов Лаборатории ядерных реакций, в течение нескольких часов можно было получить достаточную статистическую точность (10%) для измеряемых значений ν .

Экспериментальные результаты представлены в таблицах I, 2.

На основе данных по угловому распределению осколков была получена зависимость седловой деформации ядра ($\frac{J_{sph}}{J_{eff}}$) от параметра деления $\frac{Z^2}{A}$ (см. табл. I) с использованием метода расчета, предложенного в работе /5/. Сравнение этих данных с результатами более ранних экспериментов с легкими частицами /6/ и тяжелыми ионами /5/ позволяет определить один из основных параметров

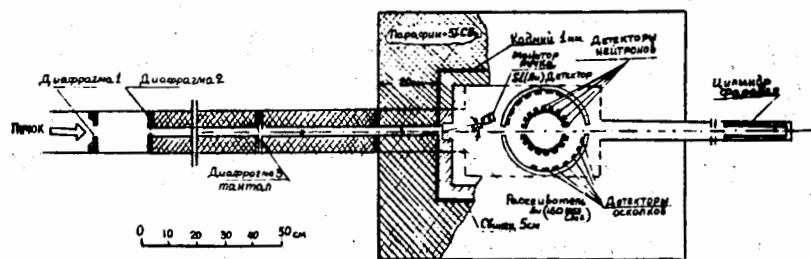


Рис.1. Схема экспериментальной установки.

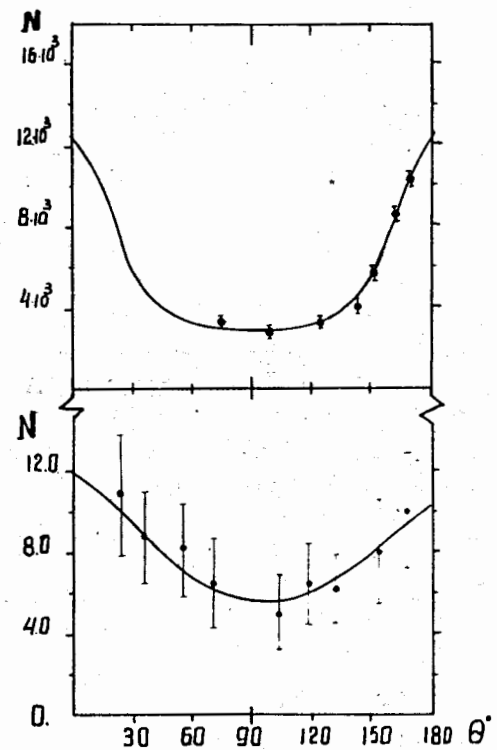


Рис.2. Угловое распределение осколков деления (верхняя кривая) и нейтронов (нижняя кривая) для реакции $^{209}\text{Bi} + \text{Ar}$

Т а б л и ц а I

| Мишень | Частица | Z_A | E_b^+ (мэв) | E_b^n (мэв) | \bar{T}_n (мэв) | $\bar{\gamma}_f$ | $\bar{\gamma}_n$ | $\frac{W_f(180^\circ)}{W_f(90^\circ)}$ | $\frac{J_{sph}}{J_{eff}}$ | $\frac{W_n(180^\circ)}{W_n(90^\circ)}$ |
|-------------------|------------------|-------|------------------|------------------|----------------------|------------------|------------------|--|---------------------------|--|
| ^{238}U | ^{40}Ar | 43.5 | 295 | 267 | 1.76 | 0.434 | 0.219 | 2.3 ± 0.40 | 0.21 ± 0.05 | |
| | ^{22}Ne | 40.0 | 175 | 154 | 1.63 | 0.282 | 0.132 | 2.62 ± 0.20 | 0.41 ± 0.05 | 1.33 ± 0.10 |
| | ^{16}O | 39.3 | 135 | 122 | 1.54 | 0.211 | 0.088 | 2.71 ± 0.20 | 0.56 ± 0.05 | 1.36 ± 0.00 |
| | ^{12}C | 38.4 | 81 | 78 | 1.40 | 0.145 | 0.072 | 2.04 ± 0.15 | 0.95 ± 0.10 | 1.48 ± 0.10 |
| ^{209}Bi | ^{40}Ar | 41.0 | 295 | 257 | 1.56 | 0.465 | 0.246 | 4.18 ± 0.40 | 0.32 ± 0.06 | 1.80 ± 0.15 |
| | ^{22}Ne | 37.5 | 175 | 159 | 1.51 | 0.319 | 0.145 | 4.07 ± 0.30 | 0.72 ± 0.08 | 1.51 ± 0.13 |
| | ^{16}O | 36.8 | 135 | 117 | 1.43 | 0.234 | 0.118 | 3.55 ± 0.25 | 0.80 ± 0.08 | 1.45 ± 0.12 |
| | ^{12}C | 35.8 | 81 | 75 | 1.18 | 0.164 | 0.085 | 2.75 ± 0.20 | 1.10 ± 0.10 | 1.42 ± 0.10 |
| ^{197}Au | ^{40}Ar | 39.8 | 295 | 255 | 1.72 | 0.511 | 0.244 | 5.15 ± 0.40 | 0.47 ± 0.05 | 1.74 ± 0.15 |
| | ^{22}Ne | 36.2 | 175 | 155 | 1.61 | 0.334 | 0.157 | 4.65 ± 0.35 | 0.95 ± 0.08 | 1.62 ± 0.12 |
| | ^{16}O | 35.6 | 135 | 119 | 1.43 | 0.254 | 0.125 | 4.21 ± 0.30 | 1.06 ± 0.10 | 1.35 ± 0.12 |
| | ^{12}C | 34.6 | 81 | 76 | 1.18 | 0.176 | 0.076 | 3.48 ± 0.35 | 1.47 ± 0.15 | 1.36 ± 0.10 |

Основные результаты измерения среднего числа нейтронов на акт деления.

E_b^+ — энергия падающих ионов для осколков (тонкая мишень)

E_b^n — энергия падающих ионов для нейтронов (толстая мишень)

\bar{T}_n — температура составного ядра, γ_f, γ_n — коэффициент перевода из лабораторной системы в систему центра масс для осколков и нейтронов, соответственно; $\frac{W_f(180^\circ)}{W_f(90^\circ)}$ и $\frac{W_n(180^\circ)}{W_n(90^\circ)}$ — анизотропия в угловом распределении осколков и нейтронов, соответственно.

J_{sph} и J_{eff} — момент инерции сферы и эффективный момент инерции ядра соответственно.

капельной модели деления (Z_A^2) критич., который оказался равным 45 ± 1 , что находится в хорошем согласии с полученным ранее значением [7]. Зависимость $\bar{\gamma}(E^x)$, показанная на рис. 3, позволяет вместе с данными по E кин. получить представление о том, каким образом распределяется энергия возбуждения ядра в процессе деления. Экспериментально полученные значения $\bar{\gamma}$ хорошо согласуются с данными, полученными ранее косвенным путем в экспериментах по измерению массовых и зарядовых распределений осколков деления [8].

Здесь же рассматривается также энергетический баланс реакции деления с учетом полученных значений числа $\bar{\nu}$. Для вычисления баланса энергии деления использовались значения энергии связи ядер из таблицы Майера — Святецкого [9].

В таблице 2 приведены все результаты вычисления энергетического баланса. Там же содержатся результаты расчета энергетического баланса для реакции $\text{Bi}(\text{He}, f)$, которая изучалась авторами работы [10]. Использованный нами метод расчета энергетического баланса реакции деления возбужденного ядра согласуется с экспериментальными результатами и может быть использован для вычисления числа $\bar{\nu}$ в случаях отсутствия экспериментальных данных.

В третьей главе описаны эксперименты по измерению угловых распределений нейтронов, испускаемых при распаде неделящихся возбужденных составных ядер. В этих опытах мы применяем описанную выше методику, в качестве мишеней использовались ядра Mo , Ge , Ag и Pr [II].

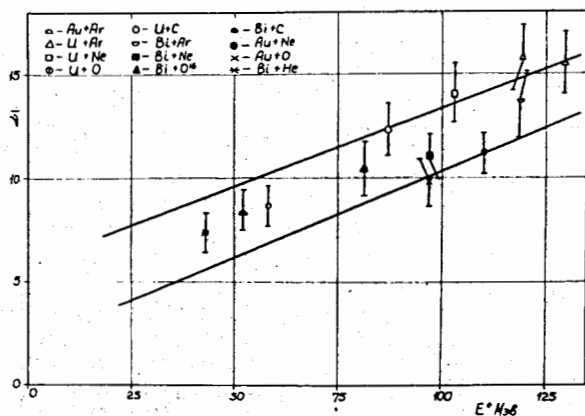


Рис.3. Зависимость числа $\bar{\nu}$ от энергии возбуждения делящегося ядра для двух групп ядер с $34 \leq \frac{Z^2}{A} \leq 37,5$; $38,5 \leq \frac{Z^2}{A} \leq 41,0$. Точки - экспериментальные значения, кривые - расчет для реакции $U(Ne, f)$, $Au(Ne, f)$

Т а б л и ц а 2

| Мультиплет | Частица | E_B (МэВ) | E_C^* (МэВ) | \bar{E}_K (МэВ) | \bar{T} (МэВ) | \bar{B}_n (МэВ) | ΔM (МэВ) | $\bar{\nu}_{\text{эсп}}$ | $\bar{\nu}_{\text{расч}}$ | Δ (МэВ) |
|---------------------|------------------|----------------|------------------|----------------------|--------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------|
| ^{238}U | ^{40}Ar | 295 | 119 | 218 | 1,76 | 6,86 | 279,0 | 157 ± 16 | 16,6 | +9,4 |
| | ^{22}Ne | 175 | 103 | 193 | 1,63 | 6,51 | 252,8 | 140 ± 15 | 15,9 | +17,1 |
| | ^{16}O | 135 | 87 | 187 | 1,54 | 6,61 | 226,2 | 123 ± 15 | 12,1 | -2,0 |
| | ^{12}C | 81 | 58 | 183 | 1,40 | 6,40 | 230,3 | 87 ± 10 | 10,6 | +17,4 |
| ^{209}Bi | ^{40}Ar | 295 | 118 | 206 | 1,36 | 7,36 | 228,4 | 137 ± 15 | 12,6 | -11,2 |
| | ^{22}Ne | 175 | 97 | 170 | 1,58 | 6,86 | 195,9 | 110 ± 10 | 11,4 | +3,7 |
| | ^{16}O | 135 | 81 | 165 | 1,43 | 7,02 | 184,8 | 104 ± 10 | 9,5 | -9,1 |
| | ^{12}C | 81 | 52 | 160 | 1,18 | 6,78 | 176,6 | 83 ± 11 | 6,7 | -15,1 |
| ^{197}Au | ^{40}Ar | 295 | 129 | 183 | 1,72 | 7,76 | 207,1 | 153 ± 15 | 12,9 | -26,0 |
| | ^{22}Ne | 175 | 110 | 160 | 1,62 | 7,13 | 170,7 | 113 ± 10 | 10,8 | -4,5 |
| | ^{16}O | 135 | 97 | 155 | 1,43 | 7,18 | 154,9 | 98 ± 10 | 8,9 | -9,2 |
| $^{209}\text{Bi}^*$ | ^4He | 32 | 43 | 146 | 0,98 | 6,39 | 150,7 | 74 ± 10 | 4,7 | -22,0 |

Результаты по балансу энергии деления.
 E_C^* - энергия возбуждения составного ядра; \bar{E}_K - средняя кинетическая энергия осколков; \bar{T} - средняя температура осколков; \bar{B}_n - средняя энергия связи нейтронов в осколках $\Delta M = M_C - (M_1 + M_2)$, где M_1, M_2 - массы первого и второго осколка; M_C - масса составного ядра; $\bar{\nu}_{\text{расч}}$ - число нейтронов, соответствующее условию равновесия при балансе энергии;

Δ - отклонение от условия равновесия баланса энергии.

Характерный вид экспериментального углового распределения нейтронов представлен на рис. 4. На этом же рисунке показана теоретическая кривая, полученная расчетным путем в рамках статистической теории с моделированием процесса каскадного испускания нейтронов по методу Монте-Карло.

Наилучшее согласие экспериментальных и расчетных данных получено для следующих значений параметров модели: момент инерции $J = 0,7 J_{пл.}$, плотность уровней $a = 0,14$ и $k = 1,2 \cdot 10^{13} \text{ см.}$ Эти результаты также неплохо согласуются с результатами работы, где исследовалось испускание заряженных частиц $p, d, ^4\text{He}$ и функции возбуждения для реакции типа (H^1, xn) /12/.

ВЫВОДЫ

1. Разработана и налажена низкофонная экспериментальная установка для регистрации нейтронов в реакциях с тяжелыми ионами. Эта установка позволяет в присутствии большого фона от n, p, d, α и других заряженных частиц выделить регистрируемые нейтроны и осколки деления в интервале углов от 15 до 165° .

2. С помощью разработанной нами методики экспериментально определено среднее число нейтронов деления возбужденных ядер: $^{238}\text{Po}, ^{260}\text{Fm}, ^{254}\text{Cf}, ^{260}\text{Cf}, ^{249}\text{Md}, ^{249}\text{Np}, ^{235}\text{Pa}, ^{221}\text{Ac}, ^{237}\text{Bk}, ^{219}\text{Ac}, ^{213}\text{Fr}, ^{209}\text{Ac}$, образующихся в реакциях с ионами $^{40}\text{Ar}, ^{22}\text{Ne}, ^{16}\text{O}, ^{12}\text{C}$. Измерено также угловое распределение нейтронов и осколков деления в этих реакциях. Получена зависимость χ_{sp^4}/J_{eff} от Z^2/A .

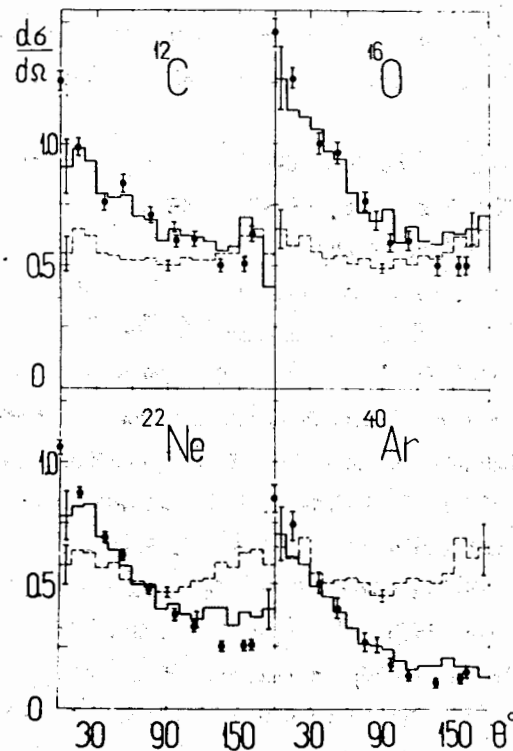


Рис. 4. Угловое распределение нейтронов, получаемых при облучении толстой молибденовой мишени ионами $^{40}\text{Ar}, ^{22}\text{Ne}, ^{16}\text{O}, ^{12}\text{C}$ с энергией 81, 135, 175, 295 Мэв, соответственно. Точки - эксперименты (лаб. сист.). Гистограммы - расчет (пунктир для сист. ц.м., сплошная - для лаб. сист.).

Показано, что угловое распределение нейтронов деления является симметричным относительно 90° и их анизотропия составляет

I,3 - I,6.

На основании полученных нами значений \bar{v} и известных данных о кинетических энергиях осколков деления проведен расчет энергетического баланса.

3. Измерено угловое распределение нейтронов при облучении легких мишеней Ge, Mo, Ag, Pr ионами ^{40}Ar , ^{22}Ne , ^{16}O , ^{12}C для составных ядер с $Z/A \ll 1$. Экспериментально полученные угловые распределения нейтронов сравниваются с рассчитанными методом Монте-Карло распределениями. Из сравнения результатов расчета и экспериментов получено, что доля нейтронов за счет неравновесных процессов может составлять 5-20%.

Настоящая работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований. Все работы проводились на 310 см циклотроне тяжелых ионов ОИЯИ.

Материалы диссертации изложены в работах [3,4,II,III,IV]. Результаты экспериментов докладывались на Международной конференции по физике и химии деления (1969, Вена) и на Ежегодном совещании по спектроскопии и структуре атомного ядра (1969, Ереван)

Литература

1. Г.Н.Флеров. Препринт ОИЯИ Д-1798, Дубна (1964).
2. T.Ericson, V.Strutinsky. Nucl.Phys.9,284 (1958).
3. С.А.Карамян, Д.Ц.Оганесян, К.Н.Шарифов. ЯФ II,2,1970.
4. С.А.Карамян, Нгуен Так Ань, К.Н.Шарифов. ЯФ 15, 3,435 (1972).
5. С.А.Карамян, И.В.Кузнецов и др. ЯФ 6,494 (1967).
6. R.Chandry, R.Vandenbosch, J.R.Huizenga. Phys.Rev. 126,220, 1962.
7. В.М.Струтинский. ЯФ I, 821 (1965).
8. С.А.Карамян, Д.Ц.Оганесян, Б.И.Пустыльник, Г.Н.Флеров. Proceedings of Symposium on the Physics and Chemistry of Fission. IAEA-SM 122/130, Vienna (1969).
9. W.D.Myers, W.J.Swiatescki. LICRL-11980 (1963).
10. F.Plasil, R.L.Perguson, H.W.Schmit. Proceedings of Symposium on the Physics and Chemistry of Fission, IAEA-SM 122/124, Vienna (1969).
11. С.А.Карамян, Нгуен Так Ань, А.С.Ильинов, К.Н.Шарифов. ЯФ 16, 3 (1972).
12. А.С.Ильинов, В.Д.Тонеев, ЯФ 9, 48 (1968).
13. С.А.Карамян, К.Н.Шарифов, Д.Ц.Оганесян, В.Г.Гафуров. ДАН Тадж.ССР, XV, 8 (1972).
14. С.А.Карамян, Д.Ц.Оганесян, К.Н.Шарифов. Тезисы докладов на XIX ежегодном совещании по ядерной спектроскопии и структуре ядра, январь, 1969, Ереван.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 января 1974 года.