

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ГОС.КОМИТЕТА ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР

На правах рукописи

ГРИГОРЯН НЕРСИК КАЗАРОВИЧ

ИЗМЕРЕНИЕ СЧЕТА ЭЛЕКТРОДЕЛЕНИЯ ЯДЕР
 ^{235}U И ^{238}U И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА
ЭКРАНИРОВАНИЯ ПРИ $1 \leq \nu \leq 3,5$ ГэВ
И МАЛЫХ ПЕРЕДАВАННЫХ ИМПУЛЬСАХ

ОГ.04.16 - Физика атомного ядра
и элементарных частиц

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

ЕРЕВАН - 1991

Работа выполнена в Ереванском физическом институте.

Научные руководители: кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник
БАЯТЯН Г.Л.

кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник
МАРТАРЯН А.Т.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник
РАНОК Ю.Н. (ХФТИ АН УССР)

кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник
ДЕМЕХИНА Н.А. (БрПИ)

Ведущая организация: Институт ядерных исследований АН СССР

Защита состоится " _____ " _____ 1991 г.

в _____ часов на заседании специализированного совета
Д 034.03.01 при Ереванском физическом институте (375036,
г. Ереван-36, ул. Братьев Алиханянов, д. 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ереванского физического института.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1991 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат физико-математических наук

В.А.ШАХБАЗЯН

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Деление – один из каналов распада возбужденного ядра. Среди многообразия механизмов возбуждения, приводящих к его делению, особое место занимает электромагнитное взаимодействие. Оно дает возможность выяснить механизм перехода одночастичных возбуждений в коллективные. Изучение электро- и фотоделения при высоких энергиях представляет интерес для выяснения механизма взаимодействия электронов и фотонов высоких энергий с атомными ядрами и особенностей деления при высоких энергиях.

В реакциях электроделения проявляются такие свойства ядерной структуры и особенности электромагнитных взаимодействий, которые не проявляются в реакциях с реальными фотонами. В отличие от реальных фотонов, спектр которых обеспечивает лишь $E1$ и $M1$ мультипольности возбуждения ядер с равной вероятностью, спектр виртуальных фотонов содержит различные мультипольные компоненты не в равных количествах, в частности, $E2$ и $M1$ компоненты оказываются намного интенсивнее $E1$. Таким образом, эксперименты с электронами позволяют провести мультипольный анализ. К началу экспериментального изучения сечения электроделения ^{235}U и ^{238}U подобные данные в области энергии выше 1,2 ГэВ отсутствовали.

Делимости тяжелых ядер, например, изотопов урана, для фотонов с энергией выше ~ 40 МэВ практически равны единице, т.е. каждое неупругое взаимодействие с высокоэнергичным фотоном приводит к делению ядра. Благодаря этому акт деления урана

можно использовать в качестве триггерного сигнала неупругого взаимодействия фотонов и электронов высоких энергий с ядром.

Особый интерес представляет проведение совпадательного эксперимента по электроделению тяжелых ядер в ГэВ-ной области энергии и малых переданных поперечных импульсов. В этих кинематических условиях становится возможным изучение явления экранирования виртуальными фотонами, предсказанное в рамках модели доминантности векторных мезонов (МДВМ) или партонной модели. В настоящее время установлено существование экранирования при взаимодействии реальных γ -квантов с ядрами в ГэВ-ной области энергии. Имеющиеся в литературе скудные экспериментальные результаты по электророжению, касающиеся этой проблемы, противоречивы.

Целью диссертационной работы является измерение сечения электроделения ядер ^{235}U и ^{238}U в области энергии

$E_c = 1,0 + 4,5$ ГэВ и экспериментальное изучение экранирования в процессе электроделения ядра ^{238}U в области энергии $\gamma = 1,0 + 3,5$ ГэВ и малых передаваемых импульсов ($Q^2 \leq 5 \cdot 10^{-3}$ (ГэВ/с) 2).

Эксперимент выполнен в течение 1985–89 гг. в ЕРМ на выведенном малоинтенсивном пучке электронов Ереванского синхротрона.

Научная новизна работы заключается в следующем:

– Впервые получены значения сечения электроделения на ядрах ^{235}U и ^{238}U в области энергии $E_c = 1,0 + 4,5$ ГэВ. Настоящие данные в этой области энергии пока единственные.

– Впервые проведен совпадательный эксперимент по электроделению в области энергии выше ГэВ, где рассеянные электроны

регистрировали магнитным спектрометром в совпадении с осколками деления. Такой способ позволяет избежать учета упругого радиационного "хвоста" и измерять сечения поглощения виртуальных фотонов вблизи фотонной точки.

– Впервые в экспериментах по фото- и электроделению использованы "активные" мишени на основе многопроволочной пропорциональной камеры низкого давления (МПКНД).

Научная и практическая ценность работы:

– Полученные сечения электро- и фотоделения ^{235}U и ^{238}U позволяют провести сравнение этих величин и их отношений с теоретическими предсказаниями.

– Проведение совпадательного эксперимента по электроделению позволяет получить полное сечение фотообразования адронов виртуальными фотонами, исследовать экранирование на ядрах при $Q^2 \rightarrow 0$, определить параметр экранирования, провести сравнение этих величин с различными теоретическими предсказаниями.

– Созданная экспериментальная установка с спектрометрической системой регистрации электронов и "активными" мишенями тяжелых ядер на основе МПКНД может быть использована при дальнейших экспериментальных исследованиях процессов электроделения и электророжения.

Основные положения, выносимые на защиту:

– Экспериментальные установки для измерения сечения электро- и фотоделения тяжелых ядер и проведение совпадательных экспериментов.

– Экспериментальные данные по сечению электроделения ядер ^{235}U и ^{238}U в интервале энергии $E_c = (1,0+4,5)$ ГэВ.

– Результаты совпадательного эксперимента по электроделению

^{238}U в области энергии $1,0 \leq \nu \leq 3,5$ ГэВ и переданных импульсах $Q^2 \leq 5 \cdot 10^{-3}$ (ГэВ/с) 2 .

- Наблюдение слабого экранирования виртуальных фотонов с энергиями 2,0 + 3,5 ГэВ и $Q^2 \leq 5 \cdot 10^{-3}$ (ГэВ/с) 2 во взаимодействиях с ядром урана.

Личный вклад:

Автор принимал участие при проектировании, создании и наладке экспериментальной установки. Непосредственно участвовал также и при накоплении и обработке экспериментальных данных и интерпретации экспериментальных результатов.

Апробация работы и публикации:

Результаты и материалы диссертационной работы докладывались на Международном совещании по электромагнитным взаимодействиям адронов и ядер при промежуточных энергиях (Нор-Амберг, 1990), на Восьмом семинаре "Электромагнитные взаимодействия адронов в резонансной области энергий" (Харьков, 1987, 1989), на научных семинарах ЕРФИ, а также представлены в международной конференции по частицам и ядрам (PANIC, Кембридж, США, 1990).

По теме диссертации опубликованы 9 работ в виде препринтов ЕРФИ и статей в отечественных и зарубежных журналах.

Структура и объем диссертации:

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы.

Объем диссертации 119 страниц, включая 26 рисунков и 8 таблиц. Список цитируемой литературы содержит 127 наименований.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, формулируются основные задачи работы и ее цели, научная новизна и практическая ценность, приводятся основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приводится краткий обзор теоретических и экспериментальных работ, непосредственно связанных тематически с содержанием диссертации. В частности, рассмотрены работы относительно деления ядер электронами и взаимодействия электронов и фотонов с веществом. В теоретической части обзора описывается механизм взаимодействия электронов и фотонов с ядрами, рассматривается возникновение явления экранирования в рамках модели доминантности векторных мезонов. В экспериментальной части обзора описаны существующие экспериментальные работы по электроделению, экспериментальные работы по экранированию при взаимодействии с ядрами реальных и виртуальных фотонов. Обзор литературы обосновывает выбор методики и основных задач, исследованных в диссертационной работе.

Вторая глава посвящена детекторам осколков деления. Приведены краткий обзор и сравнительный анализ существующих детекторов осколков деления, показаны преимущества МПКД как детектора осколков деления для проведения совпадательных экспериментов.

Описаны конкретные варианты такого детектора. Временные и счетные характеристики исследовались с использованием спонтанно делящегося источника ^{252}Cf . Детектор наполнялся па-

рами углеводородов под давлением 10 ± 50 Торр, в нем образовались сигналы с фронтом ~ 2 нс и с общей длительностью ~ 10 нс. Осколки спонтанного деления ^{252}Cf регистрировались с 100 % эффективностью, начиная с подаваемого на катодную плоскость МПКНД напряжения $U_k = 600$ В, а α -частицы - $U_k = 900$ В. Величина временного разрешения составила ≤ 5 нс. Исследована работа детектора для паров гептана, гексана и метилала при давлениях 14 ± 40 Торр и показано, что в области 100 % эффективности регистрации осколков деления и α -частиц нет заметного различия между ними.

Проведены исследования МПКНД под электронными и фотонными пучками. Урановая мишень толщиной 1 мг/см^2 наклеивалась на высоковольтный электрод. Исследования показали, что наблюдающаяся в лабораторных условиях характеристика сохраняется. Сохраняются также счетные характеристики регистрации осколков деления урана в фотонных пучках с интенсивностью 10^9 экв. фот./с и в электронных пучках с интенсивностью $\leq 3 \cdot 10^7$ эл./с. Было проведено измерение сечения электроделения ^{235}U при энергии электронов $1,0$ ГэВ и выхода фотоделения с максимальной энергией фотонов $4,5$ ГэВ. Полученные значения сечений хорошо согласуются с имеющимися в литературе значениями и показывают, что эти детекторы успешно можно применять в экспериментах по электро- и фотоделению.

Хорошее временное разрешение, нечувствительность к естественному α -фону, стабильность работы под прямыми фотонными и электронными пучками, высокая эффективность регистрации осколков деления делают эти детекторы незаменимыми, особенно в совпадательных экспериментах.

Третья глава посвящена измерению сечений электроделения и выходов фотоделения ядер ^{235}U и ^{238}U в области энергий $1,33 \pm 4,32$ ГэВ. Эксперимент проведен на выведенном малоинтенсивном электронном пучке Ереванского синхротрона. Описано формирование стабильного и малоинтенсивного электронного пучка. Приводятся расчетные и измеренные характеристики этого пучка. Интенсивность таких вторичных пучков на 3-4 порядка меньше интенсивности выведенного от кольца ускорителя пучка. Геометрические размеры вторичного электронного пучка в течение эксперимента оставались в пределах ~ 1 см по горизонтали и $\sim 0,5$ см по вертикали. Угловая расходимость пучка на входе МПКНД ~ 2 мрад.

Настройка и слежение за профилем электронного пучка были осуществлены двухкоординатной многопроволочной пропорциональной камерой. Приведена методика измерения профиля пучка.

Для мониторинга пучка использовался квантометр.

Описаны установка и методика проведения эксперимента, обработка результатов измерений, определены необходимые поправки к сечению и проведено обсуждение полученных результатов. Для одновременного измерения сечений деления ядер ^{235}U и ^{238}U использовались две идентичные секции МПКНД с различными мишенями.

Измерения проводились при четырех значениях энергии вторичного электронного пучка $E_e = 1,33; 2,26; 3,33$ и $4,32$ ГэВ на ядрах ^{235}U и ^{238}U .

Полученные результаты сечения электроделения и выхода фотоделения ядер ^{235}U и ^{238}U сравниваются с другими существующими экспериментальными работами и теоретическими пред-

сказаниями. На рис. 1 приведена энергетическая зависимость сечения электроделения ^{235}U и ^{238}U . При энергии 1,33 ГэВ наши данные согласуются с имеющимися результатами /1-3/. На рис. 2 приведена энергетическая зависимость отношения выхода фотоделения и сечения электроделения. Сплошная кривая - зависимость, полученная из предположения о E Γ механизме фотопотложения /4/.

Четвертая глава посвящена описанию методики проведения совпадательного эксперимента по электроделению ^{238}U , обработке результатов измерений, определению поправок и обсуждению полученных результатов.

Эксперимент проведен на выведенном малоинтенсивном электронном пучке с энергией 4,35 ГэВ. В качестве спектрометра для регистрации неупруго рассеянных электронов применяется 16-канальная система мечения. Урановая мишень толщиной 1 мг/см² помещается внутри детектора осколков деления - МПКНД, - и располагается перед магнитным спектрометром.

Ливневой детектор располагался под нулевым углом по отношению к первичному пучку на расстоянии ~ 10 м от урановой мишени и использовался для подавления случайных совпадений сигналов системы мечения и МПКНД и радиационных эффектов электронов в мишени. Для мониторинга первичных электронов использовался квантометр.

- Описана логическая блок-схема эксперимента. Приведен перечень обозначений логических сигналов, соответствующих различным физическим информации.
- Акцептанс спектрометра определен моделированием эксперимента методом Монте-Карло.

10

- Эффективность детектора деления и каналов спектрометра определены экспериментальным путем.
- Случайное совпадение между детектором деления и каналами спектрометра электронов измерялось непрерывно в течение измерения.

Полученные нами окончательные результаты сечения электроделения ^{238}U и вычисленные по этим сечениям значения полного сечения образования адронов виртуальными фотонами приводятся в виде таблиц.

При обработке результатов измерений учитывались радиационные поправки, которые соответствуют процессу внутреннего тормозного излучения. Результаты приведены как без радиационных поправок, так и с ними.

На рис. 3 приведена энергетическая зависимость полного сечения фотообразования адронов на один нуклон $\sigma(\text{З.А})/A$ совместно с сечениями образования адронов на P_6 /6/ и ^{238}U /7/ реальными фотонами, приведено их сравнение с сечением на свободном нуклоне.

На рис. 4 приведена энергетическая зависимость величины $A_{\text{эфф}}/A$ совместно с данными /7, 8/ при $Q^2 = 0$ и $0,1$ (ГэВ/с)². На этом же рисунке приведен результат измерения μ -рождения на P_6 /9/, указывающий на сильное экранирование.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы:

- I. Создан детектор деления на основе МПКНД. Проведены исследования детектора деления в лабораторных условиях и в интенсивных электронных и фотонных пучках. Исследования показа-

11

ли, что при соответствующем подборе напряжений МПКНД чувствительна только к тяжелым осколкам деления, которые регистрируются с эффективностью $\sim 100\%$. Это свойство детектора сохраняет также на фотонных и электронных пучках с интенсивностью 10^9 экв.кв./с и 10^7 эл./с, соответственно (скважность пучков $\sim 1\%$).

2. На базе имевшейся установки, предназначенной для исследований процессов фоторождения на меченном фотонном пучке, была создана установка для выполнения работ по измерению сечения электроделения и выходов фотоделения.

3. Были проведены измерения сечения электроделения и выходов фотоделения ядер ^{235}U и ^{238}U в интервале энергии $(1,33 + 4,32)$ ГэВ с использованием детектора деления на основе МПКНД. В результате измерений получены следующие результаты:

а) показано, что выходы фотоделения, полученные таким образом, совпадают с выходами, полученными традиционными способами;

б) впервые получено сечение электроделения на ядрах ^{235}U и ^{238}U при энергии выше 1,2 ГэВ;

в) показано, что как в фото-, так и в электроделении ядер основной вклад, несмотря на различия между спектрами реальных и виртуальных фотонов, вносят процессы $E I$ -возбуждения ядер.

4. Использование МПКНД для регистрации осколков деления урана и системы мечения в качестве спектрометра для регистрации неупругорассеянных электронов позволило впервые провести совпадательный эксперимент по электроделению в ГэВ-ной

области энергии.

5. Впервые измерены полные сечения деления ^{238}U виртуальными фотонами при передаваемых импульсах $Q^2 \leq 5 \cdot 10^{-3} (\text{ГэВ}/c)^2$ и $\gamma = (1,0 + 3,5)$ ГэВ.

6. Измерения показали слабое экранирование, в отличие от μ -рождения и поглощения реальных фотонов. Параметр экранирования в области энергии $(2 + 3)$ ГэВ равняется $d = 0,99 \pm 0,01$. Наши результаты в пределах ошибок совпадают с результатом совпадательного электророждения, проведенного в близких кинематических условиях в CORNELL-е.

Основные материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Аракелян Е.А., Баятрян Г.Л., Вартанян Г.С., Григорян Н.К., Кечечян А.О., Марикиан Г.Г. Измерение профиля пучка выведенных электронов при помощи пропорциональной камеры. Научное сообщение ЕФИ-598(85)-82. Ереван, 1982. - 8 с. Изв. АН Арм.ССР, Физика. - 1984. - Т. 19, вып. 2. - С. 101-103.
2. Аракелян Е.А., Баятрян Г.Л., Вартанян Г.С., Восканян А.Р., Григорян Н.К., Дарбинян К.Т., Князян С.Г., Маргарян А.Т., Марикиан Г.Г., Оганесян Э.М., Степанян С.С., Шахазизян С.Р., Широян Ш.К. Меченый фотонный пучок на выведенном разреженном электронном пучке Ереванского синхротрона. Научное сообщение ЕФИ-733(48)-84. Ереван, 1984. - 18 с.
3. E.A.Arakelyan, G.L.Bayatryan, N.K.Grigoryan, S.G.Knyazyan, A.T.Margaryan, G.G.Marikyan. Low-pressure chamber for registration of fission fragments of heavy nuclei.

- Препринт ЕФИ-1000(50)-87. Ереван, 1987. - 10 с.
4. Е.А.Аракелян, Г.Л.Баятыан, Н.К.Григорян, С.Г.Князьян, А.Т.Маргарян, Г.Г.Марикян. Measurement of the cross section of photo- and electrofission of ^{235}U and ^{238}U in the energy range 1.33-4.32 GeV.
- Препринт ЕФИ-1104(67)-88. Ереван, 1988. - 12 с.
5. Е.А.Аракелян, А.Р.Багдасарян, Г.Л.Баятыан, Н.К.Григорян, С.Г.Князьян, А.Т.Маргарян, Г.Г.Марикян, А.Р.Восканян, Г.С.Вартанян. Experimental study of shadowing in the electrofission of ^{238}U nuclei at $E = 1-3.5$ GeV and low Q^2 .
- Препринт ЕФИ-1103(66)-88. Ереван, 1988. - 18 с.
6. Аракелян Е.А., Баятыан Г.Л., Григорян Н.К., Князьян С.Г., Маргарян А.Т., Марикян Г.Г. Исследование характеристик камер низкого давления для регистрации осколков деления тяжелых ядер// ПТЭ. - 1989. - № 3. - С. 68-69.
7. Аракелян Е.А., Баятыан Г.Л., Григорян Н.К., Князьян С.Г., Маргарян А.Т., Марикян Г.Г. Измерение сечений электроделения и выходов фотоделения ядер ^{235}U и ^{238}U в области энергий 1,33 + 4,32 ГэВ// Ядерная физика.-1989.-Т.49, вып. 5. - С. 1253-1256.
8. Аракелян Е.А., Багдасарян А.Р., Баятыан Г.Л., Вартанян Г.С., Восканян А.Р., Григорян Н.К., Князьян С.Г., Маргарян А.Т., Марикян Г.Г. Экспериментальное изучение экранирования в процессе электроделения ядра ^{238}U при $\gamma = 1-3,5$ ГэВ и малых Q^2 // Ядерная физика. - 1989. - Т. 49, вып. 6. - С. 1651-1656.
9. Аракелян Е.А., Баятыан Г.Л., Григорян Н.К., Князьян С.Г.,

Маргарян А.Т., Марикян Г.Г. Использование системы мечения в роли спектрометра для неупругорассеянных электронов под малыми углами. Препринт ЕФИ-1174(51)-89. Ереван, 1989. - 12 с.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. L.G.Moretto, R.C.Gatti, S.G.Thompson et al. Electron- and bremsstrahlung-induced fission of heavy and medium-heavy nuclei. Phys.Rev. - 1969. - vol.179 - No. 4 - p. 1176-1187.
2. Лихачев В.П., Агранович В.Л., Буки А.Ю. и др. Изучение реакции электроделения ядер ^{233}U , ^{235}U и ^{238}U в интервале энергий 100 ... 1200 МэВ// ВАНТ. Сер. Общая и ядерная физика. - 1984. - Вып. 2(27). - С. 65-67.
3. V.L.Kuznetsov, V.G.Nedoresov, N.V.Nikitina et al. Electron-induced fission of the ^{238}U , ^{237}Np , ^{239}Pu and ^{243}Am nuclei in the energy region 100-1000 MeV. Nucl.Phys.A - 1982, vol.381 - No.3 - p.472-486.
4. Недорезов В.Г., Ранев Ю.Н. Деление ядер под действием фотонов и электронов промежуточных энергий// Физика элементарных частиц и атомного ядра. - 1984. - Т. 15, вып. 2. - С. 379-417.
5. Вартапетян Г.А., Демехина Н.А., Касилов В.И. и др. Сечения деления ядер фотонами с энергией до 5 ГэВ. Сверхгигантский резонанс в фотоядерных реакциях// Ядерная физика. - 1971. - Т. 14, вып. 1. - С. 65-72.

6. G.R.Brooks, A.S.Glough, J.H.Freeland et al. Hadronic photoabsorption cross section of nuclei for photons in the GeV energy range. Phys.Rev. 1973, vol.D8, p.2826-2836.
7. S.Michalowski, D.Andrews, J.Eickmeyer et al. Experimental study of nuclear shadowing in photoproduction. Cornell Univ. preprint CNLS-361-B, 1977; Phys.Lett. 1977, vol.39, No.12, p.737-740.
8. J.Eickmeyer, S.Michalowski, N.Mistry et al. Experimental study of nuclear shadowing in low Q^2 electroproduction. Phys.Rev.Lett. 1976, vol.36, No.6, p.289-291.
9. M.Miller, B.Moskowitz, J.Le Britton et al. Shadowing in muon-nucleus scattering. Phys.Rev. 1981, vol.D24, No.1, p.1-6.

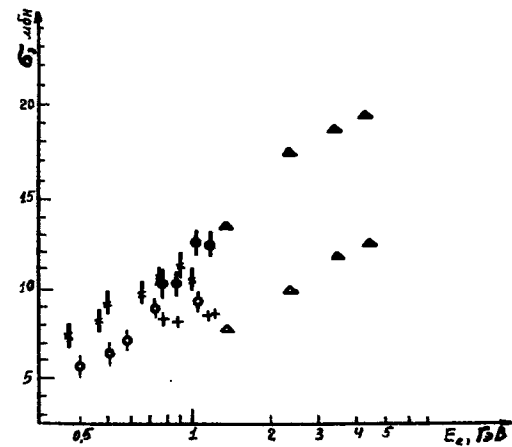


Рис. 1.

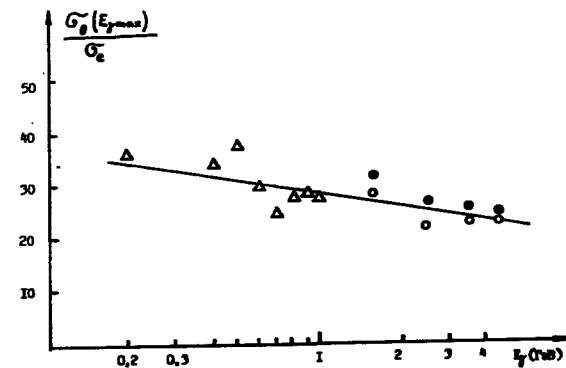


Рис. 2

17

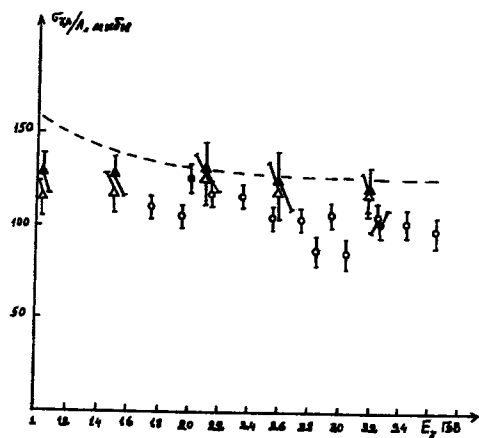


Рис. 3.

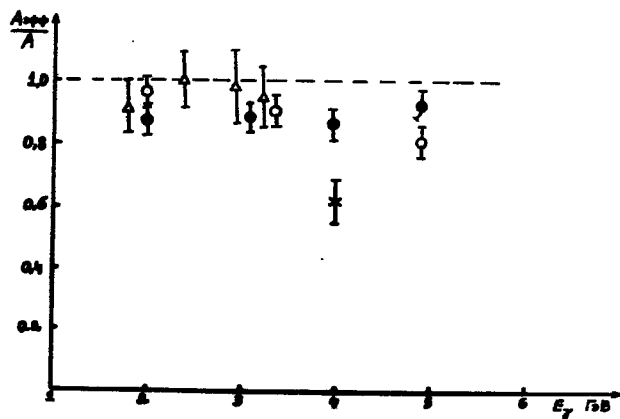


Рис. 4.

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис. 1. Энергетическая зависимость сечения электроделения ^{235}U (\times - /1/, \bullet - /2/, \blacktriangle - наши результаты) и ^{238}U (\circ - /3/, \triangle - наши результаты, $+$ - /2/)

Рис. 2. Энергетическая зависимость отношения выхода фотоделения и сечения электроделения. Сплошная кривая - зависимость из /4/. Точки: \triangle - отношение результатов /2/ и /5/ для ^{235}U , \circ , \bullet - наши результаты для ^{235}U и ^{238}U , соответственно

Рис. 3. Энергетическая зависимость полного сечения фотообразования адронов, приведенного на один нуклон, $\sigma(\gamma A)/A$. Пунктирная кривая - полное сечение образования адронов на нуклоне реальными фотонами. Точки: \circ и \bullet - P6 /6/ и ^{238}U /7/ для реальных фотонов, \blacktriangle и \triangle - соответственно с учетом и без учета радиационных поправок (наши результаты)

Рис. 4. Энергетическая зависимость величины A_{333}/A . \circ и \bullet - при $Q^2 = 0$ /7/ и $0,1$ (ГэВ/с) 2 для $(\text{Ta}-\text{Au})$ /8/, \triangle - наши результаты, \times - для процесса (μ, Pe) /9/

Технический редактор А.С. Абрамян

Подписано в печать 05.04.91г.

Офсетная печать.

Зак. тип. 073

Формат 60×84×16

Тираж 170 экз.

Отпечатано в Ереванском физическом институте
Ереван-36, ул. Братьев Алиханян 2.