

Московский Государственный Университет
им. М.В.Ломоносова

Научно-исследовательский институт Ядерной Физики
им. Д.В.Скобельцына

**Б.С.Ишханов, И.М.Капитонов, Е.И.Лилеева, Е.В.Широков,
В.А.Ерохова, М.А.Ёлкин, А.В.Изотова**

**СЕЧЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ ФОТОНОВ
АТОМНЫМИ ЯДРАМИ С ЧИСЛОМ НУКЛОНОВ 12 - 65**

Препринт НИИЯФ МГУ-2002-27/711

Москва 2002

УДК 539.122.173

ББК 22.382

С33

B.S.Ishkhanov, I.M.Kapitonov, E.I.Lileeva, E.V.Shirokov

V.A.Erokhova, M.A.Yolkin, A.V.Izotova

**Photon absorption cross sections by nuclei containing nucleons
from 12 to 65**

Preprint INP MSU 2002-27/711

Abstract.

We have based on 40 most close photonuclear experiments and have built photon absorption cross sections by nucleus containing nucleons from 12 to 65. This cross sections were got for 31 nuclides ($^{12,13,14}\text{C}$, $^{14,15}\text{N}$, $^{16,17,18}\text{O}$, ^{19}F , ^{23}Na , $^{24,25,26}\text{Mg}$, ^{27}Al , $^{28,29,30}\text{Si}$, $^{32,34}\text{S}$, ^{40}Ar , $^{40,42,44,48}\text{Ca}$, $^{46,48}\text{Ti}$, ^{52}Cr , $^{58,60}\text{Ni}$ and $^{63,65}\text{Cu}$) with photon energies up to 40 MeV. For most nuclides photon absorption cross sections were received by summation photonuclear cross sections. For ^{12}C , ^{14}N , ^{16}O , ^{19}F , ^{27}Al , ^{28}Si и ^{40}Ca it is directly measured cross sections. Such cross sections systematic can be used for testing theoretical accounts of the Giant Dipole Resonance, while exploring stars evolution and deciding applied tasks.

Б.С.Ишханов, И.М.Капитонов, Е.И.Лилеева, Е.В.Широков,

В.А.Ерохова, М.А.Ёлкин, А.В.Изотова

СЕЧЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ ФОТОНОВ

АТОМНЫМИ ЯДРАМИ С ЧИСЛОМ НУКЛОНОВ 12 – 65

Препринт НИИЯФ МГУ 2002-27/711

Аннотация.

На основе анализа данных 40 наиболее точных фотоядерных экспериментов построены сечения поглощения фотонов атомными ядрами с числом нуклонов от 12 до 65. Эти сечения получены для 31 нуклида ($^{12,13,14}\text{C}$, $^{14,15}\text{N}$, $^{16,17,18}\text{O}$, ^{19}F , ^{23}Na , $^{24,25,26}\text{Mg}$, ^{27}Al , $^{28,29,30}\text{Si}$, $^{32,34}\text{S}$, ^{40}Ar , $^{40,42,44,48}\text{Ca}$, $^{46,48}\text{Ti}$, ^{52}Cr , $^{58,60}\text{Ni}$ и $^{63,65}\text{Cu}$) в области энергий фотонов до 40 МэВ, где доминирует Гигантский дипольный резонанс. Для большинства нуклидов сечения поглощения фотонов были получены суммированием фотонуклонных сечений. Для ^{12}C , ^{14}N , ^{16}O , ^{19}F , ^{27}Al , ^{28}Si и ^{40}Ca – это непосредственно измеренные сечения фотопоглощения. Созданная систематика сечений может быть использована для тестирования теоретических расчетов, посвященных фотоядерному гигантскому резонансу, при исследовании эволюции звезд, а также при решении задач прикладного характера.

© НИИЯФ МГУ, 2002

<http://www.sinp.msu.ru>

Введение.

Гигантский дипольный резонанс (ГДР) атомных ядер исследуется уже более 50 лет и это важное ядерное явление довольно полно и всесторонне изучено. Вместе с тем некоторые стороны этого явления еще недостаточно поняты. К таковым относятся форма и ширина ГДР легких ядер. У ядер этой области ГДР разбросан в значительном интервале энергий, и его форма сильно меняется при переходе от одного ядра к другому. Так изменение числа нуклонов в легком ядре на 1-2 может привести к изменению ширины ГДР в 2-3 раза. При этом общая форма ГДР также меняется кардинально и не видно какой-либо регулярной зависимости обсуждаемых характеристик от массового числа [1]. Подобное «поведение» ГДР легких ядер обусловлено тем, что на его характеристики влияет несколько факторов, в числе которых, прежде всего, конфигурационное и изоспиновое расщепления резонанса [2,3].

Для того чтобы сделать окончательные выводы о факторах, влияющих на характеристики ГДР легких ядер, необходимо иметь надежные данные о сечениях поглощения фотонов этими ядрами вплоть до энергий фотонов $E_\gamma \approx 40$ МэВ. Такие сечения непосредственно измерены с необходимой точностью лишь для нескольких легких ядер [5,11] и этого набора данных совершенно недостаточно для детального анализа. Вместе с тем различными экспериментальными группами получено много фотонуклонных сечений типа $\sigma(\gamma,p)$, $\sigma(\gamma,n)$, $\sigma(\gamma,2n)$, $\sigma(\gamma,n)+\sigma(\gamma,np)+\sigma(\gamma,2n)$, суммируя (и комбинируя) которые можно получить полные сечения поглощения фотонов для большой группы атомных ядер.

Целью настоящей работы является отбор экспериментального материала о сечениях фоторасщепления легких ядер в области ГДР и «конструирование» на основе этих данных сечений фотопоглощения. Итогом работы является систематика сечений поглощения фотонов легкими атомными ядрами в районе ГДР. Систематика содержит данные для 31 нуклида с массовыми числами от 12 до 65 и относится к области энергий фотонов до 40 МэВ.

Работа выполнялась в Отделе электромагнитных процессов и взаимодействий атомных ядер НИИЯФ МГУ.

1. Отбор экспериментального материала.

Основной областью ядер, выбранной для анализа, являлась область ядер 1d2s-оболочки (от изотопов кислорода до изотопов кальция). Это самая обширная область легких ядер, для которой накоплено много экспериментального и теоретического материала и выполнен довольно полный анализ механизма возбуждения и распада ГДР (см., например, обзоры [2-4]). Эта область ядер была дополнена со стороны малых массовых чисел изотопами углерода и азота ($A=12-15$), а со стороны больших массовых чисел изотопами титана ($A=46,48$), никеля ($A=58,60$), меди ($A=63,65$), а также ядром ^{52}Cr , с тем, чтобы включить примыкающие ядра соседних оболочек 1p и 1f2p. Отбирались только те нуклиды, для которых имеются надежные и добротные экспериментальные данные о форме фотоядерных сечений.

Для решения поставленной задачи требовались сечения поглощения фотонов $\sigma(\gamma, \text{absorption})$. Непосредственные измерения таких сечений с приемлемой точностью имеются лишь для 7 ядер (^{12}C , ^{14}N , ^{16}O , ^{19}F , ^{27}Al , ^{28}Si и ^{40}Ca) и этого набора данных совершенно недостаточно для получения выводов о природе ширины ГДР ядер рассматриваемой области ($A=12-65$). Для большинства нуклидов сечения фотопоглощения могут быть «сконструированы», т.е. получены суммированием фотопротонных и фотонейтронных сечений. Под фотопротонным сечением мы понимаем сечение реакции с вылетом одного протона, обозначаемое $\sigma(\gamma, p)$. Под фотонейтронным сечением имеется в виду сечение реакций с вылетом одного или двух нейтронов $\sigma(\gamma, n)$ и $\sigma(\gamma, 2n)$. Для некоторых нуклидов в области максимума ГДР и за ним существенным является сечение реакции (γ, pn) . В зависимости от методики эксперимента это сечение могло входить в состав фотопротонного или фотонейтронного сечения. В нашей процедуре «конструирования» сечения фотопоглощения это сечение учитывалось один раз.

Поскольку упомянутые сечения практически исчерпывают сечение поглощения фотонов $\sigma(\gamma, \text{abs})$ в области ГДР, то можно записать

$$\sigma(\gamma, \text{abs}) \approx \sigma(\gamma, p) + \sigma(\gamma, n) + \sigma(\gamma, 2n) + \sigma(\gamma, pn). \quad (1)$$

Детальный анализ имеющейся на сегодняшний день информации о фотопротонных и фотонейтронных сечениях ядер с $A=12-65$ показал, что для 25 нуклидов сечение фотопоглощения может быть получено использованием процедуры (1). Сводка отобранных нуклидов и использованной информации с указанием публикаций приведена в таблице. Всего имеются данные для 31 нуклида.

Важную роль в использованном наборе экспериментальных сведений играют сечения фотопоглощения для пяти нуклидов - ^{12}C , ^{16}O , ^{27}Al , ^{28}Si и ^{40}Ca , - измеренные с высокой точностью в Майнце (Германия) [5]. Эти сечения получены в едином эксперименте вплоть до 140 МэВ и образуют удобный набор реперных данных, особенно о поведении «хвостов» ГДР – сечений фотопоглощения за максимумом гигантского резонанса.

Таблица. Сводка использованных экспериментальных сечений

Нуклид	γ, p	γ, n	$\gamma, 2n$	γ, abs
^{12}C				[5]
^{13}C	[6]	[7]	[7]	
^{14}C	[8]	[9]	[9]	
^{14}N	[10]	[10]	[10]	[10,11]
^{15}N	[12]	[13]	[14]	
^{16}O				[5]
^{17}O	[15]	[16]	[16]	
^{18}O	[17]	[17]	[17]	
^{19}F				[11]

^{23}Na	[18]	[19]	[19]	
^{24}Mg	[20]	[21]	[21]	
^{25}Mg	[22]	[23]	[23]	
^{26}Mg	[24]	[25]	[25]	
^{27}Al				[5]
^{28}Si				[5]
^{29}Si	[26]	[27]	[27]	
^{30}Si	[28]	[27]	[27]	
^{32}S	[29]	[30]	[30]	
^{34}S	[31]	[32]	[32]	
^{40}Ar	[33]	[33]	[33]	
^{40}Ca				[5]
^{42}Ca	[34]	[35]	[35]	
^{44}Ca	[36]	[37]	[37]	
^{48}Ca	[38]	[38]	[38]	
^{46}Ti	[39]	[39]	[39]	
^{48}Ti	[40]	[41]	[41]	
^{52}Cr	[42]	[42]	[42]	
^{58}Ni	[42]	[42]	[42]	
^{60}Ni	[42]	[42]	[42]	
^{63}Cu	[43]	[44]	[44]	
^{65}Cu	[43]	[44]	[44]	

Существенный блок качественных данных о фотопротонных и фотонейтронных сечениях в последние два десятилетия получен фотоядерными группами университетов Тохоку (Япония) и Мельбурна (Австралия) [22, 26, 28, 31-41, 43]. Важное место занимают фотонейтронные сечения, измеренные на ускорителях США и Канады [7-9, 14-17, 23, 27]. Ценные данные для создания систематики сечений фотопоглощения получены в НИИЯФ МГУ в большом цикле экспериментов по измерению сечений фотопротонной и фотонейтронной реакций ядер $1d2s$ – и $1f2p$ – оболочек. [18, 20, 21, 24, 29, 30, 42].

2. Принципы работы с экспериментальными данными. Реконструкция сечений поглощения фотонов ядрами в области энергий фотонов до 40 МэВ.

Большинство фотопротонных и фотонейтронных сечений, отобранных для построения сечений фотопоглощения с использованием процедуры (1), измерены в области энергий фотонов до 30 МэВ. В то же время для получения общих характеристик ГДР легких ядер, таких как ширина, интегральное сечение, область концентрации наиболее сильных дипольных возбуждений, необходимо иметь представление о сечении фотопоглощения и в области 30-40 МэВ, лежащей непосредственно за максимумом ГДР. На долю этой области приходится значительная часть интегрального сечения фотопоглощения рассматриваемых ядер. Как показывают данные работы [5] она меняется приблизительно от 30% для ^{12}C и ^{16}O до $\approx 15\%$ для ^{40}Ca . В этой связи ставилась задача восстановления

«хвоста» ГДР в интервале 30-40 МэВ для всех ядер, исключая реперные ^{12}C , ^{16}O , ^{27}Al , ^{28}Si и ^{40}Ca , для которых сечения фотопоглощения в требуемом для анализа диапазоне энергий надежно измерены [5].

Было высказано предположение, что сечение фотопоглощения в области 30-40 МэВ для любого ядра может быть получено умножением на некий независящий от энергии коэффициент κ соответствующего участка сечения фотопоглощения одного из реперных ядер (^{12}C , ^{16}O , ^{27}Al , ^{28}Si , ^{40}Ca). Предполагалось, что таковым коэффициентом может быть отношение классических дипольных правил сумм

$$\int_0^{\infty} \sigma(\gamma, abs) dE = 60 \frac{NZ}{A} \text{ МэВ} \cdot \text{мб} \quad (2)$$

для «анализируемого» (a) и одного из «реперных» (r) ядер

$$\kappa = \frac{(NZ/A)_a}{(NZ/A)_r}. \quad (3)$$

В качестве реперного ядра естественно было выбирать ядро ближайшее к анализируемому (хотя, как выяснилось, это не имеет существенного значения и в описываемой процедуре может участвовать любое из пяти реперных ядер).

Справедливость высказанного предположения проверялась следующим образом. Во-первых, проверялась пропорциональность величины интегрального сечения фотопоглощения в области 30-40 МэВ, т.е. величины $\int_{30}^{40} \sigma(\gamma, abs) dE$ числу

$$\frac{NZ}{A}.$$

Наличие такой пропорциональности означает, что для всех ядер величина $\frac{\int_{30}^{40} \sigma(\gamma, abs) dE}{NZ/A}$ должна быть примерно одной и той же. Эта величина, вычисленная

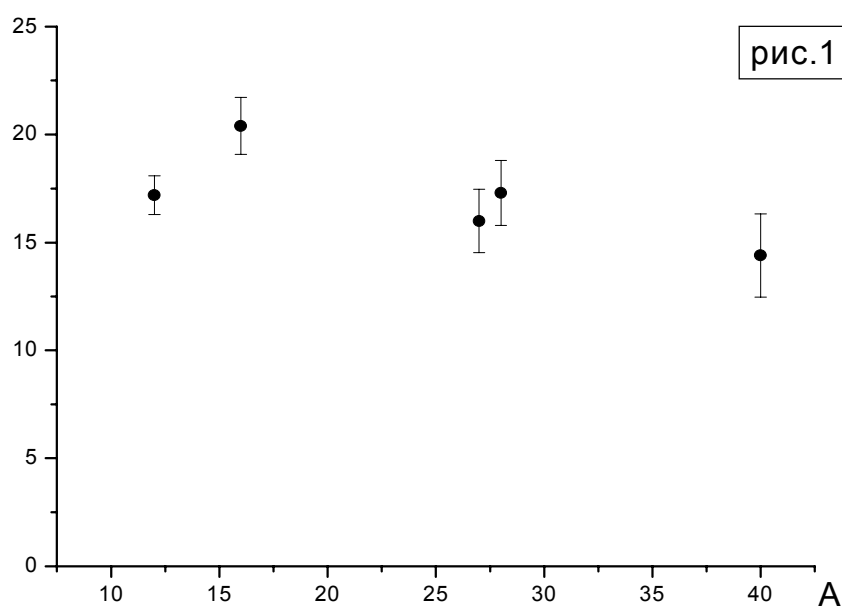
для всех реперных ядер, приведена на рис.1 и подтверждает высказанное предположение. Более того, оказалось, что энергетический ход сечения фотопоглощения в области 30-40 МэВ у всех реперных ядер примерно один и тот же, что подтверждается рис.2, на котором сравниваются «хвосты» ГДР для ядер ^{12}C и ^{40}Ca (экспериментальные точки для ядер ^{12}C нормированы к данным для ^{40}Ca с помощью коэффициента (3)). Таким образом, стало очевидным, что предложенная процедура «переноса хвоста» ГДР от реперного ядра к анализируемому не могла внести существенных искажений в общий ход искомого сечения фотопоглощения в области 30-40 МэВ. Важно и то, что все имеющиеся данные о форме сечений фотопоглощения в области $E_\gamma > 30$ МэВ для ядер с числом нуклонов ≥ 12 показывают, что эти сечения в обсуждаемой области имеют вид довольно плавно спадающих кривых, без значительных структурных особенностей.

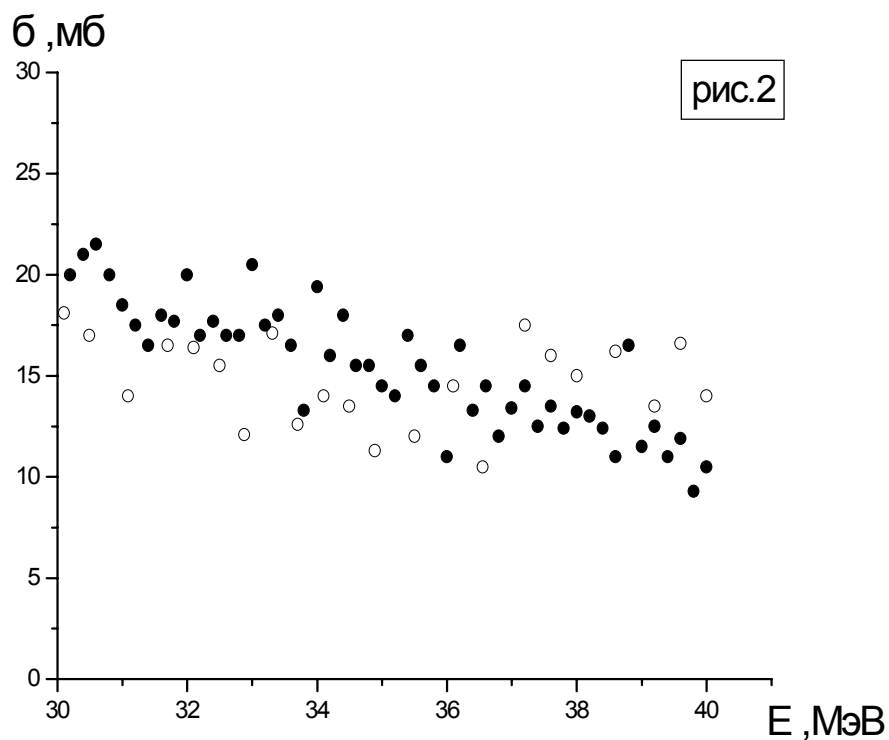
Описываемая процедура подвергалась и дополнительному контролю, суть которого состояла в следующем.

Критерием правильности процедуры должно быть совмещение $\sigma(\gamma, \text{abs})$, полученного суммированием экспериментальных фотопротонных и фотонейтронных сечений (соотношение (1)), с синтезированным «хвостом» ГДР для всех анализируемых ядер в районе 30 МэВ.

Из 25 анализируемых ядер для 17-ти такое совмещение имеет место с очень хорошей точностью. Для оставшихся восьми (^{17}O , ^{29}Si , ^{30}Si , ^{40}Ar , ^{44}Ca , ^{46}Ti , ^{52}Cr и ^{65}Cu) расхождение $\sigma(\gamma, \text{abs}) = \sigma(\gamma, p) + \sigma(\gamma, 2n) + \sigma(\gamma, pn)$ с «хвостом» ГДР в районе 30 МэВ составляет $\approx 20\text{-}30\%$. Как показал анализ, это расхождение целиком обусловлено отклонениями интегральных сечений фотопоглощения для этих ядер в области ниже 30 МэВ от ожидаемых значений, полученных из усредненной зависимости по реперным ядрам (рис.3). После приведения абсолютной шкалы сечений восьми упомянутых выше ядер в соответствие с данными для реперных ядер (шкала менялась в пределах 10-30%) $\sigma(\gamma, \text{abs})$ для них, полученные суммированием фотонуклонных сечений, практически идеально совмещаются с синтезированными «хвостами» ГДР. Коррекция абсолютной шкалы сечений ниже 30 МэВ была выполнена также для ^{32}S и ^{48}Ca , хотя этого и не требовала процедура совмещения этого сечения с «хвостом» ГДР

$$\frac{\int_{30}^{40} \sigma dE}{NZ / A}$$

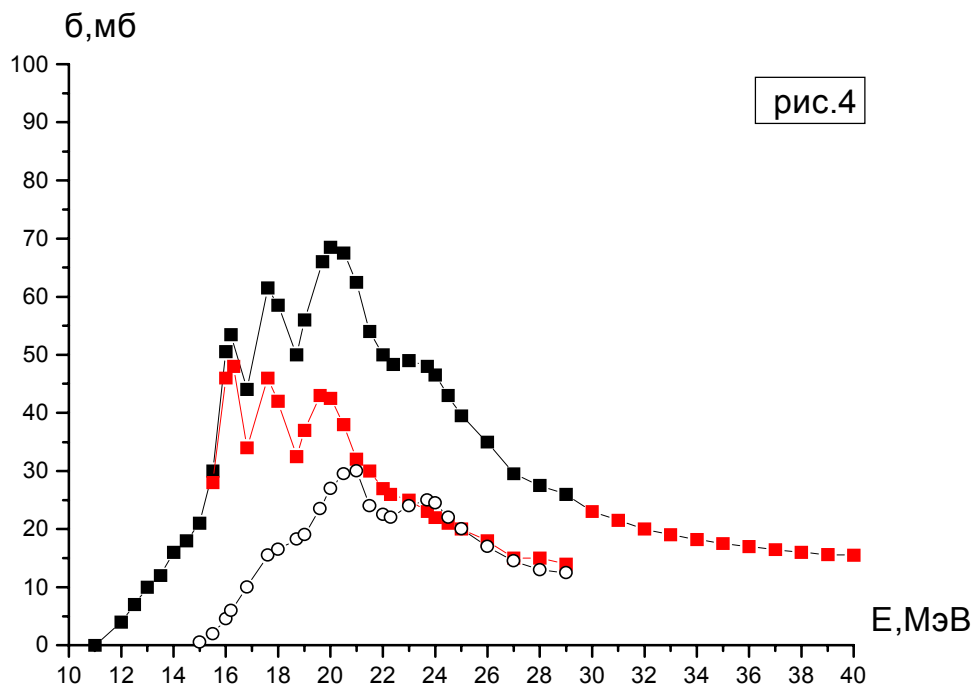
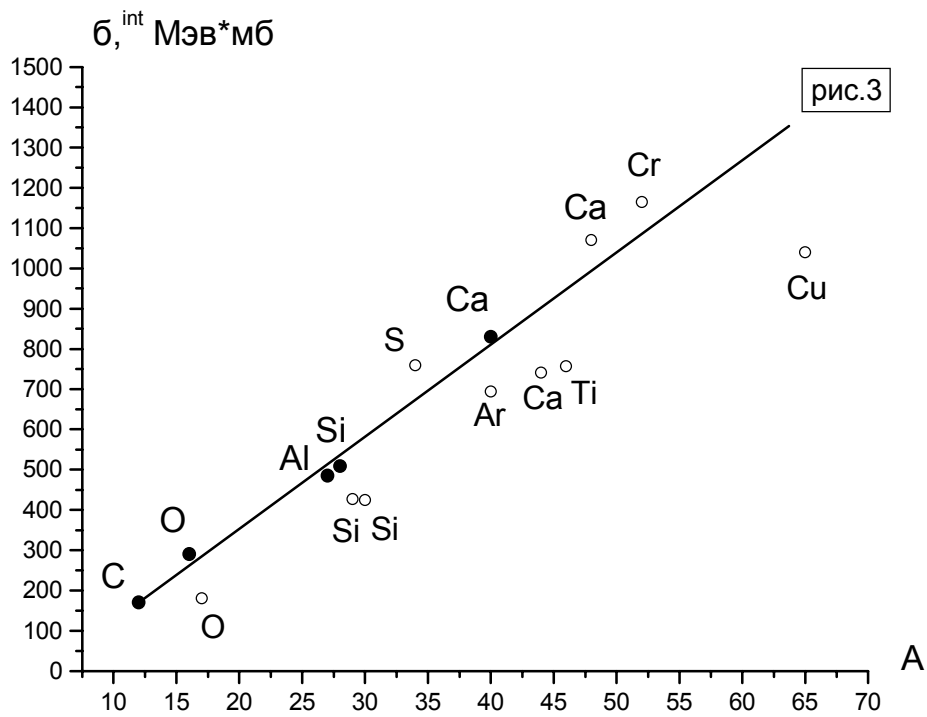




●●● - ^{12}C (x3)

○○○ - ^{40}Ca (шаг 0,4МэВ)

На рис.4 в качестве примера показаны данные для ядра ^{48}Ti . В области ниже 30 МэВ $\sigma(\gamma, \text{abs})$ для этого ядра получено суммированием экспериментальных фотопротонного [40] и фотонейтронного [41] сечений. В области выше 30 МэВ «хвост» ГДР получен умножением сглаженного сечения ближайшего реперного ядра ^{40}Ca [5] на коэффициент (3), равный 1,19.



Данные работы: R.Sutton, M.N.Thompson, M.Sugawara, K.Shoda, T.Saito, H.Tsubota. Nucl.Phys.A339 (1980) 125-131 – фотонейтронное (●) сечение и J.Weise et al., Res.Rep.Lab.Nucl.Sci., Tohoku University, 11 (1978) 43 – фотопротонное (○).

3. Представление полученных сечений

Все сечения фотопоглощения приведены в Приложении. Для пяти реперных ядер (^{12}C , ^{16}O , ^{27}Al , ^{28}Si и ^{40}Ca) это экспериментально измеренные сечения, полученные в Майнце [5]. Для остальных ядер – это сечения фотопоглощения, полученные в соответствии с процедурой, описанной в предыдущем параграфе. Как правило, до 30 МэВ эти сечения являются суммой экспериментальных фотонуклонных сечений. В области 30-40 МэВ эти сечения являются нормированными с помощью коэффициента (3) сечениями фотопоглощения одного из реперных ядер (обычно, ближайшего). При этом соответствующий участок сечения аппроксимировался монотонно спадающей гладкой функцией.

Сечение фотопоглощения для реперных ядер – это совокупность экспериментальных точек. Они получены с шагом 0.2 МэВ. Ошибки в отдельных точках не приводятся. Представление о них дает разброс точек.

Для других ядер сечения ниже 30 МэВ, полученные суммированием фотонуклонных сечений, представлены в виде набора точек с равномерным шагом по энергии (0.2; 0.25 или 0.5 МэВ). Во многих случаях эти точки не являются непосредственно теми, которые приводят авторы работ или их простой суммой, поскольку отдельные фотонуклонные сечения определялись в разных работах с разным (часто неравномерным) шагом по энергии и сами эти сечения измерялись в подчас несовпадающих энергетических диапазонах и с различной точностью. Для получения сечений фотопоглощения с помощью соотношения (1) требовался переход к одной и той же равномерной энергетической шкале с использованием метода интерполяции. Причем необходимо было сохранить основные структурные особенности сечений. Приведенные в приложении сечения – итог всей этой работы. Эти сечения – не непосредственно измеренные, а синтезированные на основе данных измерений. В этой связи мы не указываем ошибок в отдельных точках (сами эти точки во многих случаях не являются непосредственно экспериментально определенными). Вместе с тем все главные особенности синтезированных сечений, включая промежуточную структуру, отчетливо проявляются в экспериментальных фотонуклонных сечениях, и попали в итоговые сечения из исходных опытных данных.

Авторы благодарят начальника ЦДФЭ НИИЯФ МГУ д.ф.м.н. Варламова В.В. за предоставленные материалы и полезные обсуждения.

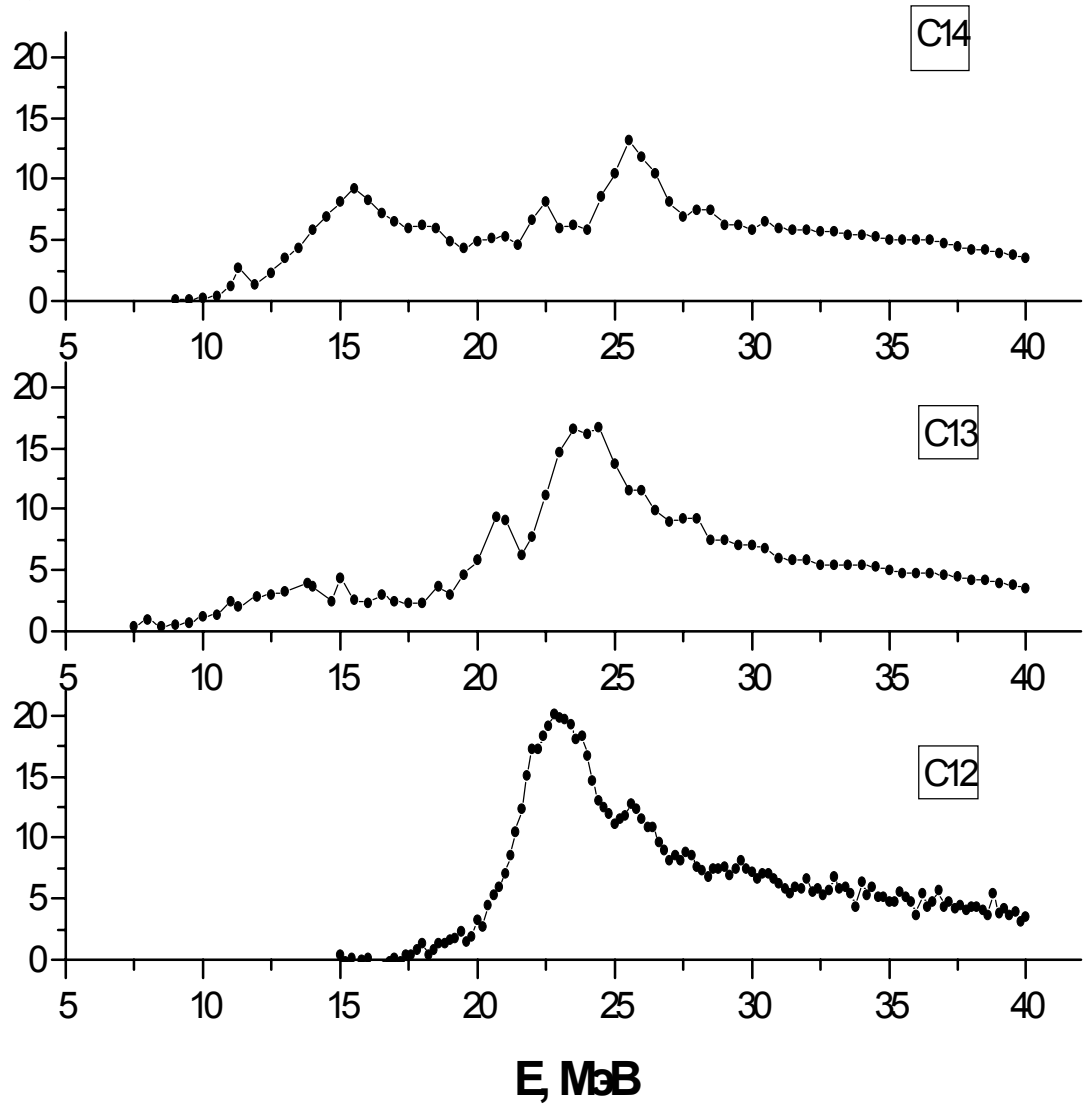
Литература.

1. И.М.Капитонов. ЯФ, 38 (1983) 612.
2. R.A.Eramzhyan, B.S.Ishkhanov, I.M.Kapitonov, V.G.Neudatchin. Physics Reports, №№ 4-6 (1986) 136.
3. Б.С.Ишханов, И.М.Капитонов, В.Г.Неудачин, В.Г.Шевченко, Р.А.Эрамжян, Н.П. Юдин. УФН, 160 (1990) 57.
4. Б.С.Ишханов, И.М.Капитонов, В.Г.Неудачин, Н.П.Юдин. ЭЧАЯ, 31, вып.6 (2000) 1343.
5. J.Ahrens, H.Borchert, K.H.Czok, H.B.Eppler, H.Gimm, H.Gundrum, M.Kröning, P.Riehn, G.Sita Ram, A.Zieger, B.Ziegler. Nucl. Phys., A251 (1975) 479.
6. D.Zubarov, R.A.Sutton, M.N.Thompson, J.W.Jury. Phys.Rev., C27 (1983)1957.
7. J.W.Jury, B.L.Berman, D.D.Faul, P.Meyer, K.G.McNeill, J.G.Woodworth. Phys.Rev., C19 (1979) 1684.
8. D.J.McLean, M.N.Thompson, D.Zubarov, K.G.McNeill, J.W.Jury, B.L.Berman. Phys.Rev., C44 (1991) 1137.
9. R.E.Pywell, B.L.Berman, J.G.Woodworth, J.W.Jury, K.G.McNeill, M.N.Thompson. Phys.Rev., C32 (1985) 384.
10. E.G.Fuller, Physics Reports, 127, №3 (1985) 185.
11. N.Bezic, D.Brajnik, D.Jamnik, G.Kernel. Nucl.Phys., A128 (1969) 426.
12. В.П.Денисов, Л.А.Кульчицкий, И.Я.Чубуков. ЯФ, 14 (1971) 889.
13. A.D.Bates, R.P.Rassool, E.A.Milne, M.N.Thompson, K.G.McNeill. Phys.Rev., C40 (1989) 506.
14. K.G.McNeill, A.D.Bates, R.P.Rassool, E.A.Milne, M.N.Thompson, Phys.Rev., C37 (1988) 1403.
15. D.Zubarov, M.N.Thompson, B.L.Berman, J.W.Jury, R.E.Pywell, K.G.McNeill. Phys.Rev., C 45 (1992) 174.
16. J.W.Jury, B.L.Berman, D.D.Faul, P.Meyer, J.G.Woodworth. Phys.Rev., C21 (1980) 503.
17. J.G.Woodworth, K.G.McNeill, J.W.Jury, R.A.Alvarez, B.L.Berman, D.D.Faul, P.Meyer. Phys.Rev., C19 (1979) 1667.
18. Б.С.Ишханов, И.М.Капитонов, В.И.Шведун, А.И.Гутый, А.М.Парлаг. ЯФ, 33 (1981) 581.
19. A.Veyssiere, H.Beil, R.Bergere, P.Carlos, A.Lepretre, A. de Miniac. Nucl.Phys., A227 (1974) 513.
20. В.В.Варламов, Б.С.Ишханов, И.М.Капитонов, Ю.И.Прокопчук, В.И.Шведун, ЯФ, 30 (1979) 1185.
21. B.S.Ishkhanov, I.M.Kapitonov, E.V.Lazutin, I.M.Piskarev, V.G.Shevchenko. Nucl.Phys., A186 (1972) 438.
22. R.A.Sutton, M.N.Thompson, M.Hirooka, T.Tanaka, Kshoda. Nucl.Phys., A452 (1986) 41.
23. R.A.Alvarez, B.L.Berman, D.R.Lasher, T.W.Phillips, S.C.Fultz. Phys.Rev., C4 (1971) 1673.
24. B.S.Ishkhanov, I.M.Kapitonov, V.N.Orlin, I.M.Piskarev, V.I.Shvedunov, V.V.Varlamov. Nucl. Phys., A313 (1979) 317.
25. S.C.Fultz, R.A.Alvarez, B.L.Berman, M.A.Kelly, D.R.Lasher, T.W.Phillips, J.McElhinney. Phys.Rev., C4 (1971) 153.
26. P.G.Kean. M.Sc. Thesis, University of Melbourne, 1982.

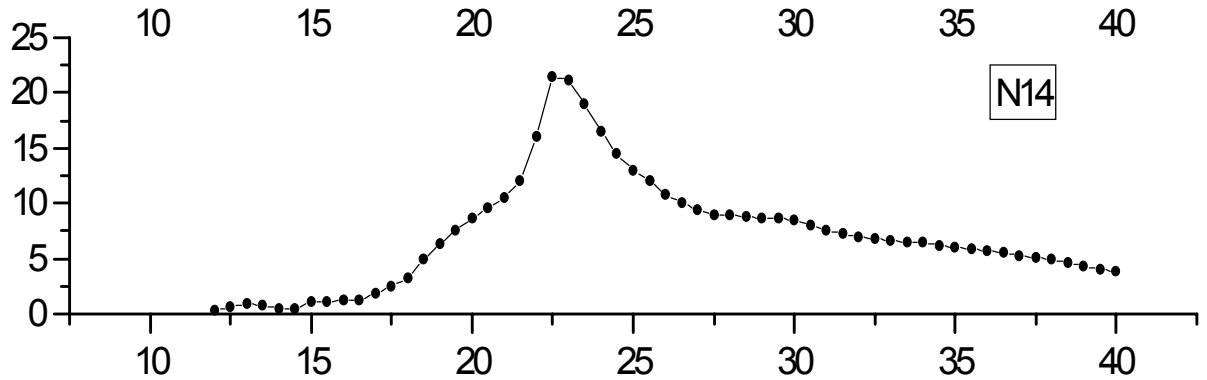
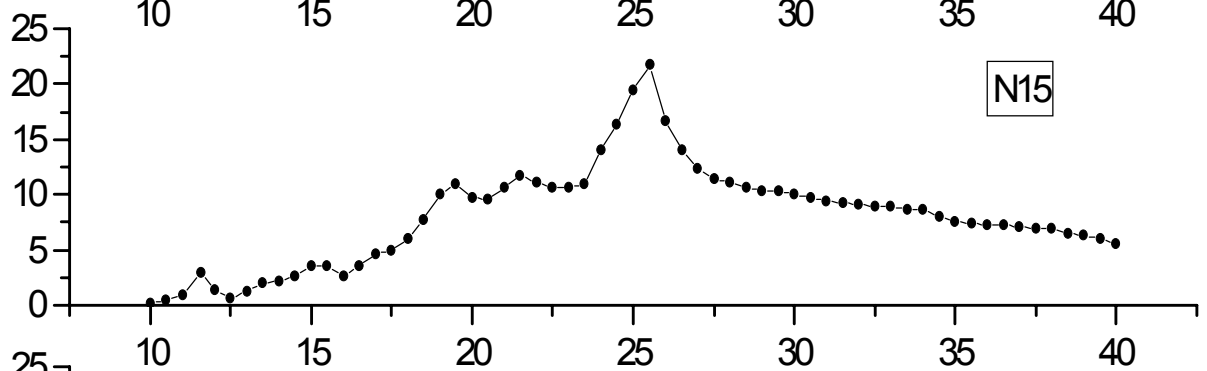
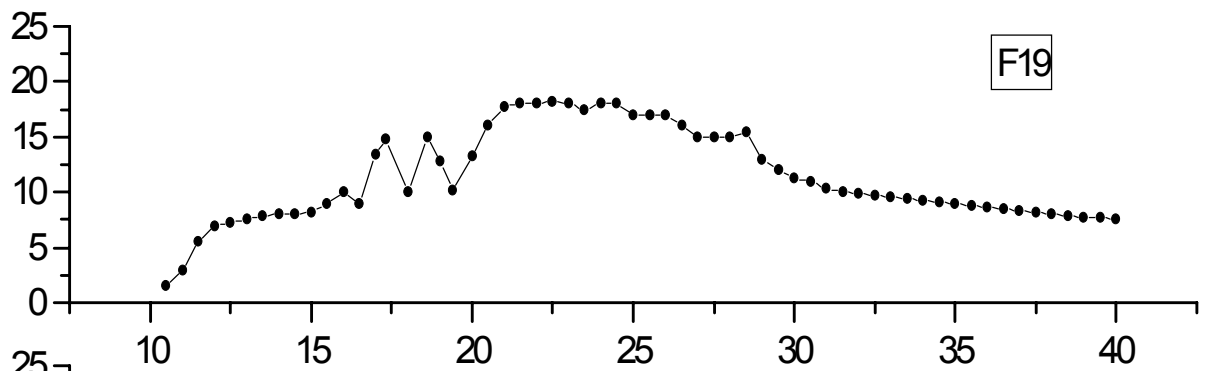
27. R.E.Pywell, B.L.Berman, J.G.Woodworth, J.W.Jury, K.G.McNeill, M.N.Thompson. Phys.Rev., C32 (1983) 960.
28. G.Odgers. M.Sc. Thesis, University of Melbourne, 1984.
29. В.В.Варламов, Б.С.Ишханов, И.М.Капитонов, Ж.Л.Кочарова, В.И.Шведун. ЯФ, 28 (1978) 590.
30. Б.И.Горячев, Б.С.Ишханов, В.Г.Шевченко, Б.А.Юрьев. ЯФ, 7 (1968) 1168.
31. Y.I.Assafiri, M.N.Thompson. University of Melbourne, Preprint UM-P-86/48.
32. Y.I.Assafiri, G.F.Egan, M.N.Thompson. Nucl.Phys., A413 (1984) 416.
33. R.A.Sutton, P.D.Allen, M.N.Thompson, E.G.Muirhead. University of Melbourne, Preprint UM-P-82/74.
34. M.N.Thompson, K.Shoda, M.Sugawara, R.Pywell et al. Res.Rep.Lab.Nucl.Sci., Tohoku University, 8 (1975) 266.
35. Y.I.Assafiri, M.N.Thompson. Nucl.Phys., A357 (1981) 429.
36. S. Oikawa, K. Shoda, Nucl. Phys. A277 (1977) 301.
37. P.D.Harty, M.N.Thompson. University of Melbourne, Preprint UM-P-81/25.
38. G.J.O'Keefe, M.N.Thompson, Y.I.Assafiri, R.E.Pywell, K.Shoda. University of Melbourne, Preprint UM-P-86/54.
39. R.E.Pywell, M.N.Thompson. Nucl.Phys., A 318 (1979) 461.
40. J.Weise et al., Res.Rep.Lab.Nucl.Sci., Tohoku University, 11 (1978) 43.
41. R.Sutton, M.N.Thompson, M.Sugawara, K.Shoda, T.Saito, H.Tsubota. Nucl.Phys., A339 (1980) 125.
42. И.М. Капитонов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук, НИИЯФ МГУ, 1969.
43. T.Tanaka, M.Hirooka, H.Tsubota, M.Sugawara. Res.Rep.Lab.Nucl.Sci., Tohoku University., 14 (1981) 137.
44. S.C.Fultz, R.L.Bramblett, J.T.Caldwell, R.R.Harvey. Phys.Rev., 133 (1964) B1149.

СЕЧЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ ФОТОНОВ ЯДРАМИ С $A = 12 - 65$

б,мб

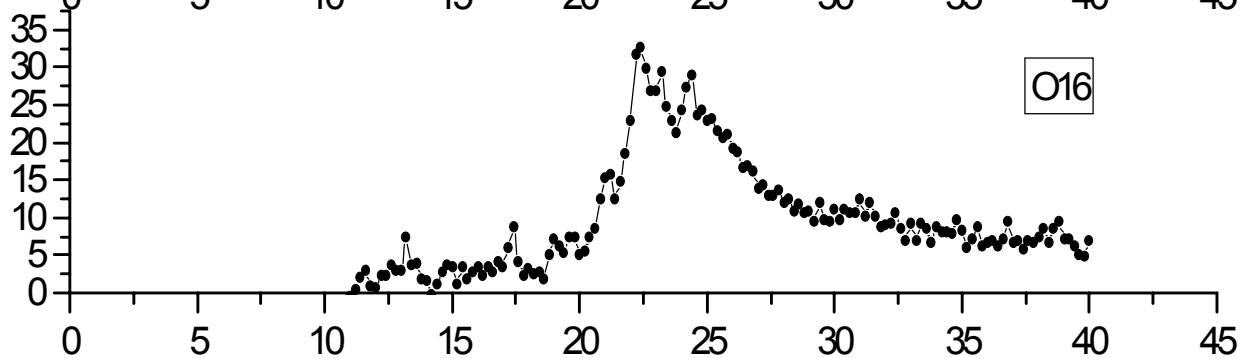
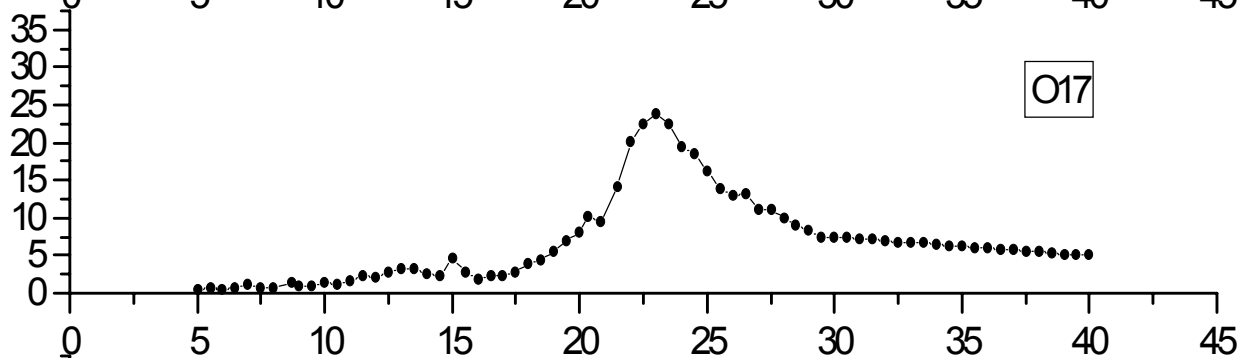
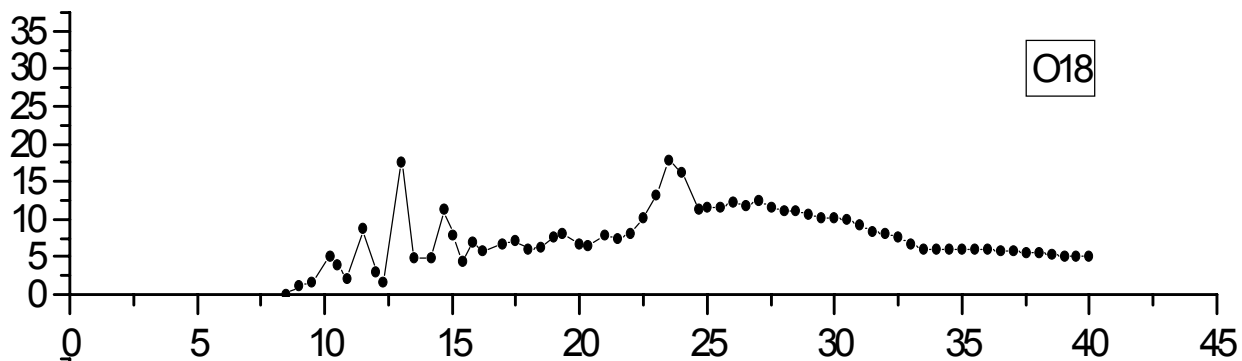


$\sigma, \text{мб}$



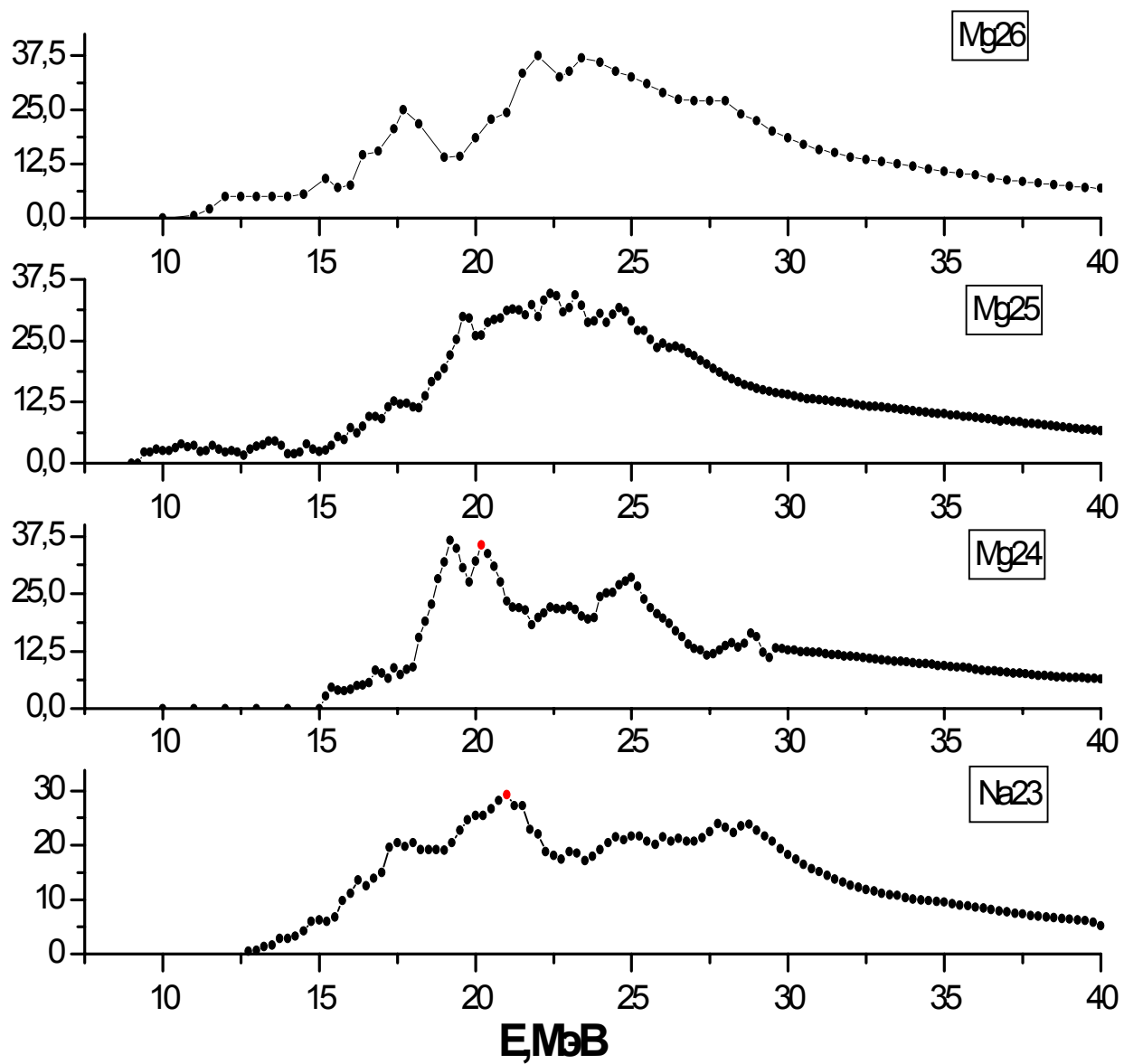
$E, \text{МэВ}$

$\beta, \text{M6}$

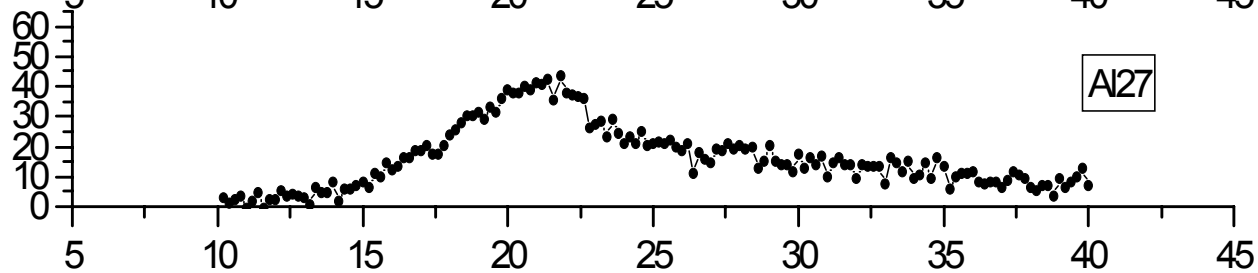
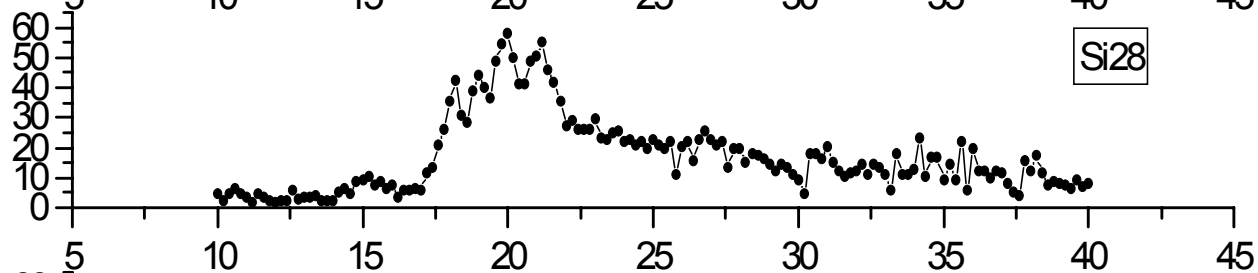
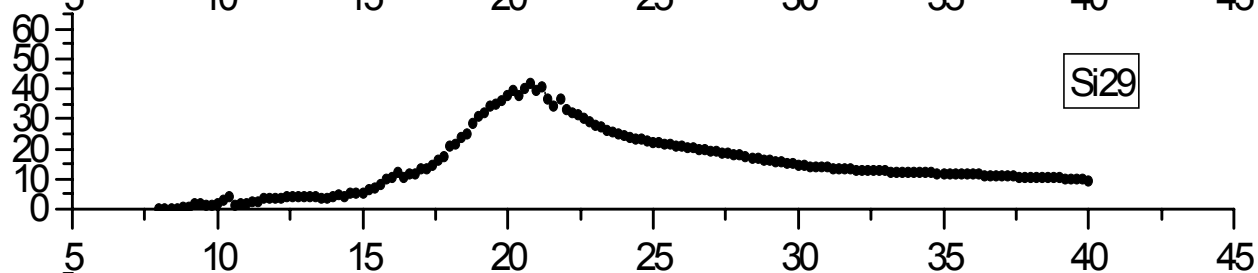
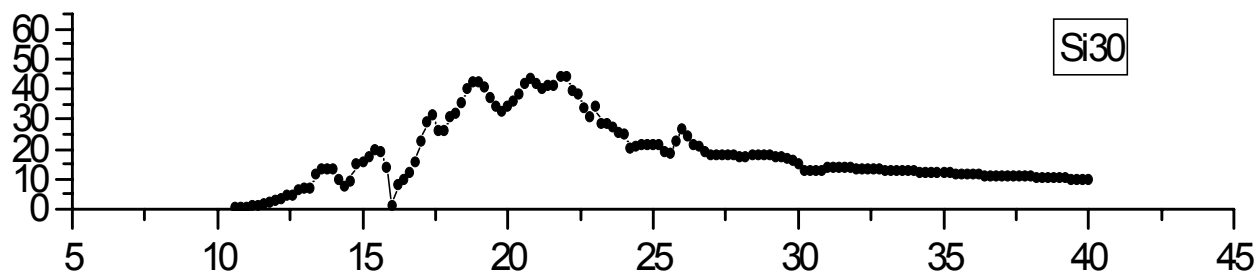


$E, \text{M3B}$

б,мб

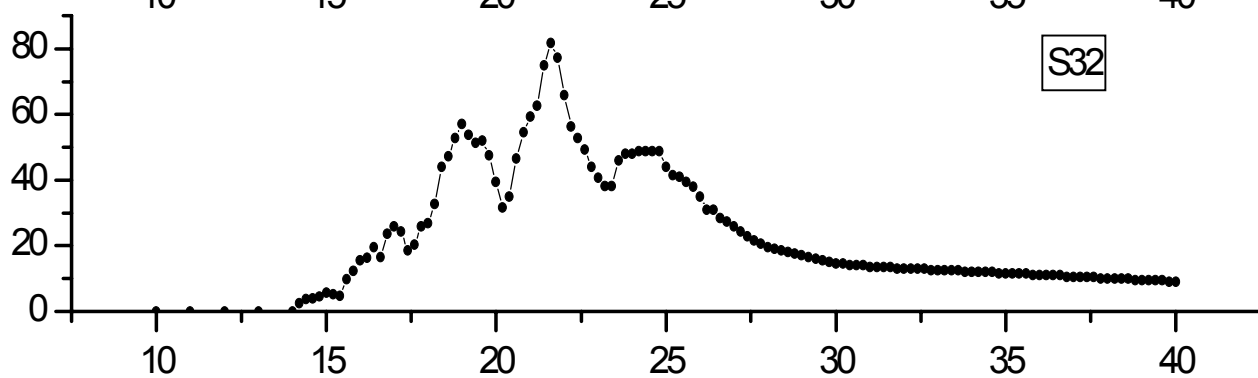
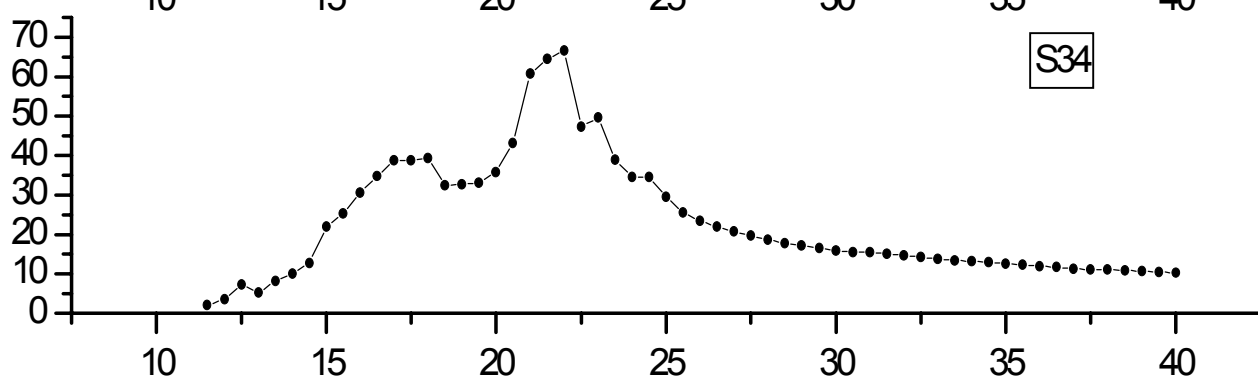
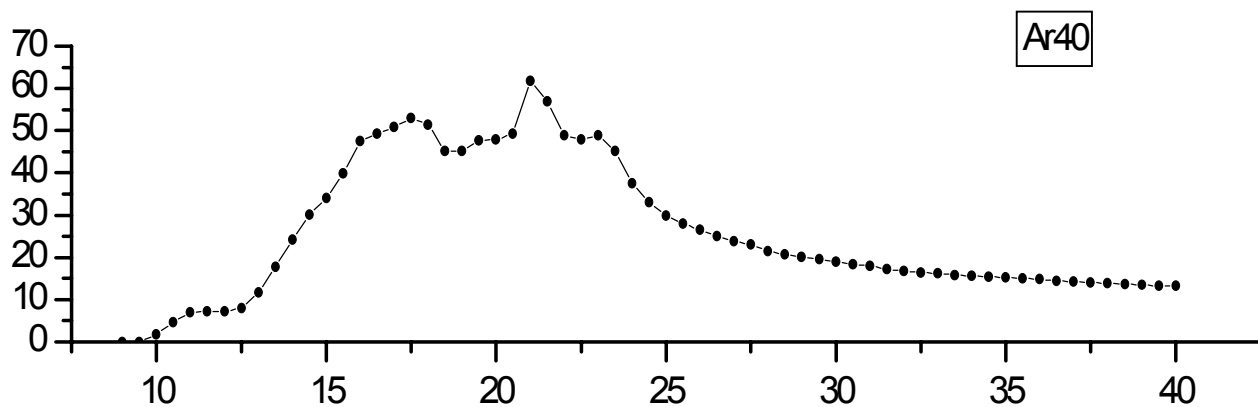


$\sigma, \text{мб}$



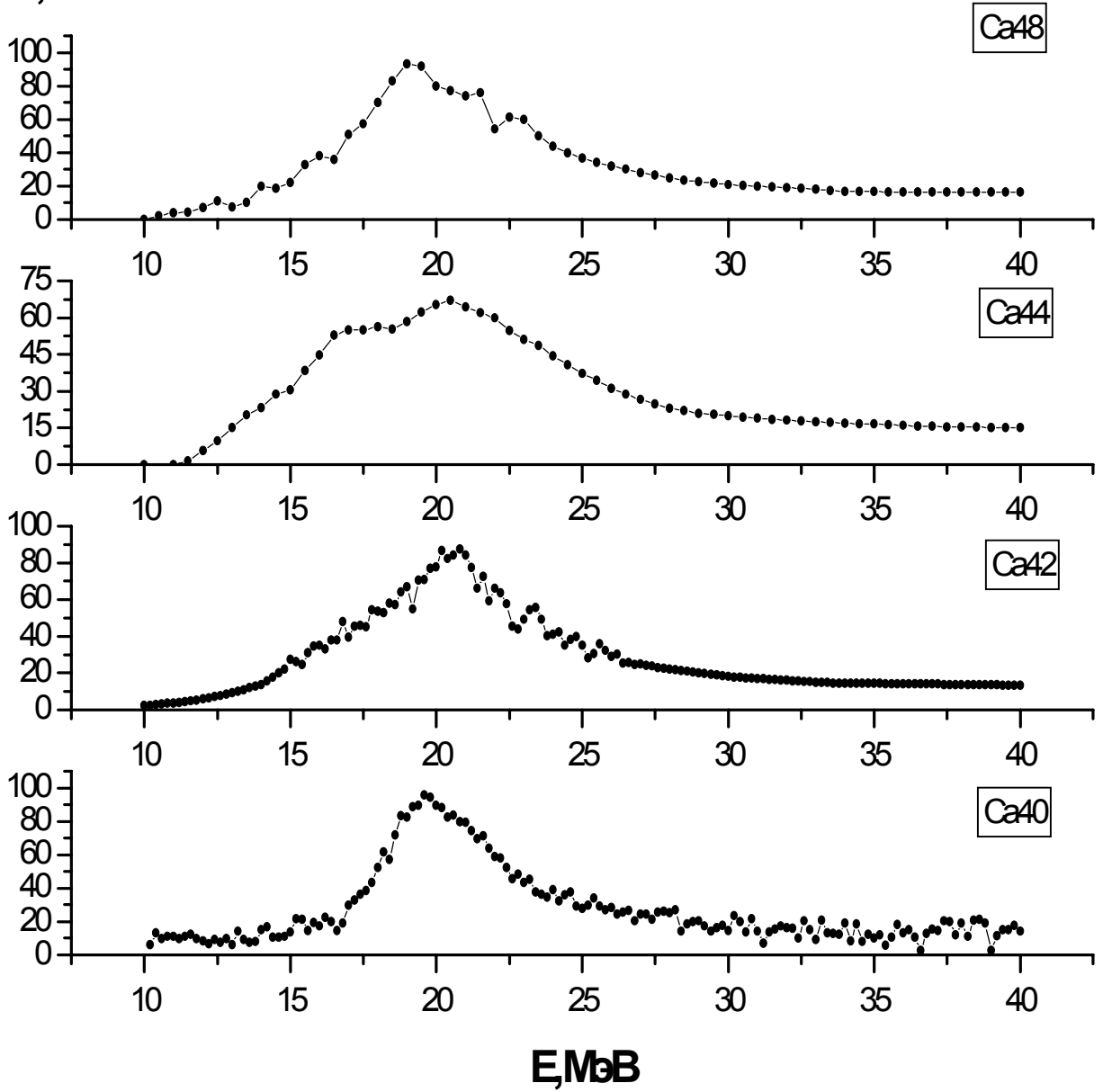
$E, \text{MэВ}$

$\bar{\sigma}, \text{Mb}$

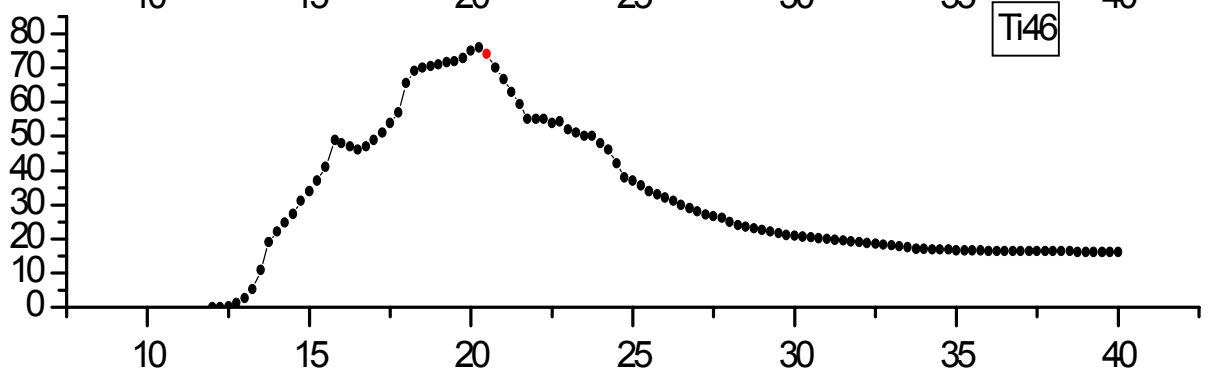
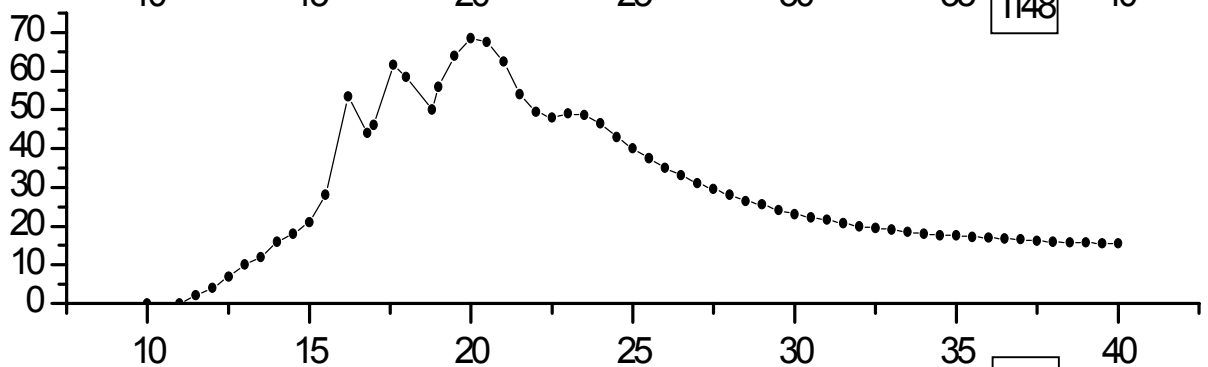
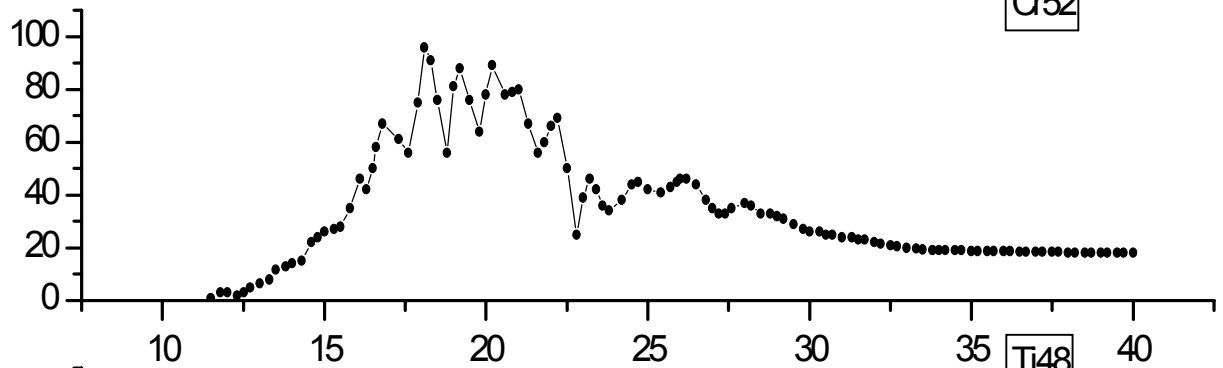


E, MeV

$\beta, \text{Мб}$

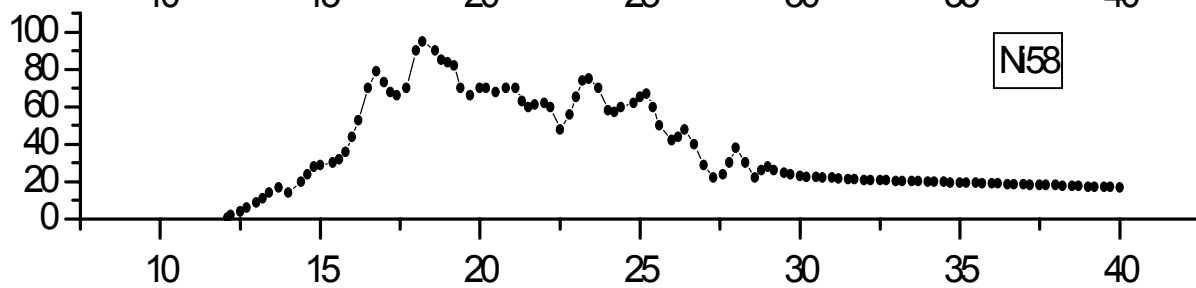
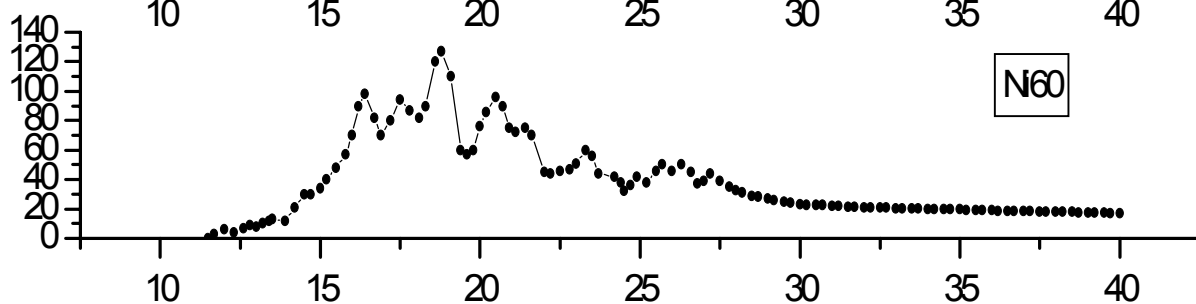
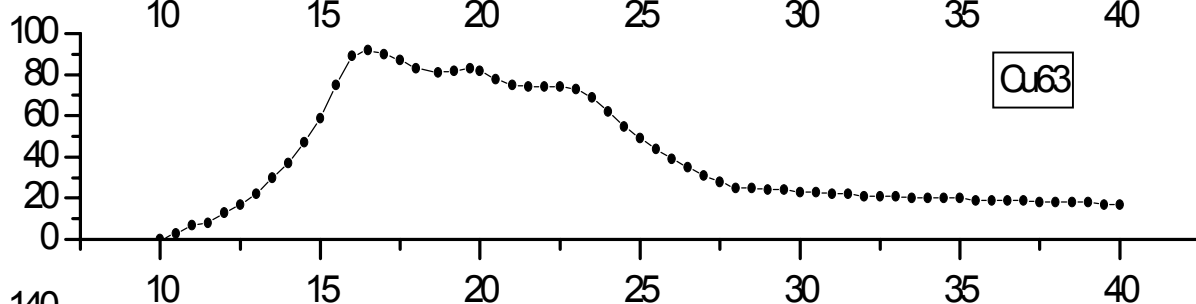
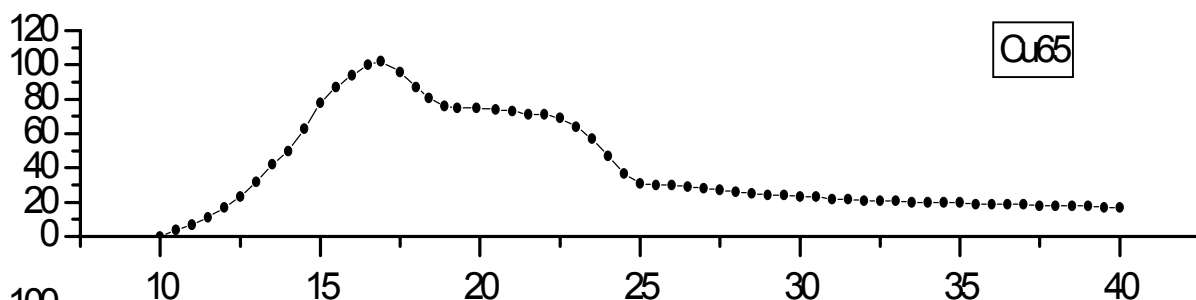


$\sigma, \text{Мб}$



$E, \text{МэВ}$

$\bar{b}, \text{Mб}$



E, MeB

**Борис Саркисович Ишханов
Игорь Михайлович Капитонов
Елена Игоревна Лилеева
Евгений Васильевич Широков
Вера Александровна Ерохова
Михаил Алексеевич Ёлкин
Анна Владимировна Изотова**

**СЕЧЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ ФОТОНОВ
АТОМНЫМИ ЯДРАМИ С ЧИСЛОМ НУКЛОНОВ 12 - 65**

Препринт НИИЯФ МГУ – 2002-27/711

Работа поступила в ОНТИ 04.10.2002 г.

ИД № 00545 от 06.12.1999

**Издательский отдел
Учебно-научного центра довузовского образования**

117246, Москва, ул. Обручева, 55А
119992, Москва, Ленинские горы, ГЗ МГУ, Ж-105а
Тел./факс (095) 718-6966, 939-3934
e-mail: izdat@abiturcenter.ru
<http://www.abiturcenter.ru>

Гигиенический сертификат № 77.99.2.925.П.9139.2.00 от 24.02.2000
Налоговые льготы – Общероссийский классификатор продукции
ОК-005-93, том 1 – 953000

Подписано в печать 09.10.2002 г. Формат 60x90/16
Бумага офсетная № 2. Усл. печ. л. 1,34
Тираж 50 экз. Заказ № 231

Отпечатано в Мини-типографии УНЦ ДО
в полном соответствии с качеством
представленного оригинал-макета