

**Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов**

---

**Конфигурационное расщепление  
гигантского дипольного резонанса  
у легких атомных ядер.**

**30 лет открытия**

**28 ноября 2017 года**

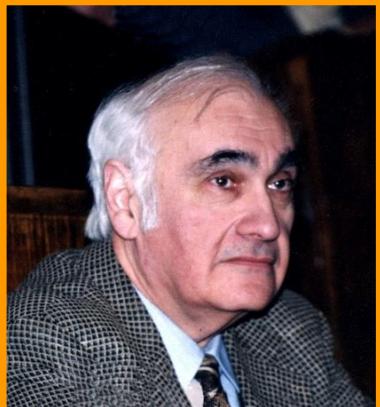
Зарегистрировано 5 ноября 1987 г. в Государственном реестре открытий СССР



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
КОМИТЕТ СССР  
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ  
И ОТКРЫТИЙ



В.Г. Шевченко



Б.Г. Шевченко



ДИПЛОМ  
НА ОТКРЫТИЕ

№ 342

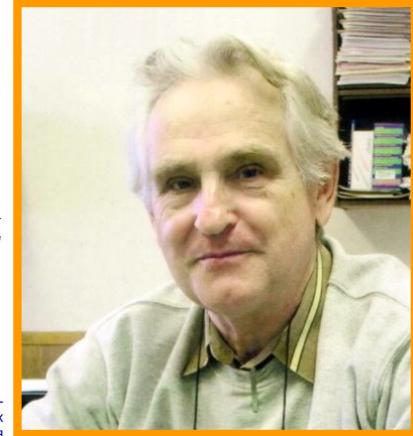
„Закономерность конфигурационного расщепления гигантского дипольного резонанса у легких атомных ядер“

В соответствии с Положением об открытиях, изобретениях и рационализаторских предложениях Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытых установил, что граждане Союза Советских Социалистических Республик

ИШХАНОВ БОРИС САРКИСОВИЧ  
КАПИТОНОВ ИГОРЬ МИХАЙЛОВИЧ  
НЕУДАЧИН ВЛАДИМИР ГЕРМАНОВИЧ  
ШЕВЧЕНКО ВАЛЕРИАН ГРИГОРЬЕВИЧ  
ЮДИН НИКОЛАЙ ПРОКОПьевич

сделали открытие, определяемое следующей формулой:

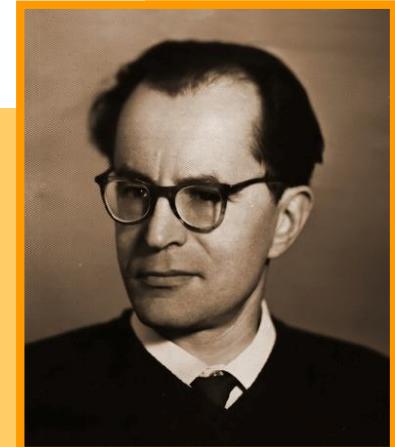
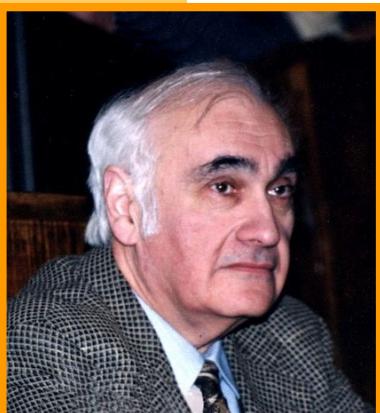
„Установлена неизвестная ранее закономерность конфигурационного расщепления гигантского дипольного резонанса у легких атомных ядер, заключающаяся в том, что сечение взаимодействия этих ядер с гамма-квантами в области электрического дипольного поглощения расщеплено по энергии на группы переходов, связанные с формированием различных ядерных конфигураций, причем низкоэнергетическая группа, обусловленная переходами нуклонов из внешней ядерной оболочки, — распадается с испусканием нуклонов больших энергий, а высокозергетическая, обусловленная переходами из внутренней оболочки, — с испусканием нуклонов малых энергий“.



Н.П. Юдин

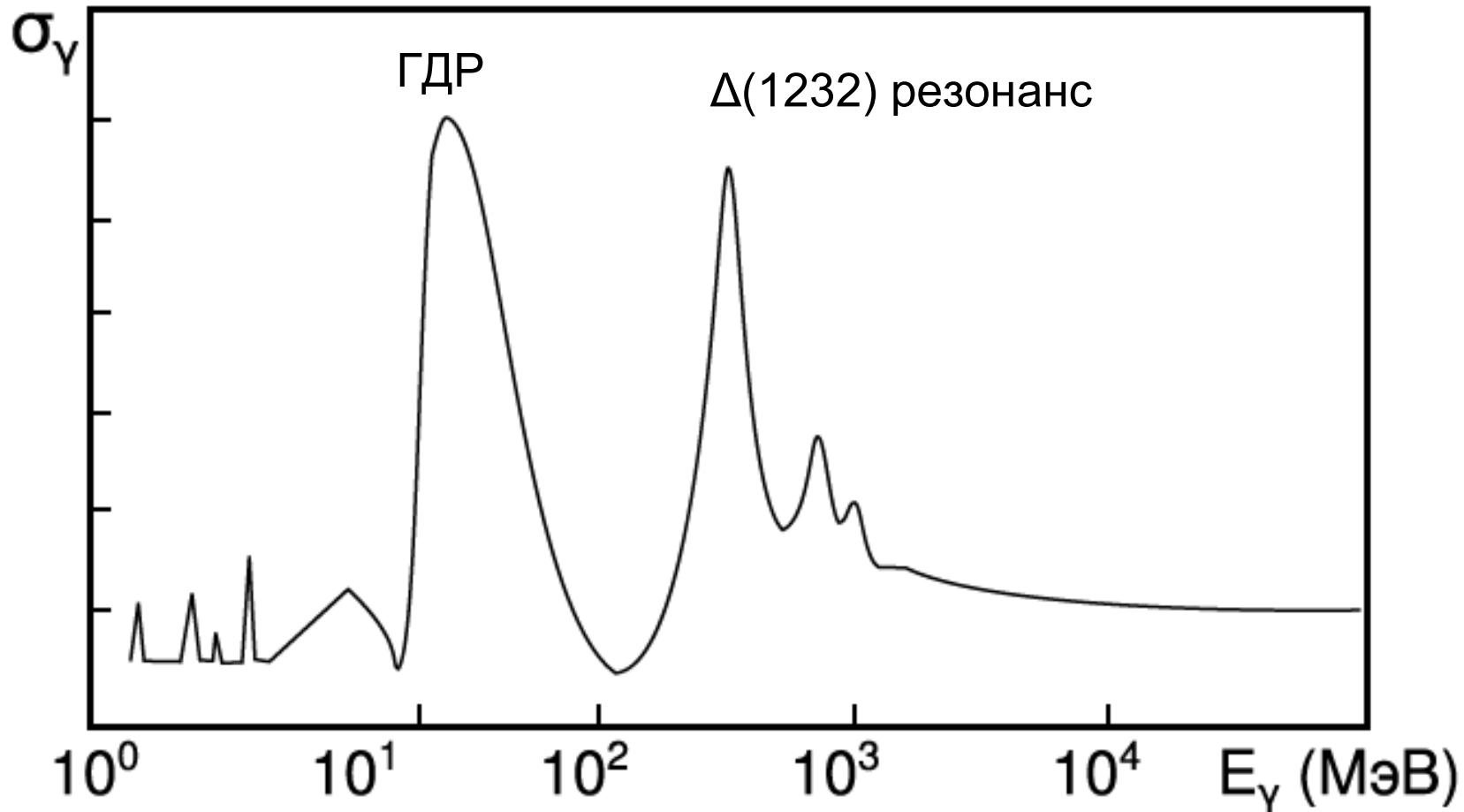


В.Г. Неудачин



И.М. Капитонов

# Взаимодействие $\gamma$ -квантов с атомными ядрами



Схематическая зависимость сечений реакций от энергии  $\gamma$ -квантов.

# А. Б. Мигдал

## «Квадрупольное и дипольное γ-излучение ядер» ЖЭТФ 15, 81 (1945 г.)



- Предсказано явление ГДР.
- Впервые в ядерную физику была введена концепция квантовых коллективных мод возбуждения.
- Показано, что энергия максимума ГДР определяется величиной коэффициента при энергии симметрии в формуле Бете-Вайцзеккера энергии связи ядра и средней кинетической энергией нуклонов в ядре.

## Photo-Fission in Heavy Elements\*

G. C. BALDWIN AND G. S. KLAIBER

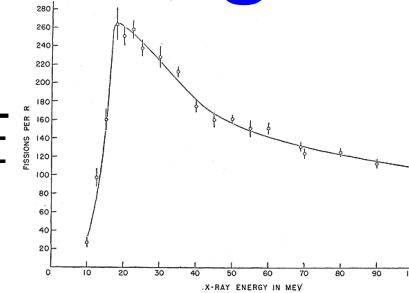
*Research Laboratory, General Electric Company, Schenectady, New York*

(Received October 4, 1946)

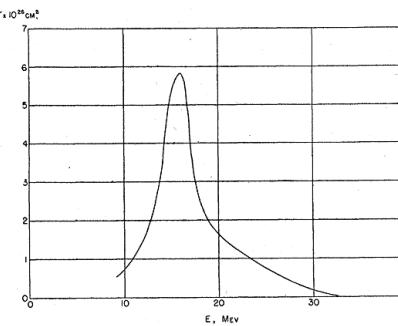
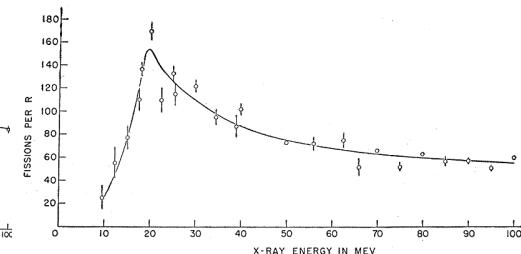
Measurements have been made of the yields of photo-fission in uranium and thorium together with a search for photo-fission in other heavy elements, using continuous x-rays from a 100-Mev betatron. Fission was detected in the presence of an intense background of x-rays by a differential ionization chamber and linear amplifier, the substance investigated being coated on an electrode of one chamber. A Victoreen  $r$ -thimble, surrounded by  $\frac{1}{2}$ -inch lead walls, was used to monitor the radiation. Curves were obtained of the number of fissions per roentgen unit for uranium and thorium. These are of similar shape, the uranium curve showing a rapid rise with increasing x-ray energy up to 18 Mev, followed by a gradual decrease as the maximum energy of the x-rays is further increased; the yield of fissions per roentgen at 100 Mev is about half that at 18 Mev. The ratio of uranium and thorium yields is very nearly two at all x-ray energies. No fissions were observed in intense 100-Mev irradiations of Bi, Pb, Tl, Au, W, and Sm.

Сечение реакции Выход реакции

**238U**



**232Th**



Макс. сечения, МэВ

**14,34**

**14,2**

## X-Ray Yield Curves for $\gamma - n$ Reactions

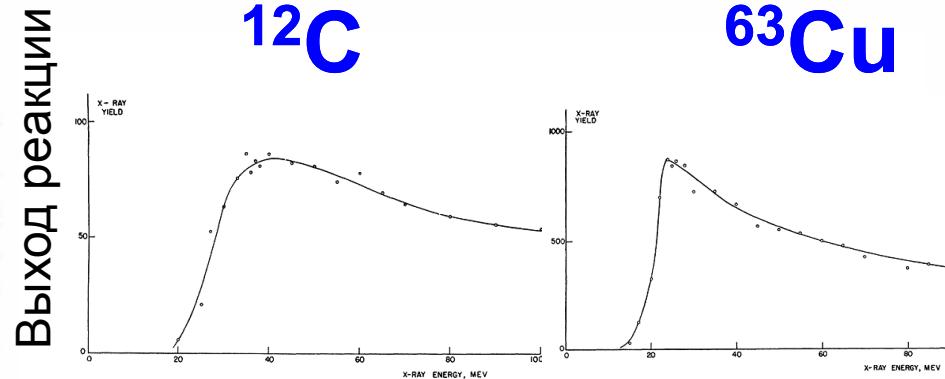
G. C. BALDWIN AND G. S. KLAIBER\*

*General Electric Company, Schenectady, New York*

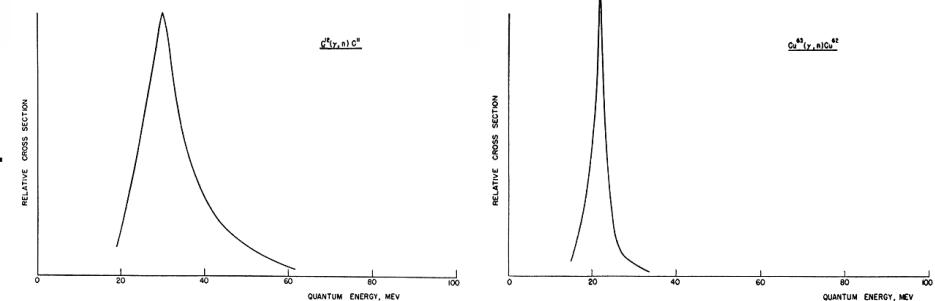
(Received February 5, 1948)

Yield curves for the reactions  $C^{12}(\gamma, n)C^{11}$  and  $Cu^{63}(\gamma, n)Cu^{62}$  have been taken with x-rays up to 100 Mev. The induced radioactivity at each energy is plotted per unit x-ray intensity as measured by a  $r$ -meter thimble jacketed by  $\frac{1}{2}$  in. of Pb. Both yield curves are similar to the photo-fission yield curves, the x-ray yield increasing to a maximum and then slowly decreasing as the x-ray energy is increased. With simple assumptions regarding the generation of ionizing secondaries in the Pb walls of the monitor and assumption of a constant intensity x-ray spectrum, these curves can be analyzed. The relative cross section is found to have a maximum at approximately 22 Mev for  $Cu^{62}$  and 30 Mev for  $C^{11}$ , decreasing to negligible values at high quantum energies. This decrease in cross section can be attributed to competition from multiple disintegrations. These reactions provide detectors sensitive only to part of the x-ray spectrum. Absorption curves have been taken in Pb using uranium photo-fission and in Cu and Pb using the  $Cu^{63}(\gamma, n)Cu^{62}$  reaction as detectors. The resulting absorption coefficients compare favorably with theoretical values.

Выход реакции



Сечение реакции



Макс. сечения, МэВ

## On Nuclear Dipole Vibrations

M. GOLDHABER

*Department of Physics, University of Illinois, Urbana, Illinois*

AND

E. TELLER

*Institute of Nuclear Studies, University of Chicago, Chicago, Illinois*

(Received July 22, 1948)

The high frequency resonances recently observed for  $(\gamma, n)$  reactions as well as photo-fission are interpreted in analogy with the "reststrahl frequencies" of polar crystals. The estimated frequencies are in good agreement with the experimental results. An interesting consequence of this interpretation is the conclusion that strong resonance scattering of  $\gamma$ -rays should take place at a frequency characteristic of the scattering nucleus.

$$\hbar\omega \sim A^{-1/3}$$

$$\int \sigma d\omega \sim A$$

# Коллективная модель

---

- Danos M., **Ann. d. Phys.** (Leipzig) **10** 265 (1952).
- Okamoto K., **Progr. Theor. Phys.** **15** 75 (1956).
- Danos M., Greiner W. **Phys. Rev. B** **134** 284 (1964).
- Huber M.G., Danos M., Weber H.J., Greiner W.  
**Phys. Rev. 155** 1073 (1968).

Wilkinson, D. H.  
1956

Physica XXII  
1039-1061  
Amsterdam Nuclear  
Reactions Conference

## NUCLEAR PHOTODISINTEGRATION

by D. H. WILKINSON \*)

Cavendish Laboratory, Cambridge, England †)

### Synopsis

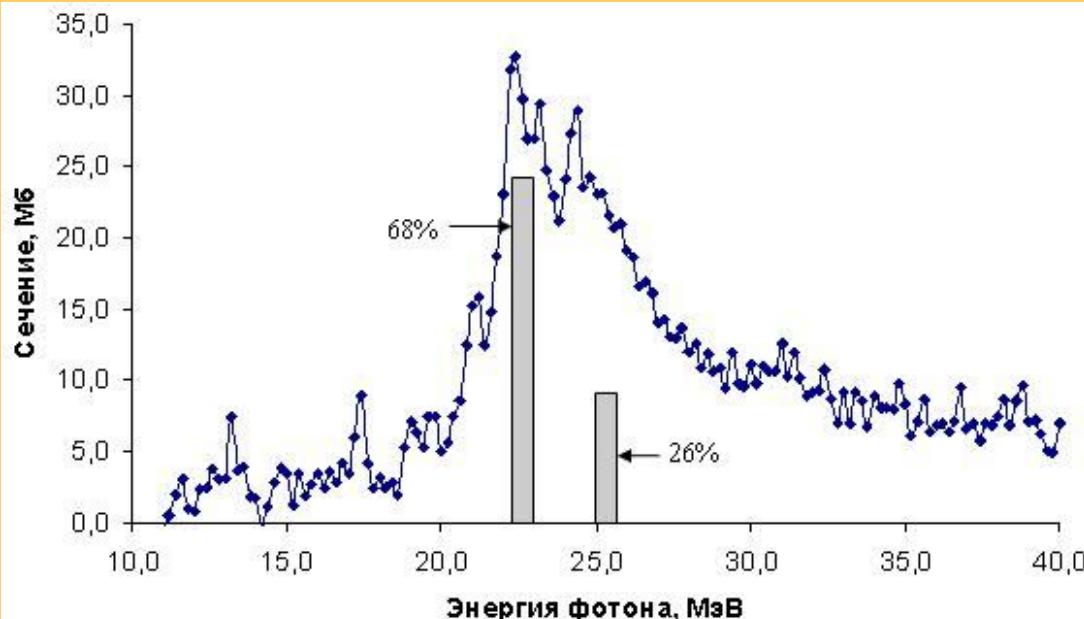
A survey is given of the chief mechanisms by which electromagnetic radiations interact with nuclei. The shell, collective and high momentum models are separated and their regions of applicability are approximately delimited. In particular the importance of high-momentum states for high energy photon interaction is emphasized. After comment on the success of the shell model in describing dipole transitions in light elements an examination is made of the "giant resonances" from the same point of view. After some discussion of earlier collective models of this phenomenon it is suggested that the absorption of gamma-rays in the closed shells of the nuclear core will give rise to a giant resonance. It is shown how such absorption is strong enough to accord with experiment and how there is a very strong clustering of such shell model transitions in resonance form. Difficulties with the absolute energy scale are discussed but not completely resolved. The widths and variations in width of the experimental giant resonance are satisfactorily accounted for. The "resonance direct" process by which a nucleon may be emitted from the nucleus in a single-particle state is described and it is pointed out that such emission leads to a roughly "Maxwellian" spectrum. The anomalous emission of protons from heavy nuclei is dealt with in detail and it is shown that the resonance direct mechanism accounts quantitatively for such emission from the points of view of absolute cross-section and also proton energy distribution.

# Модель ядерных оболочек

---

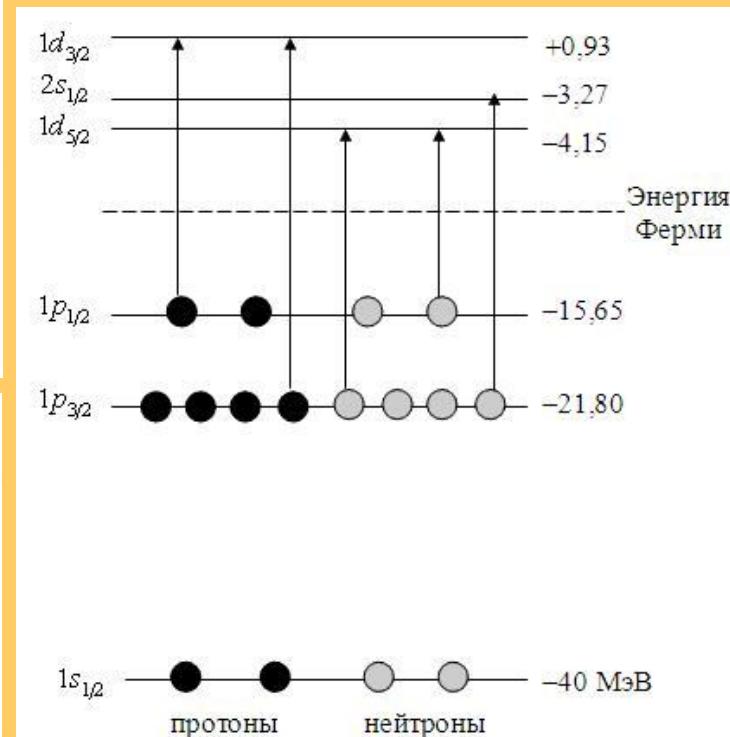
- Wilkinson D H. **Physica** **22** 1039, 1043, 1058 (1956).
- Elliott J P, Flowers B H. **Proc. Roy. Soc. A****242** 57 (1956).
- Brown G E, Bolsterli M. **Phys. Rev. Lett.** **3** 472 (1959).
- Неудачин В.Г., Шевченко В. Г., Юдин Н. П. **ЖЭТФ** **39** 108 (1960).
- Балашов В. В., Чернов В. М. **ЖЭТФ** **43** 227 (1962).
- Московкин В. М., Живописцев Ф. А., Юдин Н. П. **Изв. АН СССР. Сер. Физ.** **30** 306 (1966).

**16**O



Энергии и вероятности E1-переходов в ядре  $^{16}\text{O}$ ,  
рассчитанные в рамках одночастичной модели оболочек

Переход	Энергия, МэВ	Дипольная сила, %
$1\text{p}_{3/2} \rightarrow 1\text{d}_{5/2}$	17.65	50.6
$1\text{p}_{3/2} \rightarrow 2\text{s}_{1/2}$	18.53	11.7
$1\text{p}_{3/2} \rightarrow 1\text{d}_{3/2}$	22.73	7.2
$1\text{p}_{1/2} \rightarrow 1\text{d}_{3/2}$	16.58	26.6
$1\text{p}_{1/2} \rightarrow 2\text{s}_{1/2}$	12.28	3.9

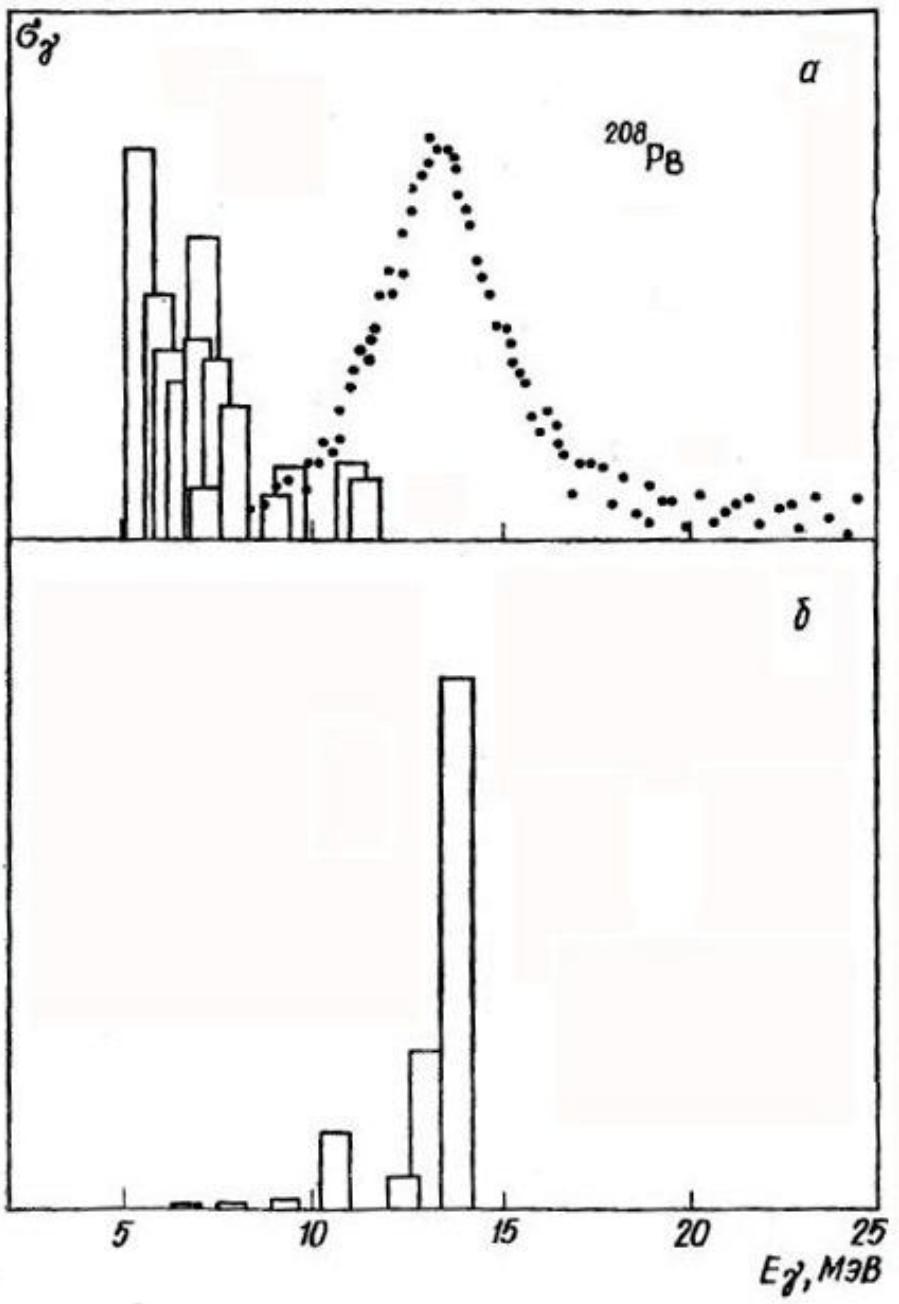


E <sub>a</sub> , МэВ	Дипольная сила, %	1p <sub>3/2</sub> →2s <sub>1/2</sub> E <sub>i</sub> =18.53 МэВ	1p <sub>3/2</sub> →1d <sub>3/2</sub> 22.73 МэВ	1p <sub>3/2</sub> →1d <sub>5/2</sub> 17.65 МэВ	1p <sub>1/2</sub> →1d <sub>3/2</sub> 16.58 МэВ	1p <sub>1/2</sub> →2s <sub>1/2</sub> 12.28 МэВ
25.4	26	-0.131	<b>0.943</b>	-0.145	0.270	-0.006
22.7	68	0.180	0.259	<b>0.880</b>	-0.345	-0.088
19.6	2	<b>0.949</b>	0.121	-0.266	-0.105	0.047
18.1	1	0.221	-0.170	0.354	<b>0.893</b>	-0.018
13.6	3	-0.026	0.020	0.096	-0.008	<b>0.995</b>

# Одночастичные переходы $^{208}\text{Pb}$

Single-proton states	$E$ , Mev	Single-proton states	$E$ , Mev	Single-neutron states	$E$ , Mev	Single-neutron states	$E$ , Mev
$1h_{11/2}^{-1} 1i_{13/2}$	6.4	$2d_{5/2}^{-1} 2f_{5/2}$	10.0	$1i_{13/2}^{-1} 1j_{15/2}$	6.7	$2f_{7/2}^{-1} 3d_{5/2}$	8.5
$3s_{1/2}^{-1} 3p_{3/2}$	7.5	$2d_{5/2}^{-1} 2f_{7/2}$	6.6	$3p_{1/2}^{-1} 3d_{3/2}$	6.6	$2f_{5/2}^{-1} 2g_{7/2}$	7.3
$3s_{1/2}^{-1} 3p_{1/2}$	9.0	$1g_{7/2}^{-1} 2f_{7/2}$	8.3	$3p_{3/2}^{-1} 3d_{3/2}$	7.5	$2f_{7/2}^{-1} 2g_{7/2}$	9.6
$2d_{3/2}^{-1} 3p_{3/2}$	8.0	$1g_{7/2}^{-1} 2f_{5/2}$	11.8	$3p_{3/2}^{-1} 3d_{5/2}$	6.3	$2f_{7/2}^{-1} 2g_{9/2}$	6.6
$2d_{3/2}^{-1} 3p_{1/2}$	9.5	$1g_{9/2}^{-1} 2f_{7/2}$	11.7	$3p_{1/2}^{-1} 4s_{1/2}$	6.0	$1h_{9/2}^{-1} 1i_{11/2}$	7.9
$2d_{5/2}^{-1} 3p_{3/2}$	9.8	$1g_{9/2}^{-1} 1h_{9/2}$	10.8	$3p_{3/2}^{-1} 4s_{1/2}$	7.9	$1h_{9/2}^{-1} 2g_{9/2}$	7.1
$2d_{3/2}^{-1} 2f_{5/2}$	8.2	$1g_{7/2}^{-1} 1h_{9/2}$	7.5	$2f_{5/2}^{-1} 3d_{3/2}$	7.4	$1h_{9/2}^{-1} 1f_{7/2}$	7.3
				$2f_{5/2}^{-1} 3d_{5/2}$	6.2	$1h_{9/2}^{-1} 2g_{7/2}$	10.1

# Сечение фотопоглощения для ядра $^{208}\text{Pb}$



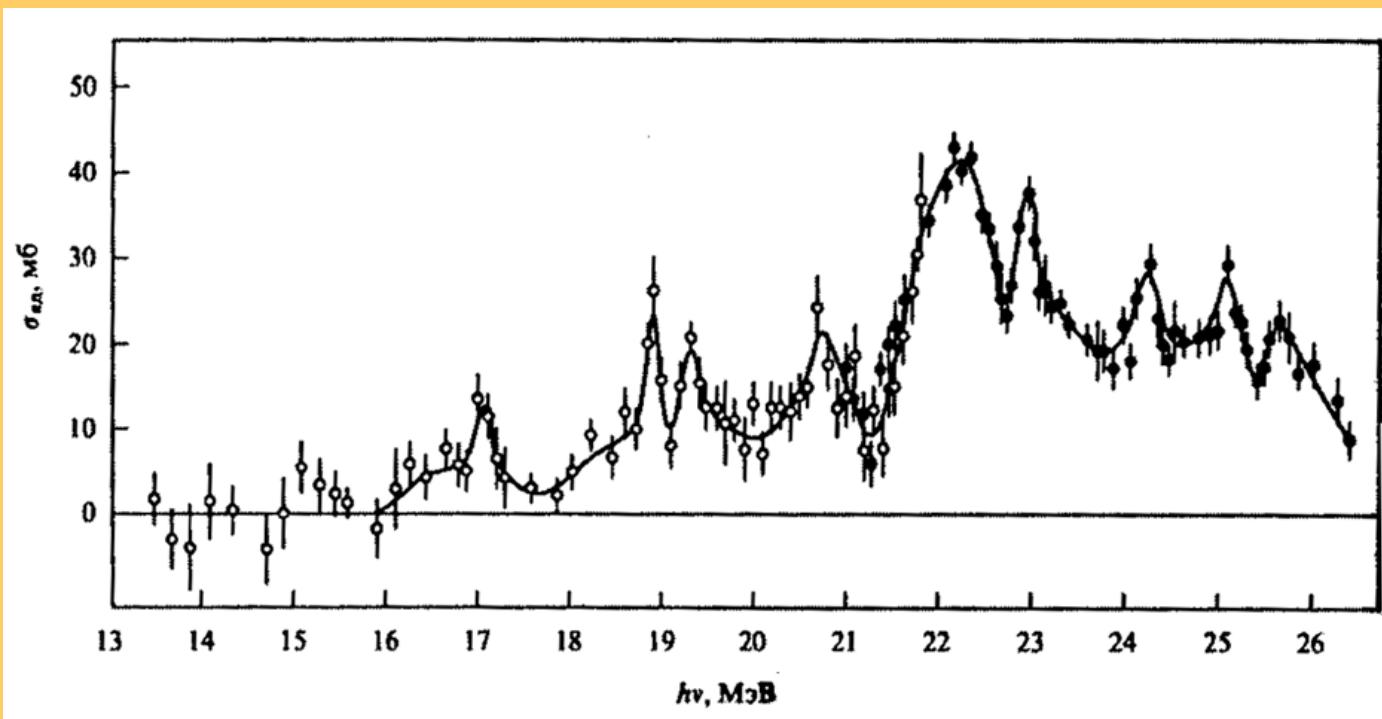
$E, \text{Mev}$	$\sigma_{\text{tot}}'$ $\text{mb-Mev}$	$E, \text{Mev}$	$\sigma_{\text{tot}}'$ $\text{mb-Mev}$
9.2	45.2	6.6	24.9
9.3	23.6	7.8	30.7
13.8	2384.2	10.4	24.0
13.0	718.1	12.4	147.8
10.5	361.4	6.6	30.2

Точки – эксперимент.  
Столбики – расчет по  
модели оболочек:  
а – без учета смешивания  
конфигураций;  
б – с учетом смешивания  
конфигураций.

# Полное сечение фотопоглощения ядра $^{16}\text{O}$



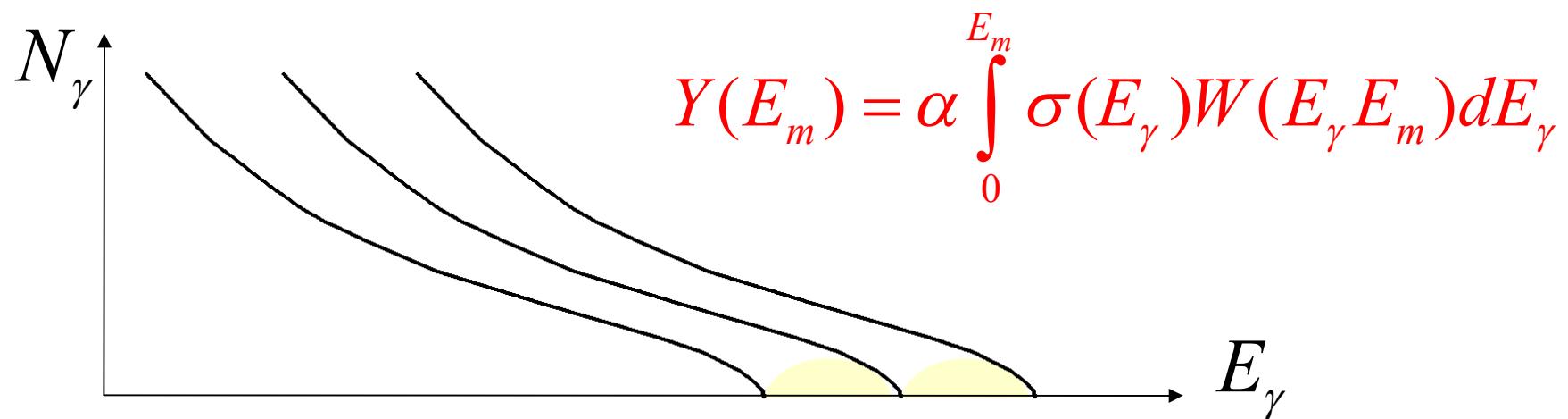
Л.Е. Лазарева



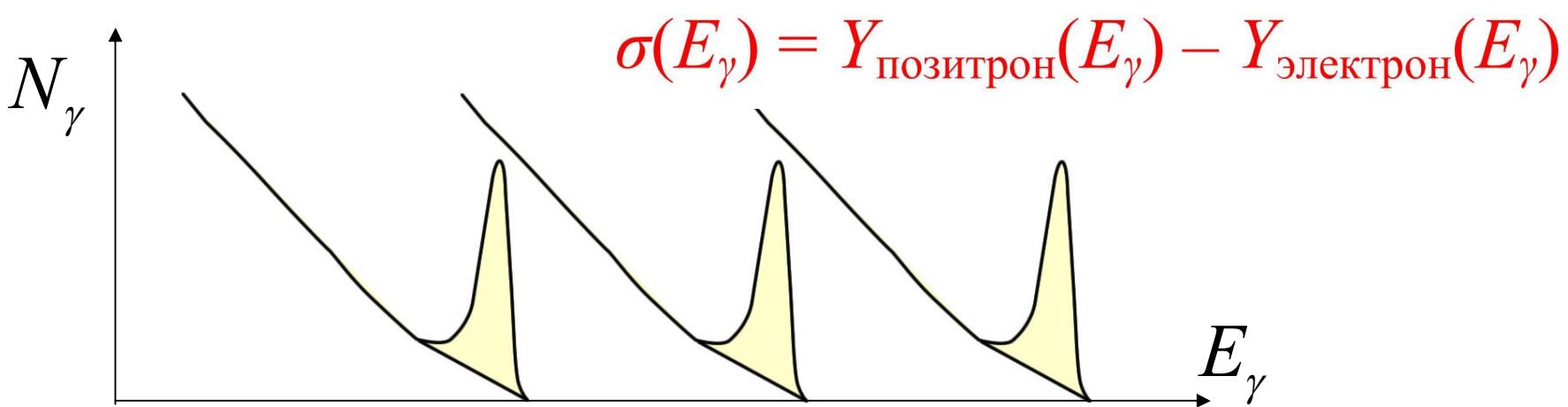
$$\sigma(E) = \sigma_{\text{комптон}}(E) + \sigma_{\text{пары}}(E) + \sigma_{\text{ядерное}}(E)$$

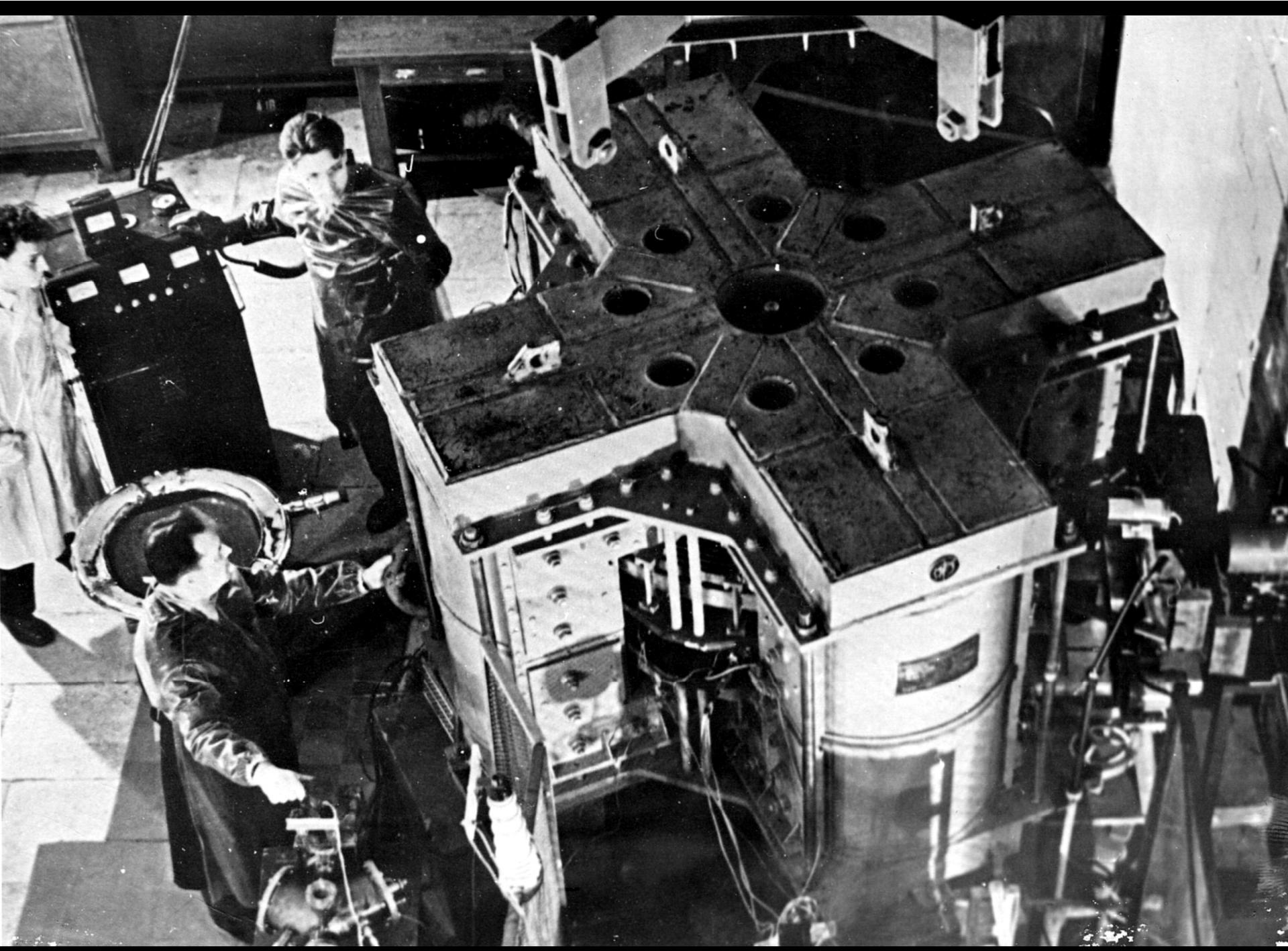
# Два метода изучения ГДР

1. Пучки тормозного гамма-излучения электронов.

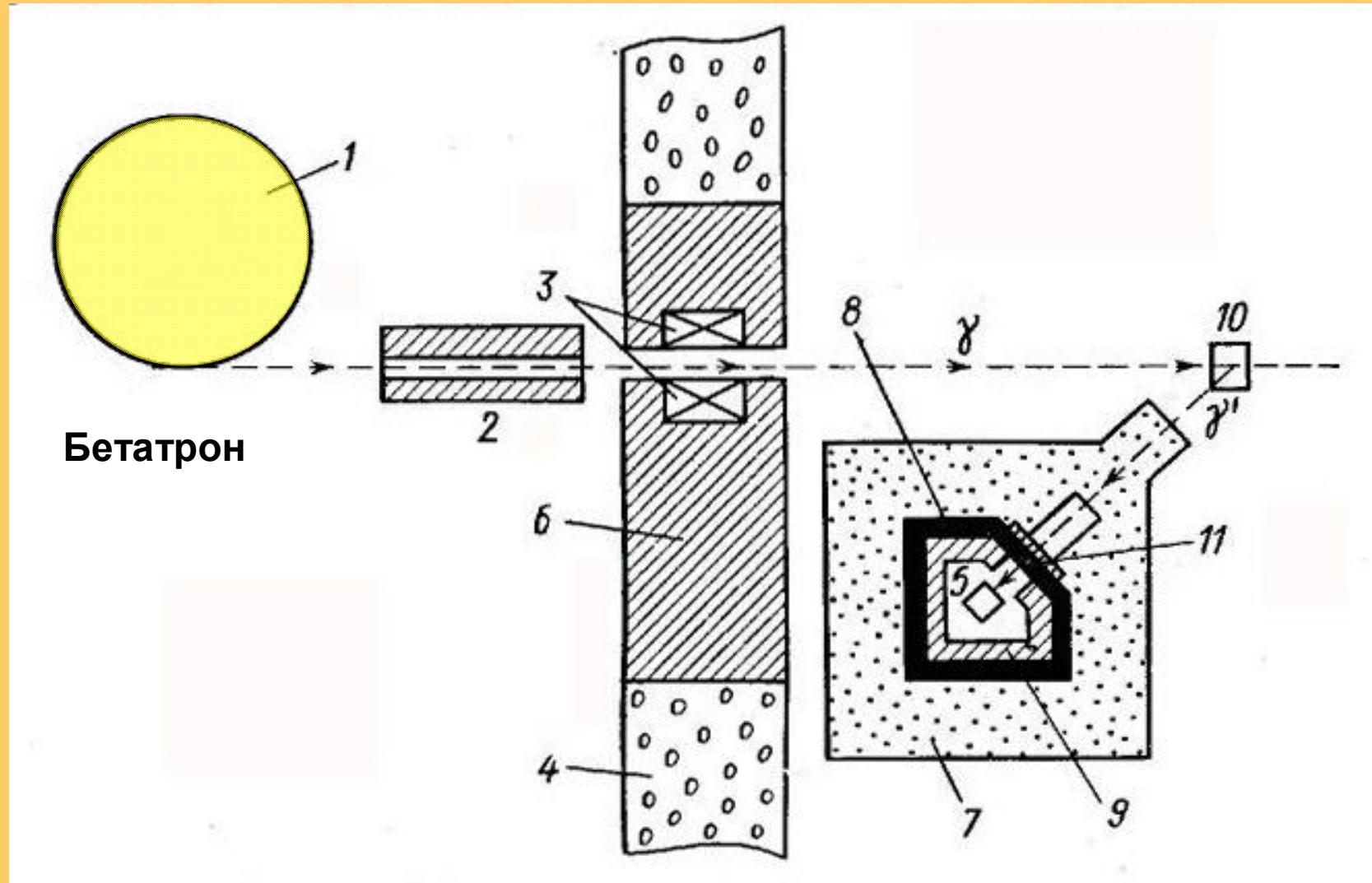


2. Пучки квазимохроматических гамма-квантов. Аннигиляция быстрых позитронов (Саклэ, Ливермор).

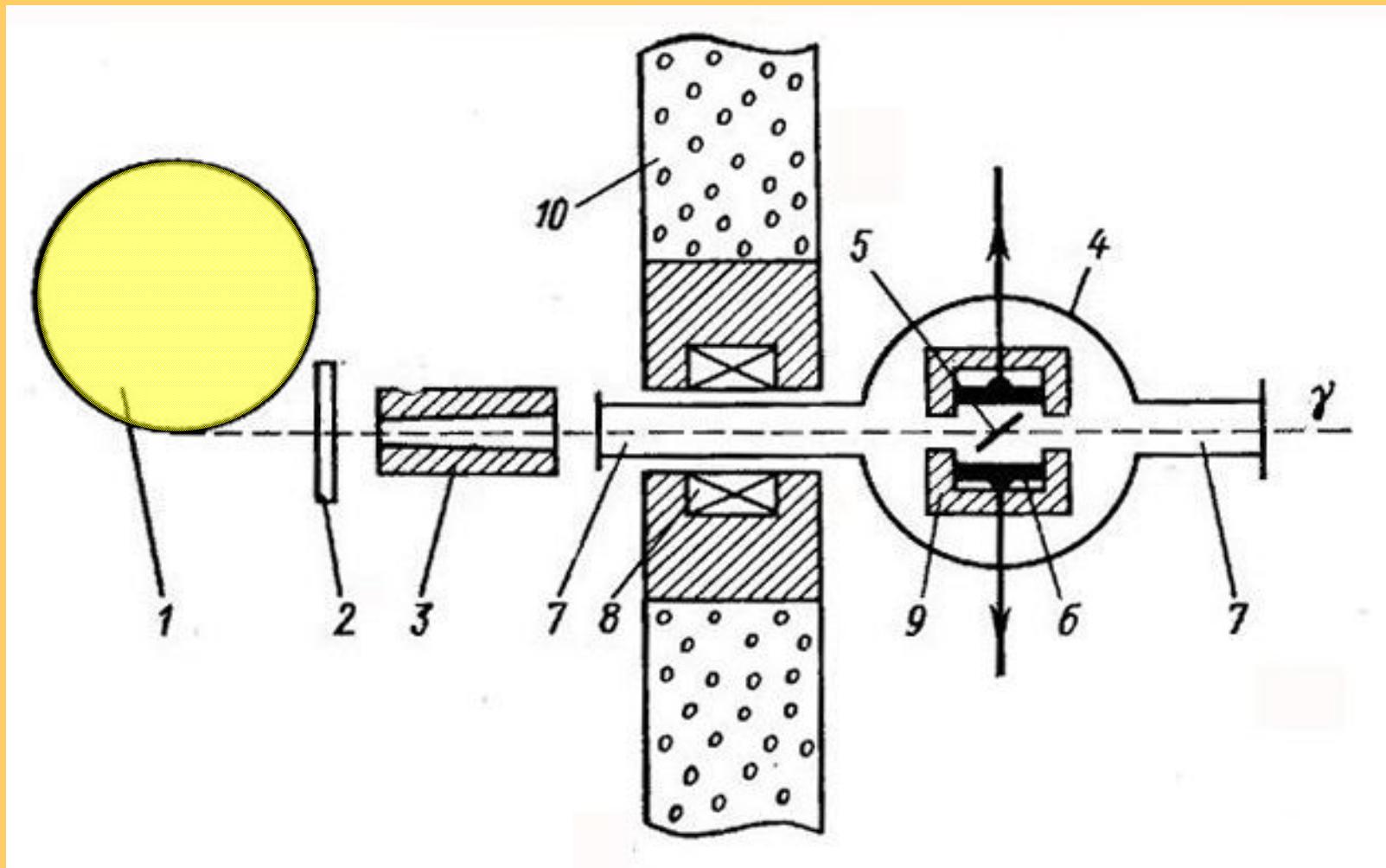




# Схема эксперимента НИИЯФ МГУ по измерению спектров $\gamma$ -квантов, испускаемых ядрами в результате реакций ( $\gamma$ , $x\gamma'$ )

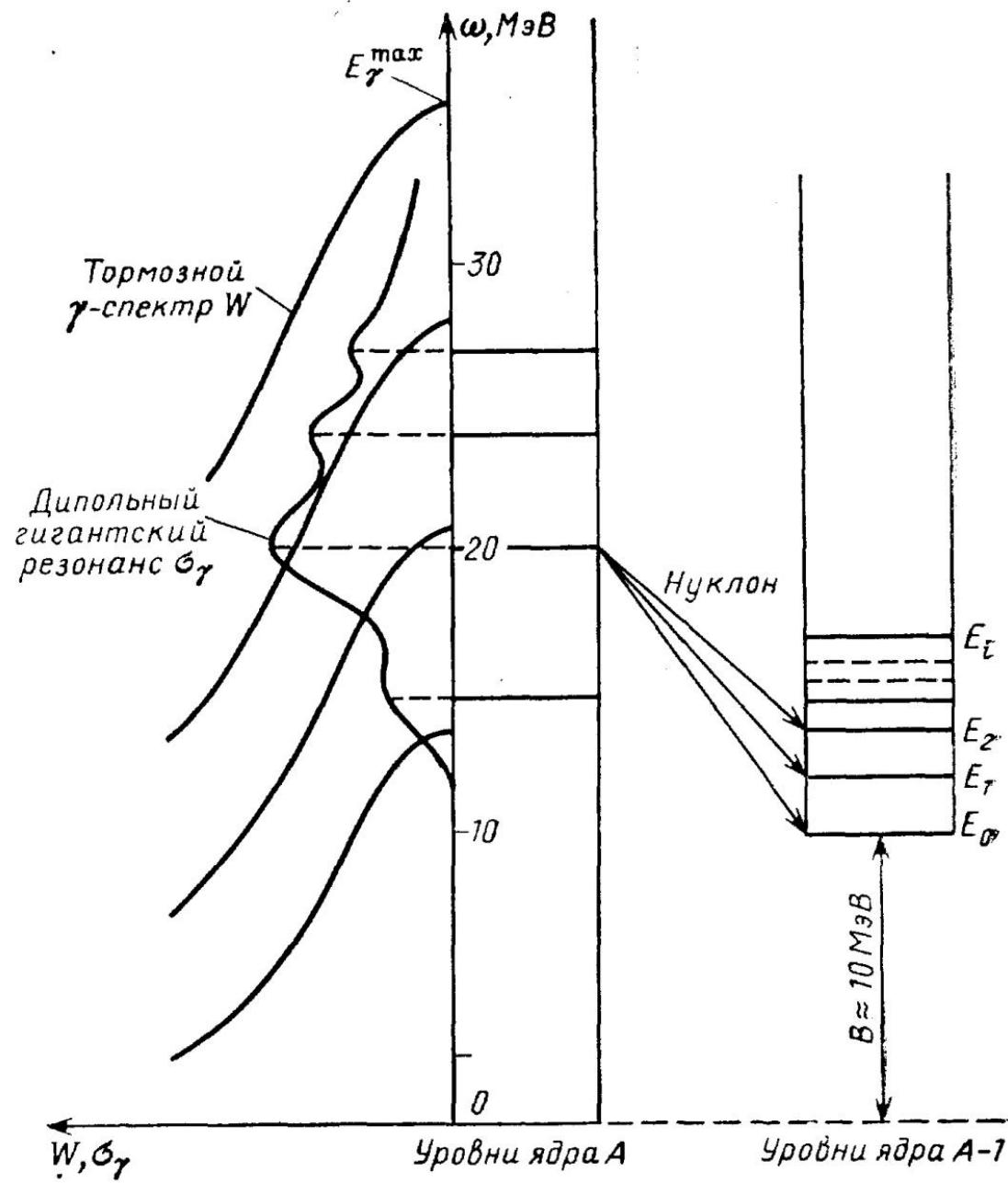


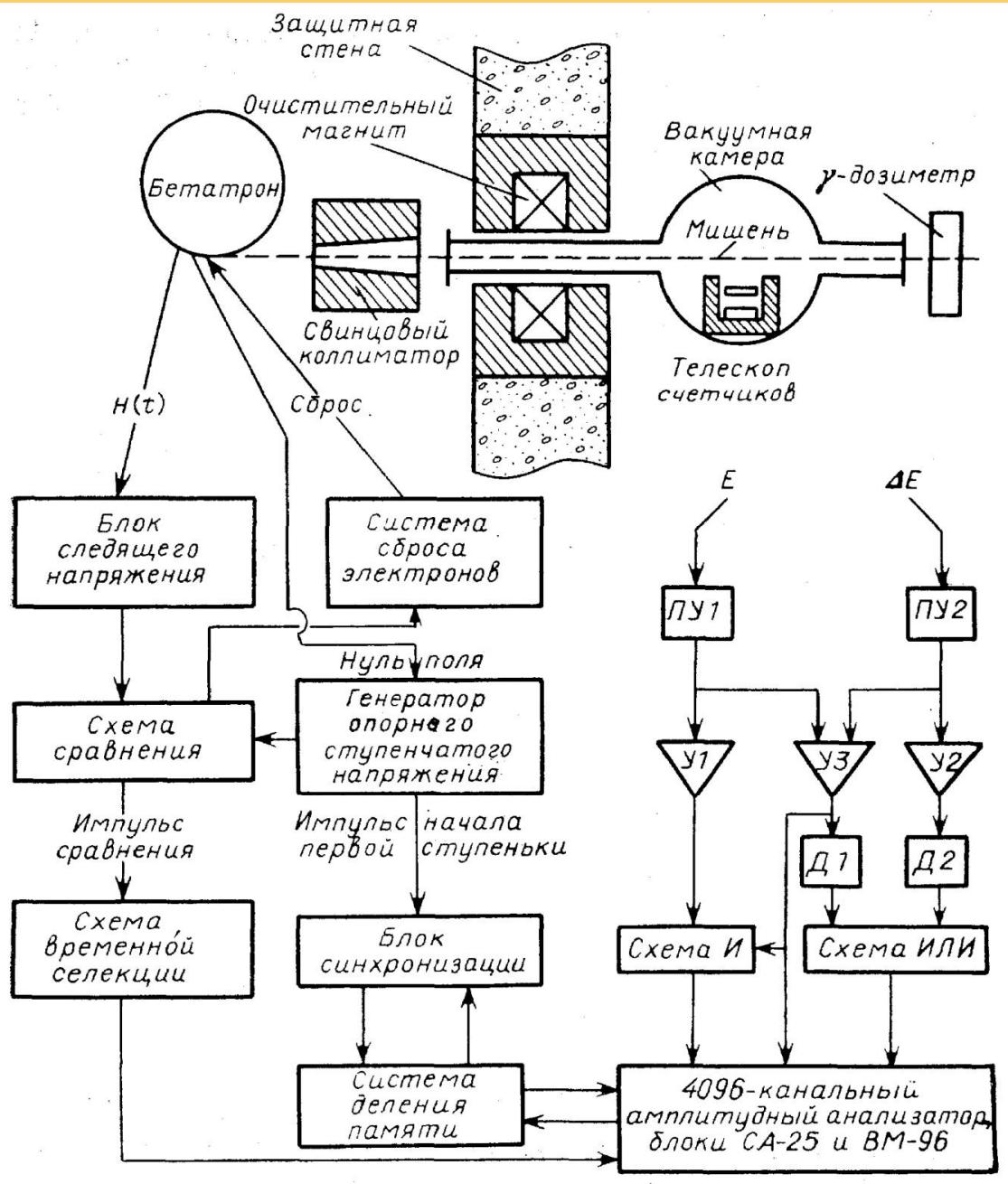
# Блок-схема установки НИИЯФ МГУ для измерения выхода фотопротонных реакций на пучке тормозного $\gamma$ -излучения



1 – ускоритель, 2 – ионизационная камера-монитор, 3 – свинцовый коллиматор, 4 – вакуумная камера, 5 – исследуемая мишень, 6 – детекторы фотопротонов, 7 – входной и выходной патрубки, 8 – очистительный магнит, 9 – свинцовые экраны, 10 – защитная стена из свинца и бетона.

# Распадные характеристики ГДР

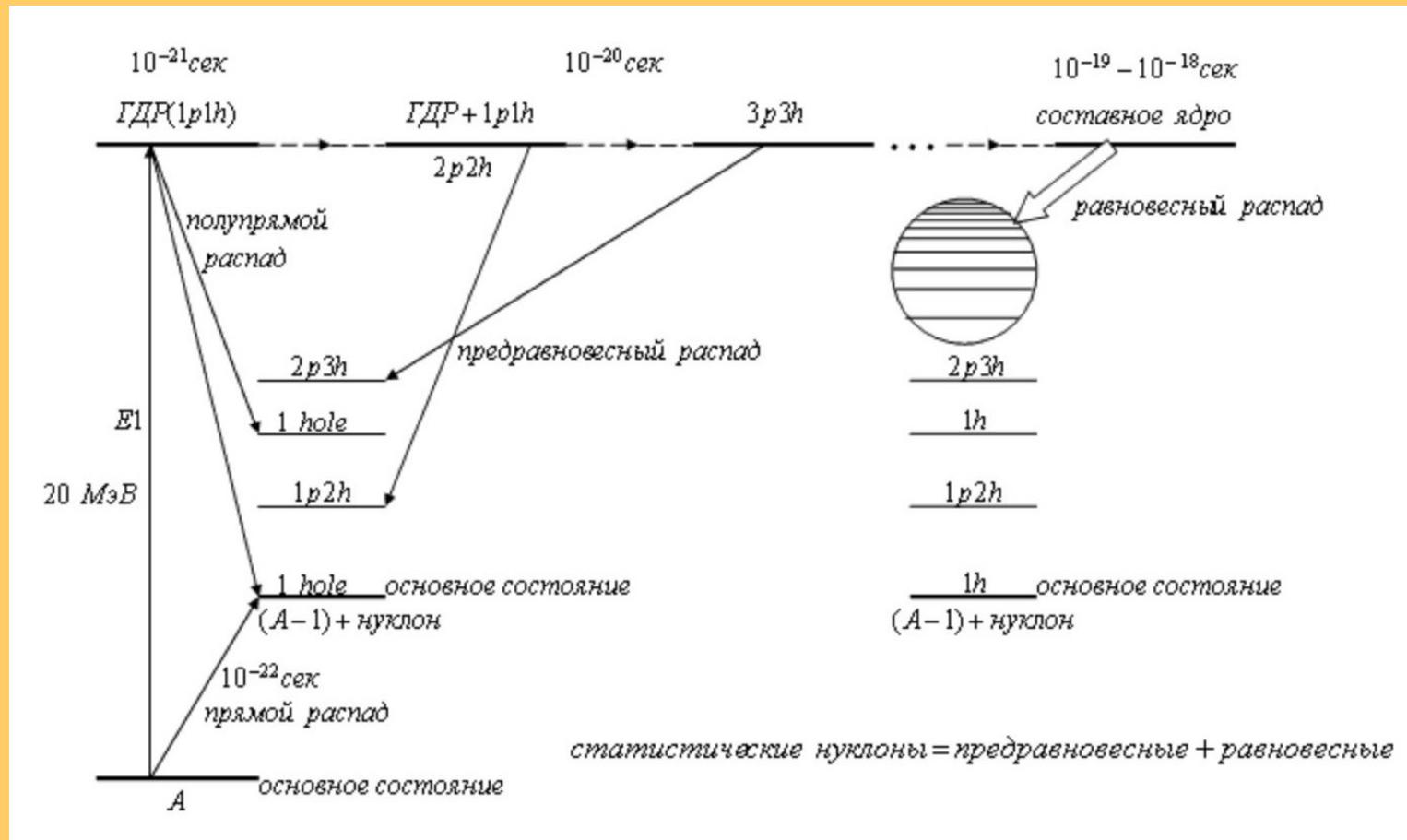




**И.М. Пискарев**

Схема экспериментальной установки НИИЯФ МГУ для измерения энергетических распределений фотопротонов в условиях быстрого переключения (сканирования) верхней границы спектра тормозного излучения.

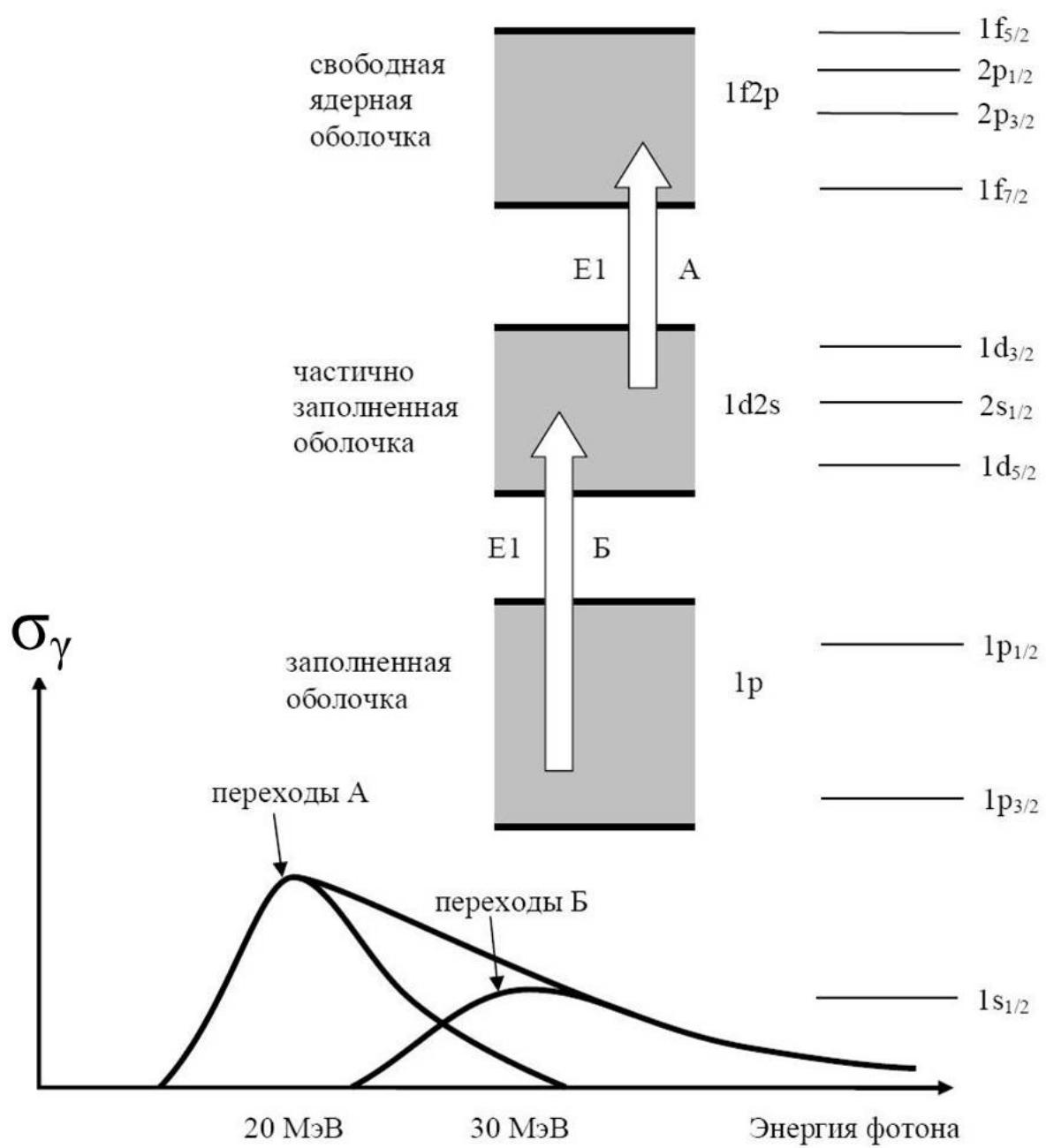
# Диаграмма распада ГДР



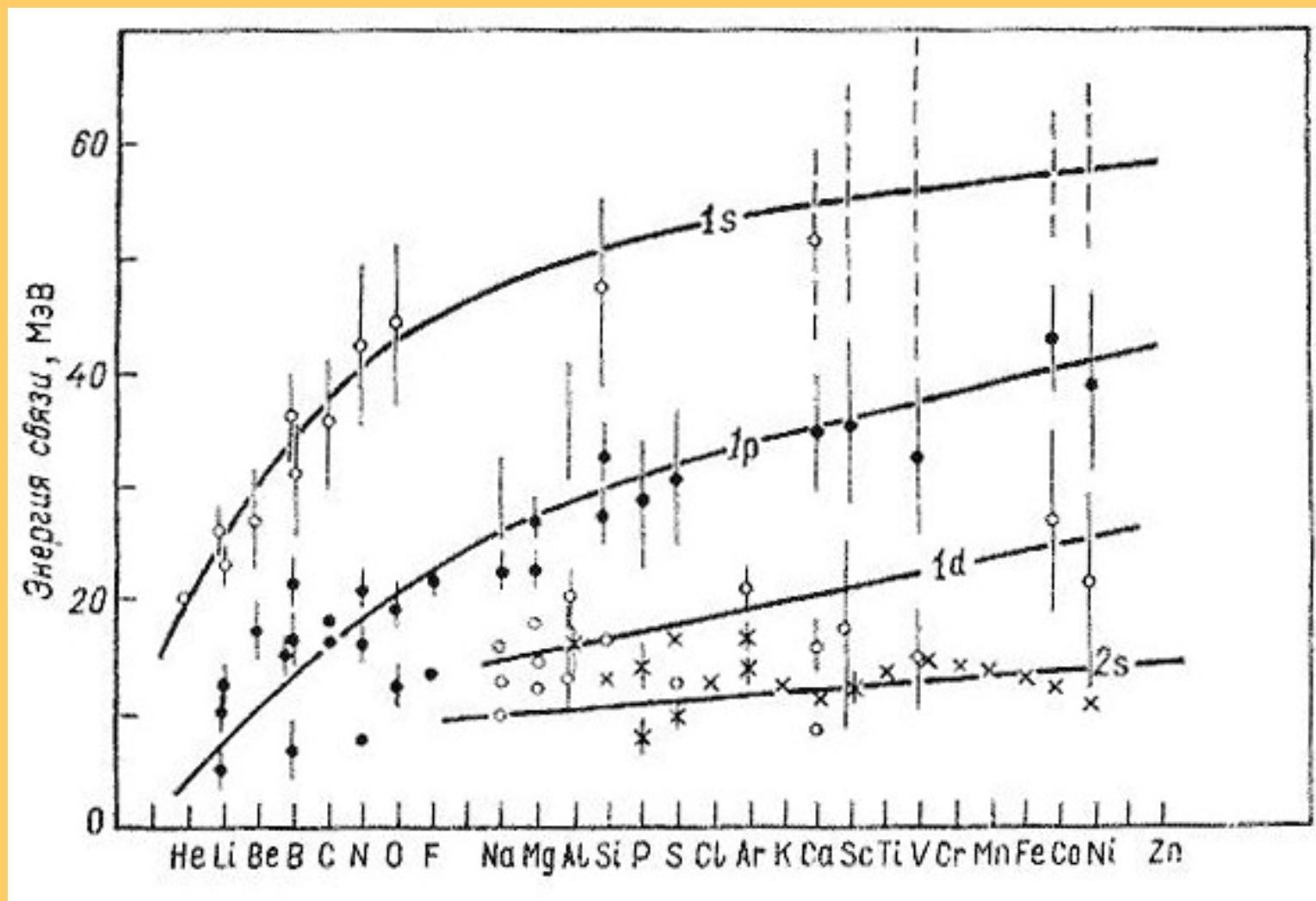
Полупрямой процесс – испускания нуклонов ГДР в непрерывный спектр, при котором конечное ядро остается в дырочном состоянии. Эти дырочные состояния конечного ядра известны из реакций ( $p, d$ ), ( $d, {}^3\text{He}$ ) ...

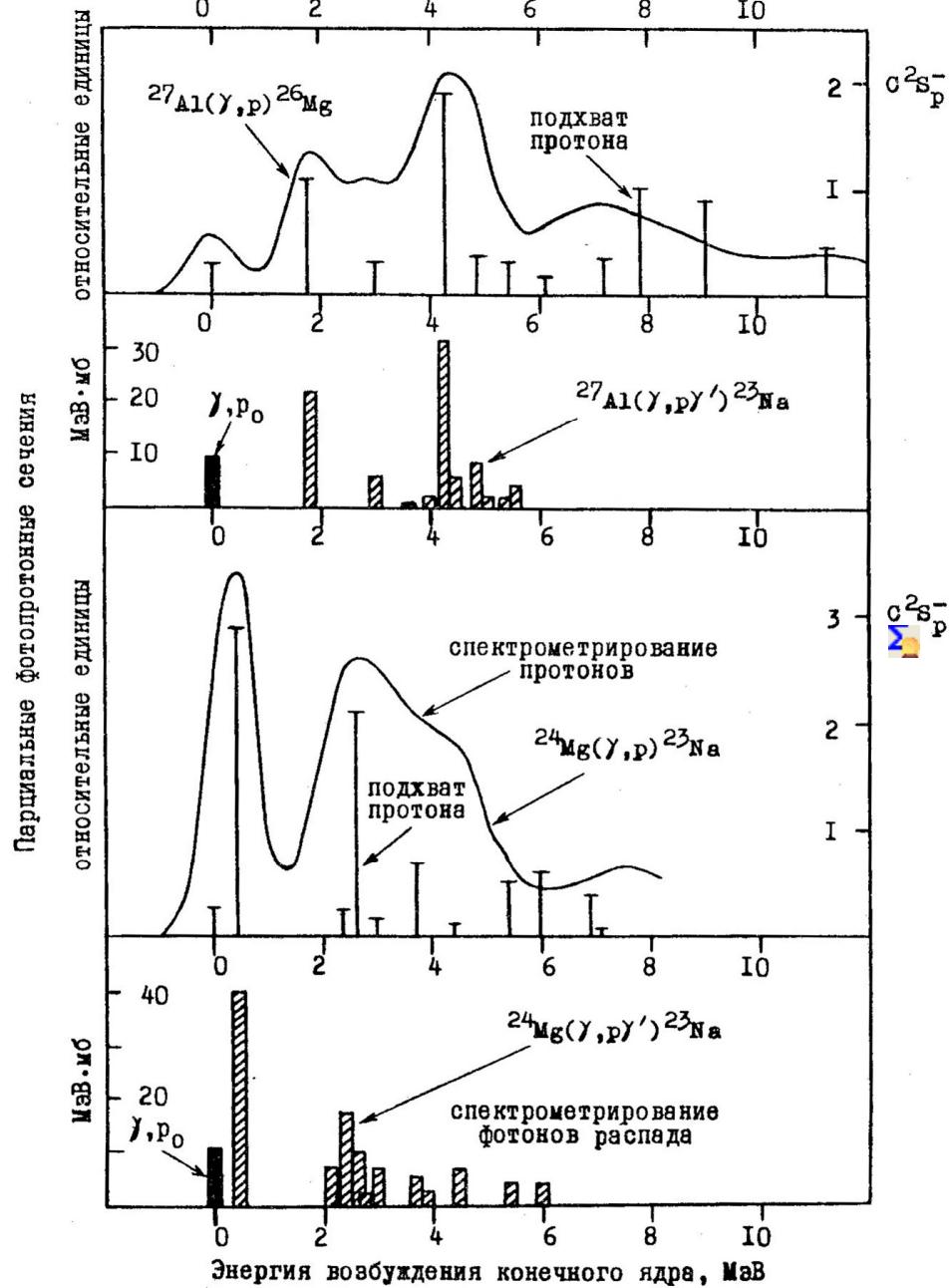
Парциальные переходы на дырочные состояния содержат информацию о входных частично-дырочных конфигурациях. Предравновестный распад ГДР связан с испусканием нуклонов на начальных стадиях эволюции входных дипольных состояний.

## Конфигурационное расщепление ГДР ядер 1d2s-оболочки



# Энергии связи протонов различных оболочек легких ядер по данным реакций ( $p, 2p$ ) и ( $e, e'p$ ) квазиупругого выбивания протонов

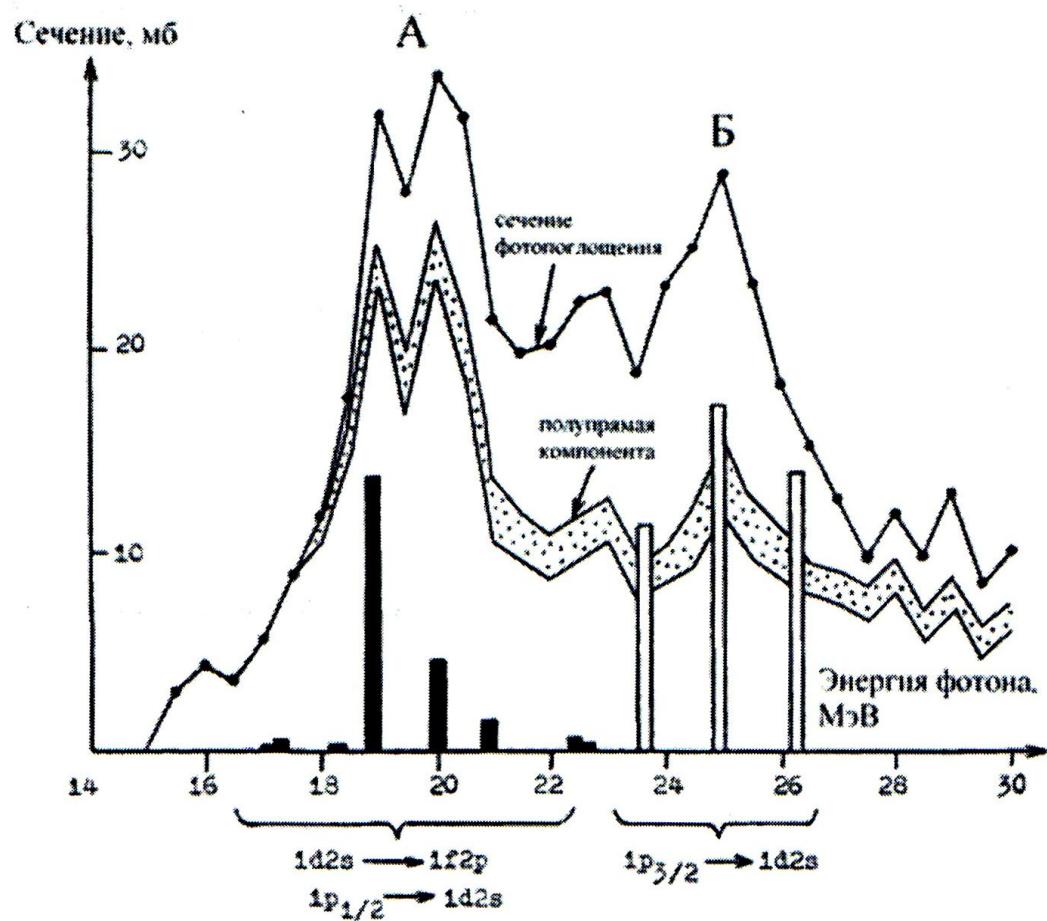




# **27Al 24Mg**

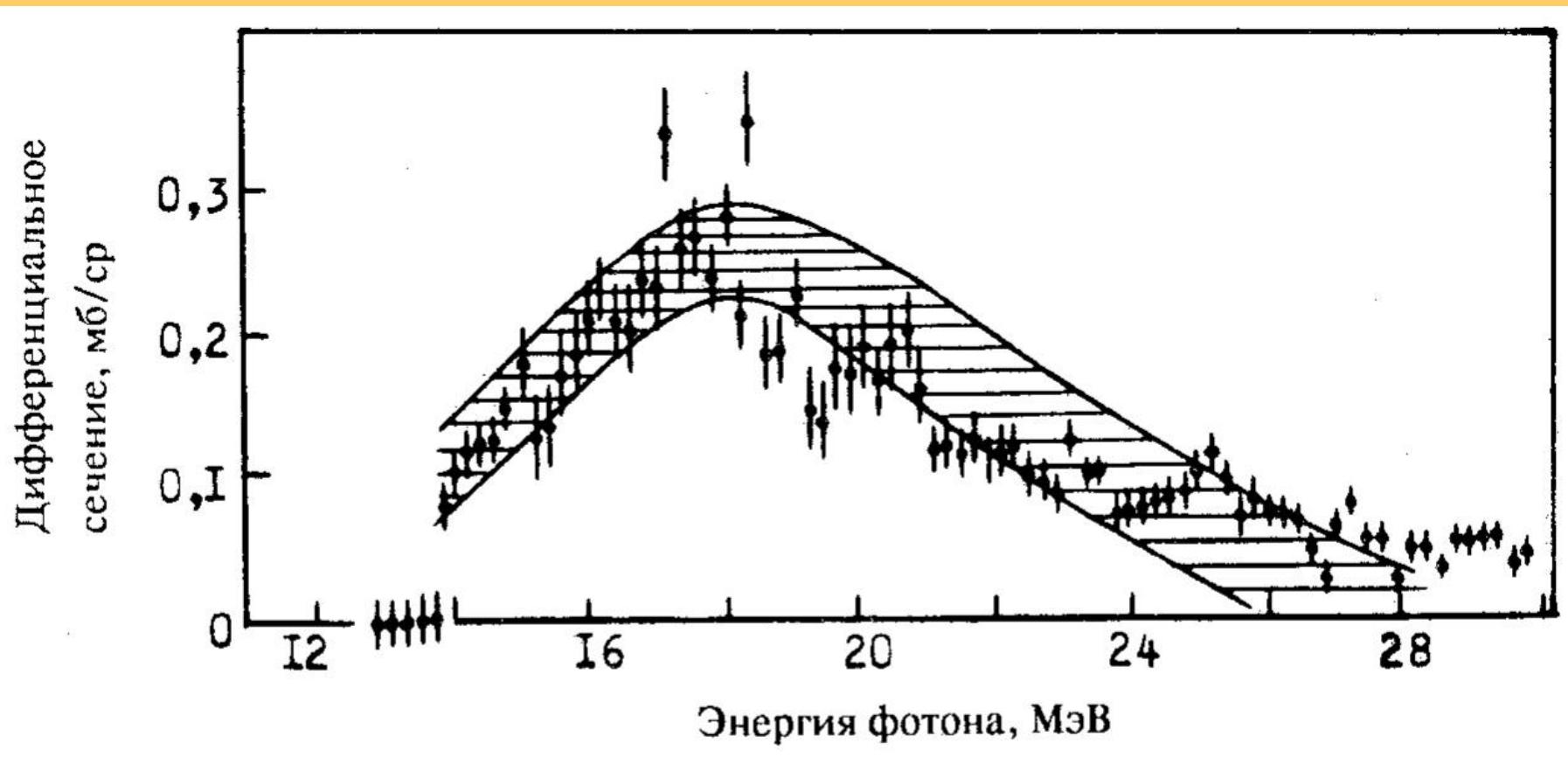
Корреляция между парциальными фотопротонными сечениями и спектроскопическими факторами протонного подхвата  $C^2S_p^-$  (вертикальные линии) для ядер  $^{27}Al$  и  $^{24}Mg$ . Парциальные фотопротонные сечения получены спектрометрированием как фотонов (заштрихованные столбики), так и протонов (сплошные линии). Сечения  $(\gamma, p_0)$ -реакции получены из  $(p, \gamma_0)$ -экспериментов.

# $^{24}\text{Mg}$



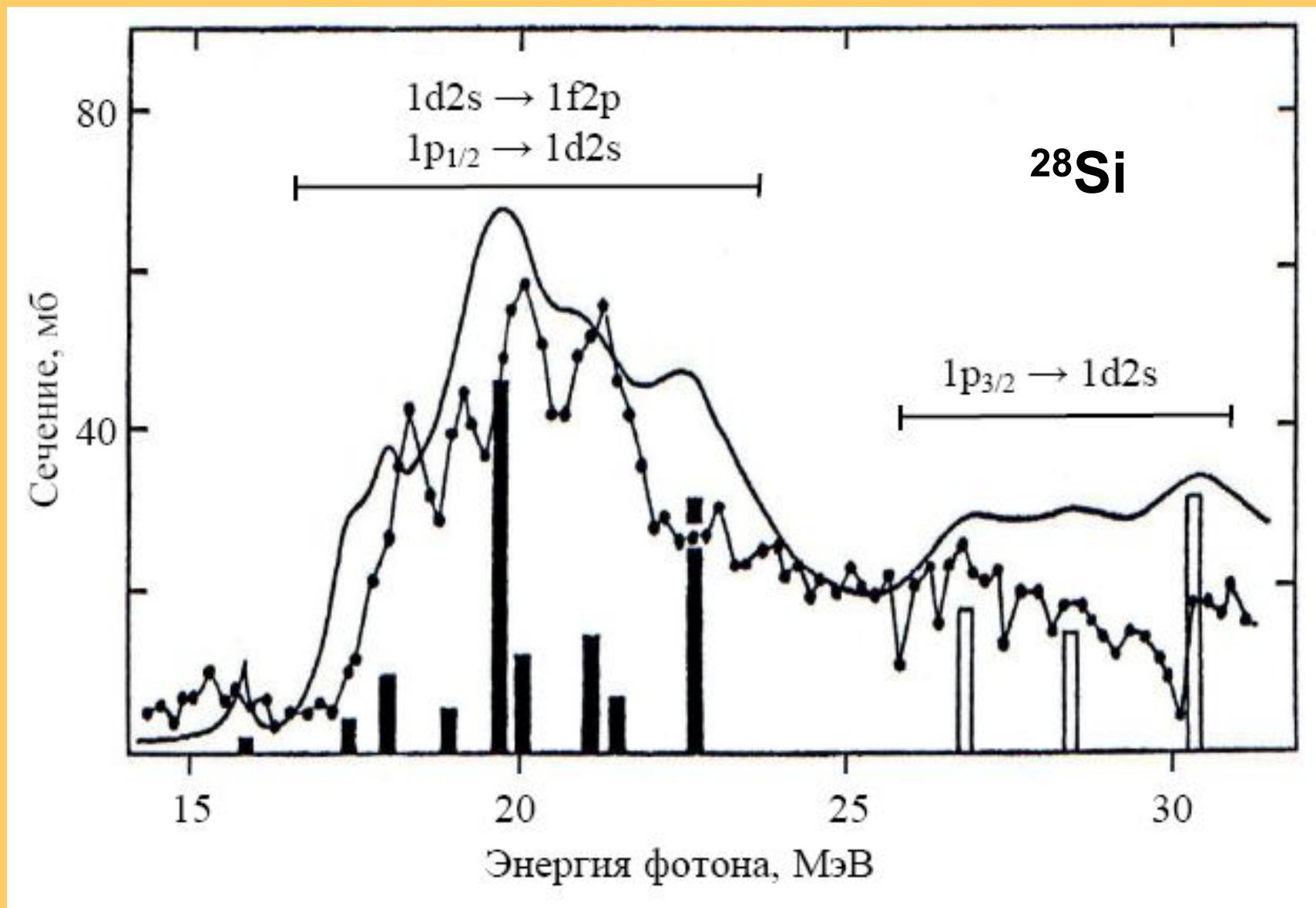
Вклад Е1-переходов группы ( $1\text{d}2\text{s} \rightarrow 1\text{f}2\text{s}$ ) в суммарные интегральные сечения реакций ( $\gamma,n$ ) и ( $\gamma,p$ ) для  $^{24}\text{Mg}$  составляет 71%. В каналах ( $\gamma,p$ ) и ( $\gamma,n$ ) этот вклад составляет соответственно  $\approx 65\%$  и  $80\%$ . Сечение реакции ( $\gamma,pn$ ) формируется при заселении в реакции ( $\gamma,p$ ) группы уровней с энергией 11-13 МэВ. С последующей эмиссией нейтронов сечение реакции ( $\gamma,pn$ ) в  $^{24}\text{Mg}$  формируется в результате переходов  $1\text{p}_{3/2} \rightarrow 1\text{d}2\text{s}$ .

# $^{23}\text{Na}(\gamma, p_l)^{22}\text{Ne}$

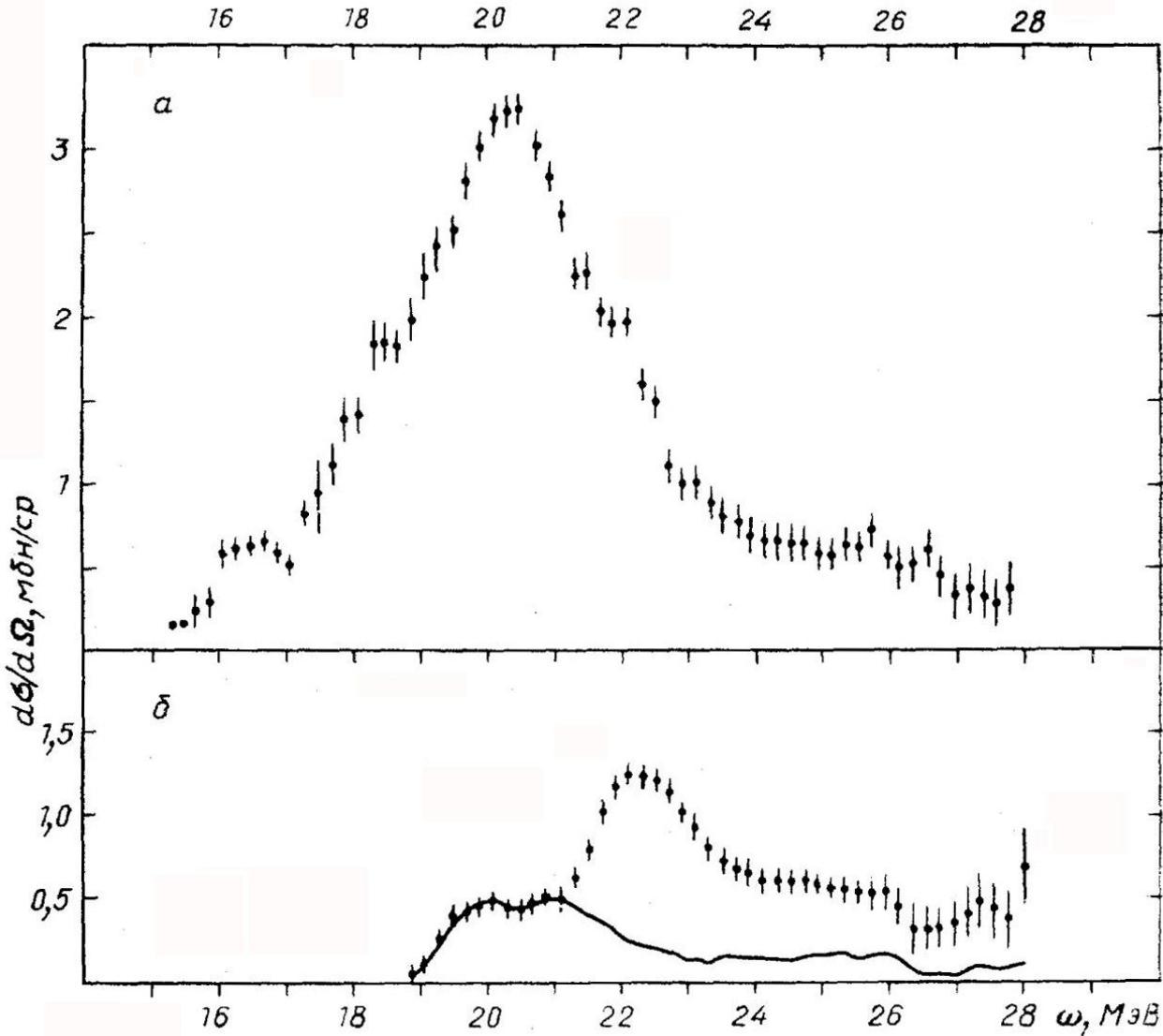


Сравнение сечений реакции  $^{23}\text{Na}(\gamma, p_l)^{22}\text{Ne}$ , полученных спектрометрированием фотонов (заштрихованная область) и протонов (точки).

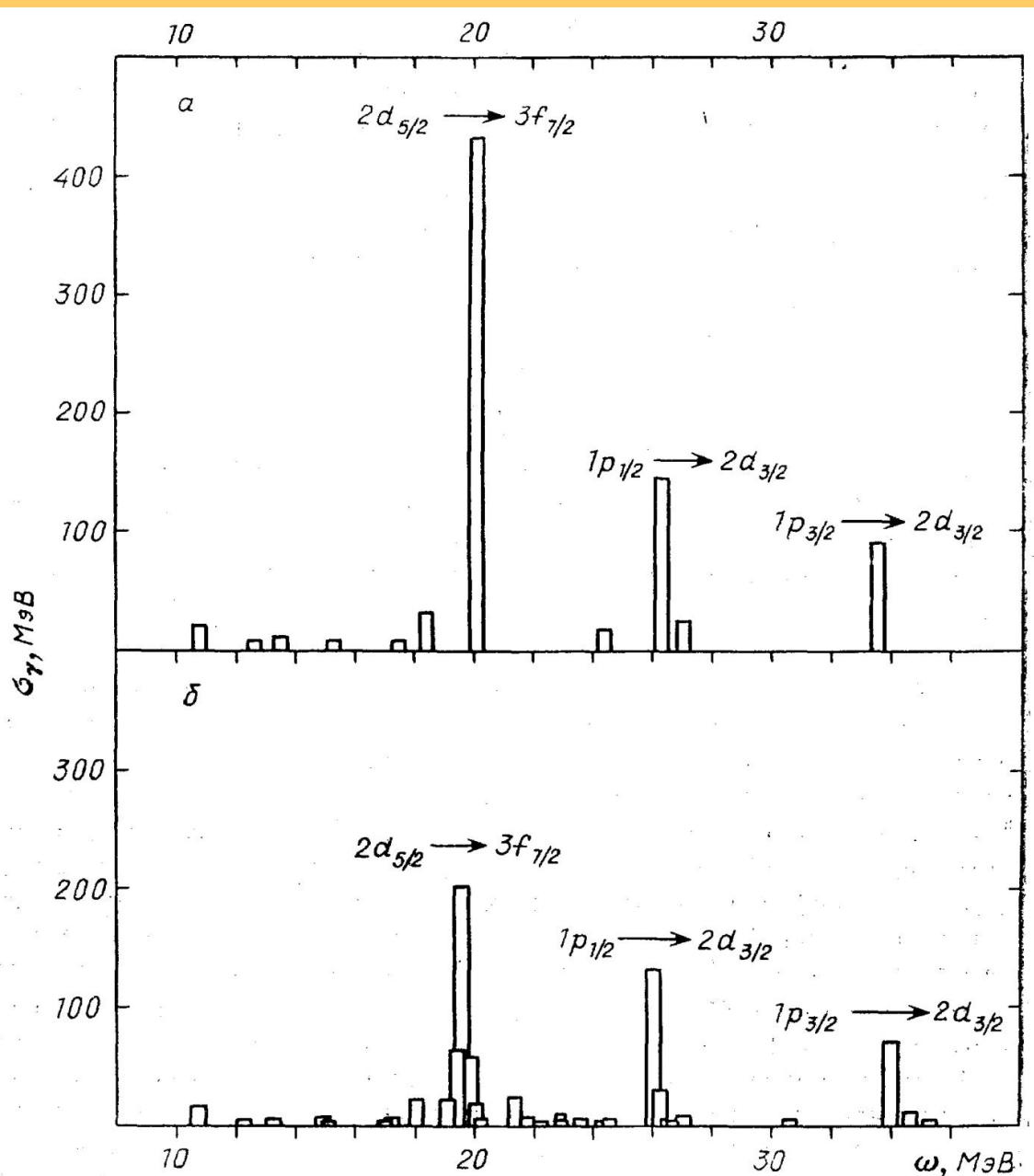
# Конфигурационное расщепление ГДР в ядре $^{28}\text{Si}$



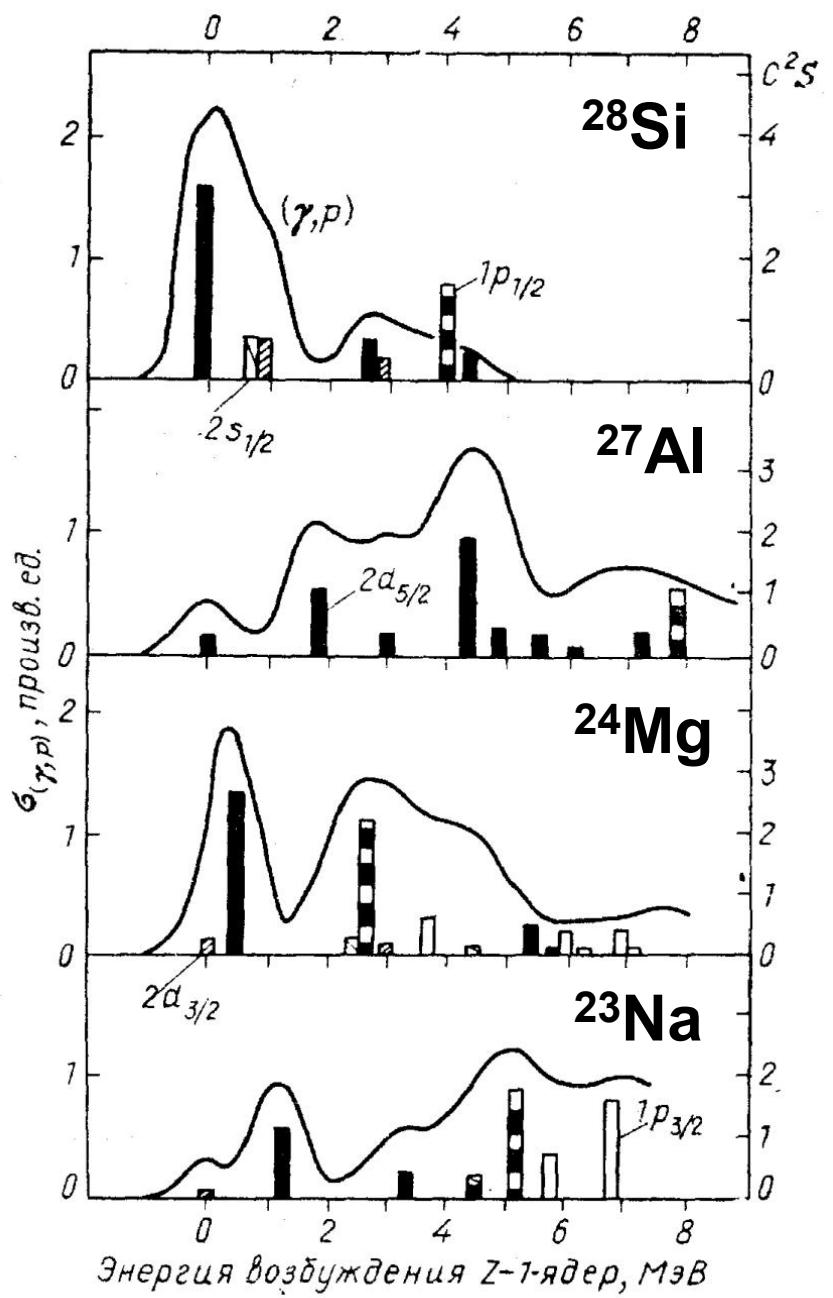
$^{28}\text{Si}$



Сечения А- и В-переходов (соответственно рис. а и б) в ядре  $^{28}\text{Si}$ .  
Сплошная кривая на рис. б – сечение  $1p_{1/2} \rightarrow 2s, 1d$ -переходов.

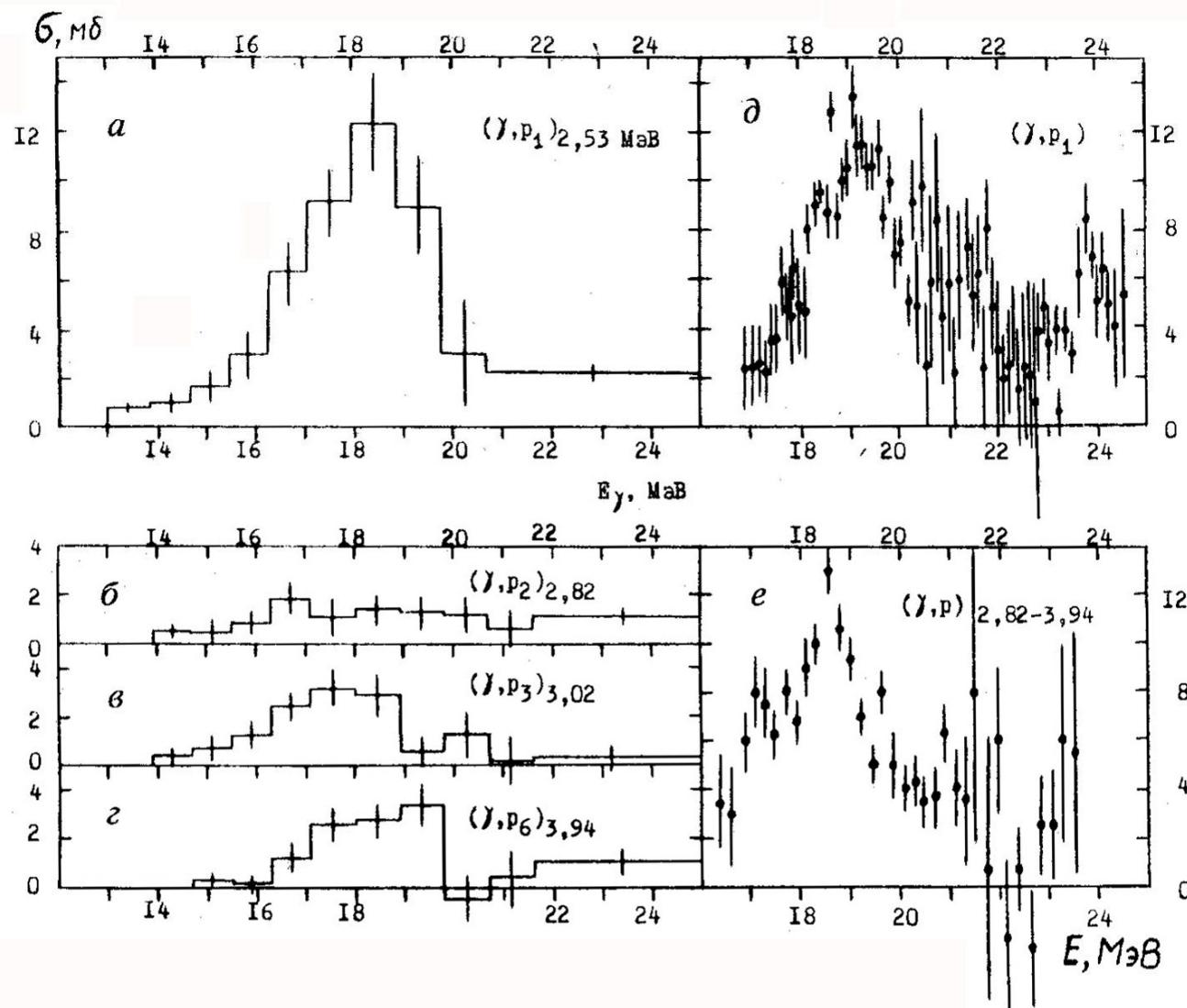


Теоретические сечения поглощения  $\gamma$ -квантов на ядре  $^{32}\text{S}$  в рh-приближении (а) и с учетом более сложных конфигураций (б).



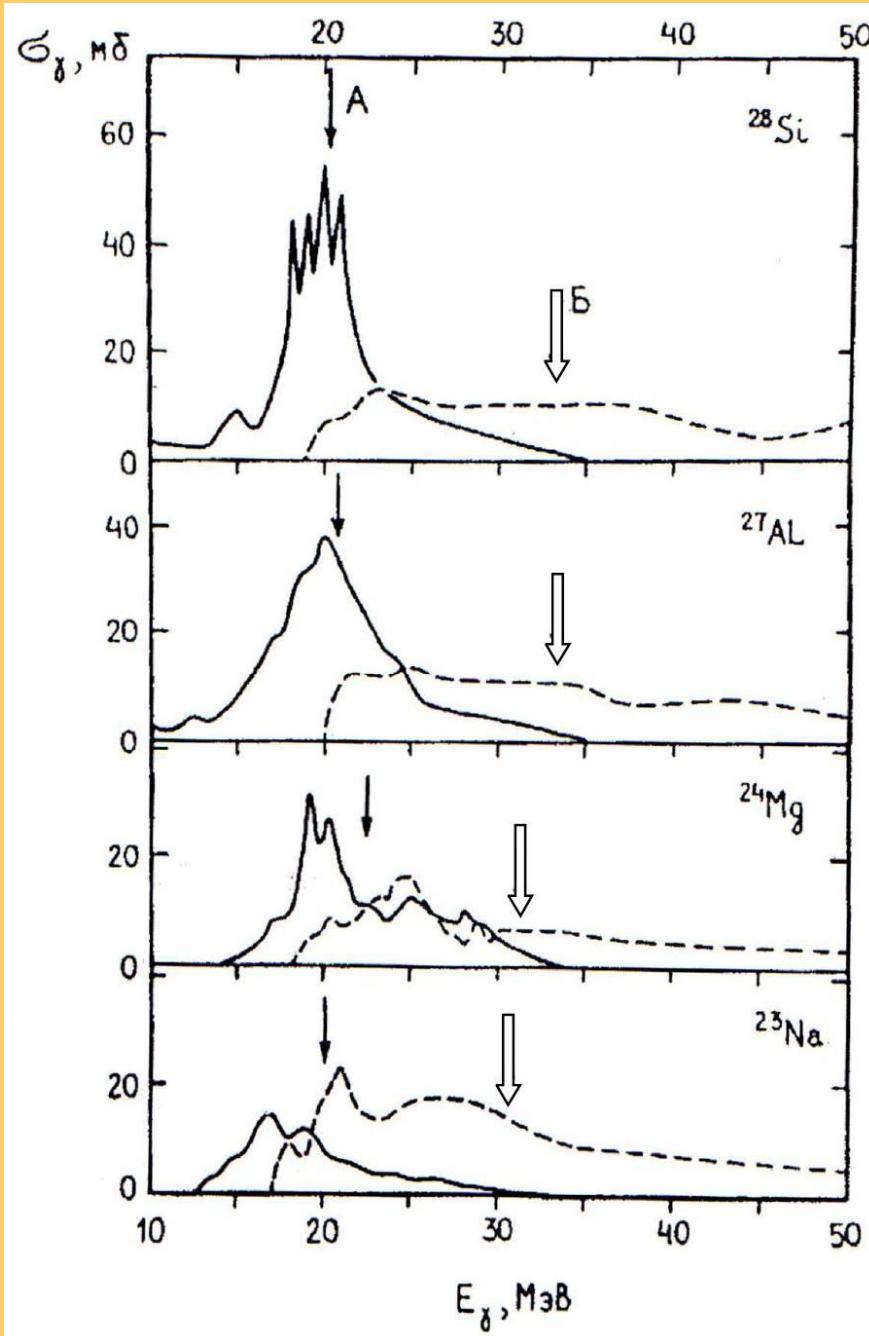
Сравнение распределения спектроскопической силы  $C^2S$  одночастичных уровней с вероятностями заселения различных уровней конечного ядра в реакции  $(\gamma, p)$

# $^{40}\text{Ca}$



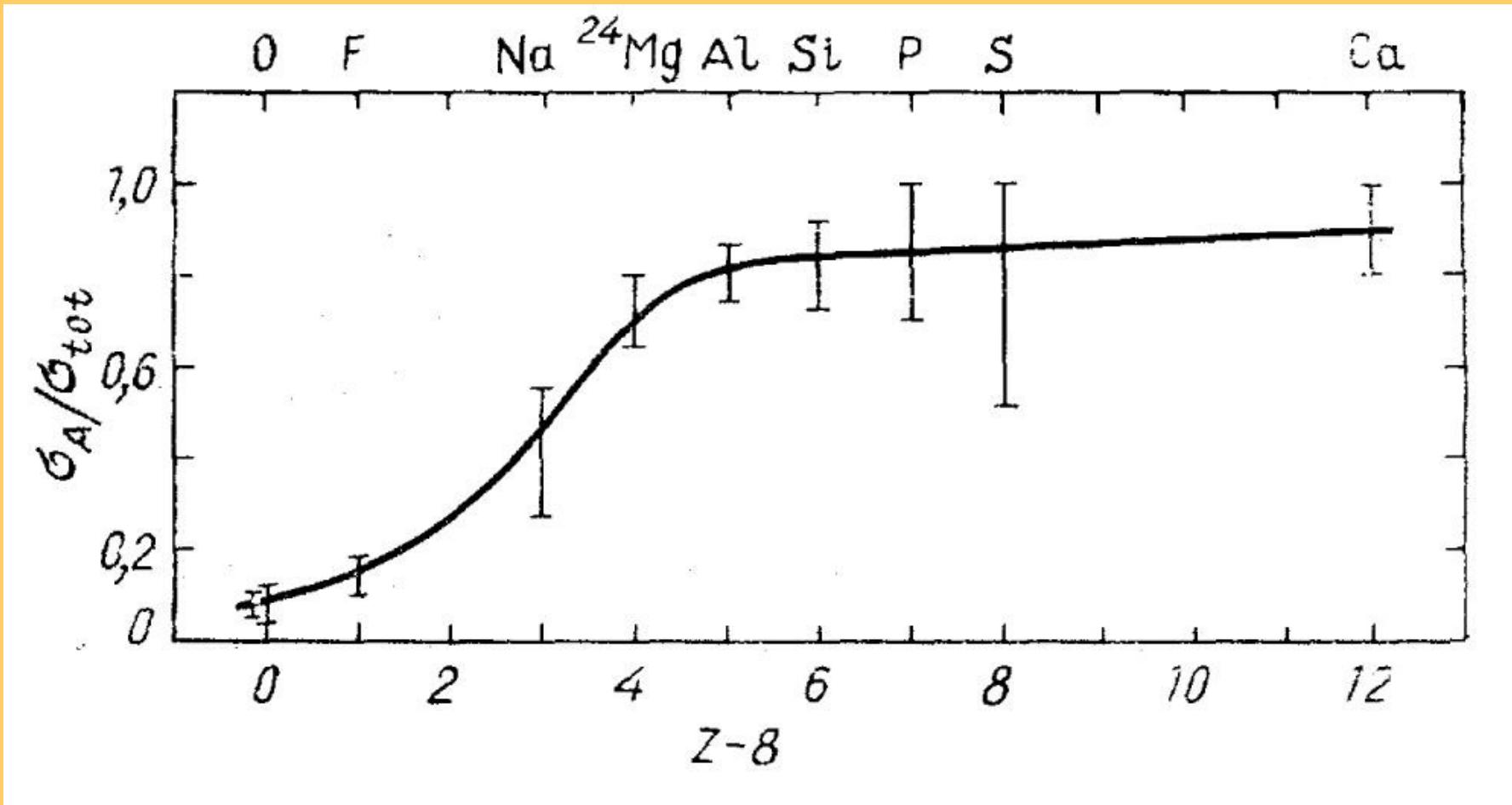
Парциальные фотопротонные сечения для ядра  $^{40}\text{Ca}$ , полученные методом спектрометрирования фотонов, снимающих возбуждение конечного ядра  $^{39}\text{K}$  (а-г) и протонов (д-е). Указаны энергии заселяемых уровней.

# Конфигурационное расщепление ГДР



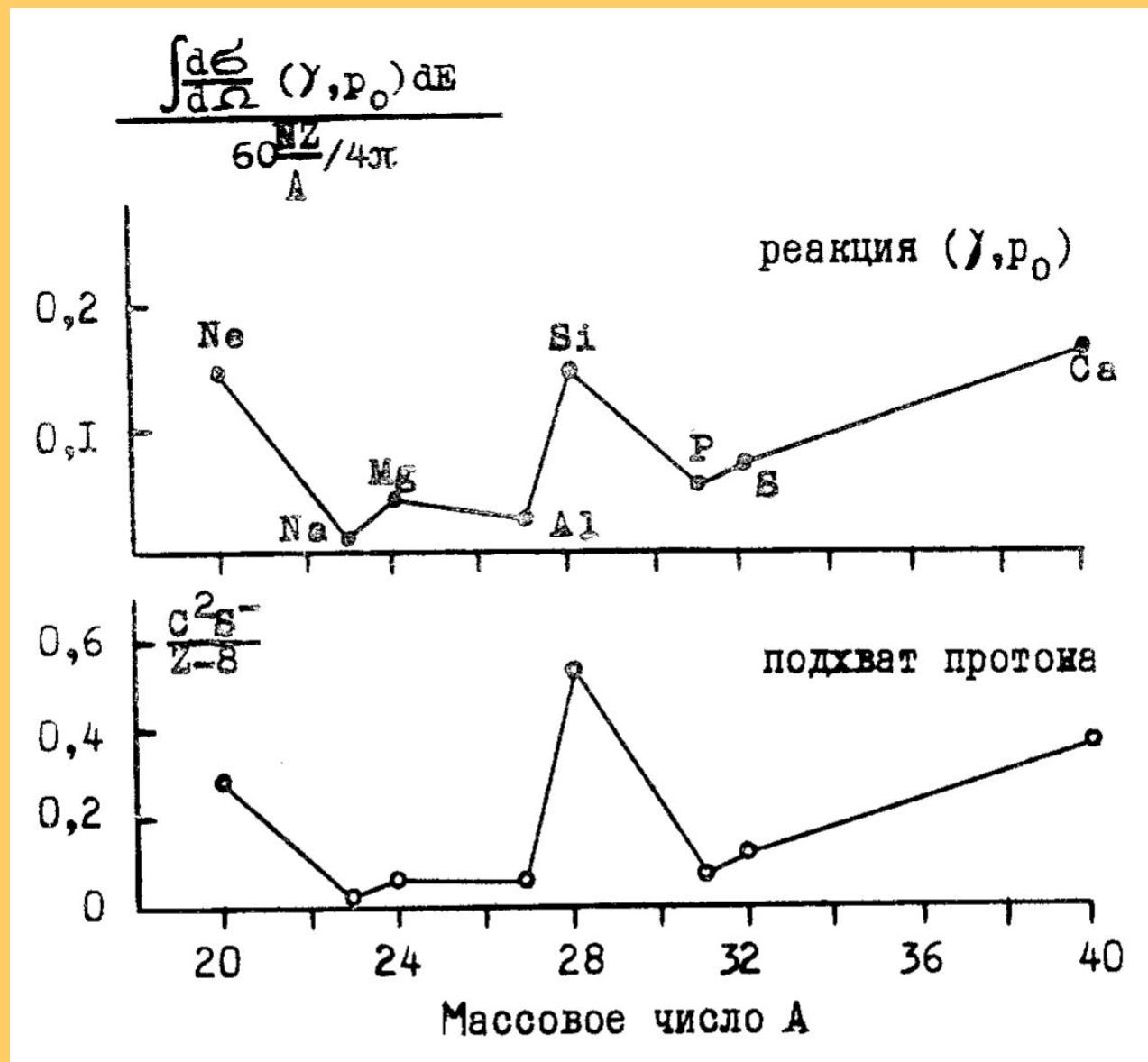
Компоненты А (сплошные линии) и Б (пунктир) экспериментальных сечений фотопоглощения ядер  $^{23}\text{Na}$ ,  $^{24}\text{Mg}$ ,  $^{27}\text{Al}$  и  $^{28}\text{Si}$ . Стрелками указаны центры тяжести компонент.

# Доля ( $\sigma_A/\sigma_{tot}$ ) сечения A-переходов от полного сечения поглощения $\gamma$ -квантов в ядрах 1d2s-оболочки



$Z$  – заряд ядра.

# Корреляция между величинами $(\gamma, p_0)$ -сечений и спектроскопическими факторами реакции протонного подхвата для ядер 1d2s-оболочки



**Physics Report, 1986, vol.136, p.229-400**

**THE GIANT DIPOLE RESONANCE IN LIGHT  
NUCLEI AND RELATED PHENOMENA**

**R.A. ERAMZHYAN**

*Institute for Nuclear Research, U.S.S.R. Academy of Sciences, 117312 Moscow, U.S.S.R.*

**B.S. ISHKHANOV, I.M. KAPITONOV and V.G. NEUDATCHIN**

*Institute of Nuclear Physics, Moscow State University, 119899 Moscow, U.S.S.R.*

Март 1990 г.

Том 160, вып. 3

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

**КОНФИГУРАЦИОННОЕ РАСЩЕПЛЕНИЕ ДИПОЛЬНОГО  
ГИГАНТСКОГО РЕЗОНАНСА В АТОМНЫХ ЯДРАХ**

**Б. С. Ишханов, И. М. Капитонов, В. Г. Неудачин,  
В. Г. Шевченко, Р. А. Эрамжян, И. П. Юдин**

(НИИЯФ Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова)

**«ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ И АТОМНОГО ЯДРА»  
1992, ТОМ 23, ВЫП.6**

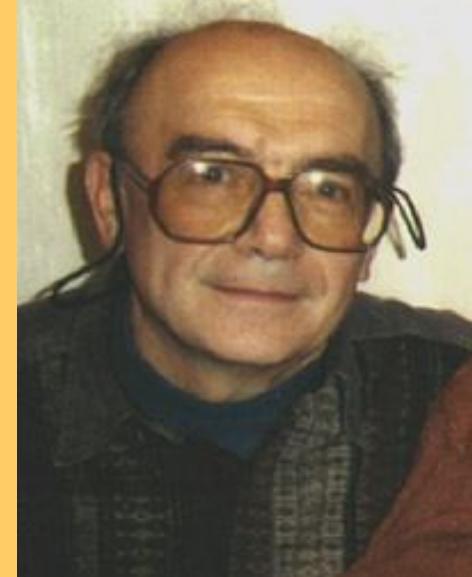
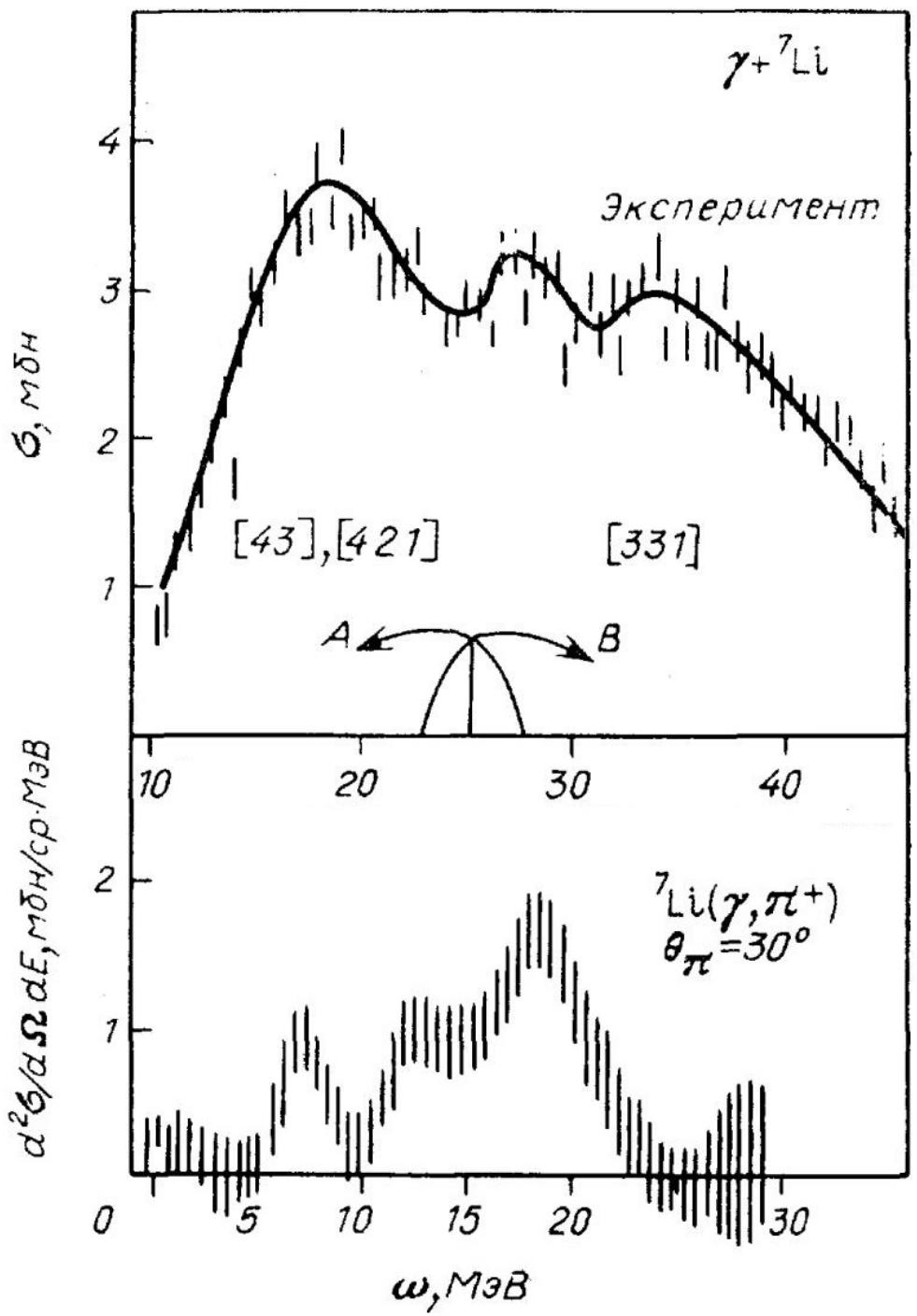
**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИПОЛЬНОГО  
ГИГАНТСКОГО РЕЗОНАНСА  
В  $(y, xy')$ -ЭКСПЕРИМЕНТАХ**

**Б.С.Ишханов, И.М.Капитонов**

Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, Москва

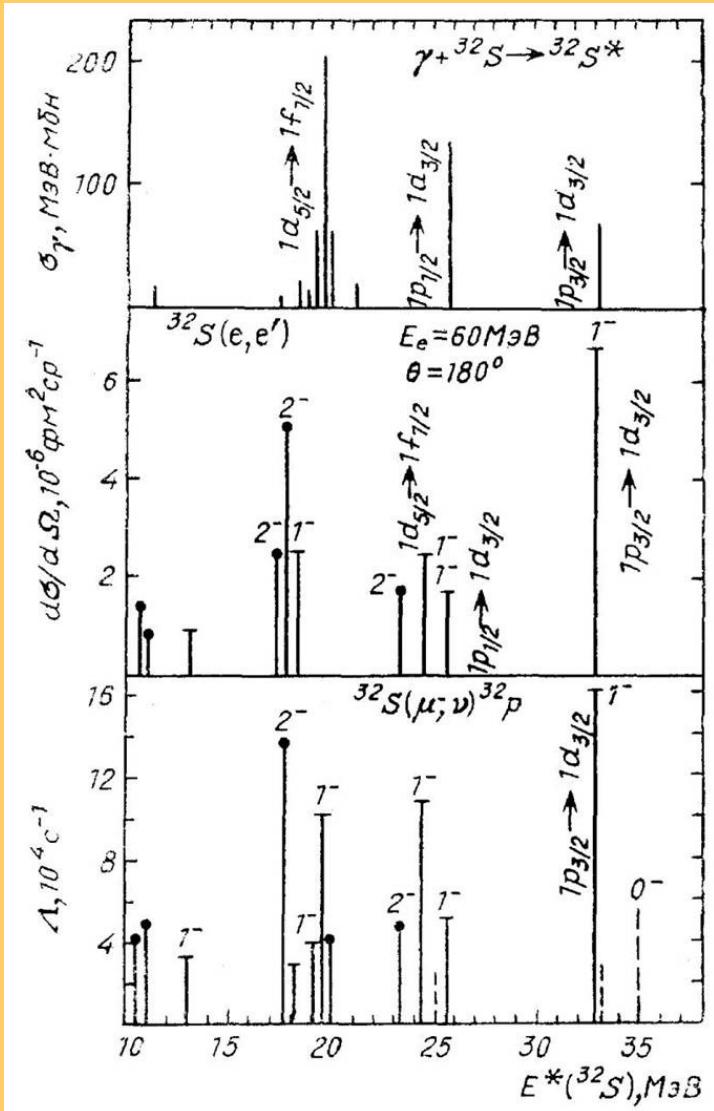
**P.A.Эрамжян**

Институт ядерных исследований РАН, Москва

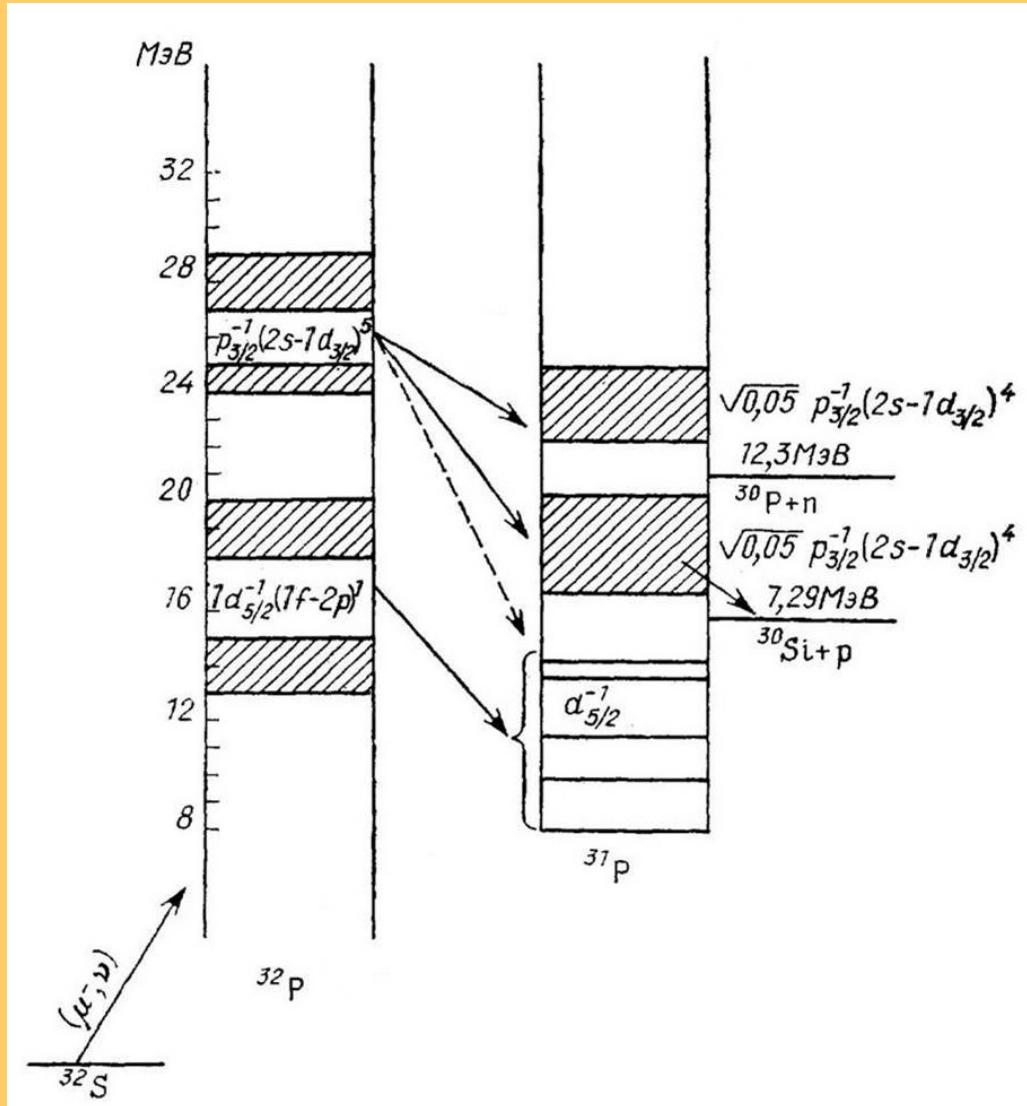


P.A. Эрамжян

${}^7\text{Li}(\gamma, \pi^+)$

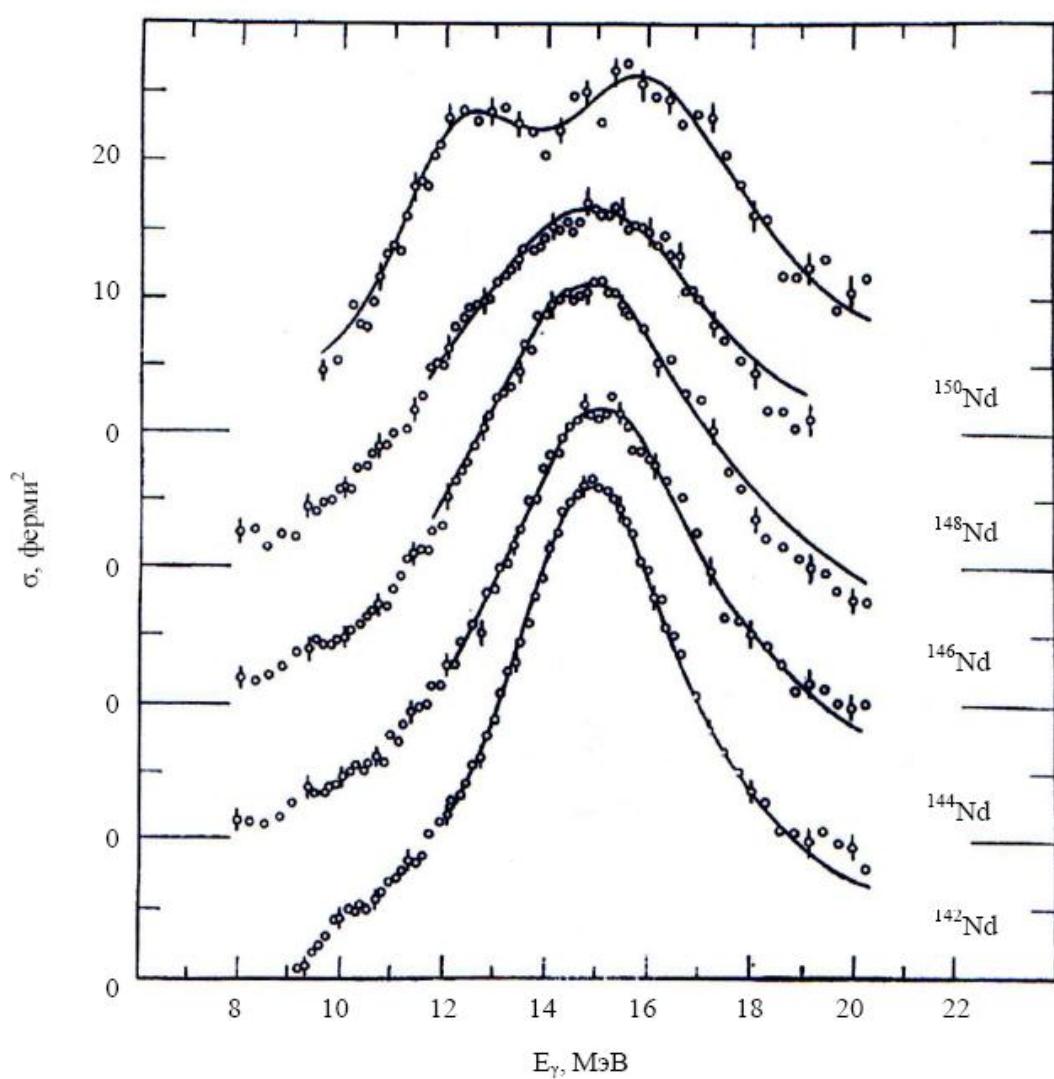


Спектр возбуждения ядерной системы в результате поглощения мюонов ядром  $^{32}\text{S}$  в сравнении с фотопоглощением и рассеянием электронов назад (теория).



Схематическое представление возбуждения и распада ядра  $^{32}\text{S}$  в процессе  $\mu$ -захвата.

# ГДР в тяжелых ядрах

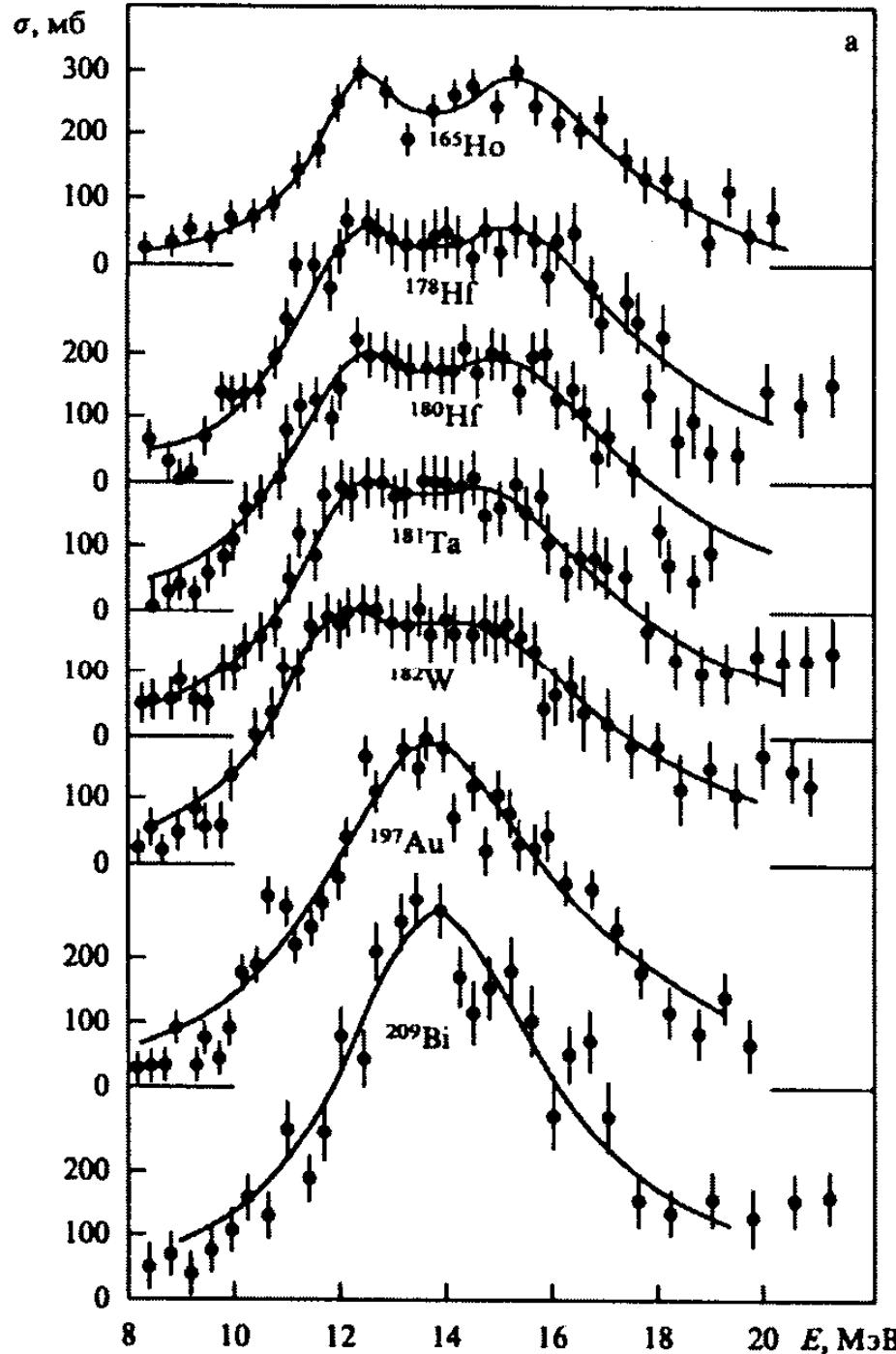


Сечения фотопоглощения  
на четно-четных изотопах неодима.

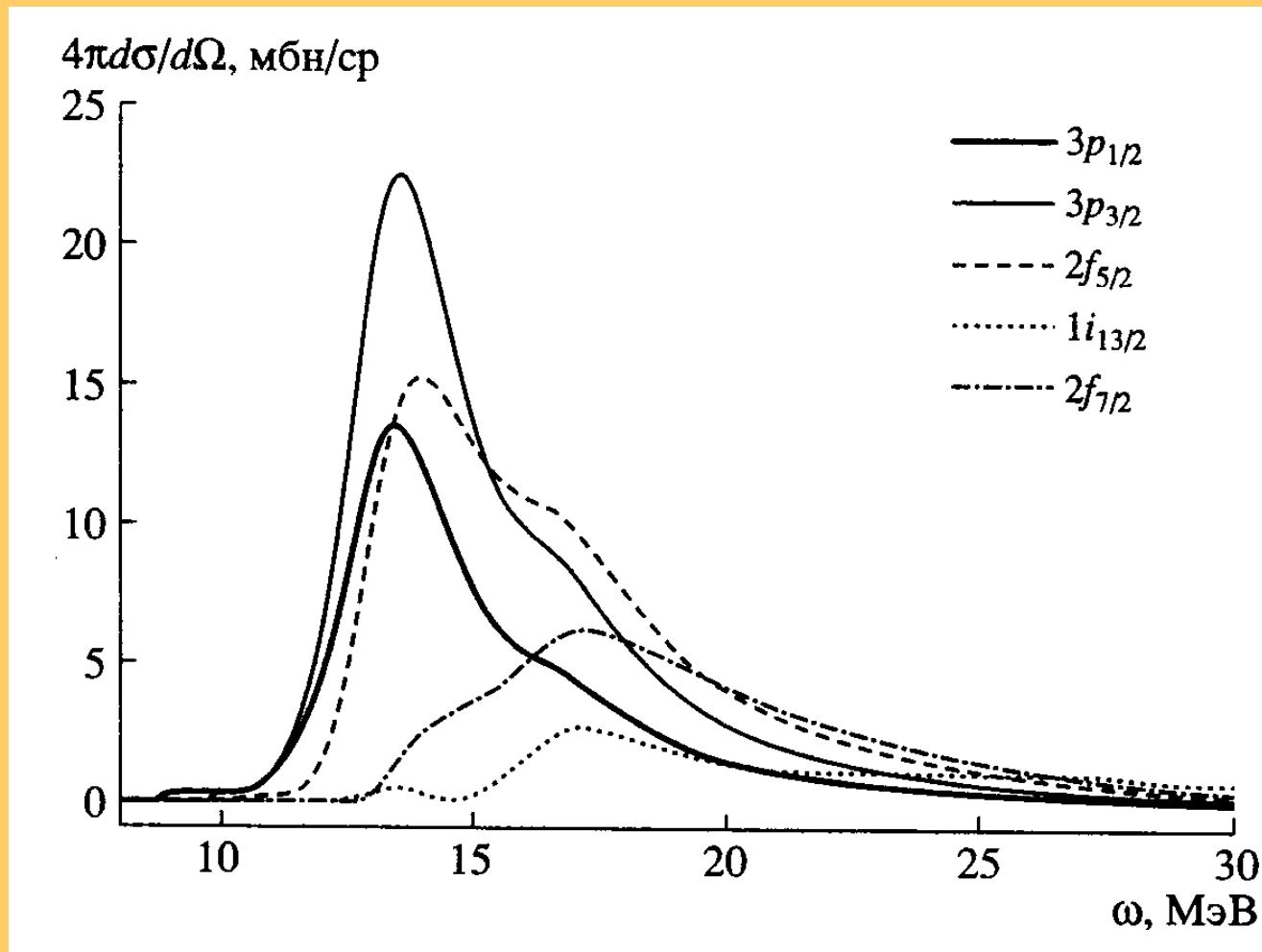
Зависимость ширины гигантского  
динольного резонанса от  
параметра деформации  $\beta$

Изотопы неодима	Ширина ГДР $\Gamma$ , МэВ	Параметр деформации $\beta$
$^{142}\text{Nd}$	4,4	0,10
$^{144}\text{Nd}$	5,3	0,11
$^{146}\text{Nd}$	6,0	0,15
$^{148}\text{Nd}$	7,2	0,19
$^{150}\text{Nd}$	ГДР расщепление на две компоненты	0,27

# Полные сечения фотопоглощения ядер $154 < A < 209$

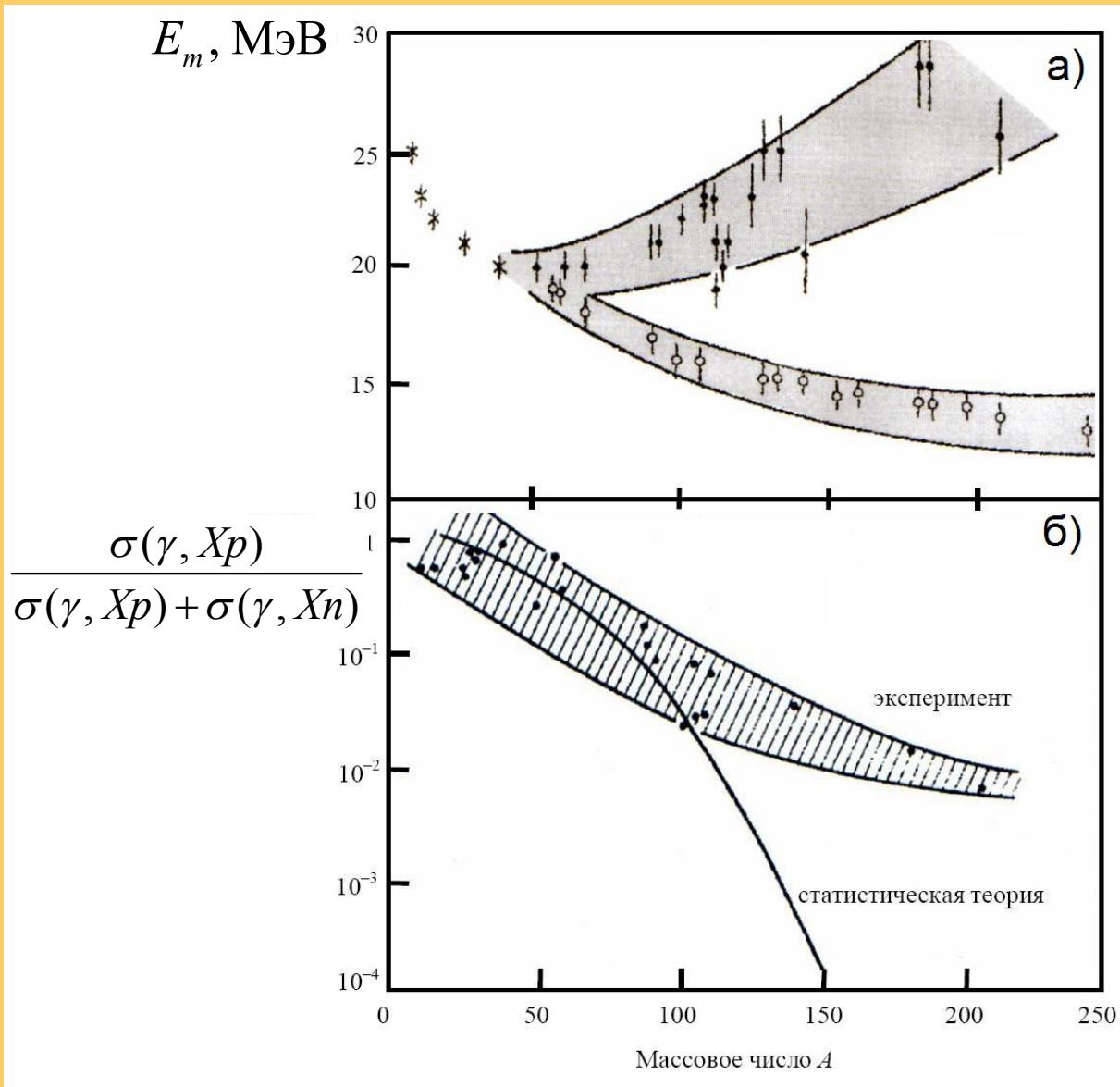


M.H. Urin. Direct-decay properties of giant resonances  
Nuclear Physics A 811 (2008) 107–126



Результаты расчетов дифференциальных (под углом 90°) сечений реакций  $^{208}\text{Pb}(\gamma, \text{n})$  с заселением однодырочных состояний ядра-продукта.

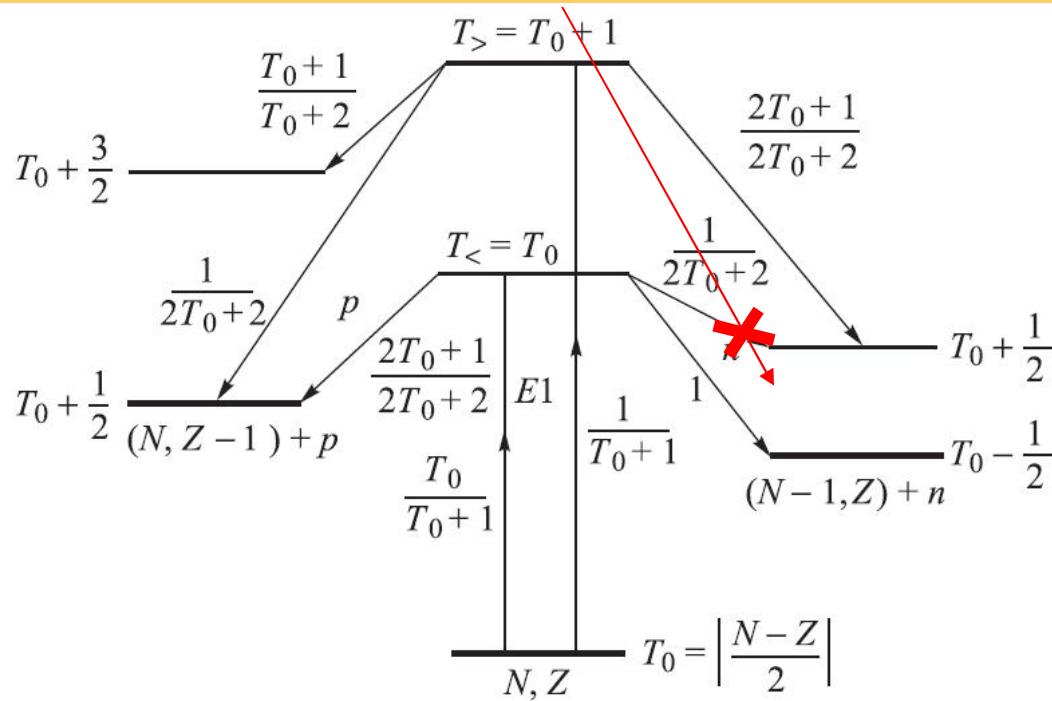
# Изоспиновое расщепление ГДР



Энергия максимумов сечений фотопротонных ( $\gamma, Xp$ ) (темные точки) и фотонейтронных ( $\gamma, Xn$ ) (светлые точки) реакций в зависимости от  $A$ .  
При  $A < 50$  максимумы сечений совпадают.

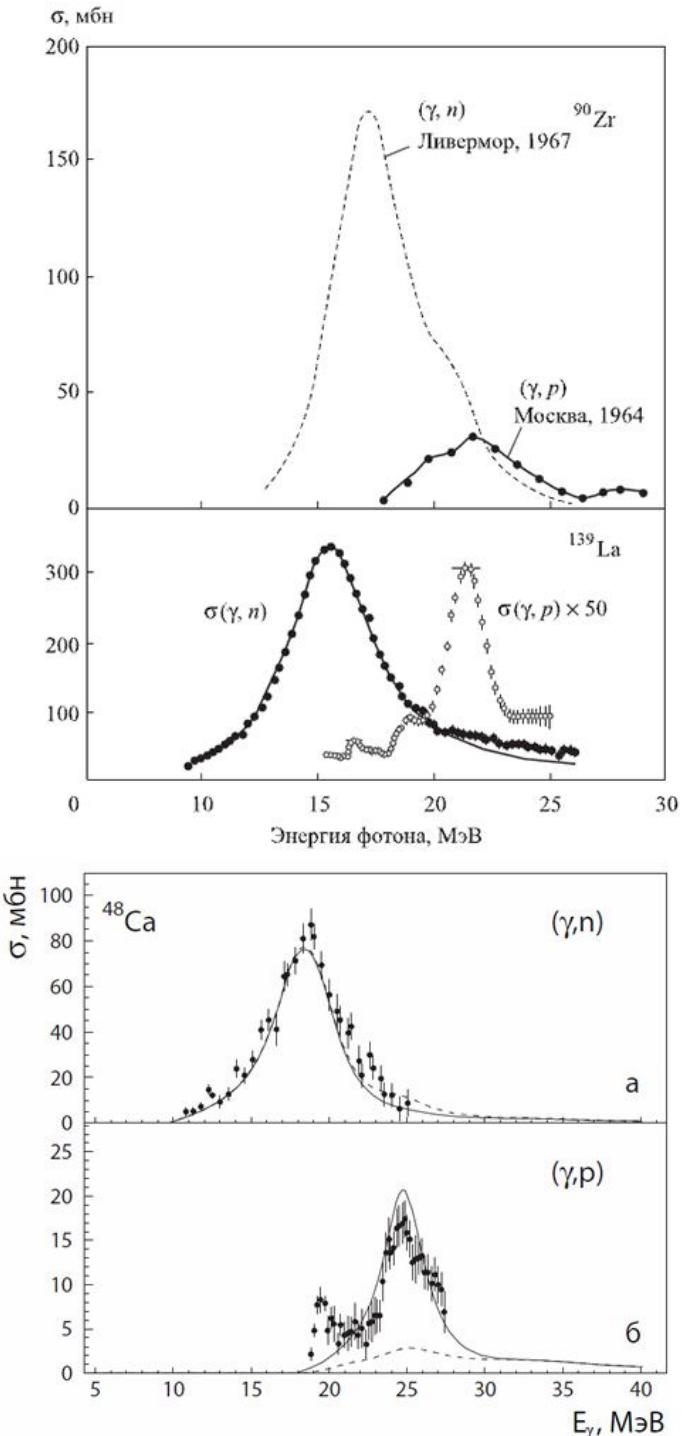
Экспериментальная и предсказываемая статистической теорией зависимости от  $A$  относительного вклада сечений фотопротонных реакций в полное сечение поглощения  $\gamma$ -кванта.

# Изоспиновое расщепление ГДР

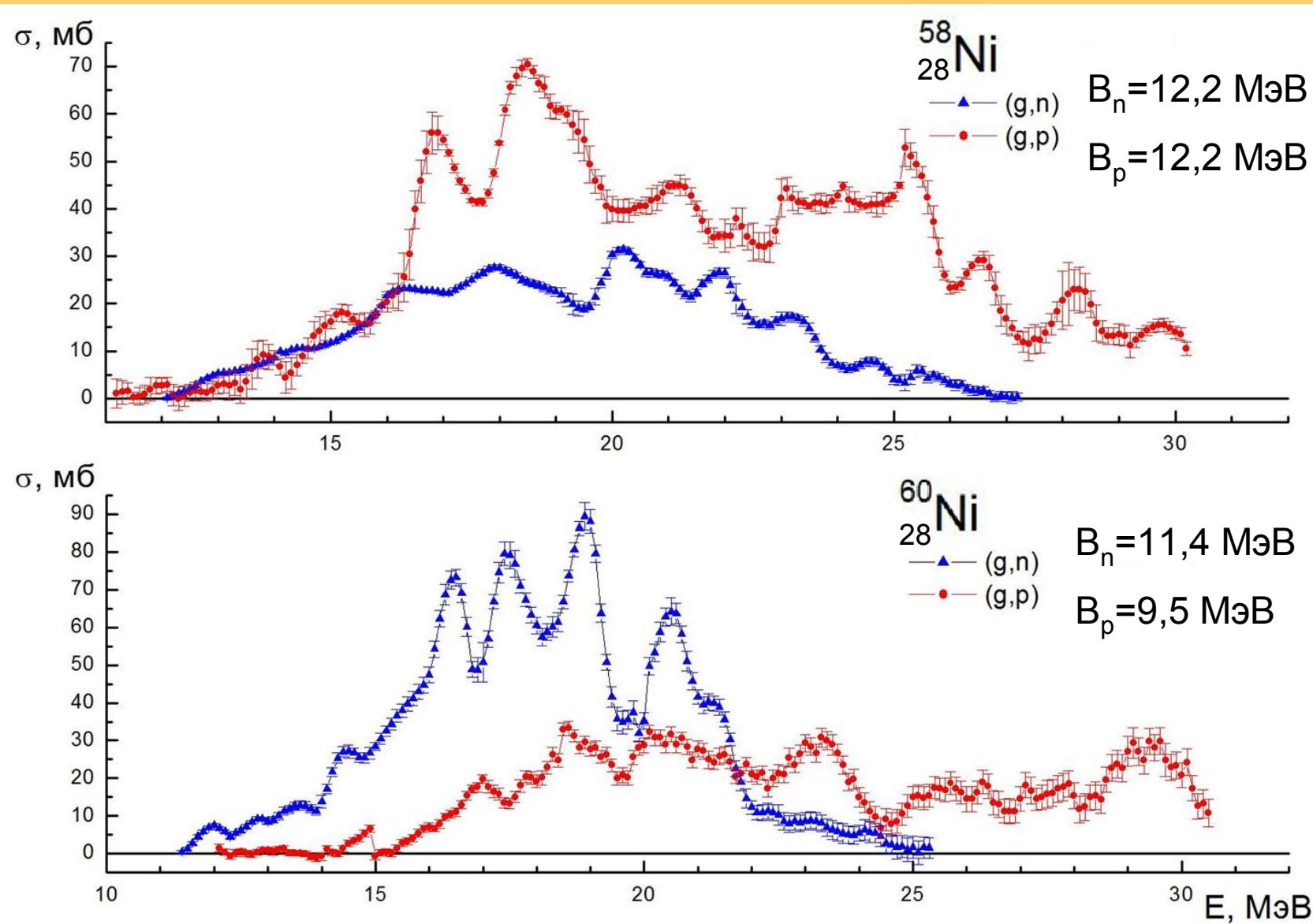


$$\frac{C^2(T_>)}{C^2(T_<)} = \frac{1}{T_0} \left( \frac{1 - 1.5 T_0 A^{-2/3}}{1 + 1.5 A^{-2/3}} \right).$$

$$E(T_>) - E(T_<) = 60 \frac{T_0 + 1}{A} \text{ МэВ.}$$



# Изоспиновое расщепление ГДР $^{58}\text{Ni}$ , $^{60}\text{Ni}$



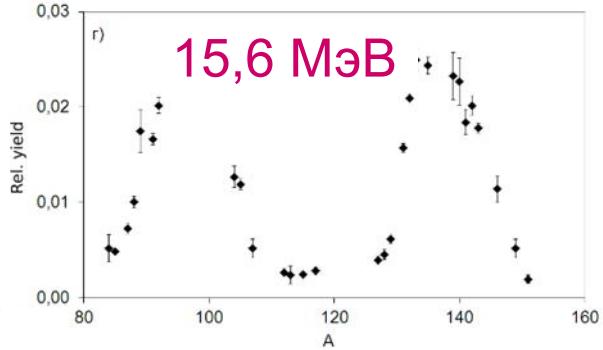
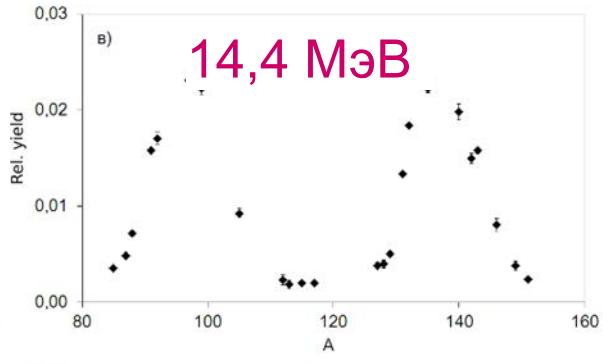
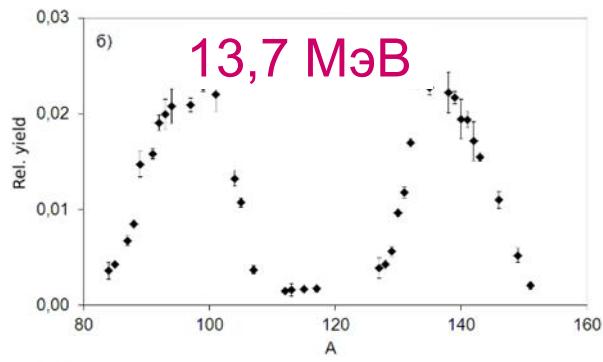
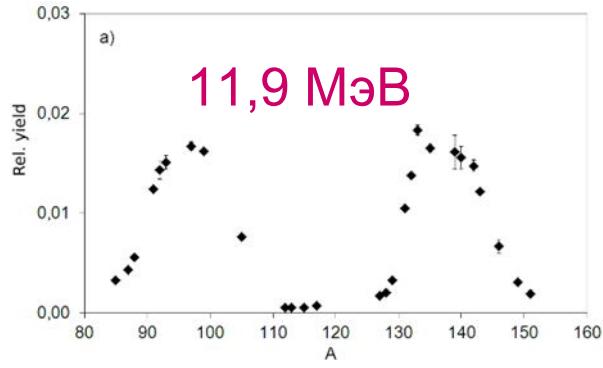
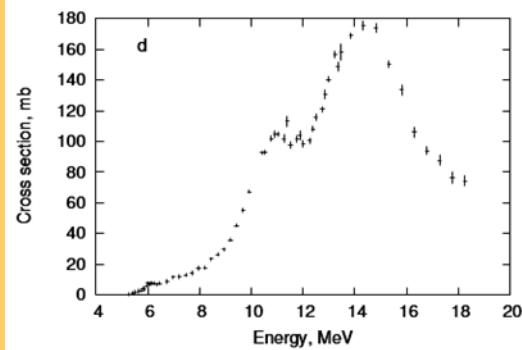
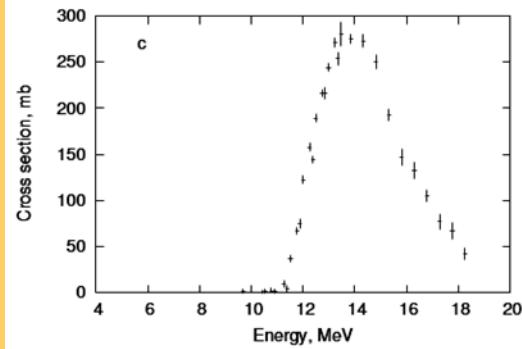
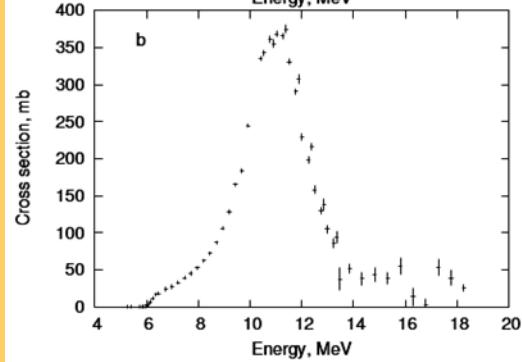
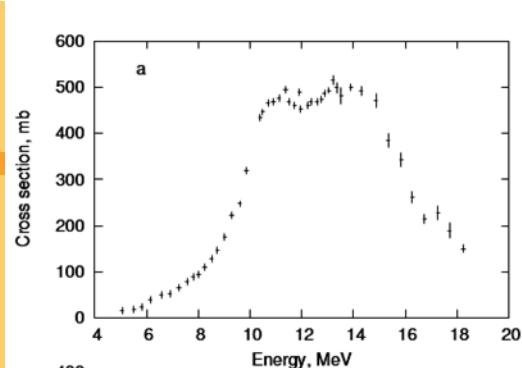
# Фотоделение $^{238}\text{U}$

полное  
поглощение

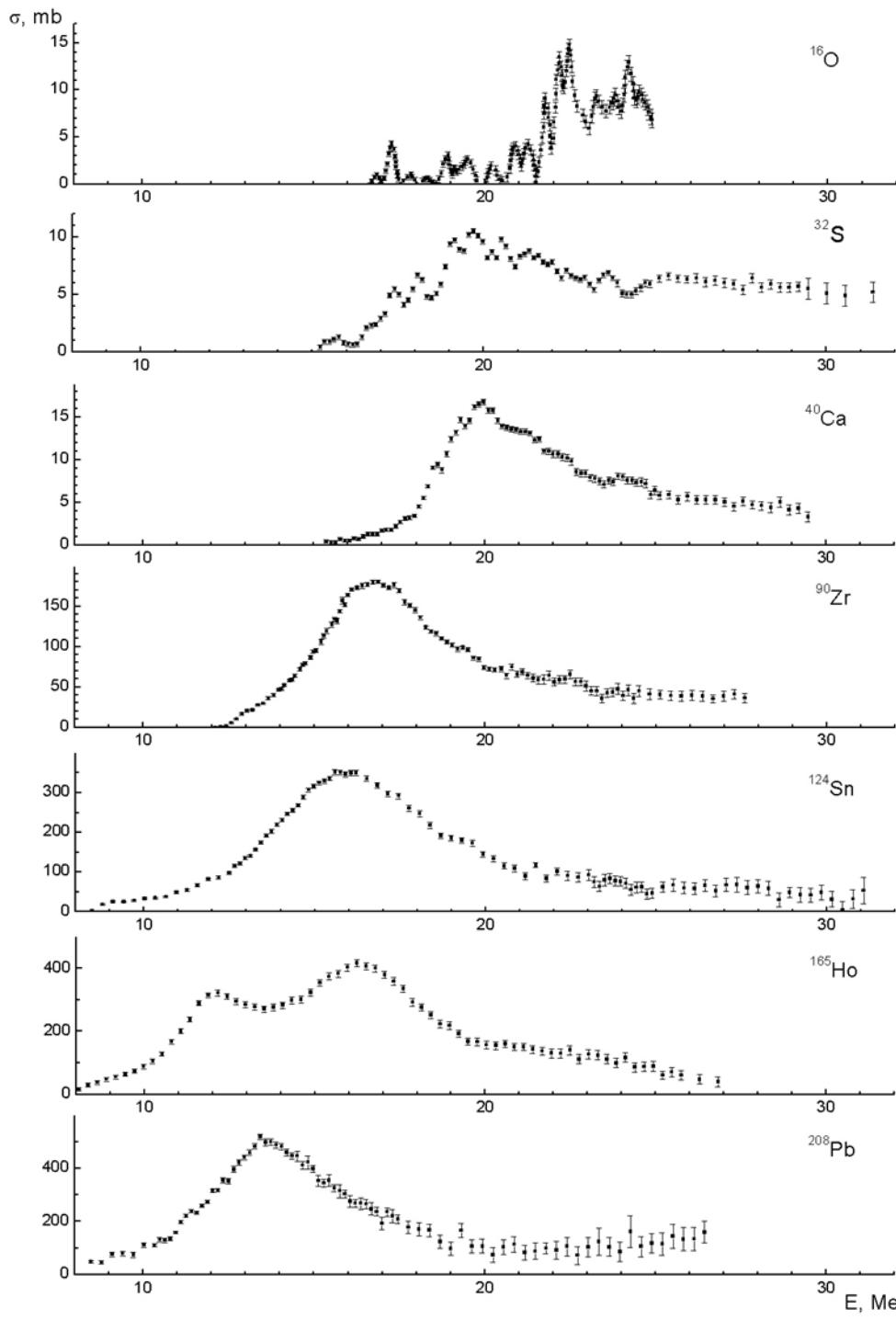
$(\gamma, n)$

$(\gamma, 2n)$

$(\gamma, f)$



А.А.Кузнецов



## Гигантский дипольный резонанс

Положение максимума ГДР

$$E \approx 78 A^{-1/3} \text{ МэВ}$$

Интегральное сечение ГДР

$$\sigma_{\text{int}} = \int_{\text{GDR}} \sigma(E) dE \approx 60 \frac{NZ}{A} \text{ МэВ} \cdot \text{мб}$$

Расщепление максимума ГДР в деформированных ядрах

$$E_a = 78 \frac{r_0}{a} \text{ МэВ}, \quad E_b = 78 \frac{r_0}{b} \text{ МэВ}$$

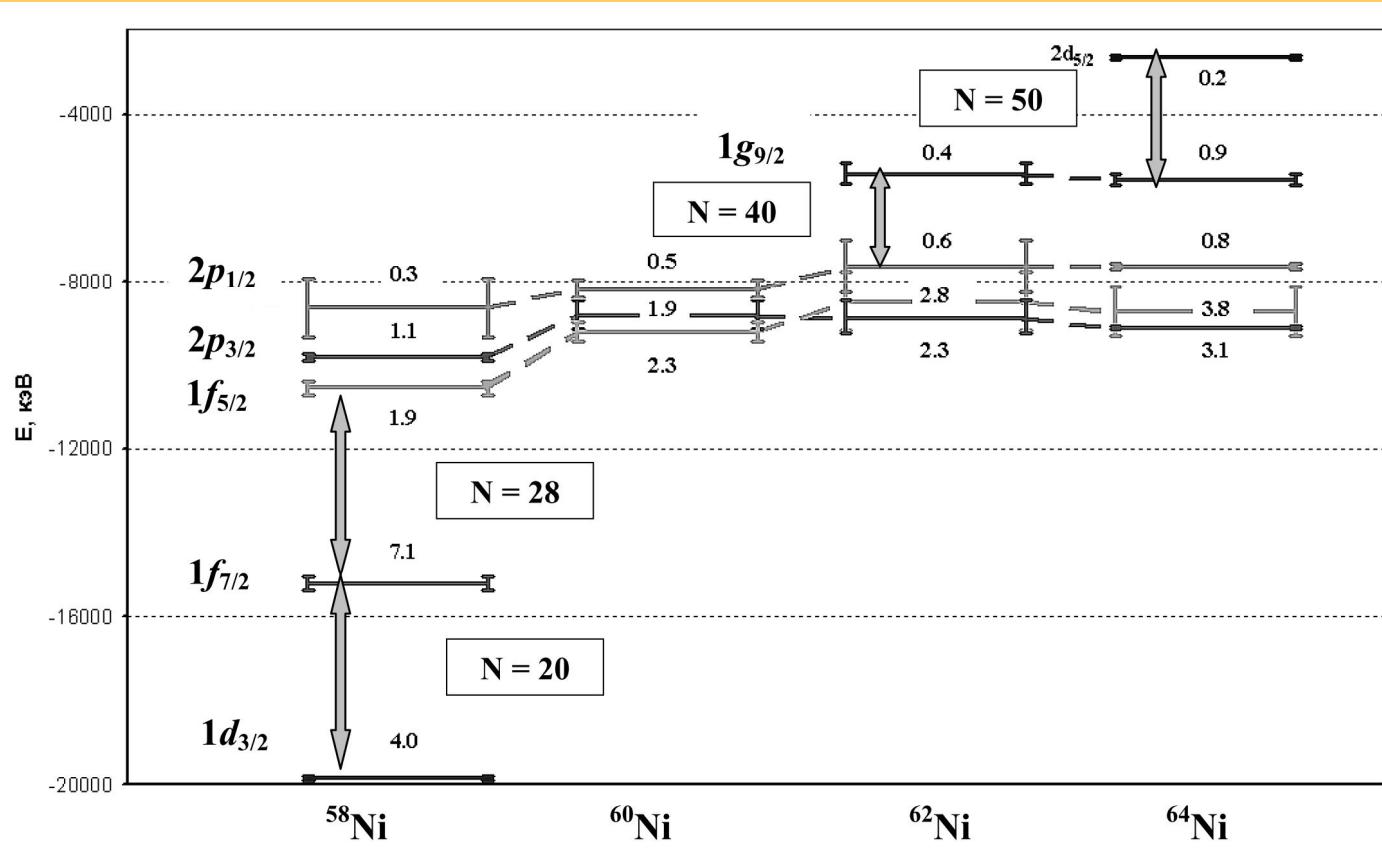
$$\Delta E = E_b - E_a = 78 A^{-1/3} \beta \text{ МэВ}$$

Сечения реакций ( $\gamma, xn$ ) в области энергий ГДР.

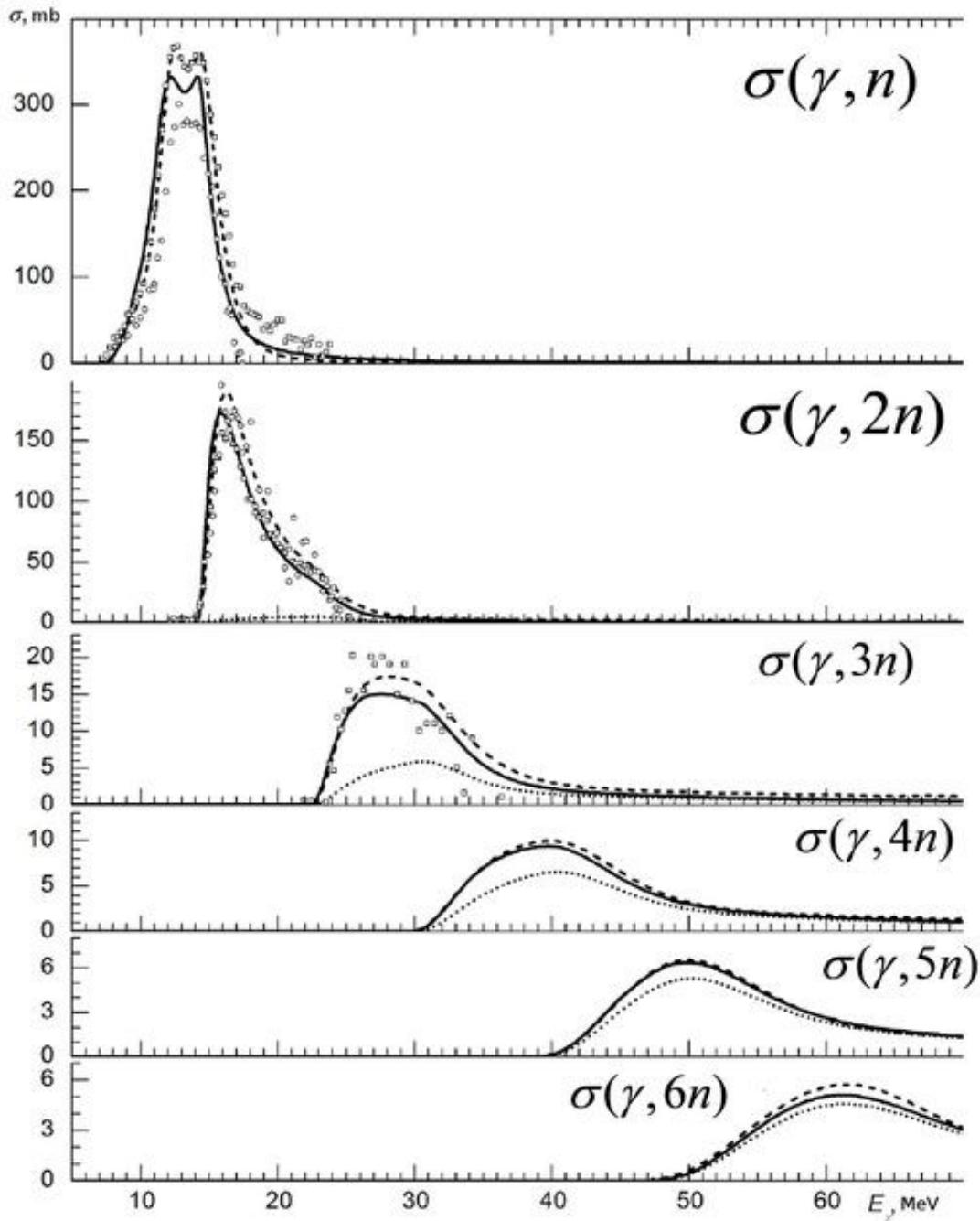
# «Локальные» магические ядра и их природа



И.Н. Бобошин



Энергии (кэВ) нейтронных подоболочек изотопов Ni.



В.Н. Орлин

## Комбинированная модель фотоядерных реакций

Фотонейтронные реакции  
различной множественности  
на изотопе  $^{181}\text{Ta}$ .

В 1979 г. создан Центр данных фотоядерных экспериментов НИИЯФ МГУ.  
В 1986 г. начальником ЦДФЭ назначен к.ф.-м.н. с.н.с. В.В.Варламов.

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР  
МОСКОВСКИЙ ФИЛАТЕЛИСТИЧЕСКИЙ И ОФИЦИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В.Ломоносова

ПРИКАЗ

$10^{\text{th}}$  Г. Г. Москва

\* 552

28-158-500

В целях повышения эффективности работы Группы анализа ядерных данных, полученных в экспериментах с  $\gamma$ -квантами, в направлении сбора, систематизации и распространения данных о фотоядерных реакциях и упорядочения контактов ее сотрудников с организациями и лицами в СССР и за рубежом, ПРИКАЗЫВАЮ:

or

Переименовать Группу анализа ядерных данных, полученных в экспериментах с  $\gamma$ -квантами в ЦЕНТР ДАННЫХ ФОТОЯДЕРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ (ЦДФЭ).

8

Назначить начальником ЦДФЭ НИИФ МГУ с правом подписи соответствующих документов начальнике ЛЭПВАЛ НИИФ МГУ профессора Б.С.Ишханову.

8

Назначить заместителями начальника ЦДЭФ НИИФ МГУ с правом подписи соответствующих документов к.ф.м.н.И.М.Капитонова и к.ф.м.н. В.В.Варламова.

8

Заместителю НИИФ МГУ по административно-хозяйственной работе совместно с начальником ЦДЭЭ профессором Б.С.Ишхеновым подготовить вопрос о создании на основе официального бланка НИИФ МГУ официального бланка ЦДЭЭ НИИФ МГУ.

8

Ученому секретарю НИИФ МГУ Е.А.Романовскому совместно с начальником ЦДЭЗ профессором Б.С.Ишхановым подготовить вопрос о порядке засудебных контактов ЦДЭЗ.

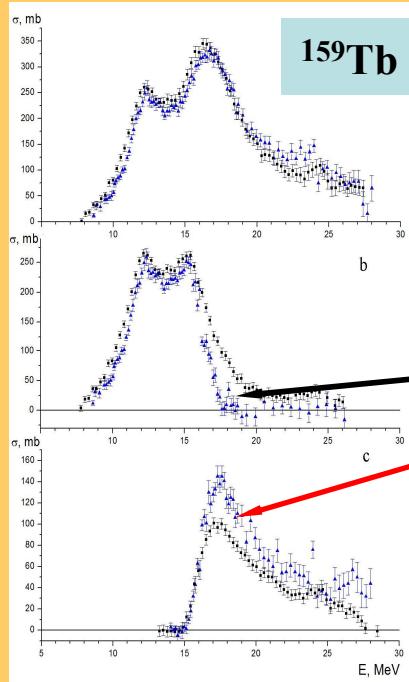


# Проблема парциальных сечений фотоядерных реакций

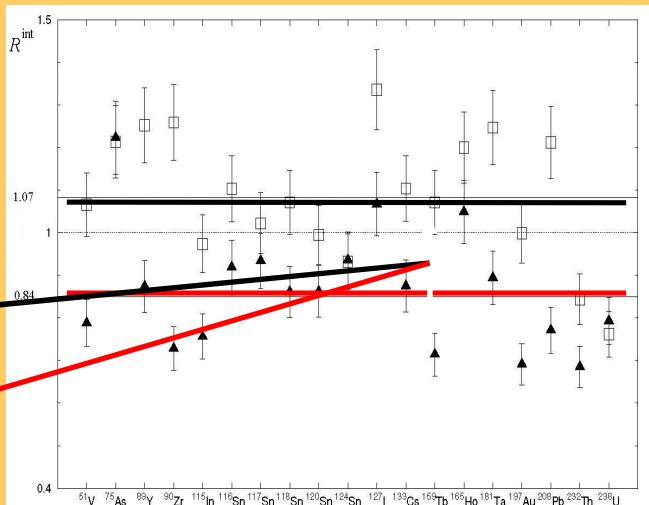
Различие в данных экспериментов на пучках тормозных фотонов и в данных экспериментов на пучках квазимонохроматических фотонов

Саклэ и Ливермор

# Систематика отношений интегральных сечений $R^{\text{int}} = \sigma^{\text{int}}_{\text{Saclay}} / \sigma^{\text{int}}_{\text{Livermore}}$ парциальных реакций для 19 ядер, исследованных в на пучках квазимоноэнергетических аннигиляционных фотонов в Сакле (Франция) и Ливерморе (США)



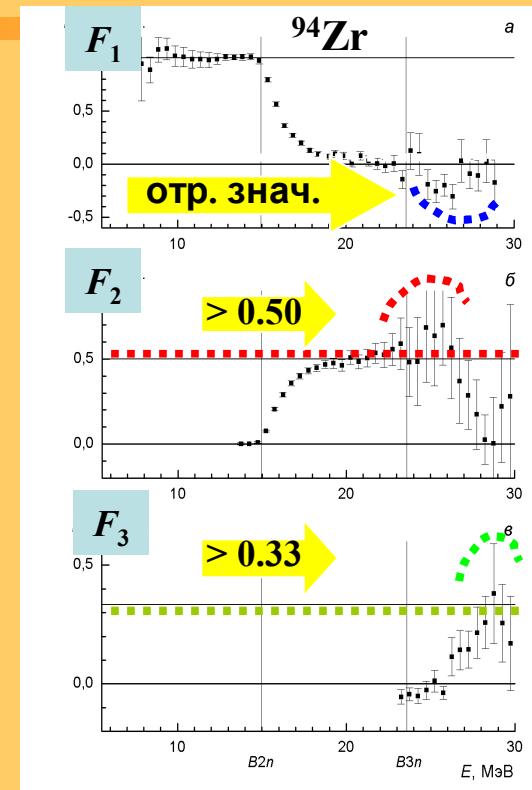
Сечения реакций ( $\gamma, 1n$ ) заметно (до ~100 %) больше в Сакле:  
квадраты - в области  $R > 1$ :  $\langle R \rangle = 1.07$ .



Сечения реакций ( $\gamma, 2n$ ) заметно (до ~100 %) больше в Ливерморе:  
треугольники - в области  $R < 1$ :  
 $\langle R \rangle = 0.84$ .

Объективные физические критерии достоверности данных

$$F_2 = \frac{\sigma(\gamma, 2n)}{\sigma(\gamma, 1n) + 2\sigma(\gamma, 2n) + 3\sigma(\gamma, 3n) + \dots} < 0.50 (!)$$



$F_1 < 1.00, F_2 < 0.50, F_3 < 0.33, F_4 < 0.25, \dots$

$^{59}\text{Co}, ^{63,65}\text{Cu}, ^{80}\text{Se}, ^{90-94}\text{Zr}, ^{98}\text{Mo}, ^{115}\text{In}, ^{112-124}\text{Sn}, ^{133}\text{Cs}, ^{138}\text{Ba}, ^{139}\text{La}, ^{140,142}\text{Ce}, ^{159}\text{Tb}, ^{181}\text{Ta}, ^{186}\text{W}, ^{186-192}\text{Os}, ^{197}\text{Au}, ^{208}\text{Pb}, ^{209}\text{Bi}$

Систематические расхождения - погрешности определения множественности фотонейтронов

# Экспериментально-теоретический метод оценки

$$\sigma_{\text{оцен}}(\gamma, \text{in}) = F_i^{\text{теор}} \bullet \sigma_{\text{эксп}}(\gamma, \text{xn})$$

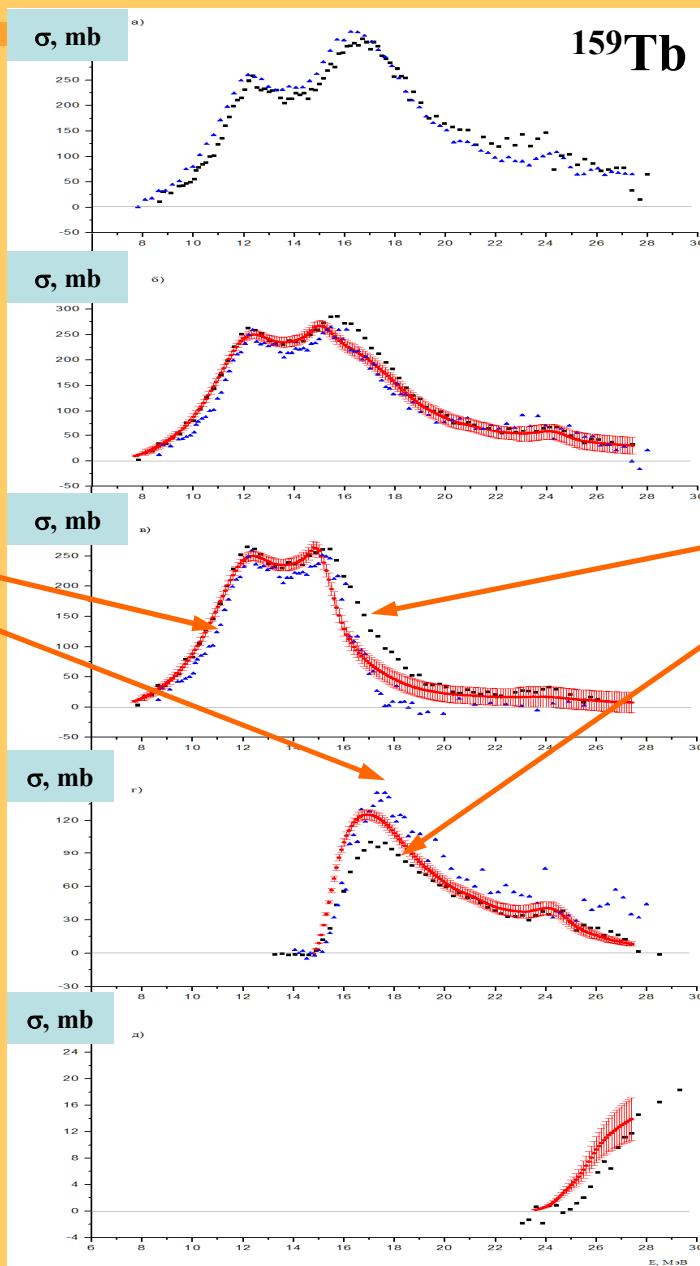
$\sigma(\gamma, \text{xn})$

Данные  
Ливермора

$\sigma(\gamma, 1n)$

$\sigma(\gamma, 2n)$

$\sigma(\gamma, 3n)$



Данные  
Сакле

# «Top25», 2017

PhysRevC. 95.054607.pdf - Adobe Reader

Файл Редактирование Просмотр Окно Справка

1 / 5 | 111% | Использовать масштаб | Инструменты Подписание Комментарии Дополнительно Войти

PHYSICAL REVIEW C 95, 054607 (2017)

Reliability of ( $\gamma$ , In), ( $\gamma$ , 2n), and ( $\gamma$ , 3n) cross-section data on  $^{159}\text{Tb}$

V. Varlamov,<sup>1,\*</sup> B. Ishkhanov,<sup>1,2</sup> and V. Orlin<sup>1</sup>

PhysRevC. 96.044606.pdf - Adobe Reader

Файл Редактирование Просмотр Окно Справка

1 / 7 | 111% | Использовать масштаб | Инструменты Подписание Комментарии Дополнительно Войти

PHYSICAL REVIEW C 96, 044606 (2017)

Experimental and evaluated photoneutron cross sections for  $^{197}\text{Au}$

V. Varlamov,<sup>1,\*</sup> B. Ishkhanov,<sup>1,2</sup> and V. Orlin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, 119991 Moscow, Russia

<sup>2</sup>Physics Faculty, Lomonosov Moscow State University, 119991 Moscow, Russia

(Received 7 June 2017; revised manuscript received 21 August 2017; published 9 October 2017)

PhysRevC. 96.044604.pdf - Adobe Reader

Файл Редактирование Просмотр Окно Справка

1 / 12 | 111% | Использовать масштаб | Инструменты Подписание Комментарии Дополнительно Войти

PHYSICAL REVIEW C 96, 044604 (2017)

Photoneutron cross-section measurements in the  $^{209}\text{Bi}(\gamma, xn)$  reaction with a new method of direct neutron-multiplicity sorting

I. Gheorghe,<sup>1,2</sup> H. Utsunomiya,<sup>3,\*</sup> S. Katayama,<sup>3</sup> D. Filipescu,<sup>1,4</sup> S. Belyshev,<sup>5</sup> K. Stopani,<sup>6</sup> V. Orlin,<sup>6</sup> V. Varlamov,<sup>6</sup>

NuclInstr-AB71-135-2017.pdf - Adobe Reader

Файл Редактирование Просмотр Окно Справка

135 (1 из 7) | 110% | Использовать масштаб | Инструменты Подписание Комментарии Войти

Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 871 (2017) 135–141

Contents lists available at ScienceDirect

Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/nima](http://www.elsevier.com/locate/nima)

ELSEVIER

Direct neutron-multiplicity sorting with a flat-efficiency detector

Hiroaki Utsunomiya,<sup>1</sup> Sergey Belyshev,<sup>2</sup> Seitarou Katayama<sup>3</sup>

CrossMark

i2017-12373-7.pdf - Adobe Reader

Файл Редактирование Просмотр Окно Справка

1 (1 из 7) | 112% | Использовать масштаб | Инструменты Подписание Комментарии

Этот файл соответствует стандарту PDF/A. В целях предотвращения внесения изменений он был открыт только для чтения.

Разрешить редактирование

Eur. Phys. J. A (2017) 53: 180  
DOI 10.1140/epja/i2017-12373-7

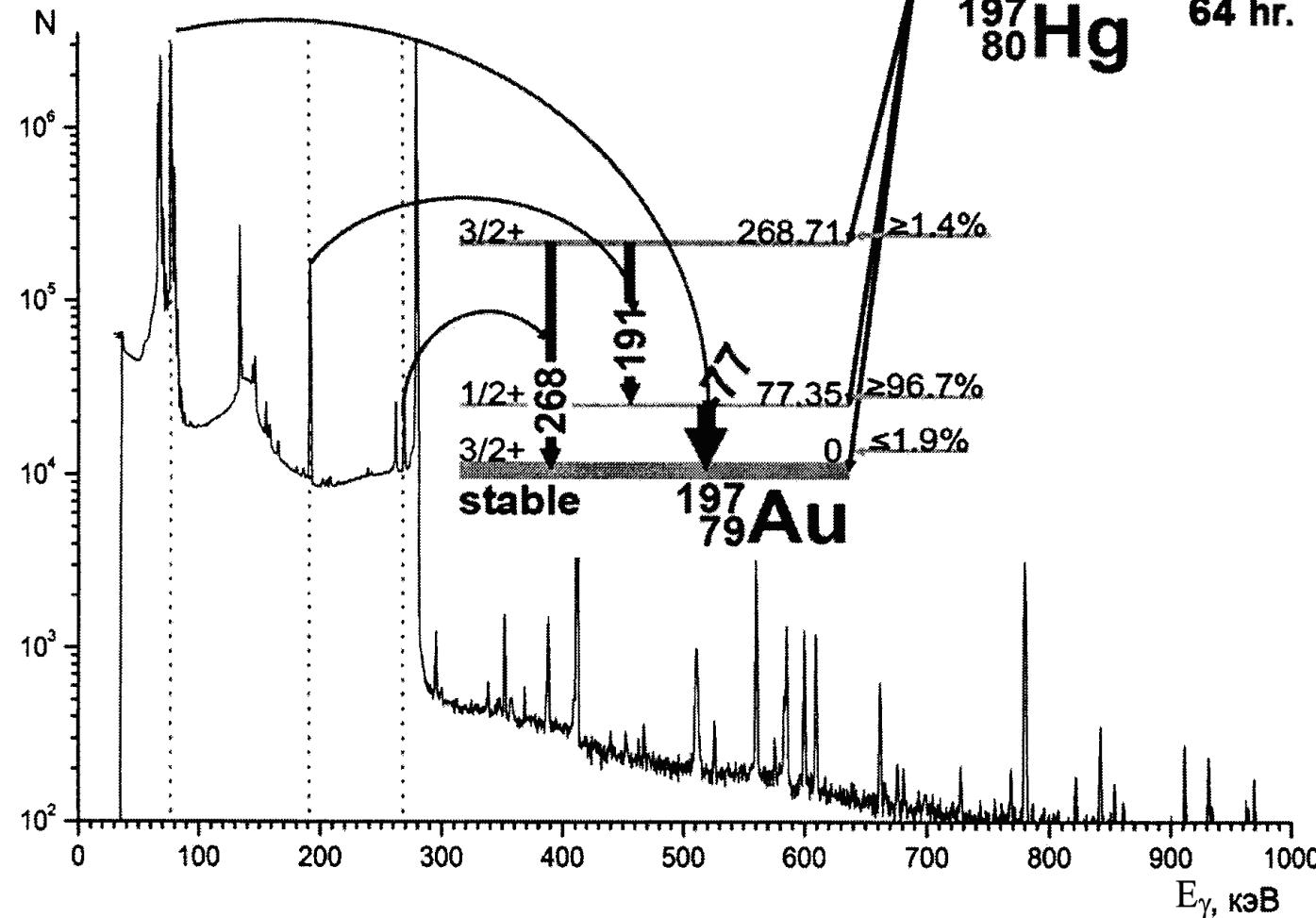
Regular Article – Experimental Physics

THE EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL A

Photoneutron cross sections for  $^{59}\text{Co}$ : Systematic uncertainties of data from various experiments

V.V. Varlamov<sup>1,a</sup>, A.I. Davydov<sup>2</sup>, and B.S. Ishkhanov<sup>1,2</sup>

# Гамма-активационная методика множественных реакций



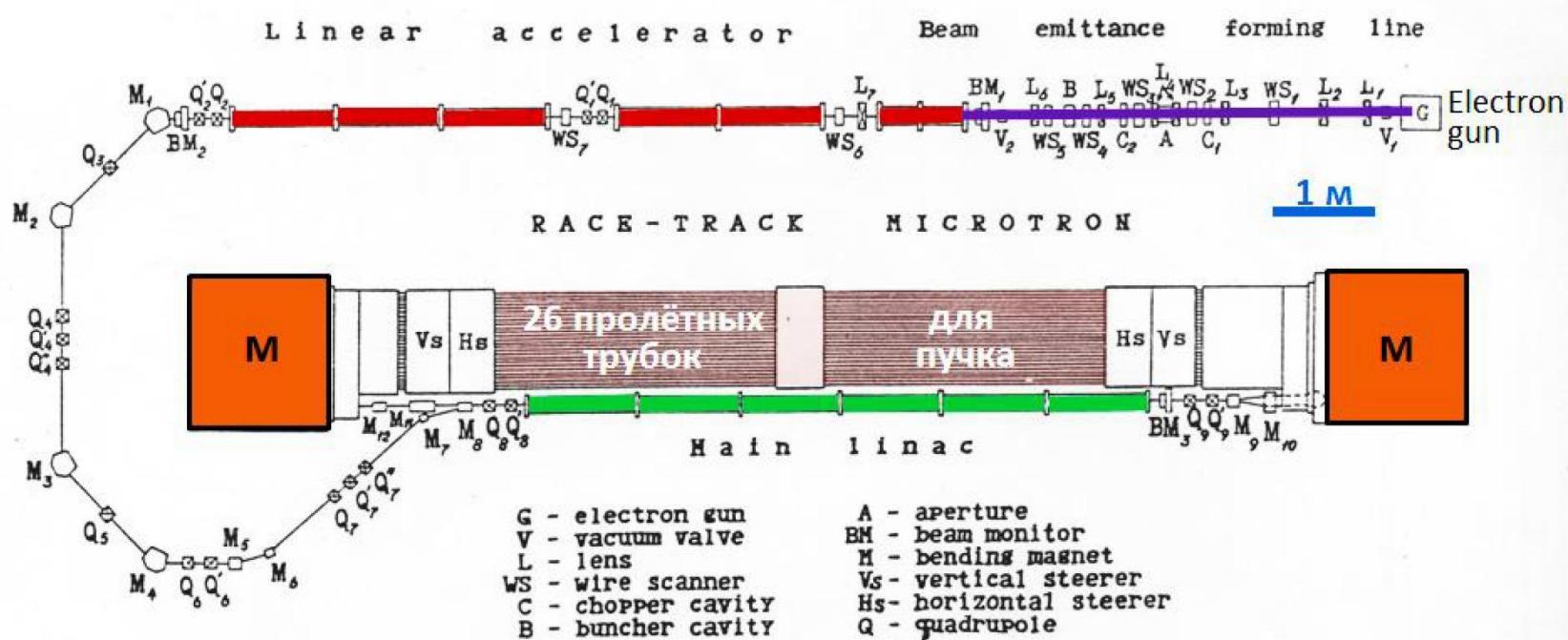
Образование и распад радиоактивного изотопа  $^{197}\text{Hg}$  в реакции  $^{198}\text{Hg}(\gamma, n)^{197}\text{Hg}$ .

# Разрезной микротрон 175 МэВ

Энергия инжекции	6 МэВ
Энергия главного ускорителя (и прирост за одно прохождение)	6 МэВ
Число прохождений	27
Энергия на выходе	24–175 МэВ
Фактор заполнения рабочего цикла, $D$	100%
Относительный энергетический разброс	$10^{-3}$ – $10^{-4}$
Поперечный эмиттанс пучка	0,05 мм·мрад
Максимальный ток пучка	100 мкА
Расстояние между двумя поворотными магнитами	10 м
Вес каждого поворотного магнита	18 т
Длина линейного ускорителя	6,24 м
Число клистронов	12+1
Частота следования банд	2450 МГц



В.И. Шведунов

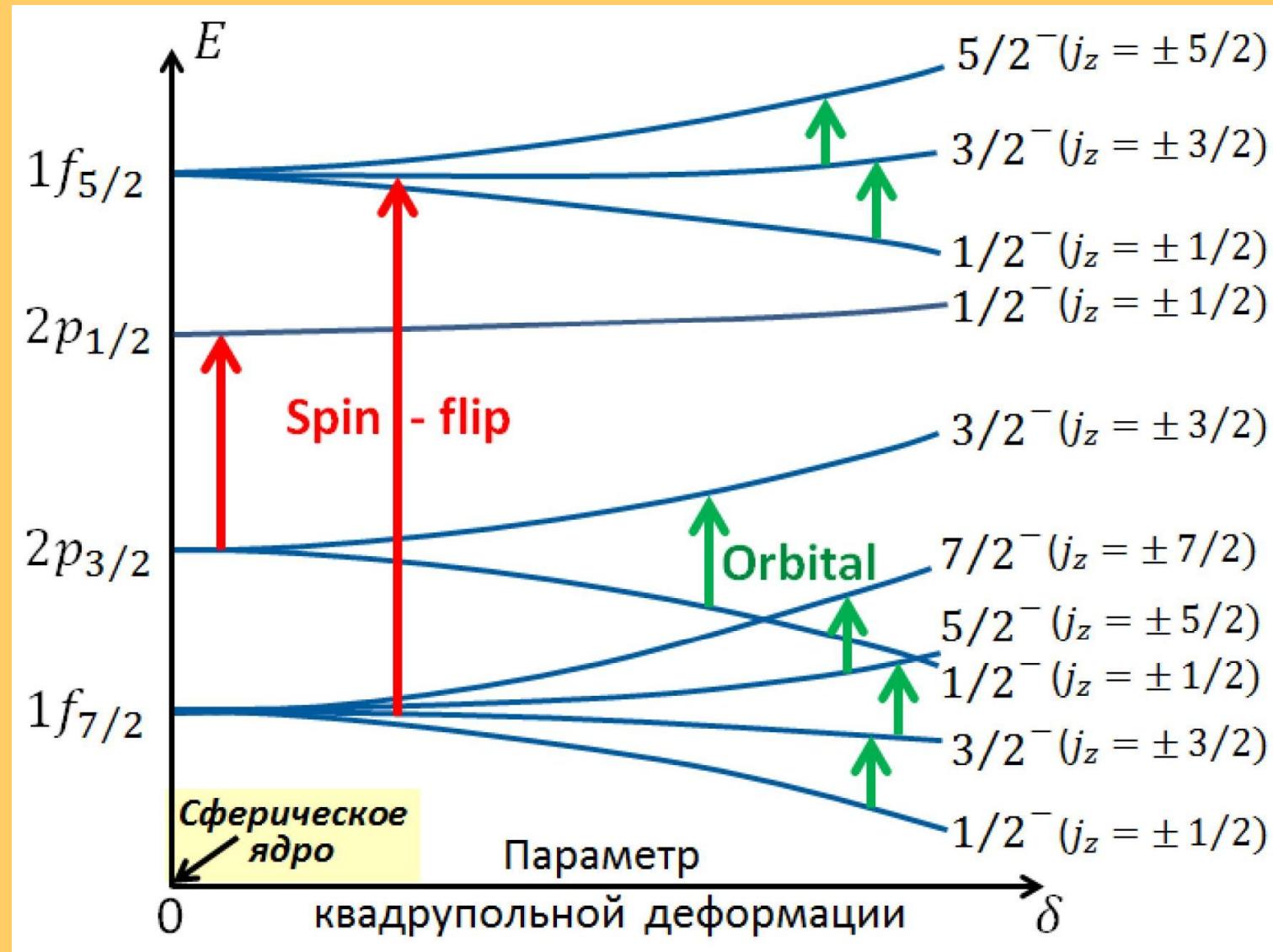


# Изучение пигми-резонанса

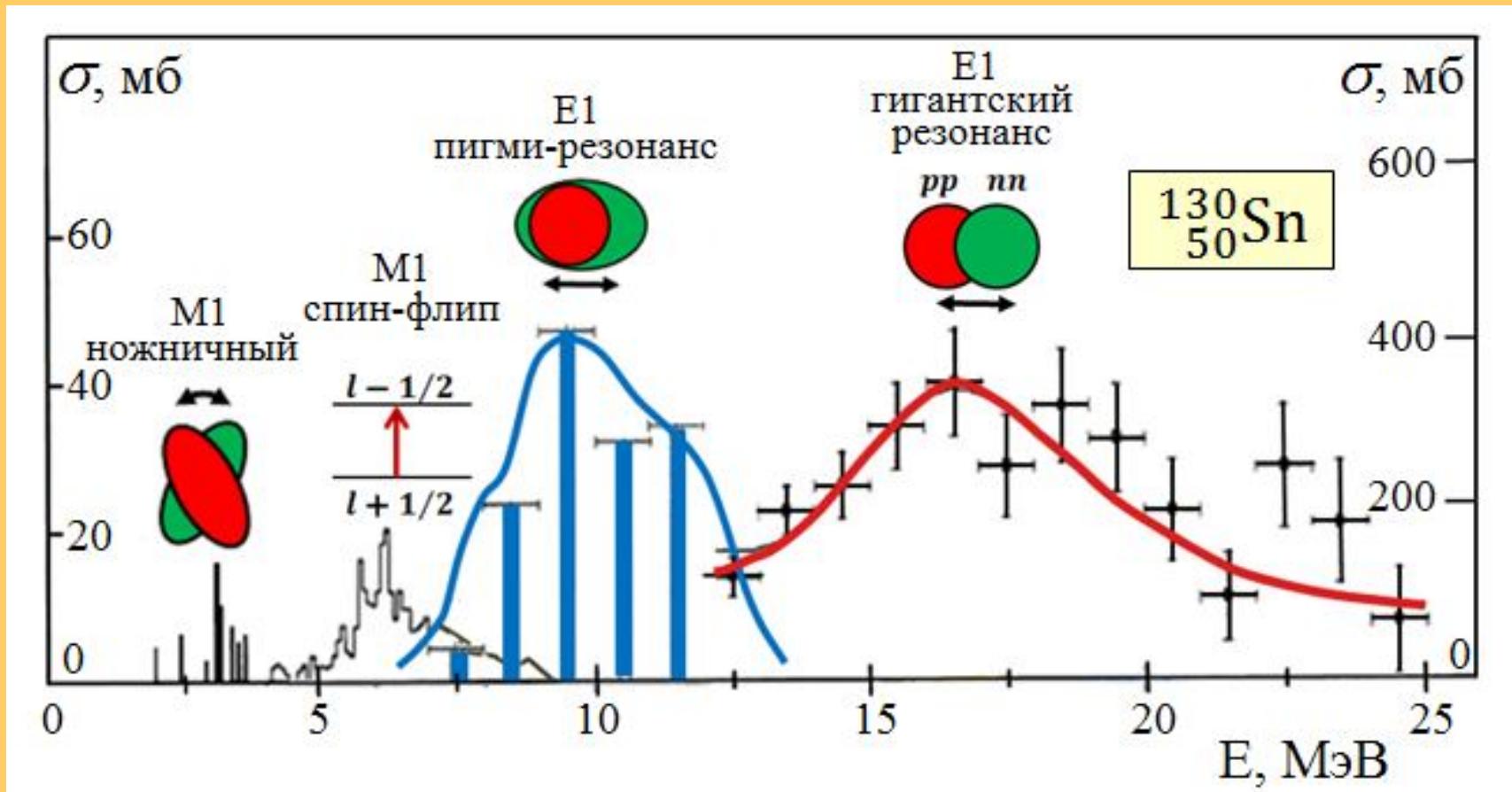
---

- Новое коллективное движение.
- Новые свойства ядер, удаленных от полосы  $\beta$ -стабильности.
- Структура основных состояний ядер.

# Однонуклонные спин-флиповые и орбитальные M1-переходы в несферическом ядре 1f2p-оболочки



# Дипольные возбуждения $E_\gamma < 10$ МэВ



Распределение силы E1-переходов взято из экспериментальных данных работ:

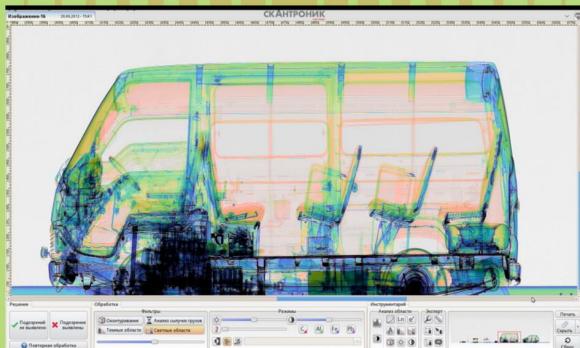
P. Adrich *et al.*//Phys. Rev. Lett. 2005. V.95. 132501;

A. Klimkiewich *et al.*//Phys. Rev. C. 2007. V.76. 051603.

Распределение силы M1-переходов оценено по соседним ядрам.

# КАФЕДРА ОБЩЕЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

## ОТДЕЛ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ АТОМНЫХ ЯДЕР



Изображение, полученное с помощью инспекционно-досмотрового комплекса. В основе комплекса лежит линейный ускоритель электронов с поимпульсным переключением энергии.



Импульсный разрезной микротрон RTM-70 НИИЯФ МГУ на энергию электронов 70 МэВ.

### УСКОРИТЕЛИ ЭЛЕКТРОНОВ, РАЗРАБОТАННЫЕ С УЧАСТИЕМ НИИЯФ МГУ

Ускоритель электронов для радиографии на энергию 3 ÷ 8 МэВ. Используется для контроля сварных швов элементов атомных реакторов.

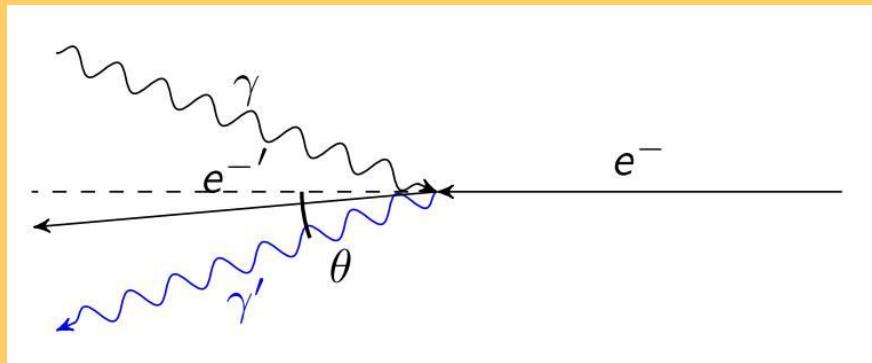


Действующий прототип мощного промышленного импульсного линейного ускорителя на энергию 10 МэВ. Используется, в частности, для испытания элементов космической техники.

Импульсный разрезной микротрон на энергию 55 МэВ для системы детектирования взрывчатых веществ. Совместный проект с ФИАН. Ускоритель создан по заказу Ливерморской лаборатории США.



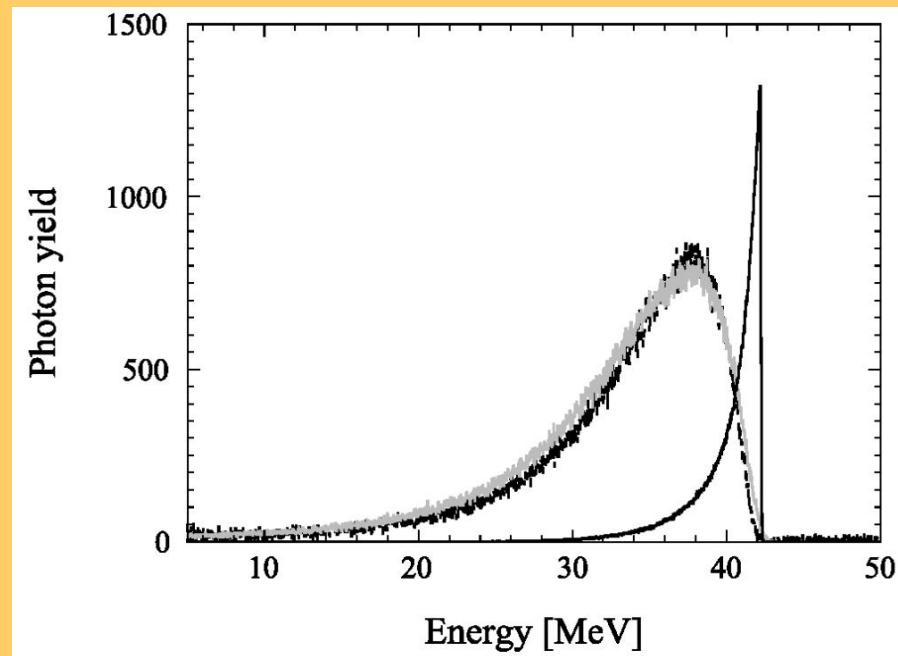
# Источник LCS фотонов



С.С. Белышев



В.В. Варламов



А.А. Кузнецов



К.А. Стопани

# Физика JLAB

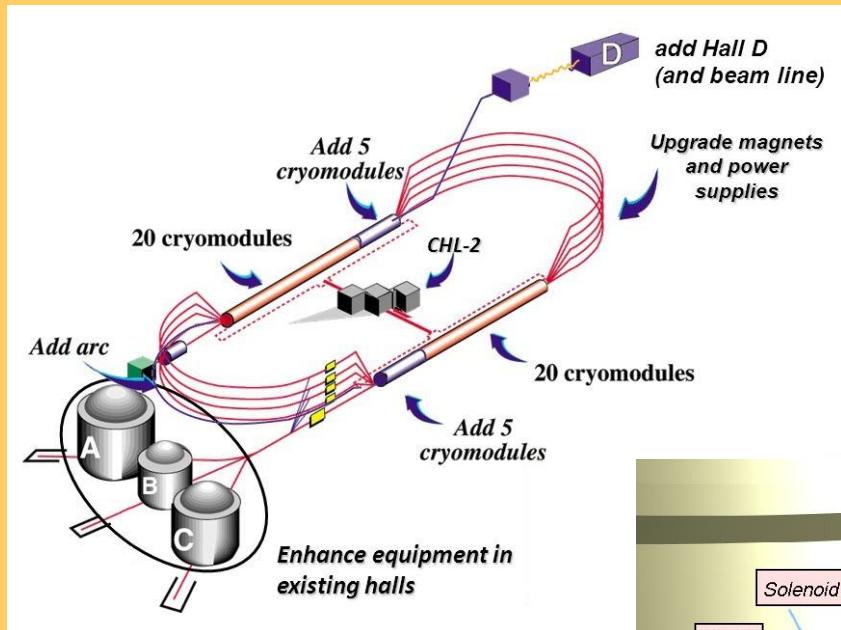
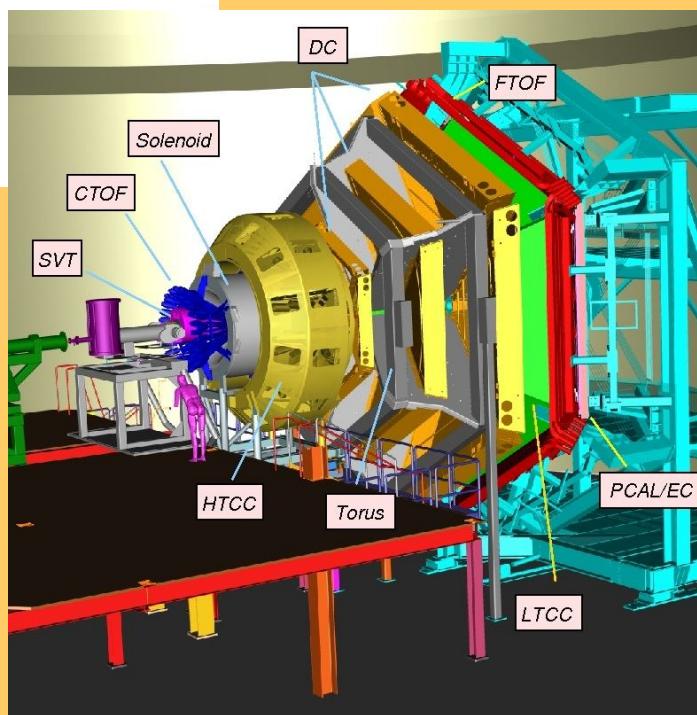
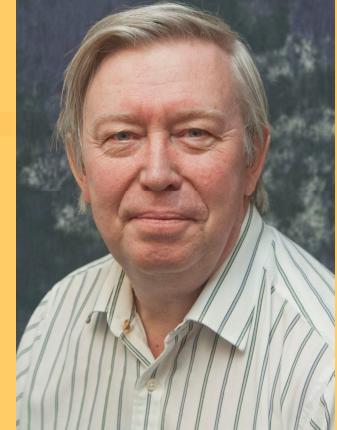


Схема ускорителя  
Лаборатории  
им. Джефферсона (США)  
и детектора CLAS12.



Е.Н. Головач



В.И. Мокеев

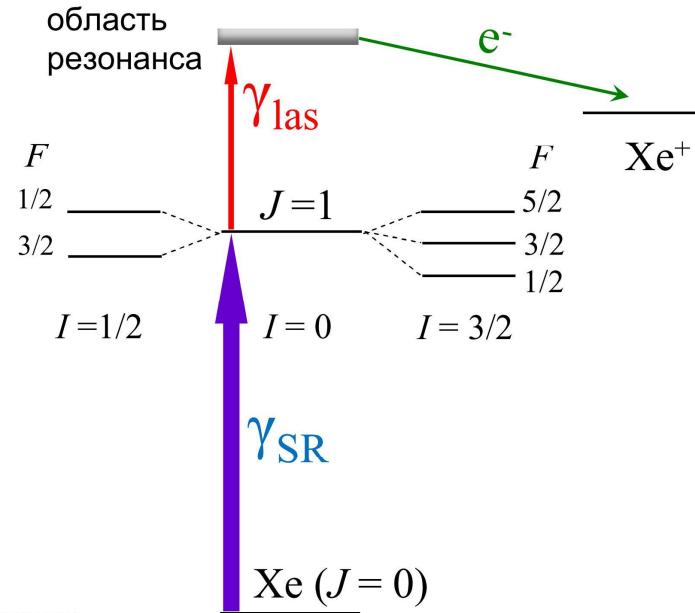
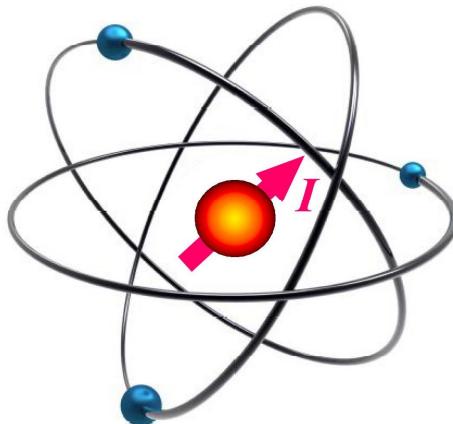


Е.Л. Исупов

# Взаимодействие экстремального ультрафиолетового и рентгеновского излучения источников нового поколения с материей

Влияние спина ядра на двухфотонную двухчастотную ионизацию.

$$F = J + I$$



Природная смесь изотопов ксенона:

26%  $^{129}\text{Xe}$   $I = 1/2$ ,

21%  $^{131}\text{Xe}$   $I = 3/2$

53%  $^{128,130,132,133,134,135,136}\text{Xe}$   $I = 0$

$$W = W_0(1 + a \cos^2 \vartheta + b \cos^4 \vartheta)$$

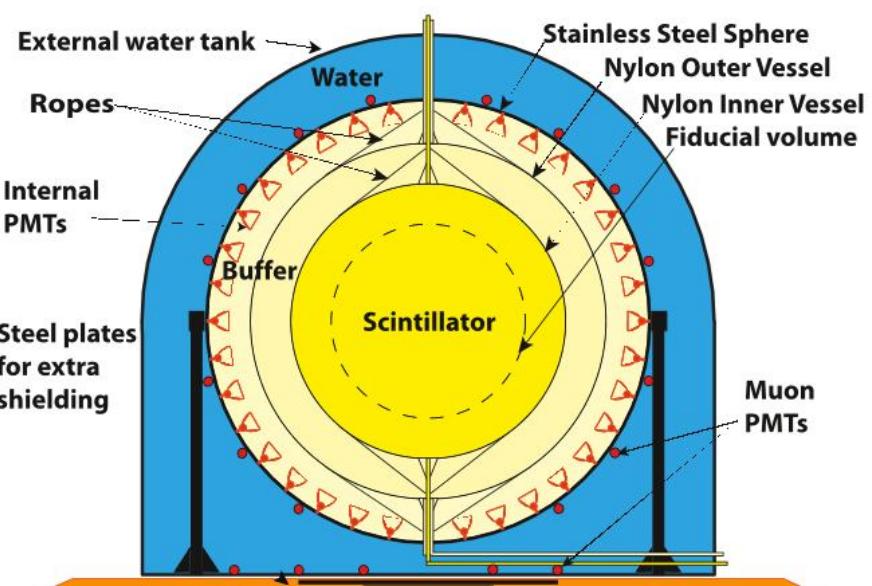


А.Н. Грум-Гржимайло



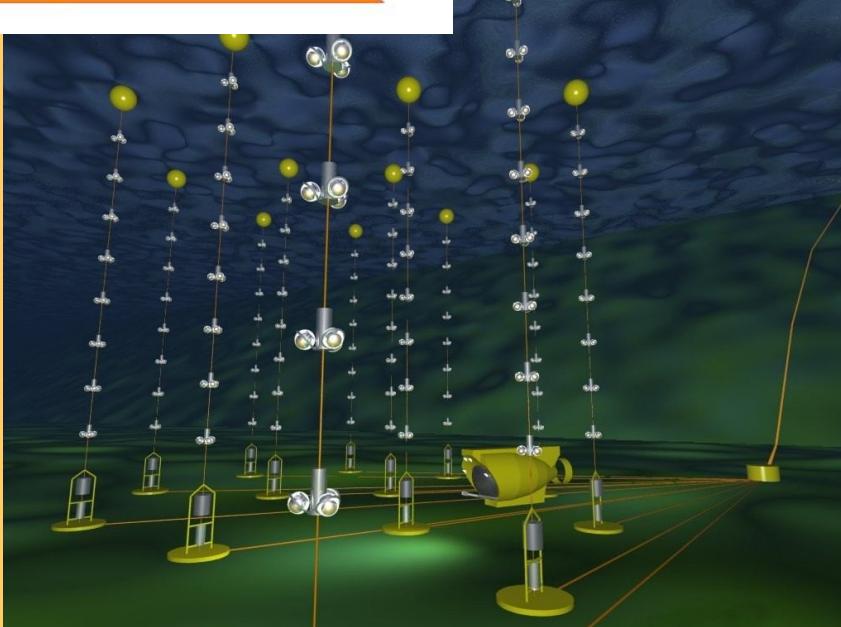
Е.В. Грызлова

# Физика нейтрино



Детектор  
Борексино.

Подводный  
телескоп  
ANTARES.



А.С. Чепурнов



Е.В. Широков

# Ядерная физика в Интернете

## Ядерная физика в Интернете



Проект кафедры общей ядерной физики физического факультета  
МГУ  
осуществляется при поддержке НИИЯФ МГУ.

### Учебные материалы курса

#### "Физика атомного ядра и частиц"

- [Физика ядра и частиц, XX век](#)
- [Микромир и Вселенная](#)
- [Частицы и атомные ядра](#)
- [Шпаргалка для отличника \(Частицы и ядра\)](#)
- [История атомного ядра](#)
- [Программа курса "Физика ядра и частиц"](#)
- [Лекции профессора Б.С. Ишханова 2013](#)
- [Лекции профессора И.М. Кацитонова 2013](#)
- [Частицы и атомные ядра \(основные вопросы по курсу\)](#)
- [Обязательные вопросы для допуска к экзамену](#)
- [Семинары по физике ядра и частиц](#)
- [Частицы и атомные ядра. Семинары. Задачи](#)
- [Задачи и решения](#)
- [Описания задач общего ядерного практикума физического факультета МГУ](#)

### Материалы спецкурсов

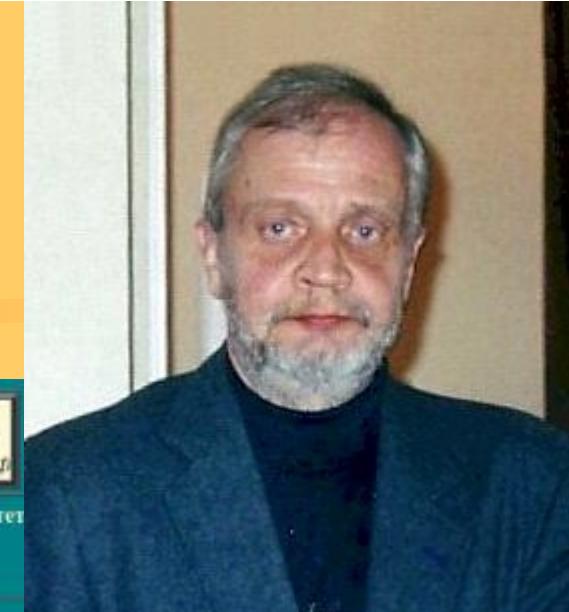
- [Модели атомных ядер](#)
- [12 лекций по физике атомного ядра](#)
- [Ядерные реакции](#)
- [Ядерные реакции \(задачи\)](#)
- [Квантовая теория столкновений](#)
- [Фотоядерные реакции. Современный статус экспериментальных данных](#)
- [Взаимодействие фотонов и электронов с атомными ядрами](#)
- [Симметрии фотоядерных реакций](#)
- [Гигантский дипольный резонанс атомных ядер](#)
- [Ядерная резонансная флуоресценция](#)
- [Электромагнитные взаимодействия ядер](#)

### Разное

- [Материалы научного семинара по ядерной физике НИИЯФ МГУ](#)
- [Что нового на сайте](#)
- [100-летие открытия атомного ядра. Резерфорд](#)
- [Поиск по нашему сайту и сайтам МГУ](#)
- [Нобелевские лауреаты по физике](#)
- [Хроника открытий в физике ядра и частиц](#)
- [Биографии физиков](#)
- [Фотографии физиков](#)
- [Ссылки на ресурсы по ядерной физике](#)
- [Школы, семинары, рабочие совещания, конференции](#)
- [Физика атомного ядра и частиц в УФН](#)
- [Рефераты студентов](#)
- [Интерактивные проекты](#)
- [Темы курсовых работ для студентов второго курса](#)
- [Физики шутят](#)
- [О сайте](#)

### Справочные материалы

- [Частицы и атомные ядра. Основные понятия](#)
- [Карта атомных ядер](#)
- [Характеристики нуклида](#)
- [База данных по ядерным реакциям](#)
- [База ядерно-спектротренических данных](#)
- [Ядерные данные \(CDFE\)](#)



Э.И. Кэбин

# Научные связи ОЭПВАЯ и кафедры ОЯФ

Институт Ядерных Исследований  
Российской Академии Наук,  
Москва

Отдел Электромагнитных Процессов  
и Взаимодействий Атомных Ядер  
НИИЯФ МГУ

Объединённый Институт  
Ядерных Исследований,  
Дубна

Instituto Nazionale  
di Fisica Nucleare, Italy

European Organization  
for Nuclear Research  
(CERN), Switzerland

Thomas Jefferson  
National Accelerator Facility,  
USA

Европейский рентгеновский лазер  
на свободных электронах  
(European XFEL), Germany

Кафедра

Российский научный центр  
«Курчатовский институт»,  
Москва

Max-Planck-Institut  
für Kernphysik, Germany

Institut für Physik  
der Johannes Gutenberg  
Universität Mainz, Germany

Установка NewSUBARU  
на накопительном кольце,  
Japan

Deutsches Electronen-Synchrotron  
(DESY), Germany

# КАФЕДРА ОБЩЕЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

## ОТДЕЛ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ АТОМНЫХ ЯДЕР



**Благодарю за внимание!**

---