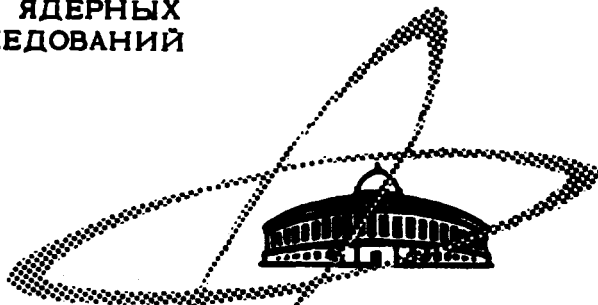


СЭ43а

А-139
ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P2 - 5991



3486/1-41

ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

О.Б. Абдинов, В.С. Барашенков

ВНУТРИЯДЕРНЫЕ КАСКАДЫ
В ЛЕГКИХ ЯДРАХ

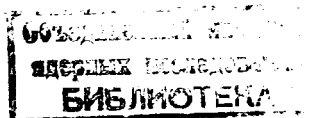
1971

P2 - 5991

О.Б. Абдинов, В.С. Барашенков

ВНУТРИЯДЕРНЫЕ КАСКАДЫ
В ЛЕГКИХ ЯДРАХ

Направлено в Acta Physica Polonica



Изучение неупругих взаимодействий быстрых частиц с легкими ядрами типа **C**, **N**, **O** представляет сейчас особый интерес в связи с расчетами радиационной защиты космических кораблей и исследованием влияния высокоэнергетического излучения на биологические объекты. В работах /1-3/ показано, что при энергиях, больших нескольких десятков Мэв, основные черты неупругих взаимодействий частиц с легкими ядрами достаточно хорошо объясняются механизмом внутриядерных каскадов и статистической моделью быстрого последующего распада возбужденного ядра-остатка. Однако в этих работах не учитывался эффект уменьшения плотности числа внутриядерных нуклонов за счет выбивания их нарастающей лавиной быстрых каскадных частиц, в то время как оценки указывают на важную роль данного эффекта для легких ядер уже при энергиях порядка нескольких сотен Мэв /4/. Целью настоящей работы является исследование влияния этого эффекта.

На рис. 1 приведены сечения неупругих взаимодействий $P + {}^{12}C$. Расчетные и экспериментальные значения хорошо согласуются во всем рассмотренном диапазоне энергий первичных протонов $T \approx 0,1-30$ Гэв. Поскольку сечение σ_{in} определяется вероятностью первого внутриядерного столкновения, то его величина не зависит от эффекта уменьшения

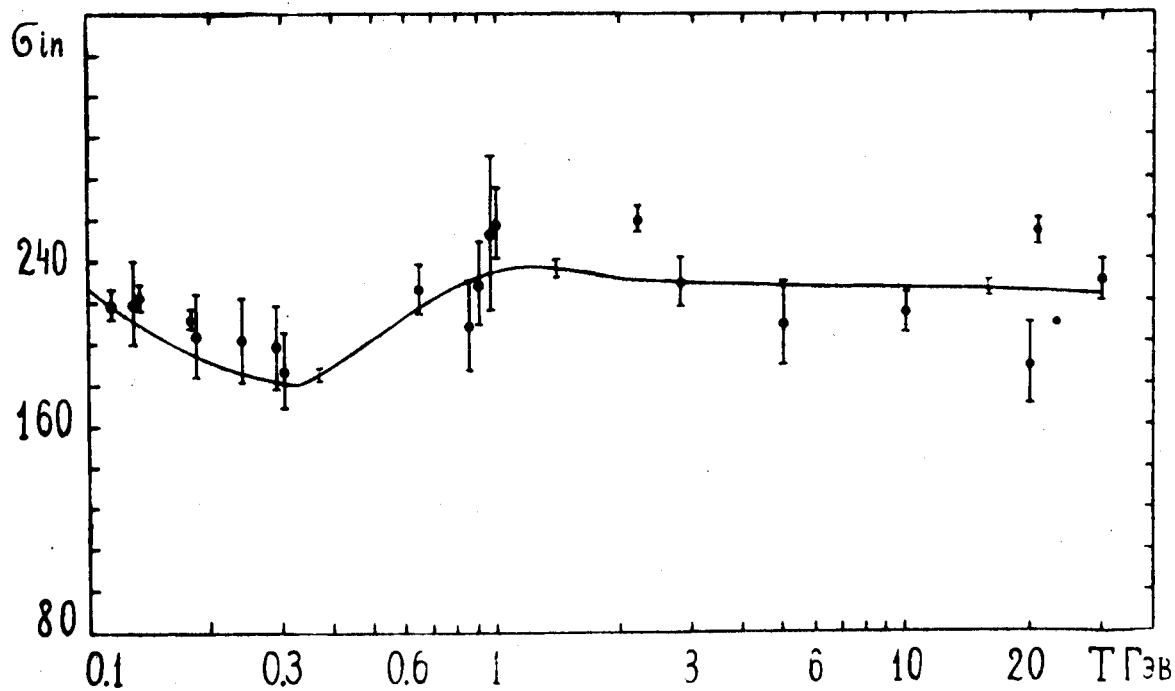


Рис. 1. Сечение неупругого взаимодействия $P + {}^{12}C$ при энергии T (в мбн). Кривая - расчет по каскадной теории, точки - экспериментальные данные (подробную библиографию см. в обзоре /5/).

плотности внутриядерного вещества. (Среднее распределение внутриядерных нуклонов описывалось функцией

$$\rho(r) = \frac{\rho_0}{1 + \exp \frac{r-c}{a}},$$

где $a = 0,5$, $c = 0,98$. Число a -кластеров полагалось равным $N_a = 0,1; 0,2$ и $0,28$ соответственно для сферических слоев $\Delta r = 0-1,14; 1,14-2,93; 2,93-4,53 \cdot 10^{-13}$ см. Такое распределение дает наилучшее согласие расчетных и экспериментальных характеристик выбиваемых a -частиц ^{/6/}).

На рис. 2-4 показаны двойные дифференциальные распределения вторичных протонов из неупругих столкновений $P \pm {}^{12}\text{C}$. При вычислениях учитывались процессы пинообразования; расчеты внутриядерных $\pi-N$ и $N-N$ столкновений выполнялись с учетом законов сохранения энергии - импульса методом, описанным в работах ^{/7/}. Все остальные детали расчетов те же, что и в работах ^{/1,4/}.

Мы видим, что при энергиях $T \approx 1$ Гэв результаты обеих моделей довольно близки друг к другу, однако, благодаря уменьшению числа внутриядерных столкновений в модели, учитывающей эффект изменения плотности числа нуклонов, несколько возрастает число каскадных частиц, вылетающих под небольшими углами, и уменьшается их число в области больших углов θ . Эти детали сильнее проявляются для низкоэнергетической компоненты вторичных частиц и становятся весьма существенным при $T \approx 1$ Гэв.

Уменьшение плотности внутриядерного вещества в процессе развития каскада очень сильно сказывается на величине энергии возбуждения остаточных ядер (см. рис. 5), и, соответственно, на сечениях выхода

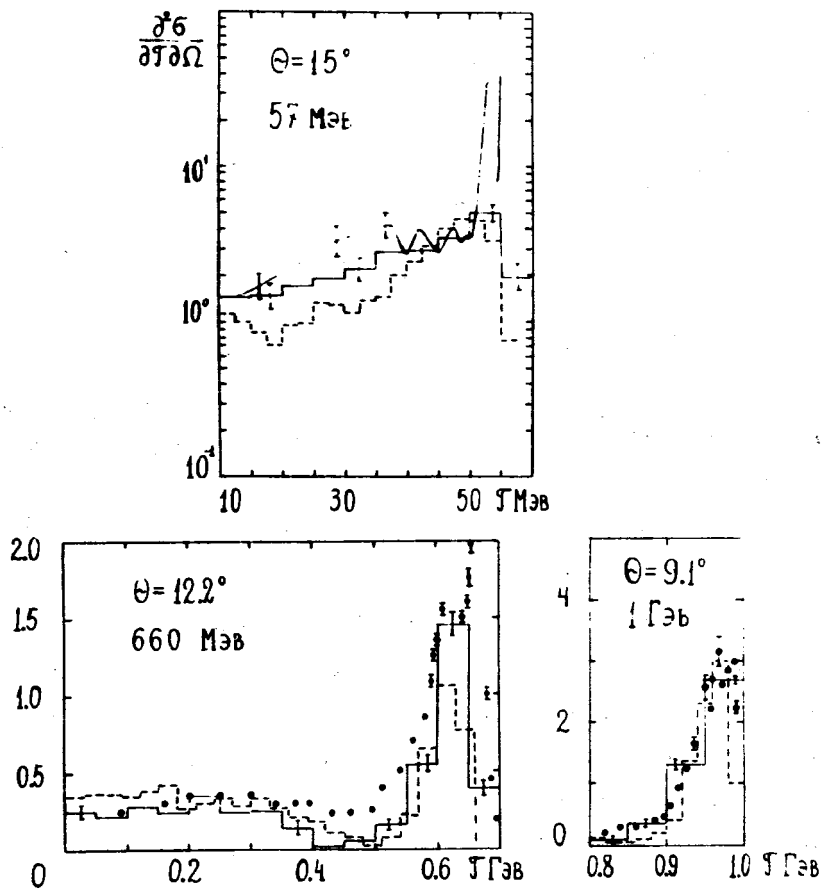


Рис. 2. Энергетические спектры протонов, вылетающих под углом Θ из ядер ^{12}C , облученных протонами различных энергий (в единицах $\text{мб/МэВ}\cdot\text{стер.}$). Сплошные гистограммы - наш расчет для интервалов углов $\Delta\Theta = 10-20^\circ, 7-17^\circ, 7-11^\circ$, пунктирные гистограммы - соответствующие результаты расчета, не учитывающего уменьшение плотности внутриядерного вещества ^{3/}. Экспериментальные точки и кривая для $T = 57 \text{ МэВ}$ взяты из работ ^{8-10/}.

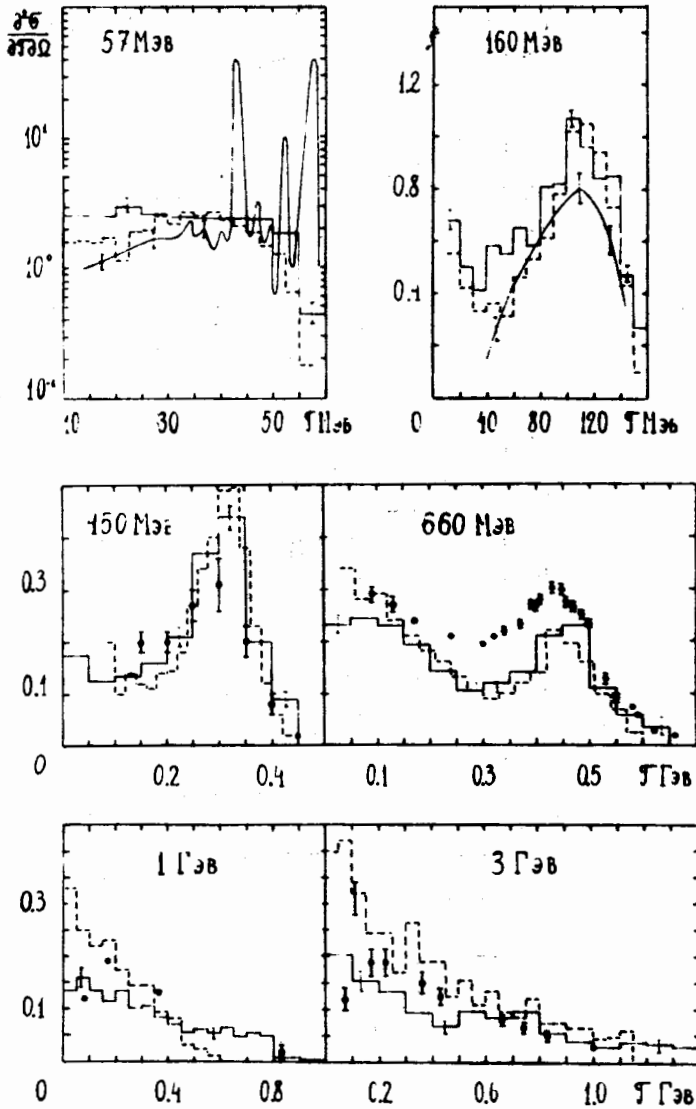


Рис. 3. То же, что и на рис. 2. Для $T=1$ и 3 Гэв средний угол вылета протонов $\Theta = 32^\circ$, расчеты выполнены для интервала $\Delta\Theta = 22-40^\circ$; для остальных энергий $\Theta = 30^\circ$, расчеты относятся к интервалу $\Delta\Theta = 25-35^\circ$. Соответствующие экспериментальные точки (и кривая для $T = 57$ и 160 Мэв) взяты из работ [8,9,11-13].

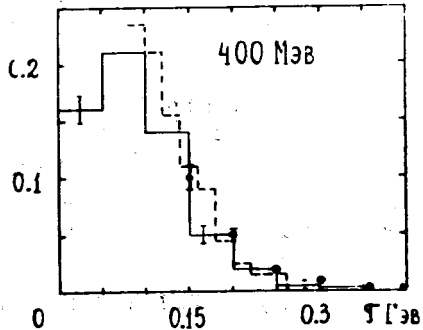
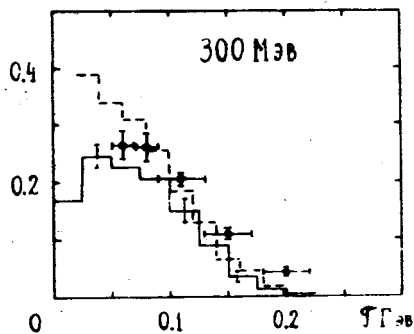
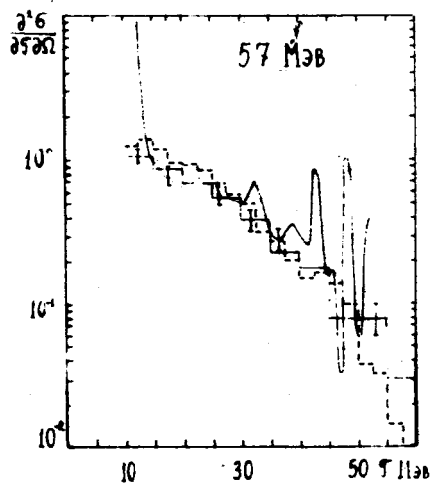


Рис. 4. То же, что и на рис. 2. Средний угол вылета протонов $\Theta = 60^\circ$. Расчет и экспериментальные точки из работ /8,12,14/ относятся к интервалу $\Delta\Theta = 55-65^\circ$.

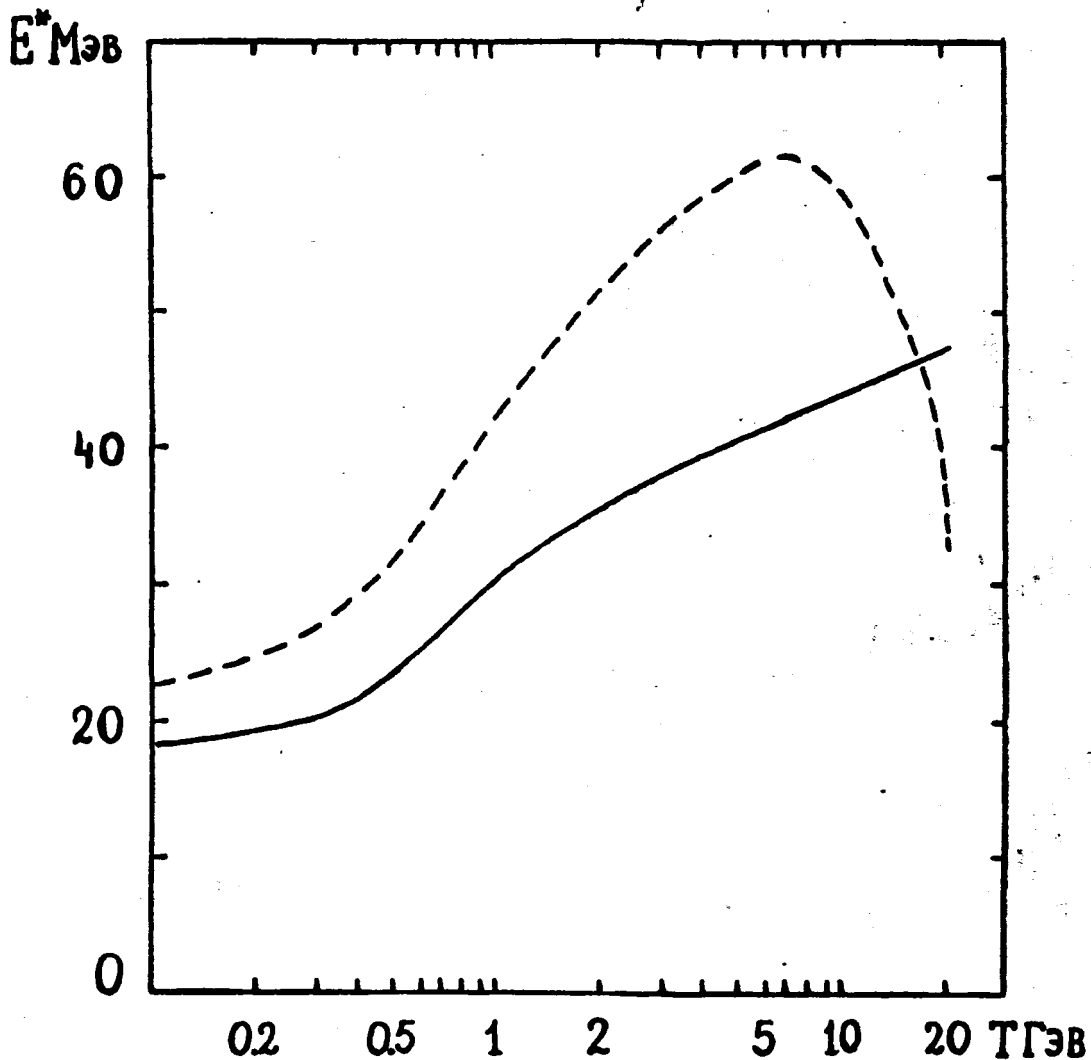


Рис. 5. Средняя энергия возбуждения ядер, остающихся после каскадной стадии взаимодействия $P + {}^{12}\text{C}$, T - энергия первичных протонов.

Пунктир - результат расчетов, не учитывающих изменения свойств ядра ${}^{12}\text{C}$ в процессе развития каскада.

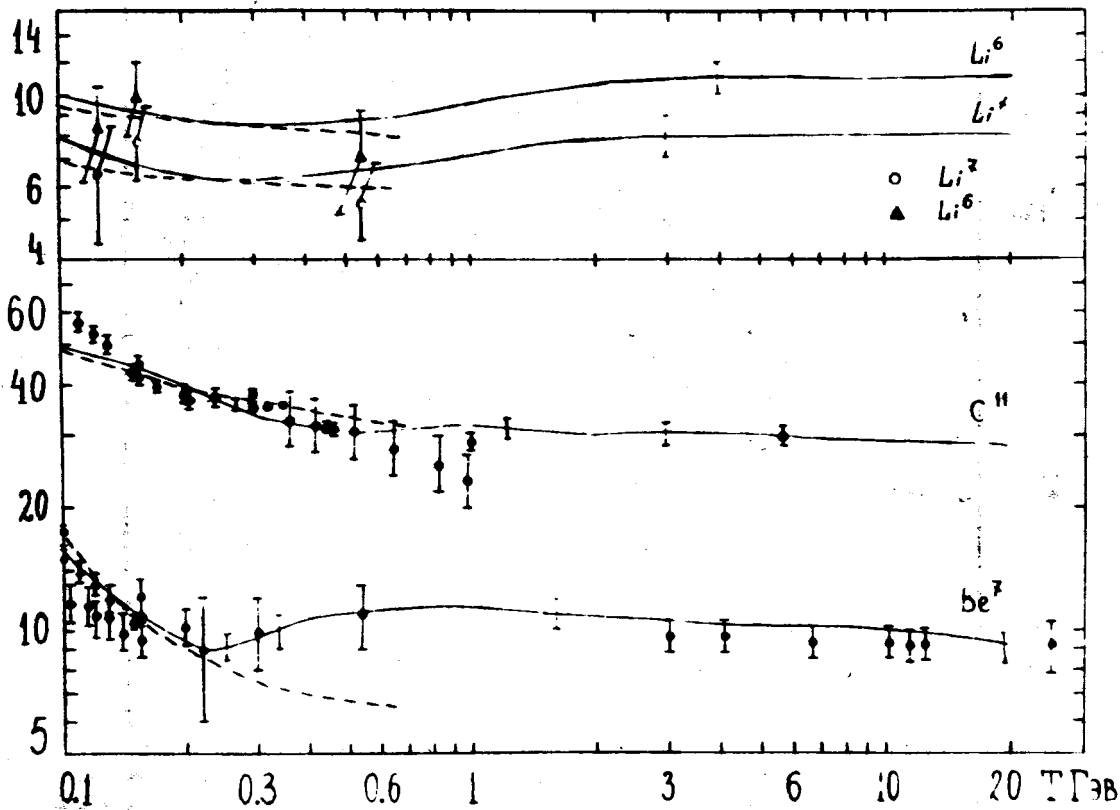


Рис. 6. Энергетическая зависимость сечений образования различных изотопов в реакции $P + {}^{12}C$. Сечения в мбн. Пунктир - результаты расчетов без учета уменьшения плотности числа внутриядерных нуклонов. Экспериментальные точки из работ /15-30/.

различных изотопов (рис. 6)^{х/}; различия становятся здесь очень заметными уже при энергиях $T \geq 300$ Мэв, а в области $T \geq 1$ Гэв без учета изменений свойств ядра-мишени можно надеяться лишь на качественные оценки.

На сечениях выхода различных изотопов существенно сказывается также учет α -кластеров.

Из сравнения приведенных экспериментальных и теоретических данных следует, что модель внутриядерных каскадов, дополненная фермиевской моделью распада возбужденных остаточных ядер, может с успехом использоваться для расчета различных характеристик неупругих взаимодействий частиц с ядрами в области энергий, больших нескольких десятков Мэв.

Дальнейшее совершенствование модели требует прежде всего более детальной экспериментальной информации.

Л и т е р а т у р а

1. О.Б. Абдинов, В.С. Барашенков. Сообщения ОИЯИ Р2-4788, Дубна, 1969; Р2-5023, Дубна, 1970; Р4-5479, Дубна, 1970.
2. В.С. Барашенков, К.К. Гудима, А.С. Ильинов, В.Д. Тонеев. Сообщение ОИЯИ, Р2-5118, Дубна, 1970.
3. В.С. Барашенков, С.А. Ильинов, Н.М. Соболевский, В.Д. Тонеев. Сообщение ОИЯИ, Р2-5507, Дубна, 1970. Направлено в АЭ.
4. В.С. Барашенков, А.С. Ильинов, В.Д. Тонеев. ЯФ, 13, 743 (1971); Сообщение ОИЯИ, Е2-5282, Дубна, 1970.

^{х/} Вероятности различных каналов распада сильно возбужденных остаточных ядер рассчитывались путем сравнения соответствующих фазовых объемов (так называемая "фермиевская" или "взрывная" модель распада; подробнее см. работу /1а/).

5. V.S. Barashenkov, K.K. Gudima, V.D. Toneev. Fort. d. Phys., 17, 683 (1969).
6. О.Б. Абдинов, В.С. Барашенков. Сообщение ОИЯИ, Дубна, 1971.
7. В.С. Барашенков, К.К. Гудима, В.Д. Тонеев. 36, 415 (1969); Сообщения ОИЯИ, P2-4065, Дубна, 1968.
8. I. Nanaka, Y. Saji, A. Suzuki et al. J. Phys. Soc. Jap., 17, 1817 (1962).
9. Л.С. Ажгирей, И.К. Взоров, В.П. Зрелов, М.Г. Мещеряков и др. ЖЭТФ 36, 1631 (1959).
10. D.M. Corley, Ph.D. Thesis. University of Maryland, 1968.
11. N.S. Wall, R.P. Roos. Phys. Rev., 150, 811 (1966).
12. J.W. Wachter, W.A. Gibson, W.R. Burrus. ORNL-TM-2253 (1968).
13. R.D. Edge, D.H. Tompkins, J.W. Gleun. Phys. Rev., 183, 849 (1969).
14. W.H. Hess, B.J. Moyer. Phys. Rev., 101, 337 (1956).
15. R. Bernas, M. Epherre, E. Gradstein et al. Phys. Lett., 15, 147 (1969).
16. L. Valentin, G. Albouy, I.D. Cohen, M. Gusakov. Phys. Lett., 7, 163 (1963).
17. B. Cumming et al. Ann. Rev. Nucl. Sci., 13, 261 (1963).
18. H. Gauvin, M. Leport, and X. Tarrago. Nucl. Phys., 39, 450 (1962).
19. H. Judis and S. Tanaka. Phys. Rev., 171, 1297 (1968).
20. G. Friedlander, J.R. Grover, N.T. Porile et al. Phys. Rev., 129, 434 (1962).
21. I.R. Williams and C.B. Fulmer. Phys. Rev., 154, 1005 (1968).
22. J.A. Panontin, L.L. Schwartz et al., Phys. Rev., 169, 851 (1967).

23. P.T.Anders, R.B.Butler et al. Nucl. Phys., A109, 689 (1968).
24. L.Valentin. Nucl. Phys., 62, 81 (1959).
25. A.F.Stehney and E.P.Steinberg. Nucl. Phys., B5, 188 (1968).
26. M.Jung, C.Jacanot et al. Phys. Rev. C: Nucl. Phys., 1, 435 (1970).
27. J.L.Symonds, J.Warren and J.D.Yong. Proc. Phys. Soc., (London) A70, 824 (1957).
28. A.H.Rosenfeld, R.A.Swanson and S.D.Warschaw. Phys. Rev., 103, 413 (1956).
29. A.M.Poskauzer, L.P.Remsberg, S.Katcoff and J.B.Cumming. Phys. Rev., 133, B1507 (1964).
30. J.Audouze, M.Epherre, H. Reeves. Nucl. Phys., A97, 144 (1967).

Рукопись поступила в издательский отдел
9 августа 1971 года.