



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P4-97-265

С.Н.Беляев*, Д.О.Васильев, В.В.Воронов,
В.А.Семенов*

ПРОМЕЖУТОЧНАЯ СТРУКТУРА
В (γ, n) -СЕЧЕНИЯХ НА НЕЧЕТНЫХ
СФЕРИЧЕСКИХ ЯДРАХ ^{115}In И ^{127}I

Направлено в журнал «Известия РАН, серия физическая»

*НИИМФ Саратовского государственного университета

1997

Введение

В данной работе продолжены исследования сечений фотонейтронных реакций с целью поиска в них промежуточной структуры [11]. В качестве мишеней были выбраны ^{115}In и ^{127}I , которые ранее нами не изучались. Несмотря на то, что эти нуклиды исследовались другими авторами [1, 2] несколько лет назад, нами предпринята ещё одна попытка, так как наша методика [3] позволяет выявить возможные структуры в сечениях, ранее не замеченные, тем самым дать новый импульс для уточнения теоретических представлений о строении атомного ядра. В известном атласе Бермана [1] приведены данные по этим ядрам. Из них следует, что при возбуждении E1-резонанса квазимонохроматическими фотонами в сечении имеет место слабое его расщепление и образование gross-структуры, лучше наблюдаемое на ^{127}I . В данной работе, выполненной с лучшим разрешением, упомянутая gross-структура проявилась более отчётливо. Однако главное, что отличает наши данные, полученные на пучке тормозного излучения, от измерений на квазимонохроматическом пучке — это наблюдаемая на восходящей части E1-резонанса структура.

Методика и техника эксперимента

Экспериментальное изучение структуры сечений (γ, n) -реакции проводилось на пучке тормозного излучения бетатрона СГУ с максимальной энергией 25 МэВ в режиме сканирования по диапазону ускоренных электронов [3]. И для индия, и для йода выходы нейтронов измерялись следующим образом: с шагом 300 кэВ от 6 до 9 МэВ (допороговая область), с шагом ~ 50 кэВ — до 13 МэВ, с шагом ~ 100 кэВ от 13 до 19 МэВ (всего 160 значений энергий). Выбор шага измерения, числа измерений в каждой точке делался из соображения получить максимум информации о поведении выхода фотонейтронов в интересующей нас области энергий и был компромиссом между достижением максимальной точности выхода и разумным временем проведения эксперимента при ограниченном количестве образца. Относительная погрешность выхода при энергии 19 МэВ составляет $\sim 0,15\%$, а в области 11 — 13 МэВ — $\sim 0,8\%$. Несмотря на то, что пороги (γ, n) -реакции на ^{115}In и ^{127}I равны 9.029 и 9.138 МэВ соответственно, измерения выходов начаты от 6 МэВ, что упрощает учёт граничных условий при решении интегрального уравнения Фредгольма, связывающего сечение реакции с выходом (при 6 МэВ выход нейтронов от всех источников фона практически нулевой). Калибровка шкалы энергий бетатрона произведена по порогу реакции $^{209}\text{Bi}(\gamma, n)$ 7.454 МэВ и по излому в выходе $^{16}\text{O}(\gamma, n)$ 17.17 МэВ. Долговременная нестабильность шкалы энергии оценивается нами в ~ 30 кэВ. Импульсный мониторинг интенсивности γ -пучка бетатрона позволяет нормировать выход

нейтронов в каждом импульсе ускорителя, дает возможность реализовать сложные алгоритмы сканирования по энергии – всё это приводит к эффективному уменьшению погрешностей измерения выходов. Следует подчеркнуть, что в ходе измерений контролируется инструментальная погрешность выхода, что существенно для восстановления сечения и достоверности его восстановления. Расчёт поперечного сечения реакции по измеренному нейтронному выходу проводился методом статистической регуляризации [9], как наиболее естественным в случае статистических исходных данных. Расчёты предварялись моделированием исходных выходов с ожидаемыми структурами и решением модельной задачи. Результаты этой процедуры подтверждали возможность обнаружения структур в сечениях в условиях нашего эксперимента. Поскольку в данном эксперименте не проводилось отдельно измерение выходов (γ, n) и $(\gamma, 2n)$ -реакций, то поправка на множественность делалась по статистической теории с параметром плотности уровней $a=4.1 \text{ МэВ}^{-1}$, полученным с учетом результатов работы [2] для ^{115}In и $a=5.17 \text{ МэВ}^{-1}$ из работы [5] – для ^{127}I . Абсолютные величины сечений также получены из сравнения с данными работы [4] – для индия и [6] – для йода.

Анализ полученных экспериментальных результатов

На рис.1 и 2 приведены сечения фотопоглощения на ^{115}In и ^{127}I . Форма сечения на ^{115}In обнаруживает два эффекта: в области от порога реакции до $\sim 13 \text{ МэВ}$ структурные особенности при энергиях 9.6, 10.4 и 11.8 МэВ и уширение пика ГДР, проявляющееся в виде прилива на нисходящей части. Поперечное сечение на ^{127}I имеет похожие структуры при энергиях около 9.5, 10 и 11 МэВ (см. рис.3) и излом в области 16 МэВ, указывающий на возможное расщепление E_1 -резонанса на два пика. Полученные сечения могут быть аппроксимированы суммой двух лоренцевых линий со следующими параметрами:

^{115}In :

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= 66 \text{ мб}, E_1 = 14.61 \text{ МэВ}, \Gamma_1 = 2.98 \text{ МэВ}; \\ \sigma_2 &= 207 \text{ мб}, E_2 = 15.71 \text{ МэВ}, \Gamma_2 = 5.41 \text{ МэВ}. \end{aligned}$$

^{127}I :

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= 173 \text{ мб}, E_1 = 14.26 \text{ МэВ}, \Gamma_1 = 3.18 \text{ МэВ}; \\ \sigma_2 &= 130 \text{ мб}, E_2 = 16.39 \text{ МэВ}, \Gamma_2 = 4.85 \text{ МэВ}. \end{aligned}$$

В случае ^{127}I форма сечения не вызывает сомнений при проведении такой процедуры, что подтверждают полученные параметры, а также данные работ [7, 8]. В сечении индия наблюдается слабое искажение нисходящей части, замеченное в других работах и не позволяющее описать его одним лоренцианом.

Полученное расщепление в случае индия $\Delta E = 1.1 \text{ МэВ}$ примерно вдвое меньше, чем у ^{127}I , для которого $\Delta E = 2.13 \text{ МэВ}$. Микроскопические расчеты в рамках квазичастично-фононной модели [10], показанные на рис.1,2, дают правильное количественное описание сечений на нисходящей ветви резонанса, но плохо воспроизводят экспериментальные данные при энергиях возбуждения больше 15 МэВ. Это объясняется невозможностью учесть в данных расчетах все сложные конфигурации, плотность которых быстро нарастает по мере увеличения энергии возбуждения. Следует отметить, что по этой причине количественное описание сечений в нечетных ядрах хуже, чем в четно-четных [11]. Отклонение формы сечений от лоренцевской указывает на увеличение роли ангармонических эффектов, приводящих, как известно, к изменению формы ядер в конечном счете.

Сравнение с результатами других экспериментов

На рис.4 и 5 приведены для сравнения с нашими результатами данные некоторых других работ. К настоящему времени проведены исследования на квази-монохроматических пучках в Ливерморе (США) и Сакле (Франция) для индия [4, 5] и йода [6, 7, 8], а также с помощью близкой нам методики на тормозном пучке бетатрона [2] в Мельбурнском университете (^{127}I , см. рис.6). Сравнение позволяет сделать следующие выводы: какой-либо промежуточной структуры в сечениях альтернативных данных не наблюдается; нет видимых признаков тенденции к расщеплению дипольного резонанса ^{115}In ; наблюдаются значительные систематические расхождения как в амплитуде сечений, так и в положении резонанса. Авторы считают, что применение тормозной технологии в сочетании с эффективным статистическим методом восстановления сечений из выходов нейтронов позволит обнаружить многие подробности в сечениях фотопоглощения, не замеченные ранее, это подтверждают и математические эксперименты. Здесь следует отметить, что наличие сразу двух структурных эффектов – расщепление ГДР и промежуточной структуры, хотя и довольно слабой, – на сечении фотопоглощения ^{115}In и ^{127}I нами наблюдается впервые.

Заключение

Проведенный эксперимент по изучению сечений фотопоглощения посредством тормозной методики с применением метода статистической регуляризации при восстановлении сечений из выходов для нуклидов ^{115}In и ^{127}I дал следующие результаты:

- и у индия, и у йода обнаружена промежуточная структура на восходящей части сечения фотопоглощения, более заметная у йода;

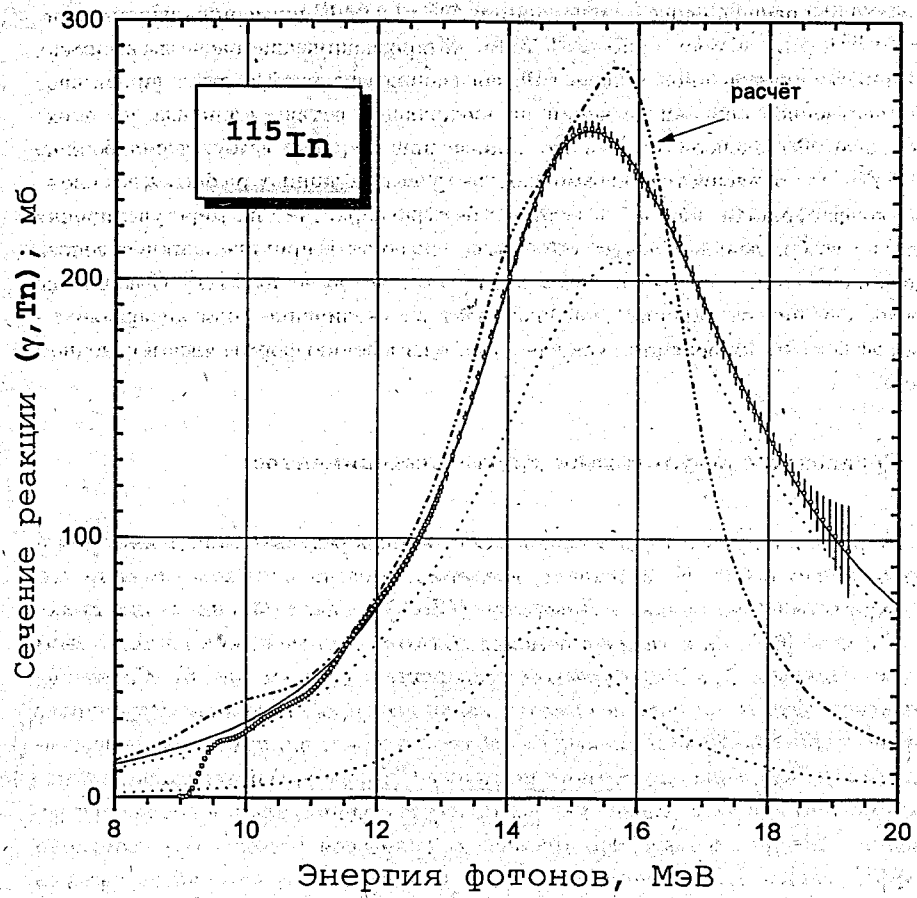


Рис. 1. $\sigma(\gamma, Tn)$ на ^{115}In . Штриховая линия - парциальные лоренцианы, описывающие экспериментальное сечение; штрихпунктирная линия - расчеты по квазичастично-фононной модели

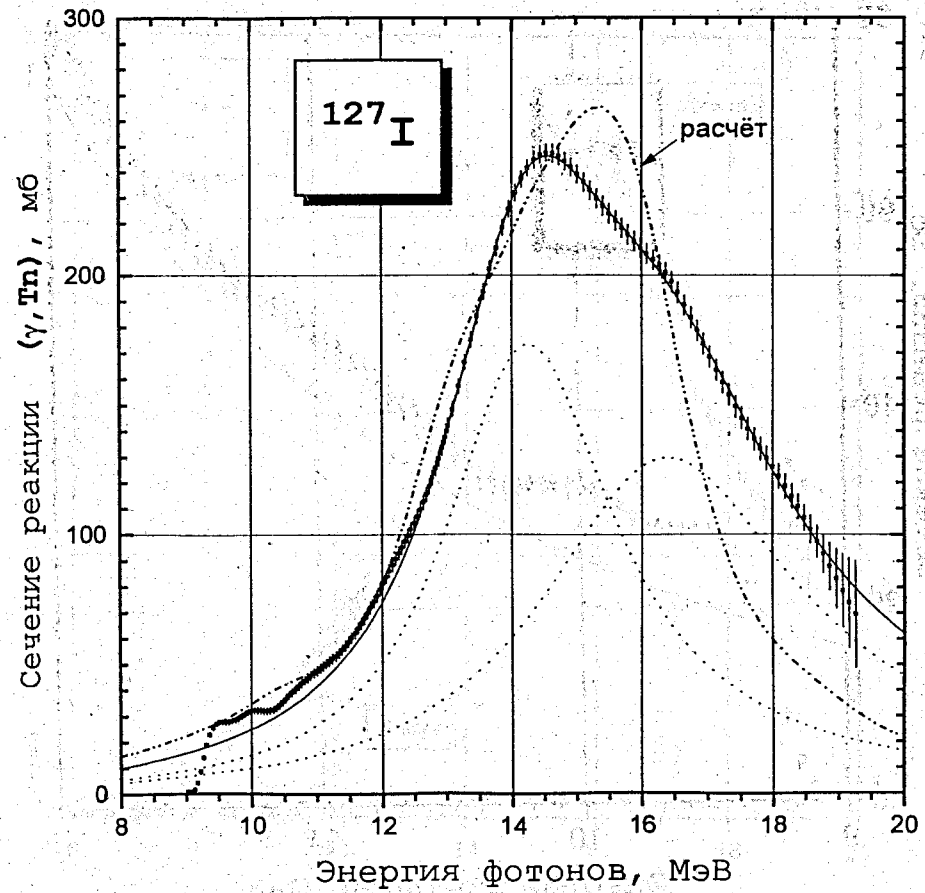


Рис. 2. $\sigma(\gamma, Tn)$ на ^{127}I . Штриховая линия - парциальные лоренцианы, описывающие экспериментальное сечение; штрихпунктирная линия - расчеты по квазичастично-фононной модели

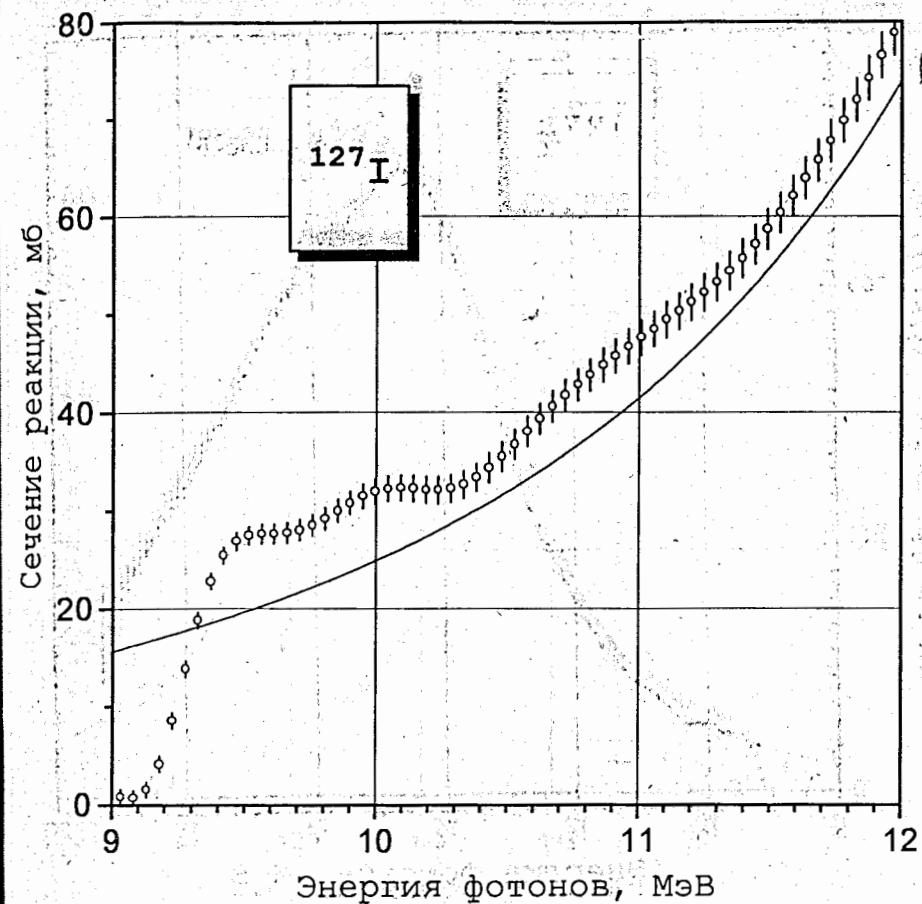


Рис. 3. Фрагмент начального участка $\sigma(\gamma, Tn)$ на ^{127}I

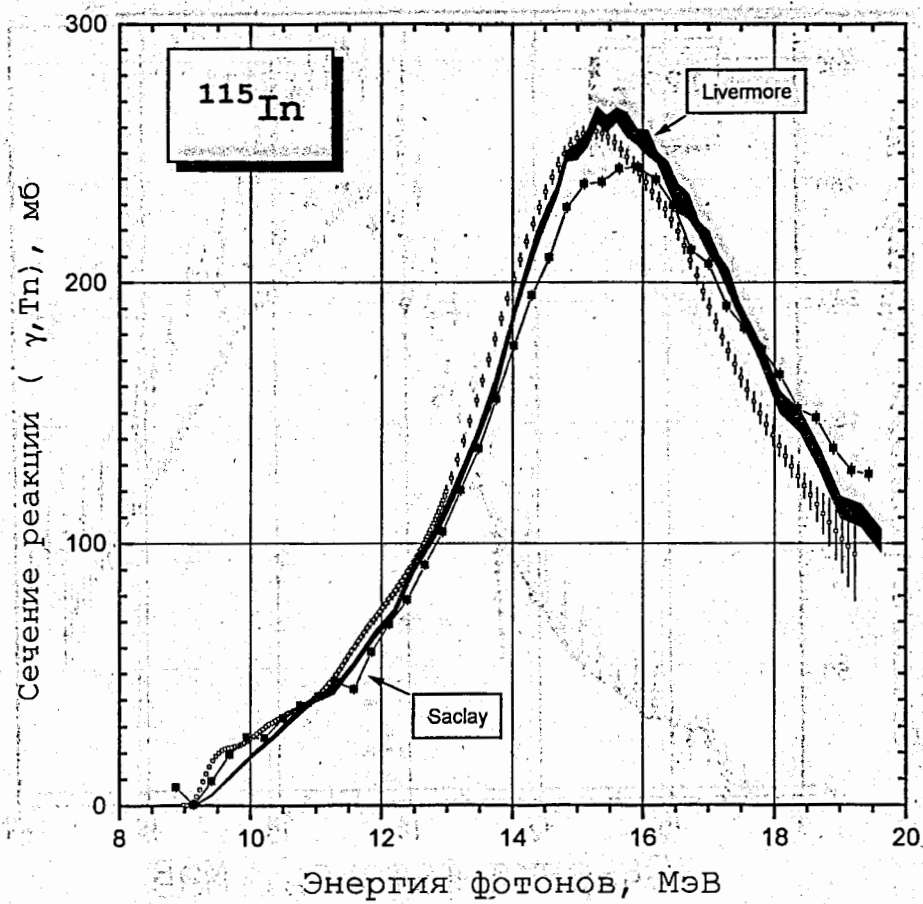


Рис. 4. Сравнение сечения $\sigma(\gamma, Tn)$ на ^{115}In , полученного в данной работе (прозрачные квадраты), с результатами [5] - черные квадраты и данными [4] - сплошная ломаная линия

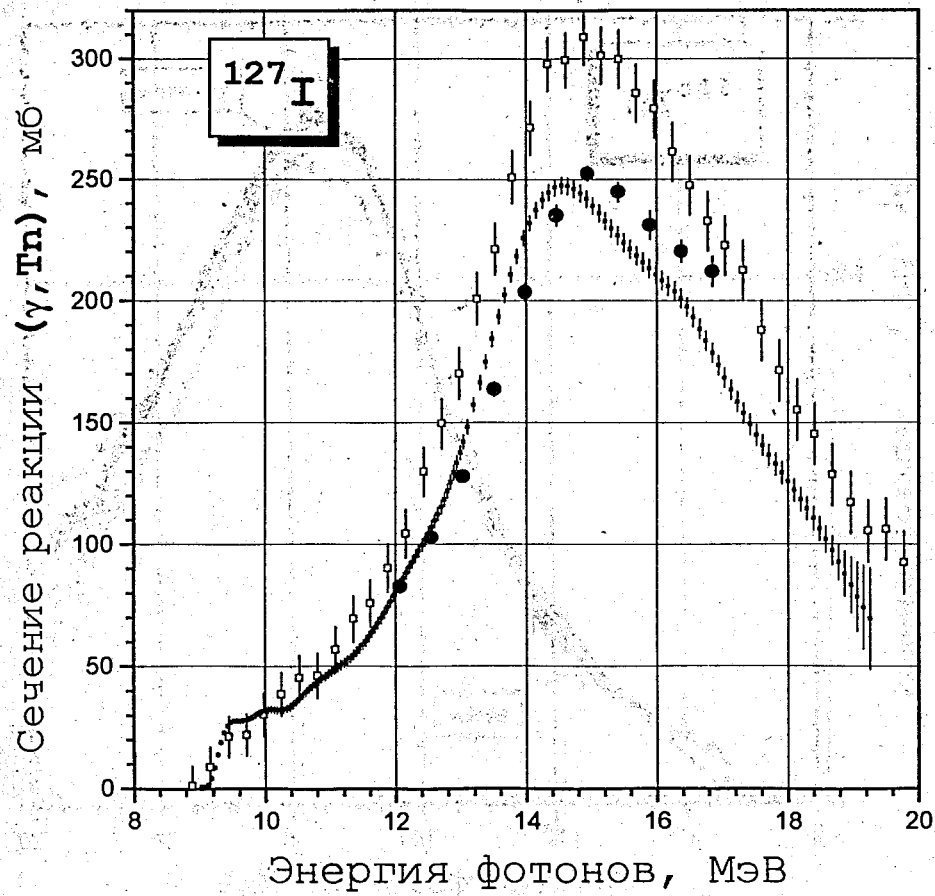


Рис. 5. Сравнение сечения $\sigma(\gamma, Tn)$ на ^{127}I , полученного в данной работе (черные квадраты), с результатами [6] - черные кружки и данными [7] - прозрачные квадраты

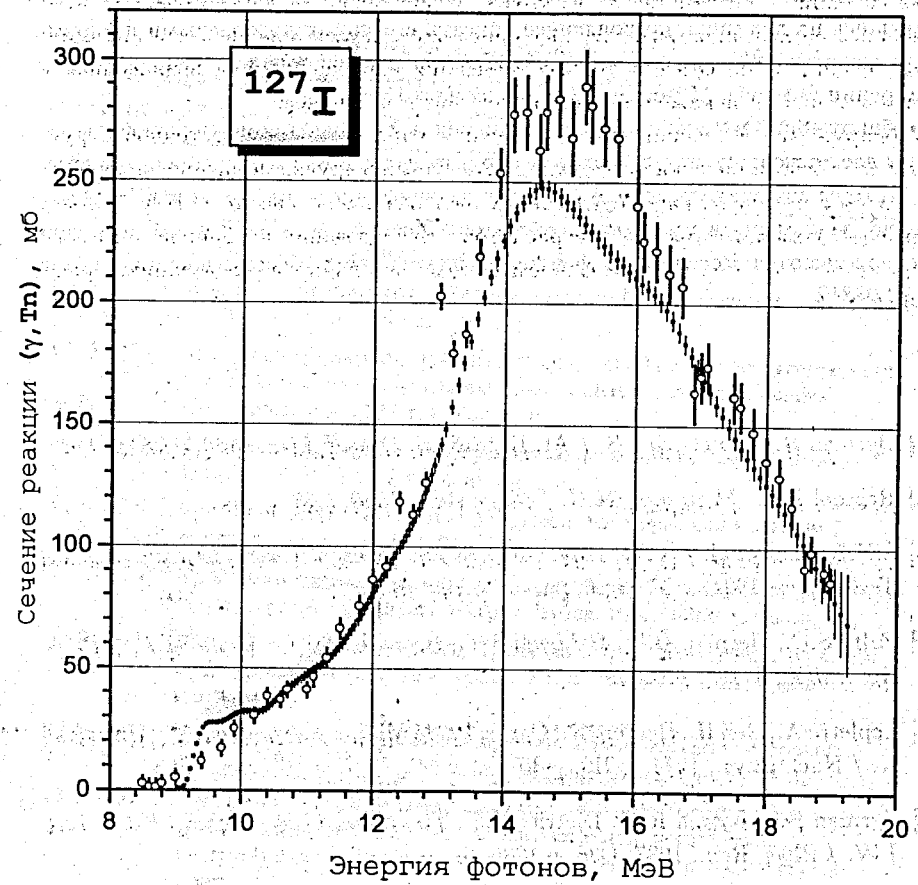


Рис. 6. Сравнение сечения $\sigma(\gamma, Tn)$ на ^{127}I , полученного в данной работе (черные квадраты), с результатами [2] - прозрачные кружки

- в сечении ^{127}I имеет место некоторое расщепление гигантского дипольного резонанса на два пика, позволяющее описать его двумя лоренцевыми линиями;
- в сечении ^{115}In заметна только тенденция к расщеплению, выраженная в уширении пика и искажении нисходящей части резонанса;
- обнаружение в сечении фотопоглощения ядра йода промежуточной структуры дает основание искать похожие структуры и в других немагических ядрах.

Авторы признательны А.А.Нечкину за внимание к работе и В.Ю. Пономареву за помощь в проведении расчетов. Исследования по данной тематике поддерживаются Российским фондом фундаментальных исследований, грант 95-02-03812.

- [1] Berman B.L., Dietrich S.S. / At. Data Nucl. Data Tables, 1988, v.38, p. 199.
- [2] Rassool R.P., Thompson M.N. / Phys. Rev., 1989, C39, p.1631.
- [3] S.N.Belyaev et al. / ПТЭ, 1994, N6, с.58-66; перевод: Instr. and Experimental Techniques, 1994, v.37, No.6, part 1, p.700-705.
- [4] Fultz S.C., Berman B.L., Caldwell J.T., Bramblett R.L., Kelly M.A. / Phys. Rev., 1969, T.186, p.1255.
- [5] Lepletre A., Beil H., Bergere R., Carlos P., de Miniac A., Veysiere A., Kernbach K. / Nucl. Phys., 1974, A219, p.39.
- [6] Berman B.L., Pywell R.E., Dietrich S.S., Thompson M.N., McNeill K.G., Jury J.W. / Phys. Rev., 1987, C36, p.1286.
- [7] Bergere R., Beil H., Carlos P., Veysiere A. / Nucl. Phys., 1969, A133, p.417.
- [8] Bramblett R.L., Caldwell J.T., Berman B.L., Harvey R.R., Fultz S.C. / Phys. Rev., 1969, T.186, p.1255.
- [9] Турчин В.Ф., Туровцева Л.С. / ДАН, 1973, т.212, с.561-564.
- [10] Соловьев В.Г. // Теория атомного ядра. Квазичастицы и фононы. М.: Энергоатомиздат. 1989.
- [11] Беляев С.Н. и др. // ЭЧАЯ, 1992, т.23, с.1537.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 сентября 1997 года.