

5507

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P2 - 5507



ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

В.С. Барашенков, А.С. Ильинов,  
Н.М. Соболевский, В.Д. Тонеев

ДВОЙНЫЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ,  
ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ПРОТОН-ЯДЕРНЫХ  
СТОЛКНОВЕНИЯХ

1970

P2 - 5507

В.С. Барашенков, А.С. Ильинов,  
Н.М. Соболевский, В.Д. Тонеев

**ДВОЙНЫЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ,  
ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ПРОТОН-ЯДЕРНЫХ  
СТОЛКНОВЕНИЯХ**

Подробное сравнение с опытом различных характеристик пион- и нуклон-ядерных взаимодействий, выполненное в работах<sup>/1,2/</sup>, показало хорошую применимость модели внутриядерных каскадов во всей области энергий от нескольких десятков Мэв до  $T = 3+5$  Гэв<sup>x/</sup>. Существенное усовершенствование этой модели, учитывающее изменение плотности числа внутриядерных нуклонов по мере развития каскадной лавины и многочастичные взаимодействия, требуется лишь при больших энергиях<sup>/3,4/</sup>.

Однако в работах<sup>/1,2/</sup> с опытом сравнивались в основном характеристики, усредненные либо по углам вылета вторичных частиц, либо по их энергии: множественность  $\bar{n}$ , спектры  $W(T)$ , угловые распределения  $\Psi(\theta)$  и т.д. Вместе с тем для ряда практических приложений, например, для расчёта потока частиц за радиационной защитой, при проектировании сильноточных нейтронных генераторов и т.д. важно знать двойные дифференциальные распределения  $d^2\sigma(T, \theta)/dT d\Omega$ . Цель данной работы — выяснить, насколько метод расчета внутриядерных каскадов, описанный в работах<sup>/5,6/</sup>, пригоден для расчёта распределений  $d^2\sigma/dT d\Omega$ .

Все детали каскадных расчётов те же, что и в работах<sup>/1,2,5,6/</sup>. Расчёты выполнены в ОИЯИ на ЭВМ БЭСМ-6.

Результаты вычислений для широкой области энергий первичных частиц (в качестве первичных частиц мы рассмотрели наиболее важный в практическом отношении случай протонов) и ядер-мишеней от углерода до

---

<sup>x/</sup> Здесь и везде ниже  $T$  — кинетическая энергия налетающей, а  $T$  — кинетическая энергия вторичной частицы в лабораторной системе координат.

урана показаны на рисунках 1-9. На этих же рисунках нанесены соответствующие экспериментальные точки и для сравнения представлены также данные каскадных расчётов, выполненных Бертини<sup>17/</sup>.

Все приведенные данные относятся к неупругим каскадным взаимодействиям и не включают вклада неупругих процессов и вклада "испарительных" частиц, образующихся в результате распада возбужденных ядер-остатков. Погрешности расчётных гистограмм чисто статистические.

Из рисунков видно, что наши расчётные гистограммы, гистограммы Бертини и экспериментальные данные, в общем, неплохо согласуются между собой. Расхождения наблюдаются лишь в деталях: в основном, в районе пика "квазиупругого рассеяния", обусловленного рассеянием первичных протонов на отдельных нуклонах ядра, и при небольших энергиях порядка нескольких десятков Мэв, где дебройлевские волны каскадных частиц становятся сравнимыми с размерами ядра и необходимо более строго учитывать квантовые эффекты<sup>х/</sup>.

Таким образом, мы можем заключить, что двойные дифференциальные распределения вторичных частиц, рассчитанные с помощью модели внутриядерных каскадов, достаточно хорошо воспроизводят экспериментальные данные и их можно использовать для решения различных прикладных задач.

Разработанные в нашей лаборатории методы каскадных расчётов<sup>5,6/</sup> позволяют достаточно эффективно выполнять такие расчёты даже на сравнительно небольших вычислительных машинах с рабочим объемом памяти около 20 тысяч слов.

Следует подчеркнуть, что для дальнейшего совершенствования теории очень важно иметь более точные и систематические экспериментальные данные (для различных ядер при различных энергиях и разных углах).

---

х/ Феноменологически согласие теоретических и экспериментальных данных в области квазисвободного рассеяния можно улучшать путем более детального рассмотрения формы энергетических спектров внутриядерных нуклонов. С другой стороны, расхождения в мягкой области спектра могут быть связаны с энергетической зависимостью потенциала, действующего на нуклоны внутри ядра. Этот вопрос требует более тщательного изучения.

## Литература

1. В.С. Барашенков, К.К. Гудима, В.Д. Тонеев. Сообщение ОИЯИ P2-4313, Дубна, 1969.
2. В.С. Барашенков, К.К. Гудима, В.Л. Тонеев. Сообщение ОИЯИ P2-4402, Дубна, 1969.
3. V.S. Barashenkov, E.K. Gudima, S.M. Eliseev, A.S. Цжинов, V.D. Toneev. Communication of the JINR E2-4607, Dubna, 1969.
4. V.S. Barashenkov, A.D. Цжинов, V.D. Toneev. Communication of the JINR E2-5282, Dubna, 1970.
5. В.С. Барашенков, К.К. Гудима, В.Д. Тонеев. Сообщение ОИЯИ P2-4065, Дубна, 1968.
6. В.С. Барашенков, К.К. Гудима, В.Д. Тонеев. Сообщение ОИЯИ P2-4066, Дубна, 1968.
7. H.W. Bertini. *Phys. Rev.*, 188, 1711 (1969).
8. I. Nonaka, Y. Saji, A. Suzuki, H. Yamaguchi, R. Eisberg, Y. Ishisaki, K. Kikuchi, K. Matsuda, T. Mikumo, Y. Nakajima. *J. Phys. Soc. Jap.* 17, 1817 (1962).
9. N.S. Wall, R.P. Roos, *Phys. Rev.* 150, 811 (1966).
10. W.N. Hess, B.J. Moyer. *Phys. Rev.*, 101, 337 (1956).
11. J.W. Wachter, W.A. Gibson, W.R. Burrus. ORNL-TM-2253 (1968).
12. Л.С. Ажгирей, И.К. Взоров, В.П. Зрелов, М.Г. Мешеряков, Б.С. Неганов, Р.М. Рындин, А.Ф. Шабудин. *ЖЭТФ*, 36, 1631 (1959).
13. D.M. Corley. *Ph. D. Thesis*, University of Maryland, 1968.
14. R.D. Edge, D.H. Tompkins, J.W. Glenn. *Phys. Rev.* 183, 849 (1969).
15. D.T. King. *Phys. Rev.*, 188, 1731 (1969).

Рукопись поступила в издательский отдел

10 декабря 1970 года.

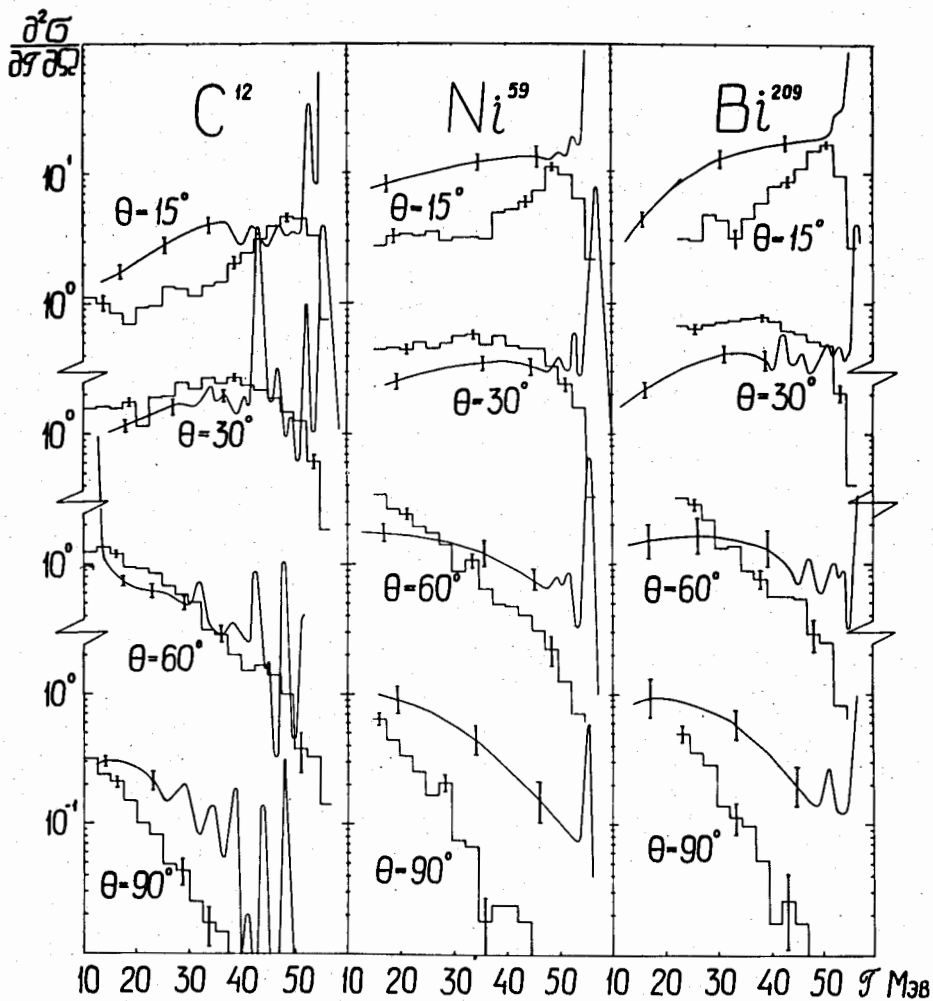


Рис. 1. Энергетические спектры протонов, вылетающих под углом  $\theta$  из различных ядер, облученных в пучке протонов с энергией  $T = 57$  Мэв (в единицах мб/Мэв стер.). Гистограмма - расчёт для интервалов углов  $10-20^\circ$ ,  $25-35^\circ$ ,  $55-65^\circ$ ,  $80-100^\circ$ . Экспериментальные кривые взяты из работы/8/.

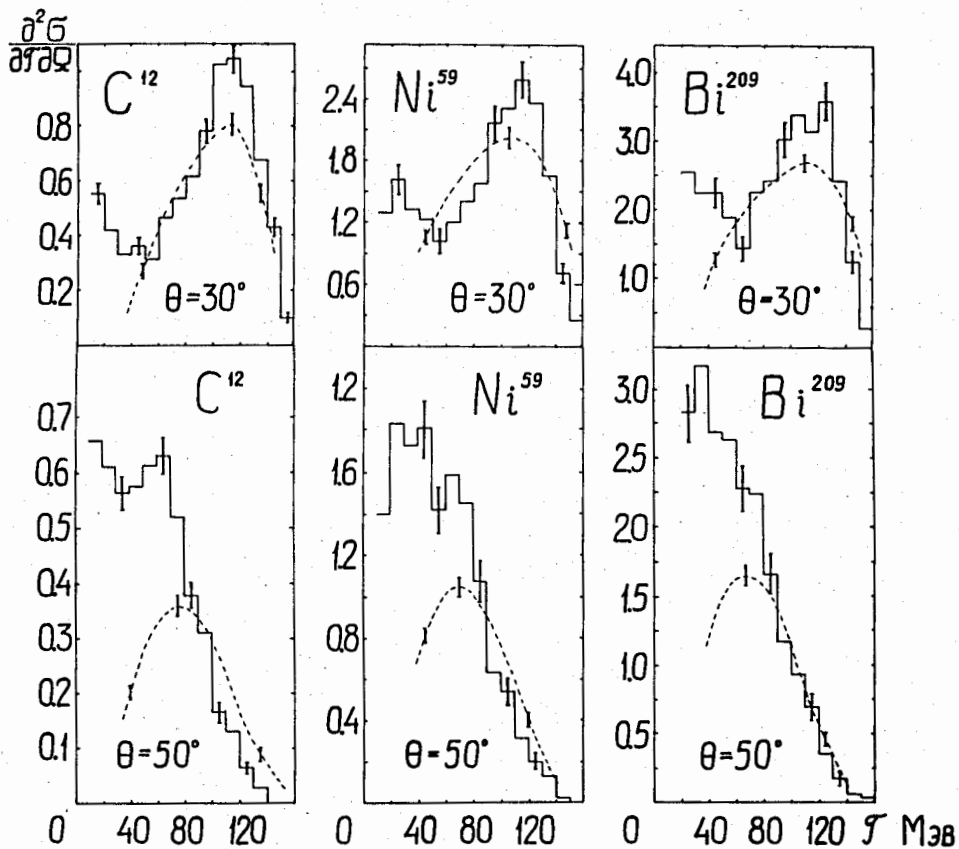


Рис. 2. То же, что и на рис. 1.  $T = 160$  Мэв. Гистограмма - расчёт для интервалов углов  $25-35^\circ$  и  $45-55^\circ$ . Пунктирные кривые - экспериментальные данные<sup>19</sup>.

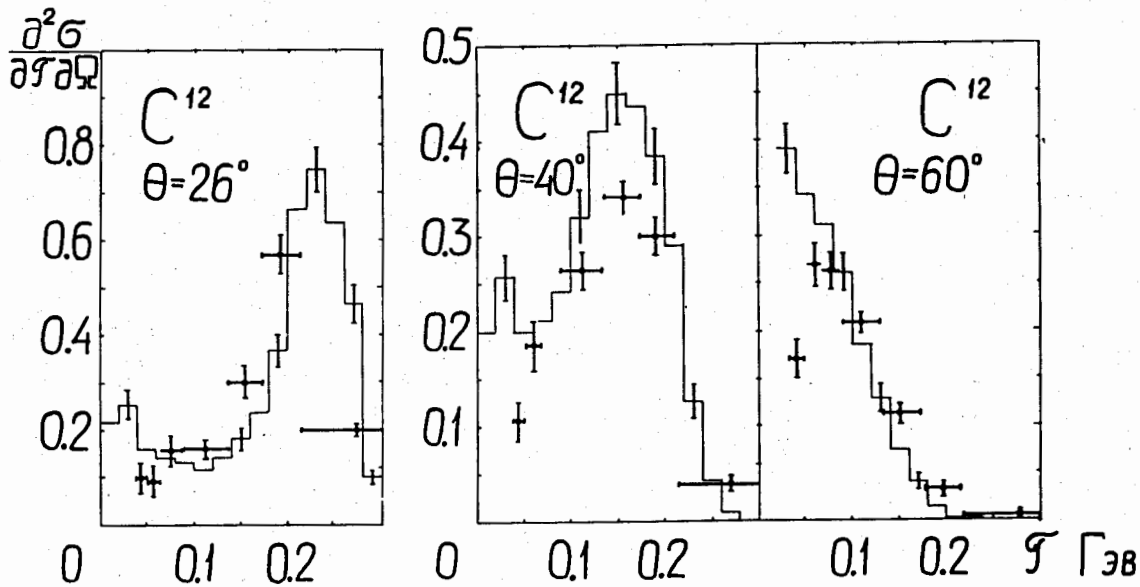


Рис. 3. Энергетические спектры протонов, вылетающих под углом  $\theta$  из ядер углерода, облученных в пучке протонов с энергией  $T = 300$  Мэв (в единицах мб/Мэв стер.). Гистограммы - расчёт для угловых интервалов  $21-31^\circ$  и  $35-45^\circ$ ,  $55-65^\circ$ . Экспериментальные точки взяты из работы<sup>/10/</sup>,



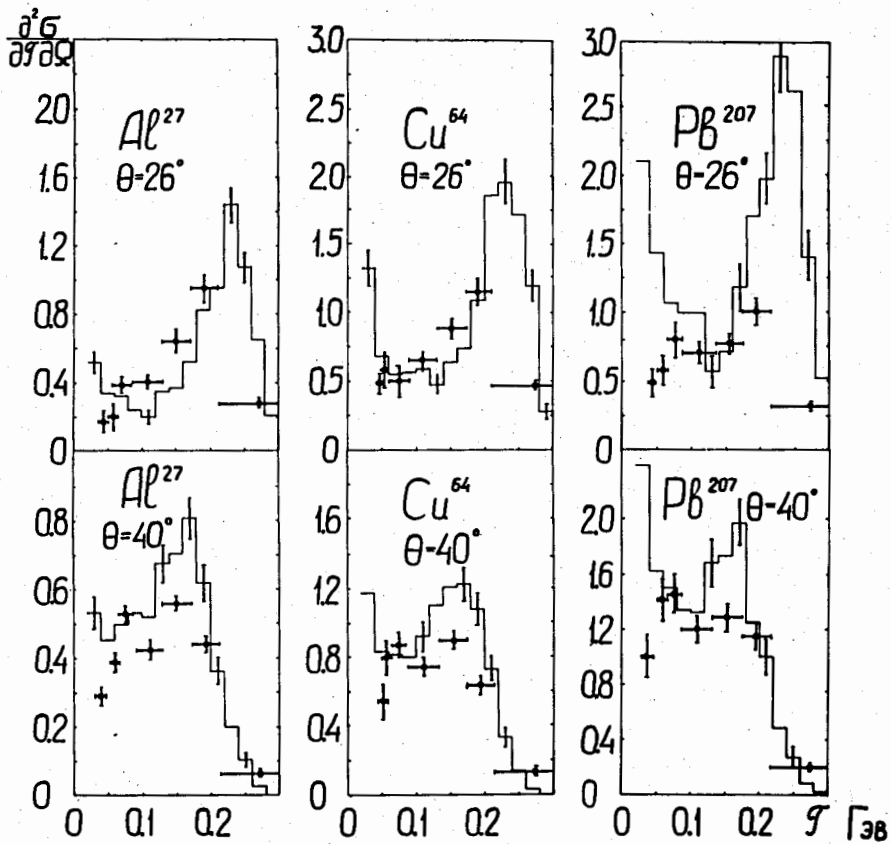


Рис. 4. То же, что и на рис. 3. Ядра алюминия, меди и свинца.

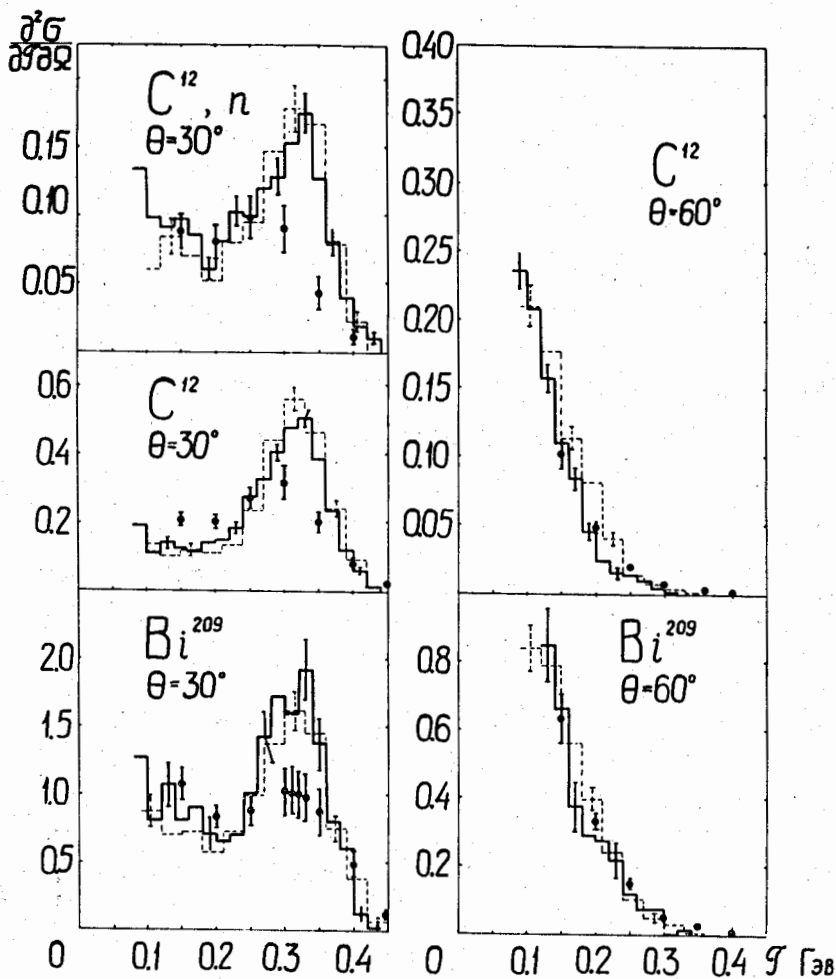


Рис. 5. Энергетические спектры протонов и нейтронов (левый верхний рис.), вылетающих из ядер углерода и висмута под действием первичных протонов с энергией  $T = 450$  Мэв (в единицах мб/Мэв стер.). Сплошные гистограммы - расчёт для угловых интервалов  $25-35^\circ$  и  $55-65^\circ$ . Пунктирные гистограммы - расчёт Бертини<sup>/7/</sup> для тех же угловых интервалов. Экспериментальные точки взяты из работы<sup>/11/</sup>.

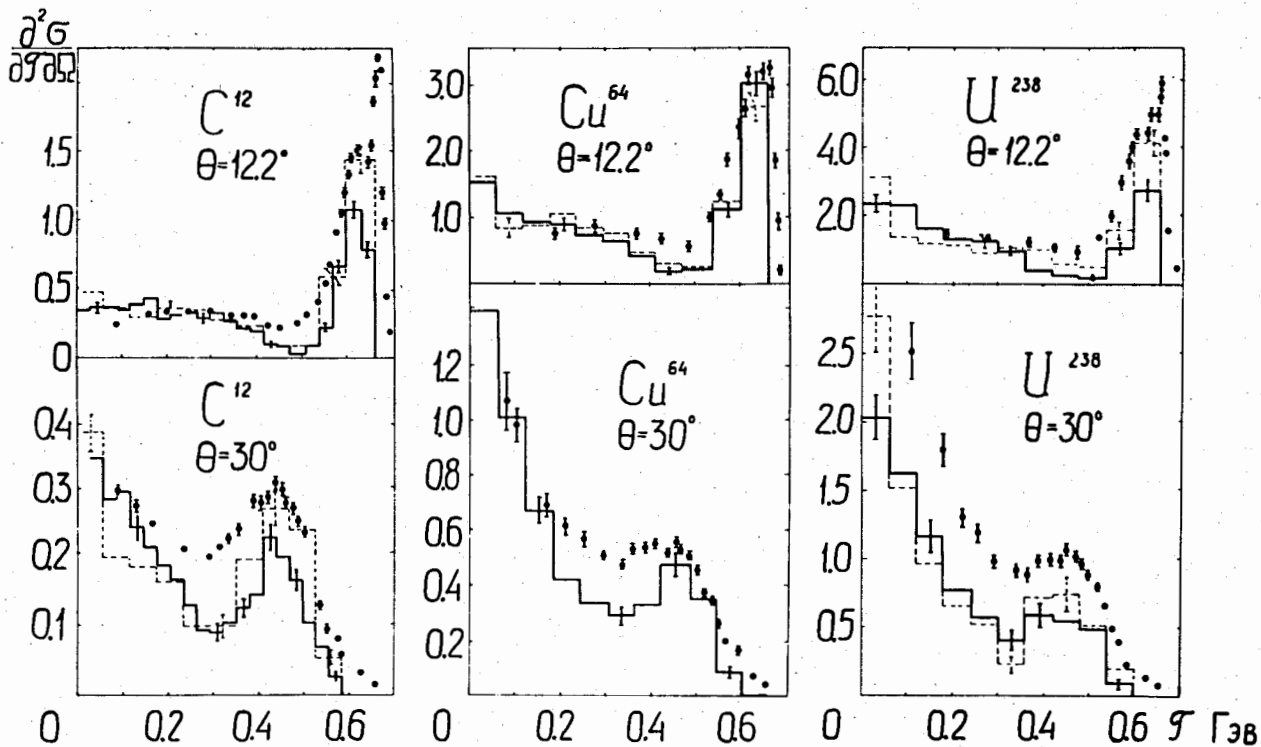


Рис. 6. Энергетические спектры протонов, образующихся при облучении ядер 660-Мэвными протонами (в единицах мб/Мэв протонами (в единицах мб/Мэв стер.)). Сплошные гистограммы - расчёт для интервалов 7-17° и 25-35°. Пунктир - соответствующий расчёт Бертини<sup>77</sup>. Экспериментальные точки взяты из работы<sup>12</sup>.

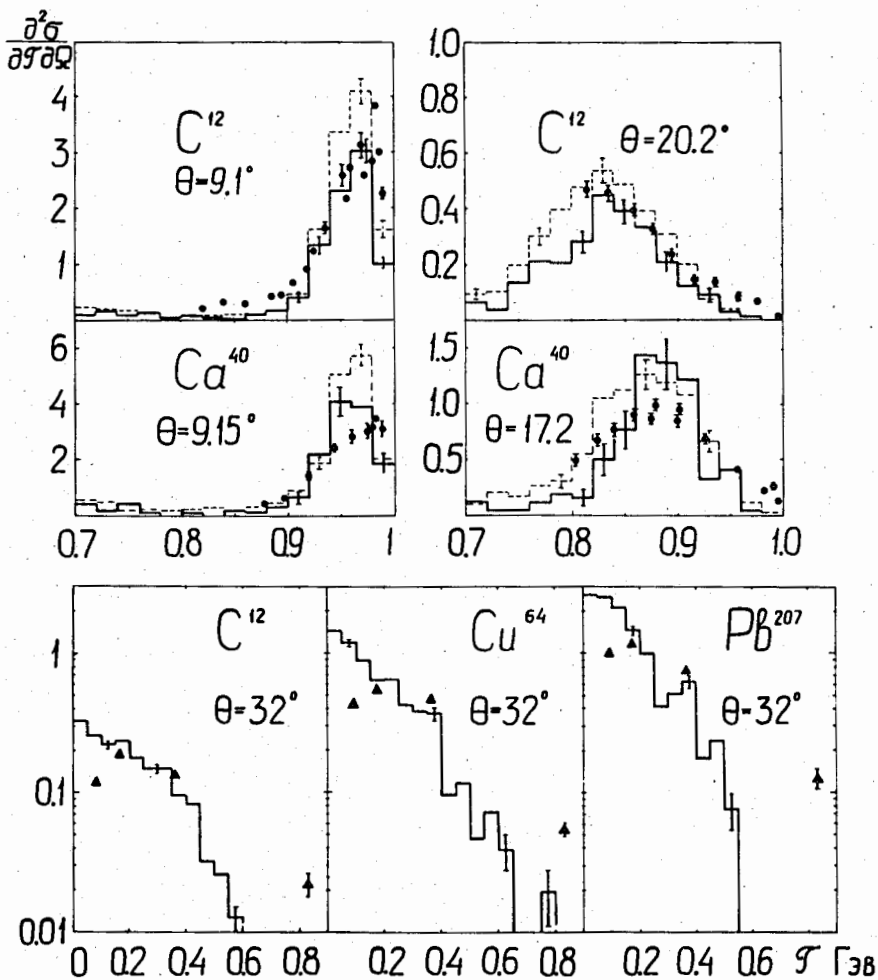


Рис. 7. То же, что и на рис. 6. Энергия первичных протонов  $T = 1$  Гэв. Сплошные гистограммы - расчёт для интервалов углов  $7-11^\circ$ ,  $17-23^\circ$ ,  $15-19^\circ$ ,  $22-40^\circ$ . Пунктир - соответствующий расчёт Бертини<sup>/7/</sup>. Экспериментальные значения, взятые из работы<sup>/13/</sup>, изображены точками, а из работы<sup>/14/</sup> - треугольниками.

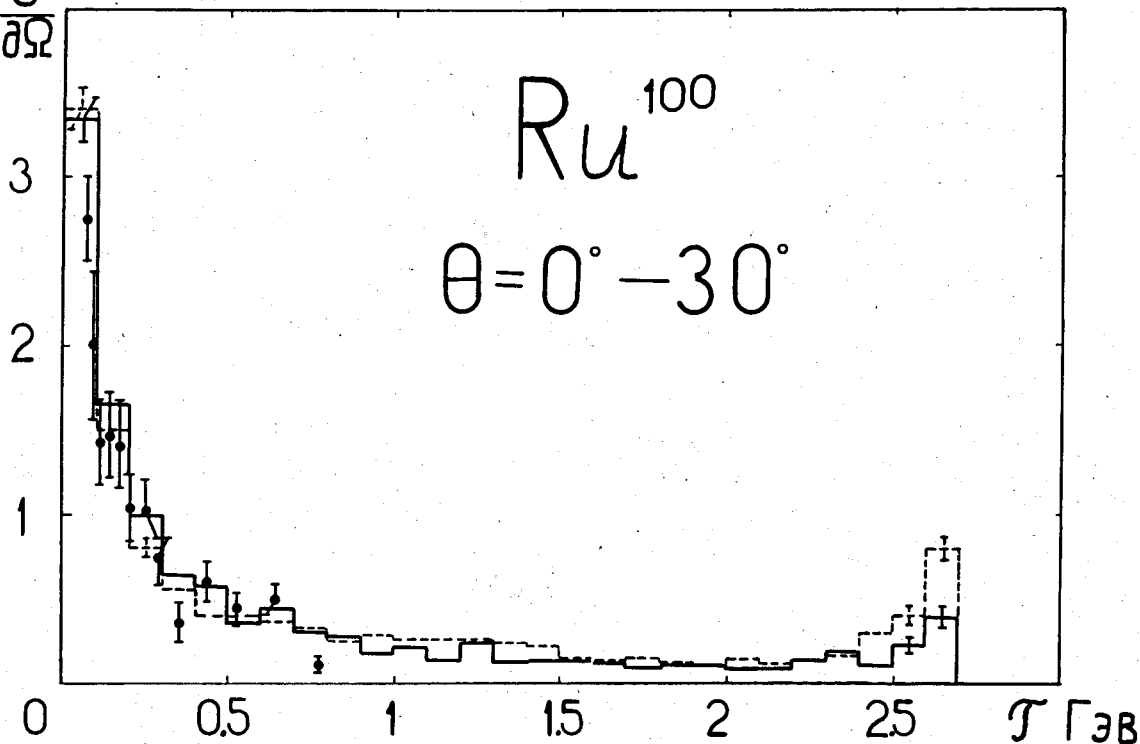
$\frac{d^2\sigma}{dTd\Omega}$ 

Рис. 8. Энергетический спектр протонов, вылетающих из ядра  $^{100}Ru$ , облученного в пучке протонов с энергией  $T = 2,7$  ГэВ ( в единицах мб/Мэв стер). Все обозначения такие же, как и предыдущих рисунках. Экспериментальные точки относятся к ядрам фотоэмульсии  $^{15}$ .

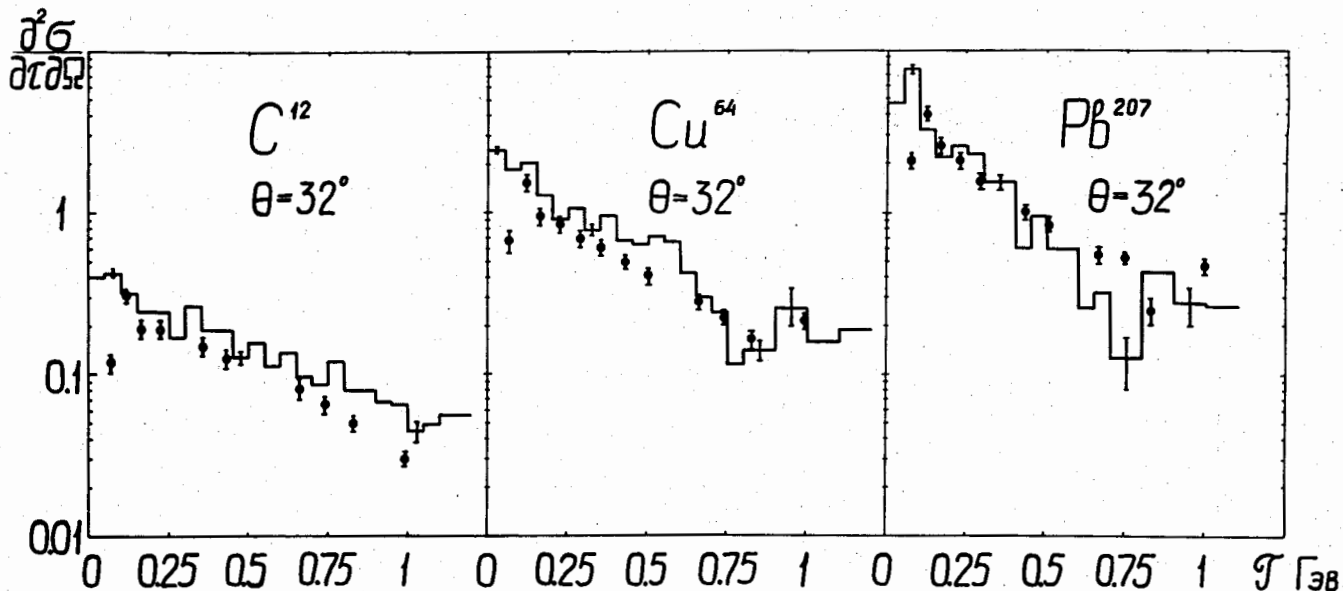


Рис. 9. Энергетические спектры протонов, вылетающих из различных ядер под действием первичных протонов с энергией  $T = 3$  ГэВ (в единицах мб/Мэв стер). Гистограмма - расчёт для углового интервала  $22-40^\circ$ . Экспериментальные точки взяты из работы<sup>/14/</sup>.

Двойные дифференциальные распределения частиц, образующихся  
в протон-ядерных столкновениях

Результаты каскадных расчётов двойных дифференциальных распределений частиц, образующихся в протон-ядерных столкновениях в области энергий от нескольких десятков Мэв до нескольких Гэв, сравниваются с экспериментом и с сечениями, рассчитанными по методу Бертини. Все эти данные, в общем неплохо согласуются друг с другом. Обсуждаются причины расхождений в некоторых деталях.

Сообщения Объединенного института ядерных исследований  
Дубна, 1970

Barashenkov V.S., Ilyinov A.S., Sobolevsky N.M.,  
Toneev V.D.

P2-5507

Double Differential Distribution of Particles Produced  
in the Proton-Nucleus Collisions

The results of cascade calculations of the double differential distributions of particles, produced in the proton-nucleus collisions in the energy range from several dozens of MeV up to several GeV, are compared with experiment and the cross sections calculated by the Bertini method. In general, all these data agree well. The reasons for divergences in some details are discussed.

Communications of the Joint Institute for Nuclear Research.  
Dubna, 1970