

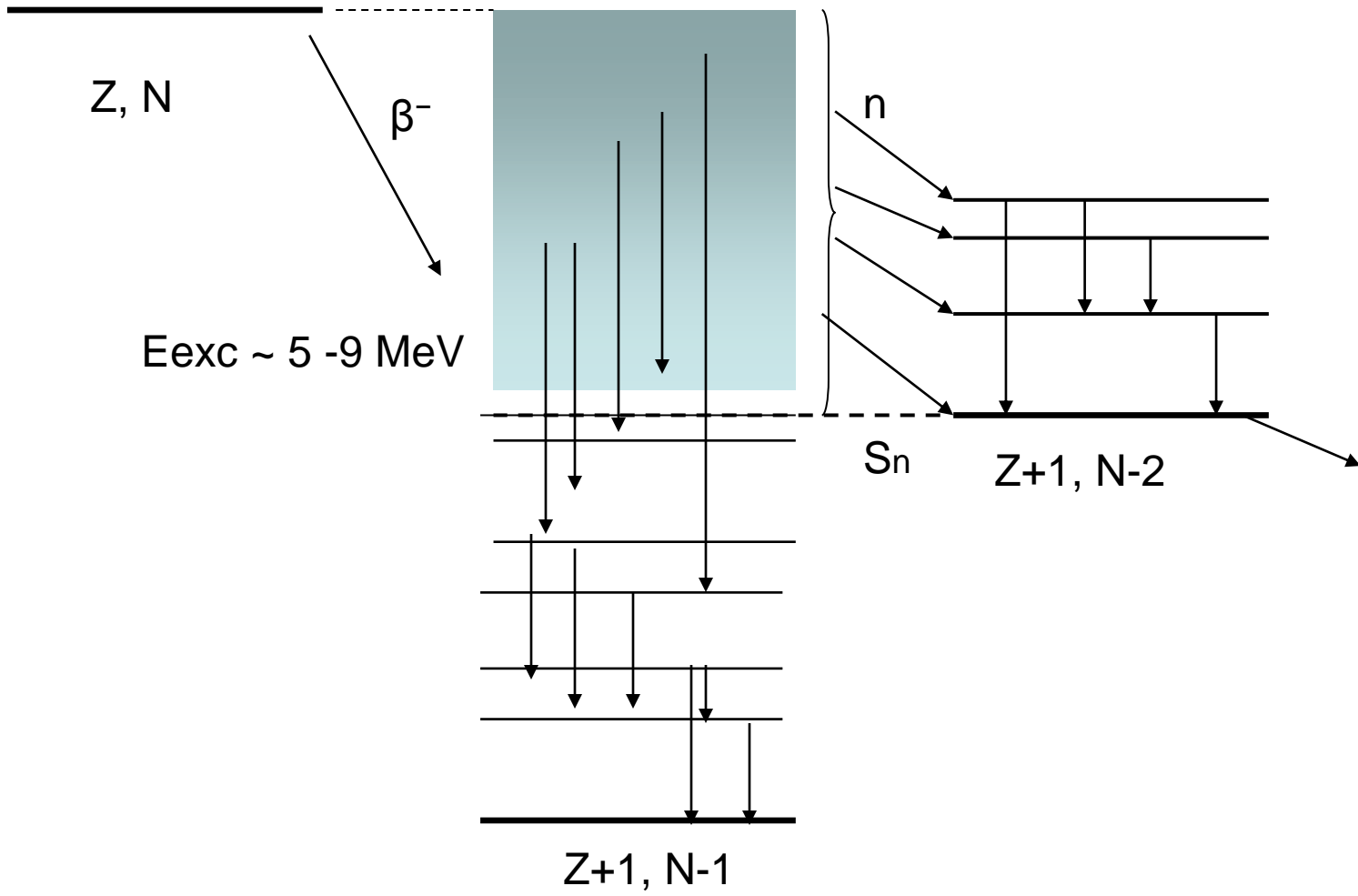
**Z=50**

**N=50**

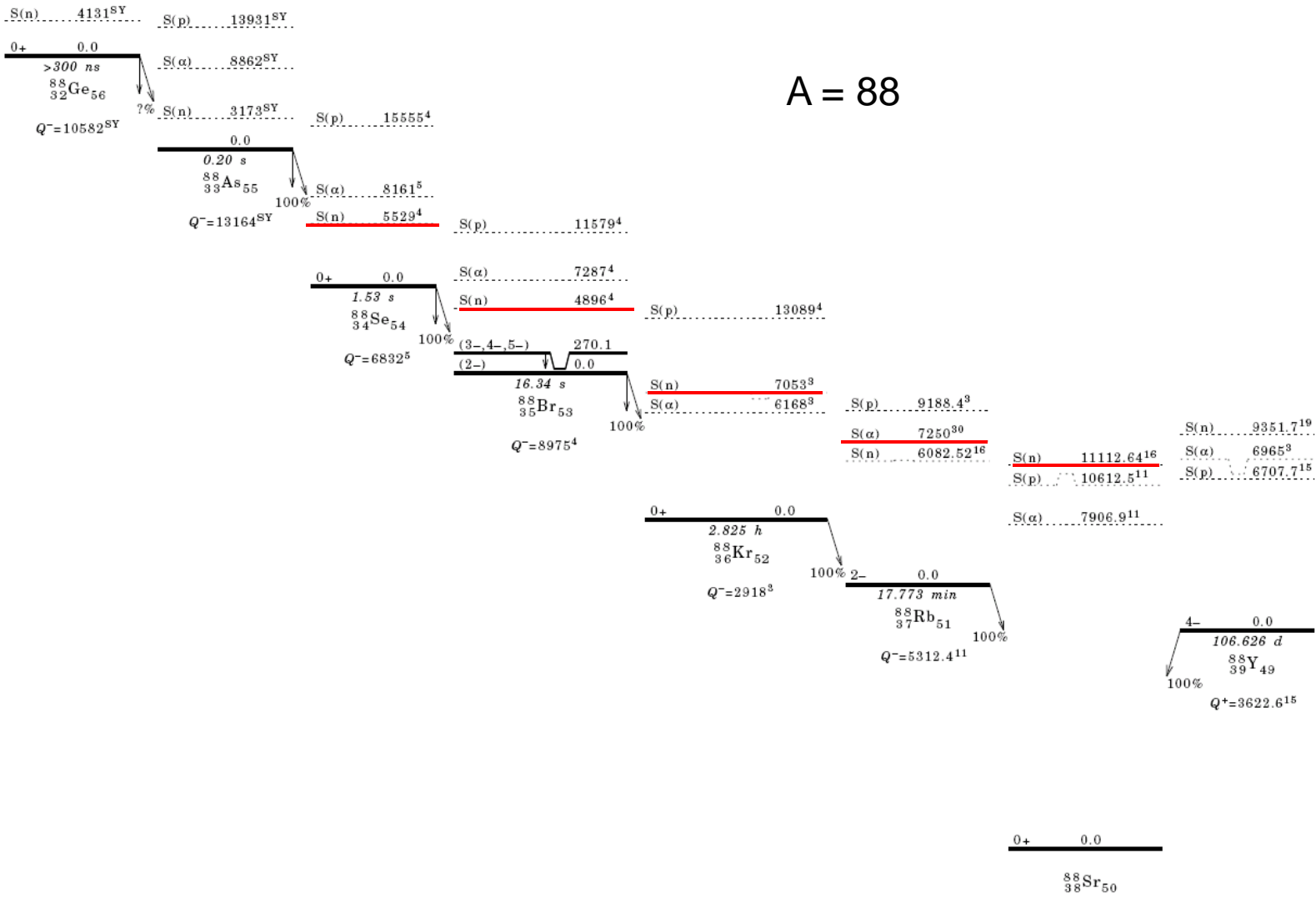
**N=82**

JYFL

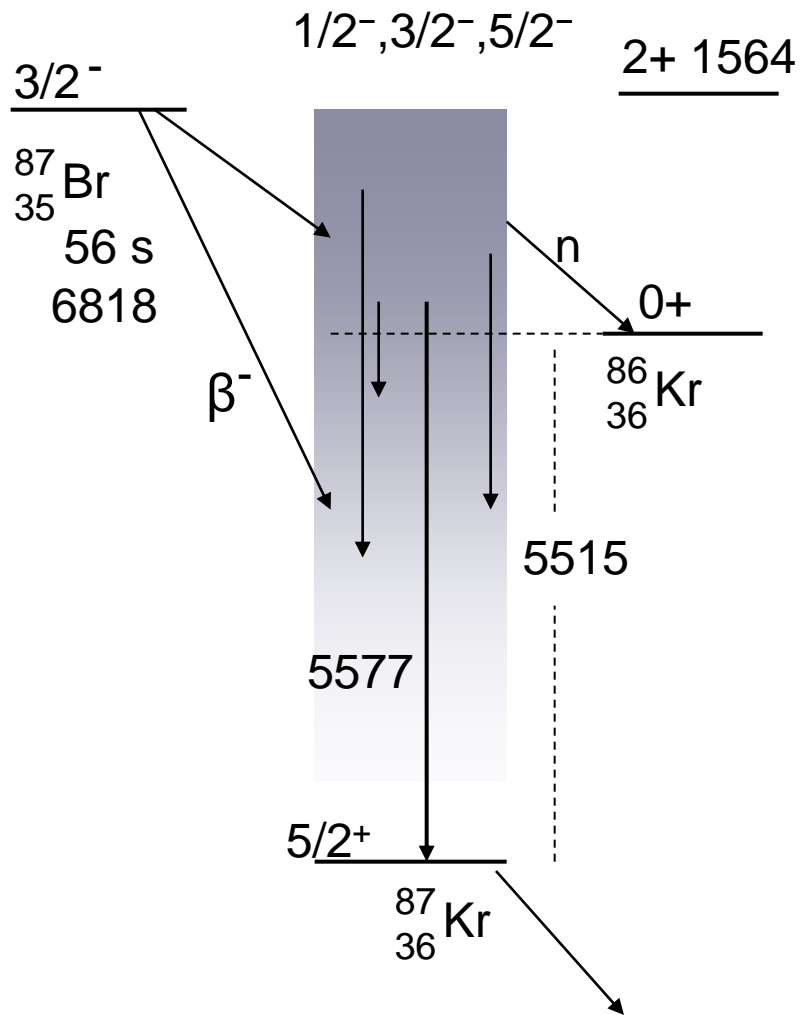
# Enhanced $\gamma$ -Ray Emission from Neutron Unbound States Populated in $\beta^-$ Decay



A = 88



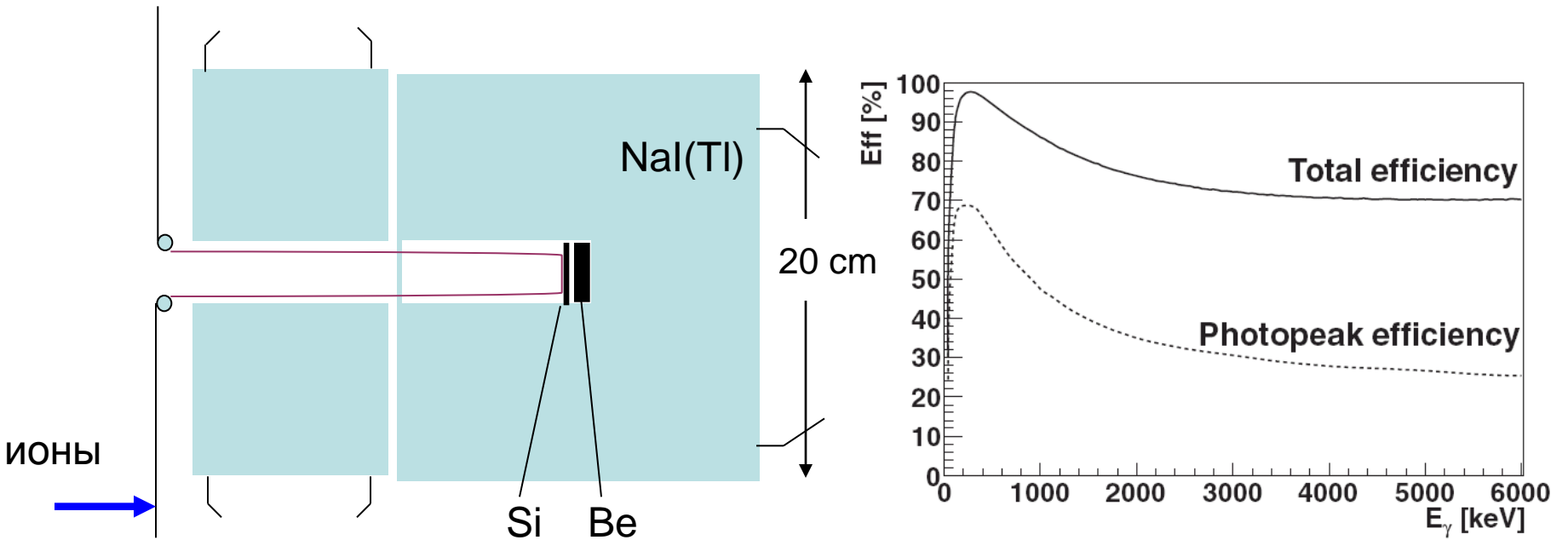
запаздывающая  $\gamma$ -эмиссия из состояний выше энергии отделения нейтрона впервые наблюдалась в 1972 г. при  $\beta$ -распаде  $^{87}\text{Br}$

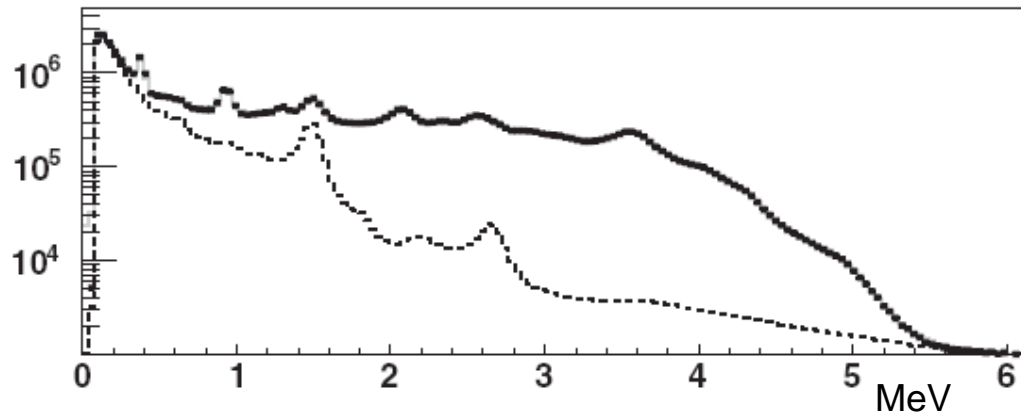


# ГАММА СПЕКТРОМЕТР ПОЛНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ

A.A. Bykov, V.D. Wittmann, F.V. Moroz and Yu. V.Naumov, *Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Fiz.* 44 (1980) 918.

G.D. Alkhazov, A.A. Bykov, V.D. Wittmann, Yu. V.Naumov and S. Yu. Orlov, *Proc. 4th Int. Conf. on Nuclei Far From Stability*, Helsingor, Denmark, 1981, p. 238.





Деконволюция:  $\varepsilon_{\gamma} \propto \exp(-k \cdot E_{\gamma}) \rightarrow \varepsilon_{\gamma 1 \dots \gamma n} = \varepsilon(E_i)$

Необходимость корректного учёта множественности гамма-переходов

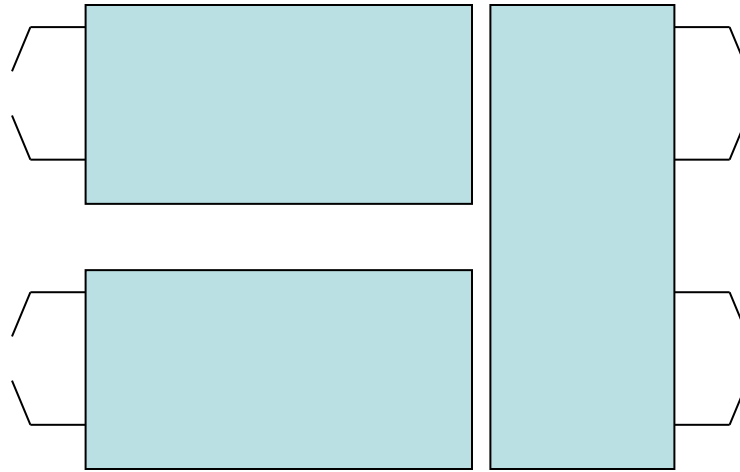
Создание многокристального спектрометра ???

G.D. Alkhazov et al., Preprint 1497, 1989:

“Investigation of competition between delayed neutron and gamma-rays for decay of  $^{93,94}\text{Rb}$ ”

Statistical approach overestimates (In / I $\gamma$ ) ratios for the decay of  $^{93}\text{Rb}$  and  $^{94}\text{Rb}$  by a factor of 10 - 1000

PNPI→GSI→JYFL



proton beam of 30 MeV, 4 $\mu$ A

natural U target of 15 mg/cm<sup>2</sup>.

IGISOL → JYFLTRAP (mass resolving power  $\sim 10^5$ )

tape transport system

Total absorption gamma spectrometer (PNPI)

Ge detector to monitor the purity of the sources.



# JYFLTRAP: a cylindrical Penning trap for isobaric beam purification at IGISOL

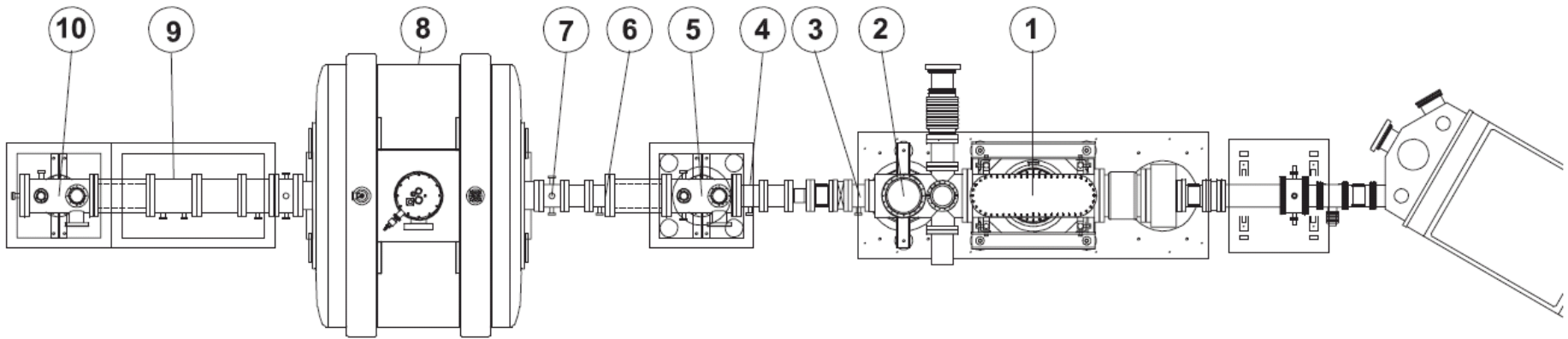


Fig. 1. Beam line: (1) RFQ, (2)  $xy$ -deflector, (3) Einzel lens, (4)  $xy$ -deflector, (5) vacuum chamber with FC and MCP, (6) Einzel lens, (7) plug chamber, (8) magnet housing the Penning-traps, (9)  $xy$ -deflector and Einzel lens, (10) vacuum chamber with FC and MCP.

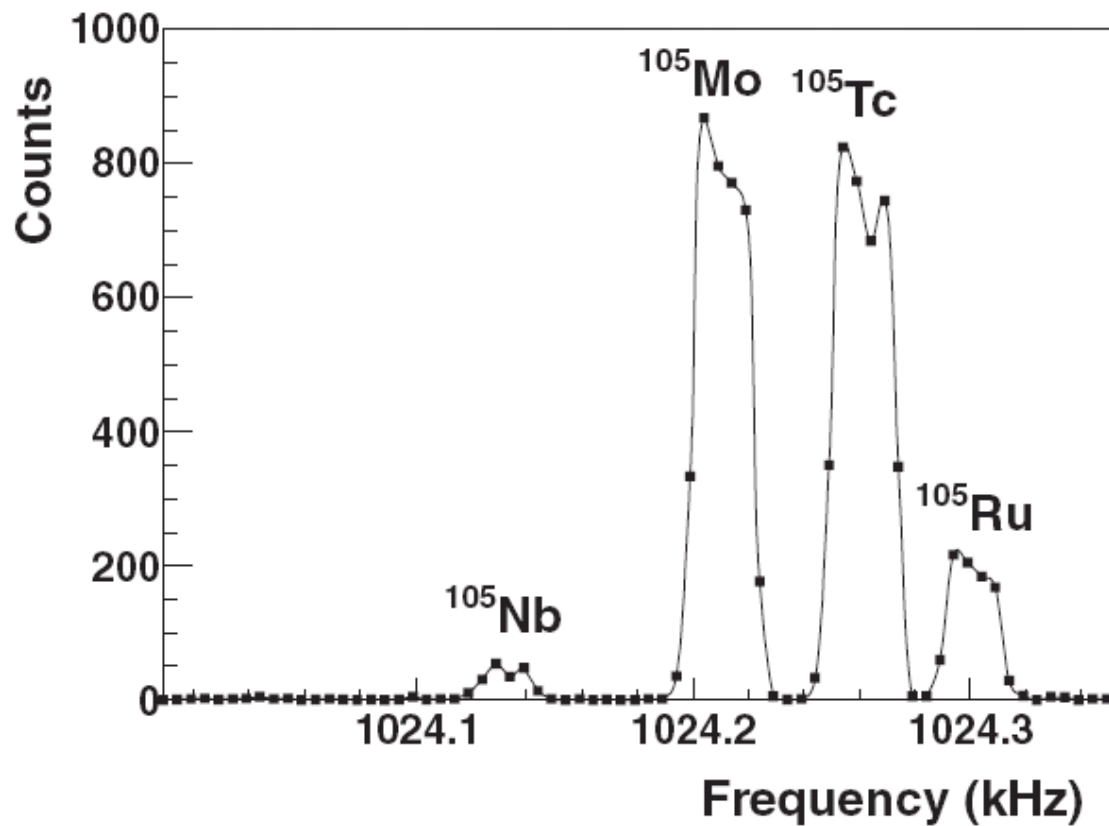
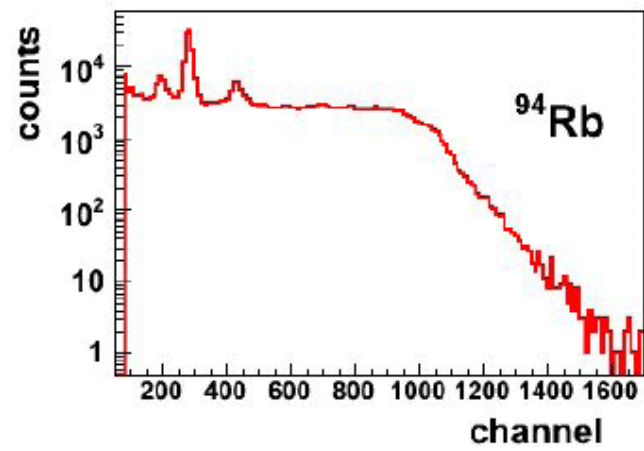
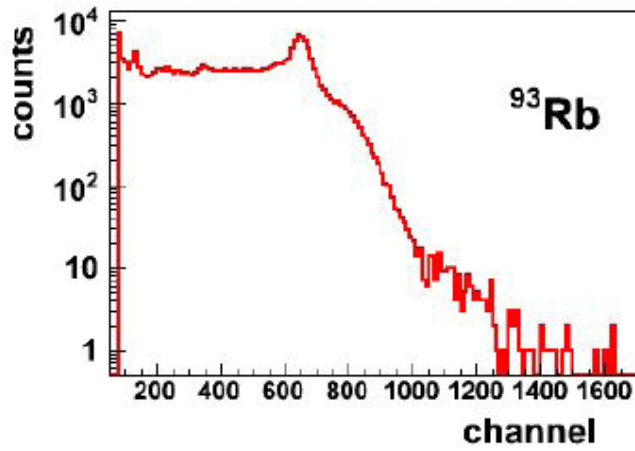
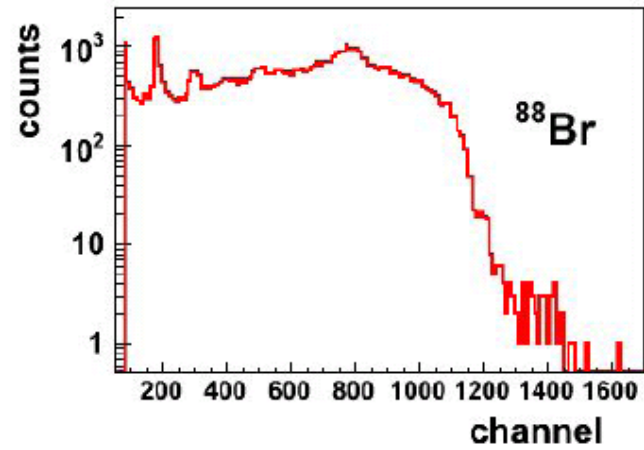
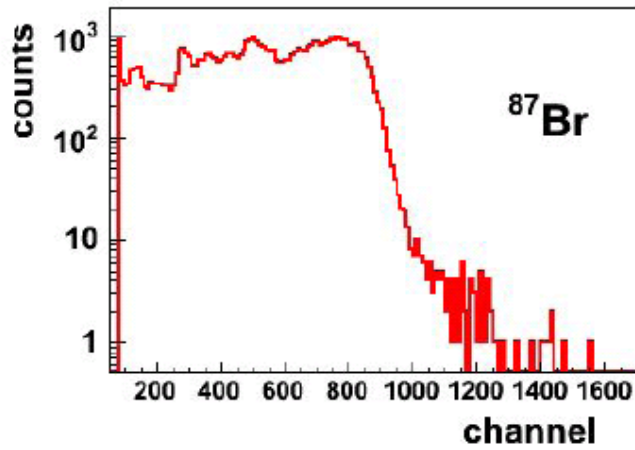


FIG. 2. Mass scan obtained with the Penning trap for  $A = 105$ .

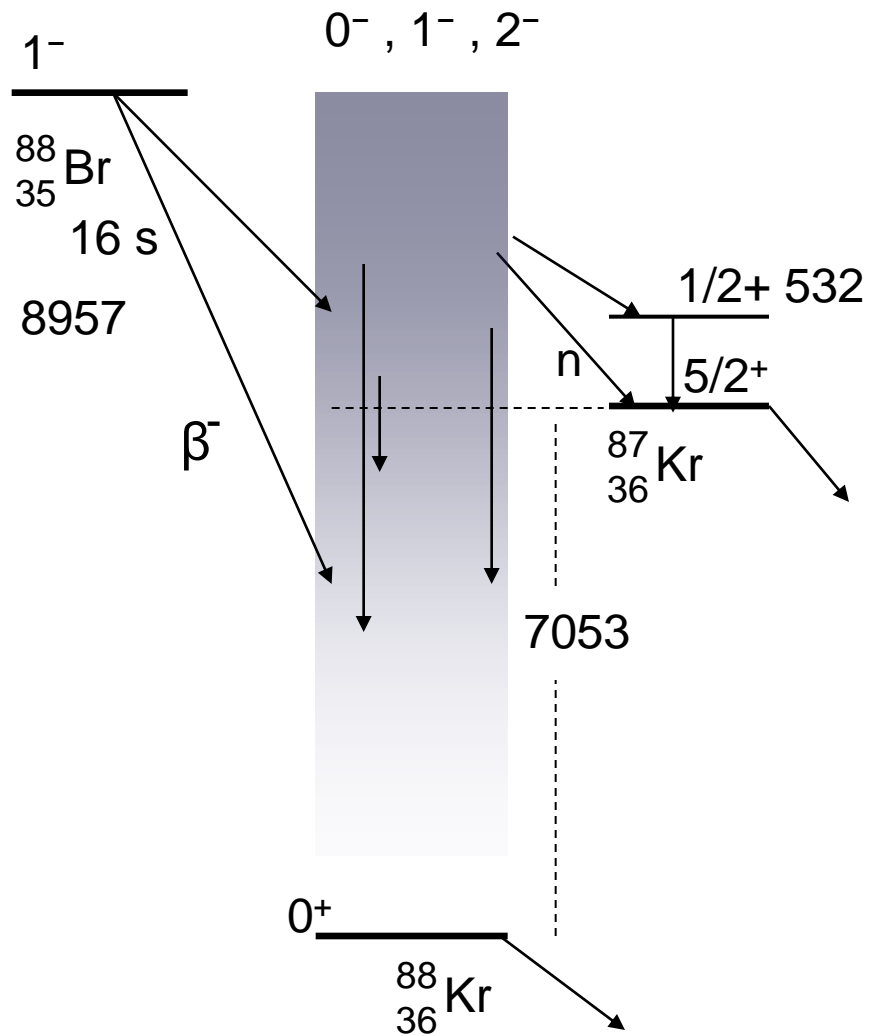
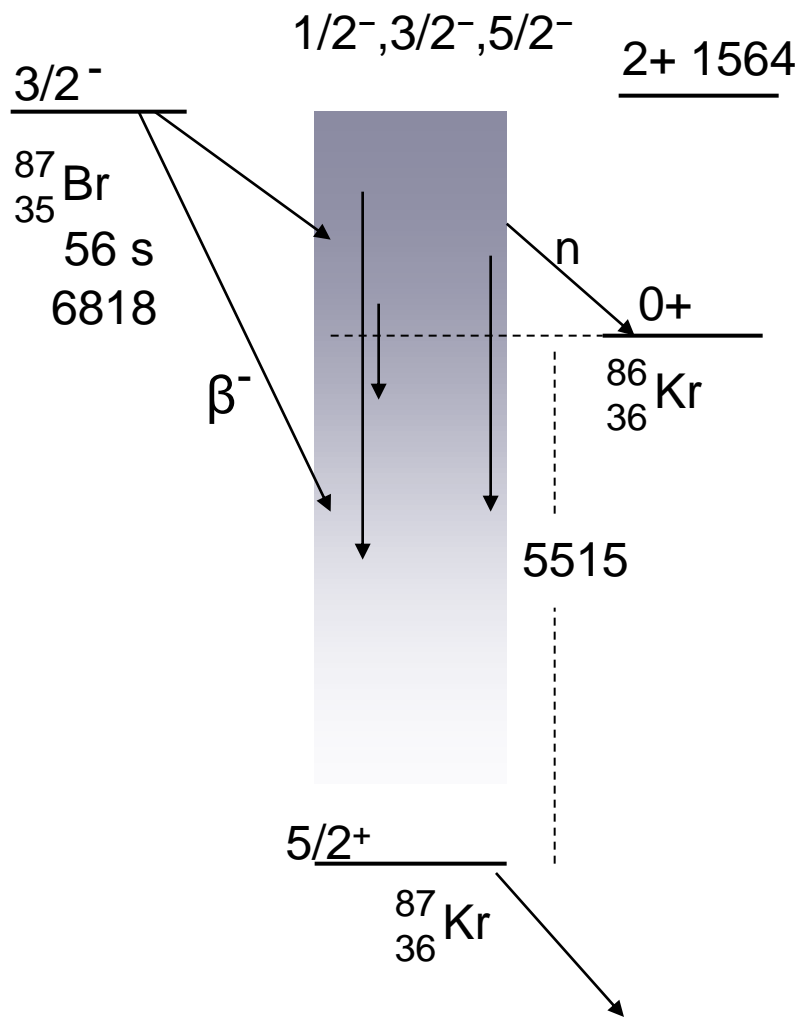
TABLE I. Comparison of mean  $\gamma$  and  $\beta$  energies included in the ENDF/B-VII database with the results of the analysis of our measurements (in keV). The errors of our analysis come mainly from different assumptions on the level schemes and parameters of the statistical model.

Nuclide	$T_{1/2}$ (s)	$\bar{E}_\gamma$	$\bar{E}_\gamma$	$\bar{E}_\beta$	$\bar{E}_\beta$
		ENDF	TAGS	ENDF	TAGS
$^{101}\text{Nb}$	7.1(3)	270(22)	445(279)	1966(307)	1797(133)
$^{105}\text{Mo}$	35.6(16)	552(24)	2407(93)	1922(122)	1049(44)
$^{102}\text{Tc}$	5.28(15)	81(5)	106(23)	1945(16)	1935(11)
$^{104}\text{Tc}$	1098(18)	1890(31)	3229(24)	1595(75)	931(10)
$^{105}\text{Tc}$	456(6)	668(19)	1825(174)	1310(205)	764(81)
$^{106}\text{Tc}$	35.6(6)	2191(51)	3132(70)	1906(67)	1457(30)
$^{107}\text{Tc}$	21.2(2)	515(11)	1822(450)	2054(254)	1263(212)





	$T_{1/2}$	$Q_{\beta}$	$S_n$	Pn%	P $\gamma$ %
$^{87}\text{Br}$	56 s	6818	5515	2.6	3.5
$^{88}\text{Br}$	16 s	8957	7053	6.4	1.6
$^{93}\text{Rb}$	5.8 s	7485	5237	1.4	(1)
$^{94}\text{Rb}$	2.7 s	10300	6786	10.2	0.5



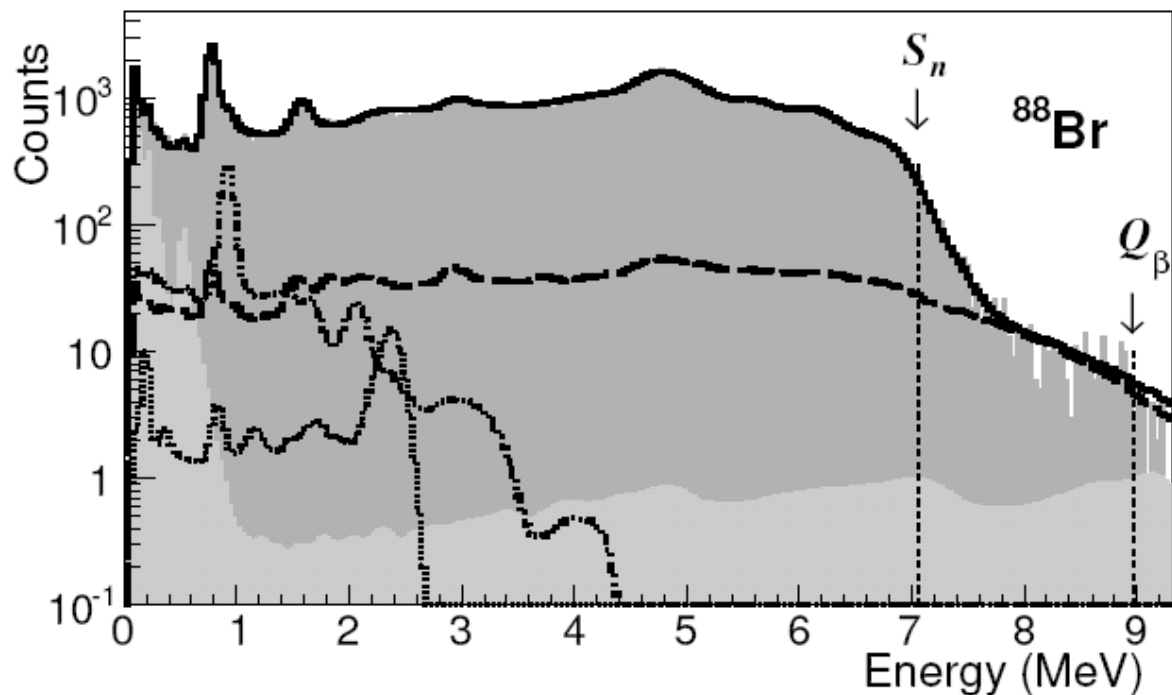
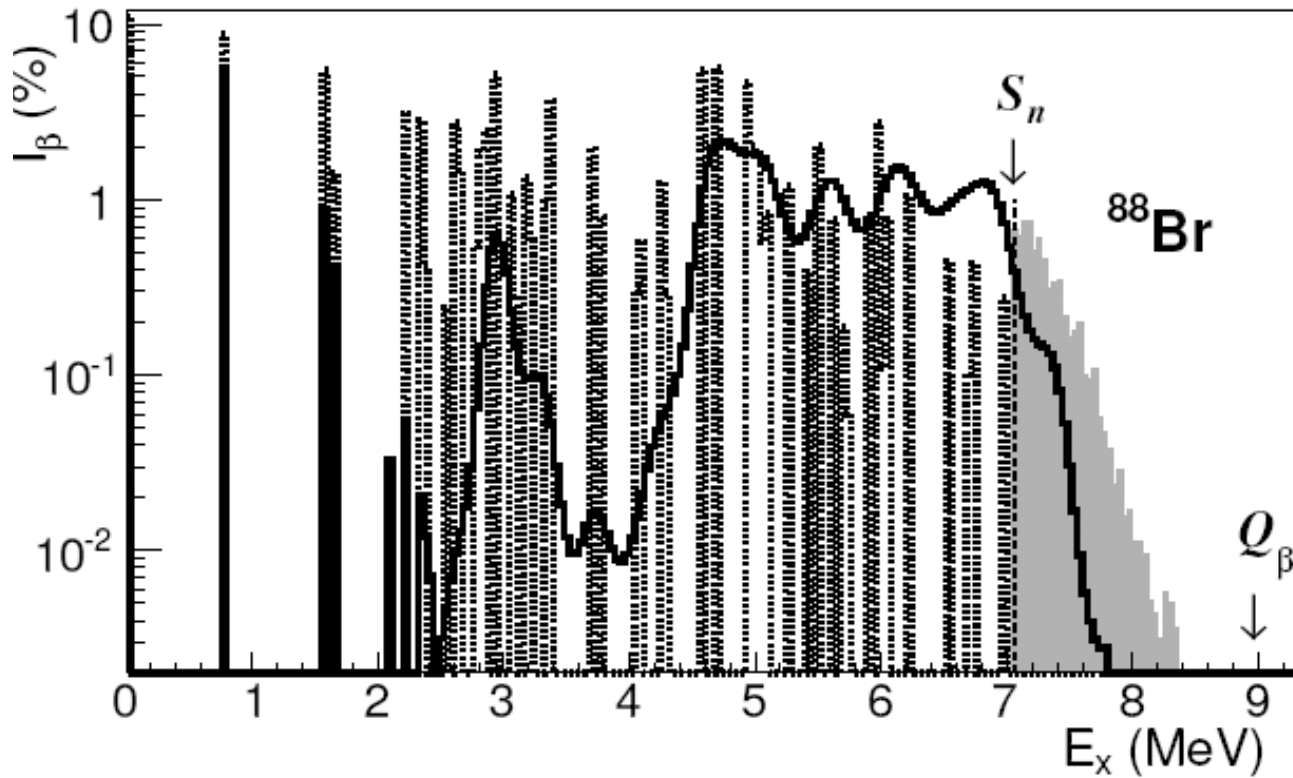


FIG. 1. Relevant histograms for  $^{88}\text{Br}$ : parent decay (dark grey filled), daughter decay (dotted line), summing-pileup (dashed line),  $\beta$ -delayed neutron decay (light grey filled), accidental contamination (dot-dashed line), reconstructed spectrum (continuous line).

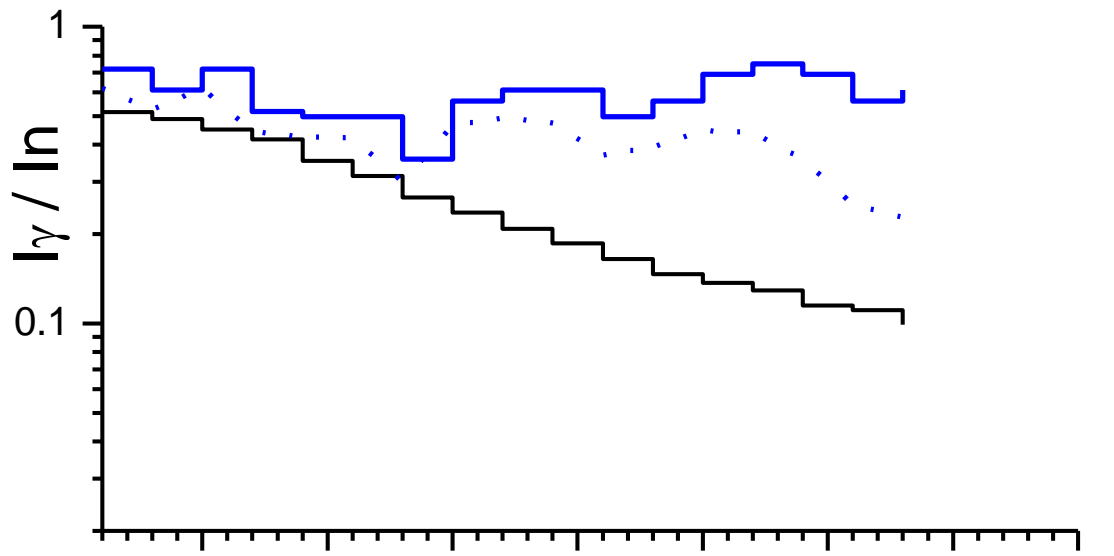




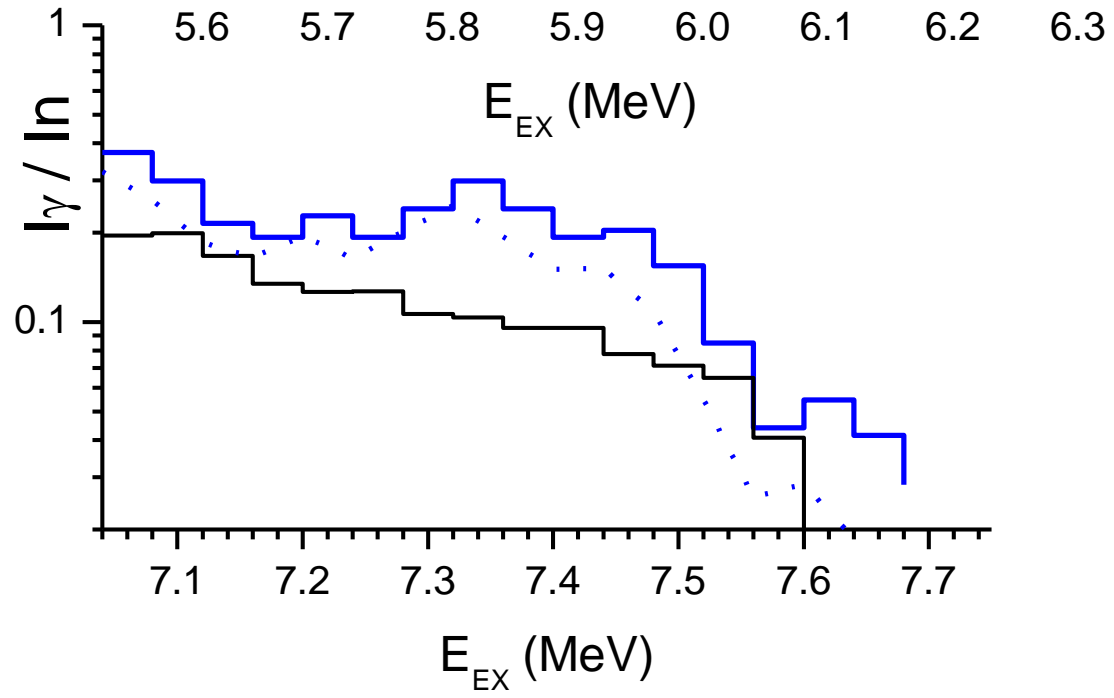
Распределение  $\beta$  – интенсивности:  
 $\gamma$ -спектроскопия полного поглощения (сплошная линия) и  
 $\gamma$ -спектроскопия высокого разрешения.



— exp



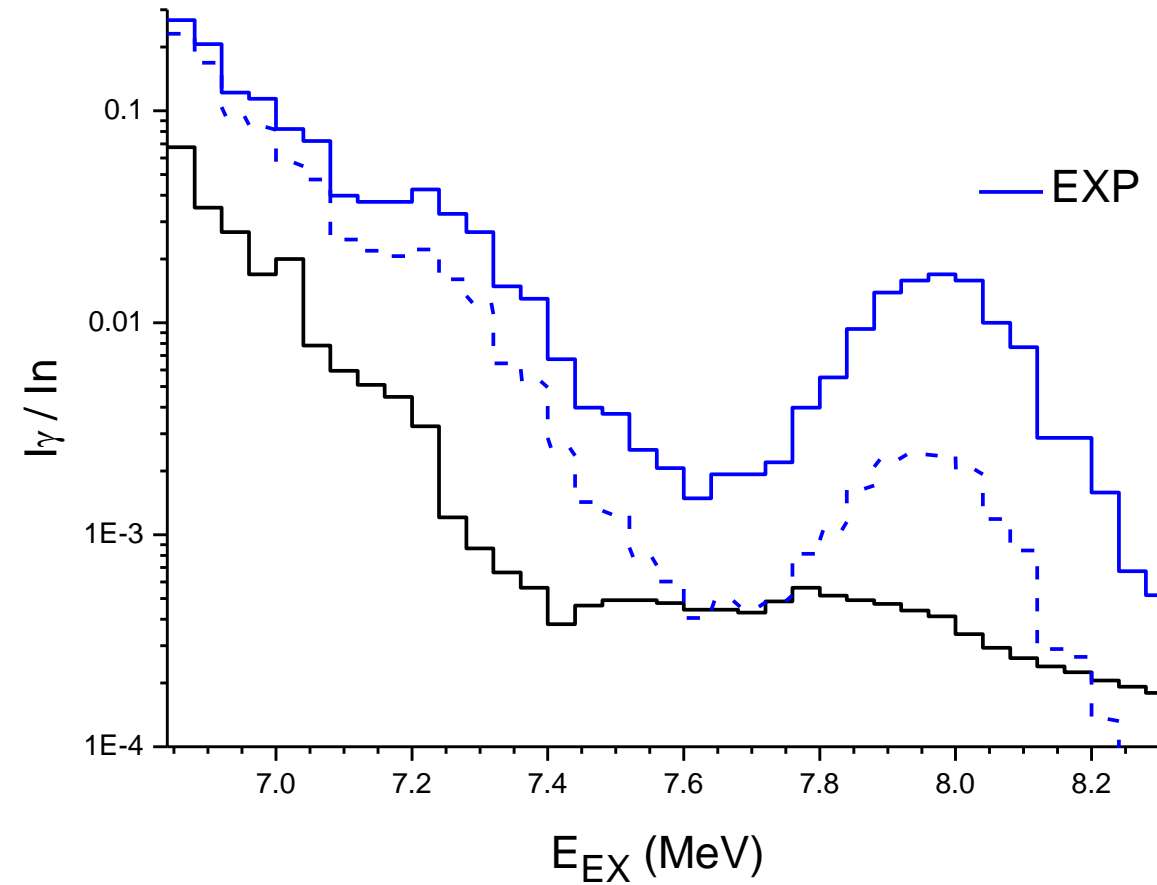
$^{87}\text{Br}; b_{\beta,\gamma}=57\%$



$^{88}\text{Br}; b_{\beta,\gamma}=20\%$

Конкуренция эмиссии гамма и нейтронов из состояний, заселяемых при  $\beta$ -распаде

$^{94}\text{Rb}$ ;  $b_{\beta,\gamma}=4.5\%$



$$\langle \Gamma_{\gamma} / (\Gamma_{\gamma} + \Gamma_n) \rangle$$

$$\Gamma_n = (D/2\pi) T_L$$

$$\Gamma_{\gamma} = (D/2\pi) T_{\gamma}$$

Радиационная силовая функция      или систематика  $\Gamma_{\gamma} = 0.2 \text{ eV}$

Гипотеза ( Brink):  $\vec{f}_{\gamma}(E_{\gamma}) = \vec{f}_{\gamma}(E_{\gamma})$

$$\vec{f}_{\gamma} = (\pi\hbar c)^{-2} E_{\gamma}^{-1} \sigma(E_{\gamma}) / 3$$

$$T_{\gamma} = 2\pi E_{\gamma}^3 \vec{f}_{\gamma}$$

$$\Gamma_{\gamma} = D / 2\pi \cdot T_{\gamma}$$

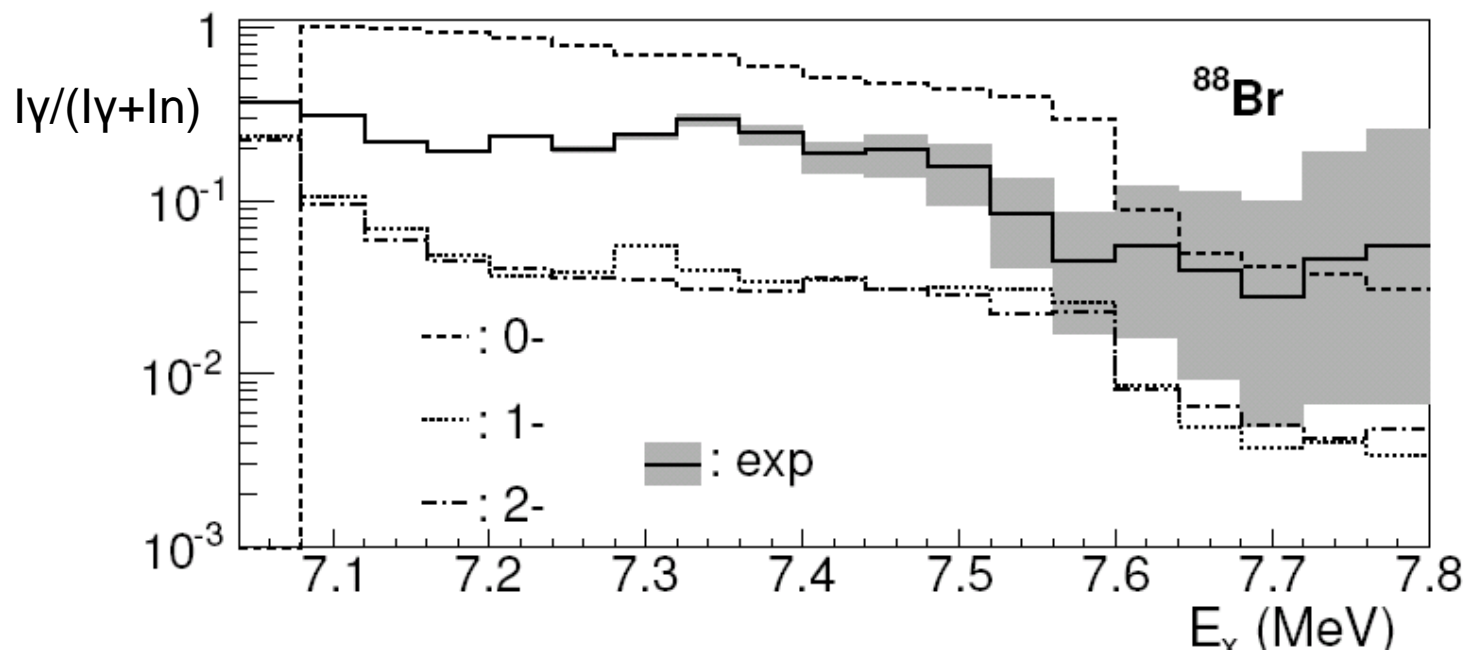
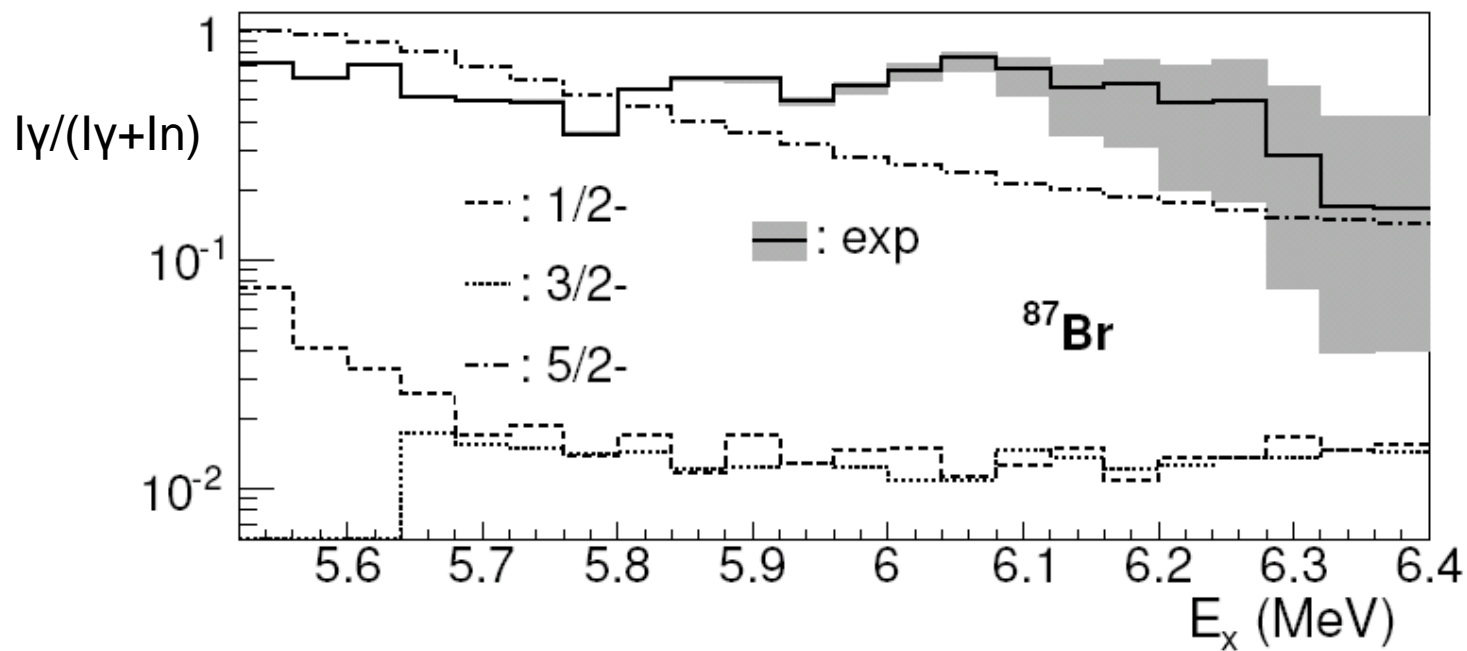
или HFBRPA

Если имеется один нейтронный канал, то в отношениях интенсивностей проявляются флуктуации нейтронных ширин распада.

$$\frac{I_\gamma}{I_N + I_\gamma} = \left( \left\langle \frac{\Gamma_\gamma}{\Gamma_N + \Gamma_\gamma} \right\rangle \right) > \left( \frac{\Gamma_\gamma}{\Gamma_N + \Gamma_\gamma} \right)$$

$$\text{при } \frac{\Gamma_\gamma}{\Gamma_N + \Gamma_\gamma} < 0.1, \quad \frac{I_\gamma}{I_N + I_\gamma} \approx 0.5 \sqrt{\frac{\Gamma_\gamma}{\Gamma_N + \Gamma_\gamma}}$$

$$\frac{\Gamma_\gamma}{\Gamma_N + \Gamma_\gamma} = 0.1 \rightarrow \frac{I_\gamma}{I_N + I_\gamma} = 0.15$$



Подтверждено значительное превышение  $\gamma/n$  – отношений сравнительно со статистическими оценками.

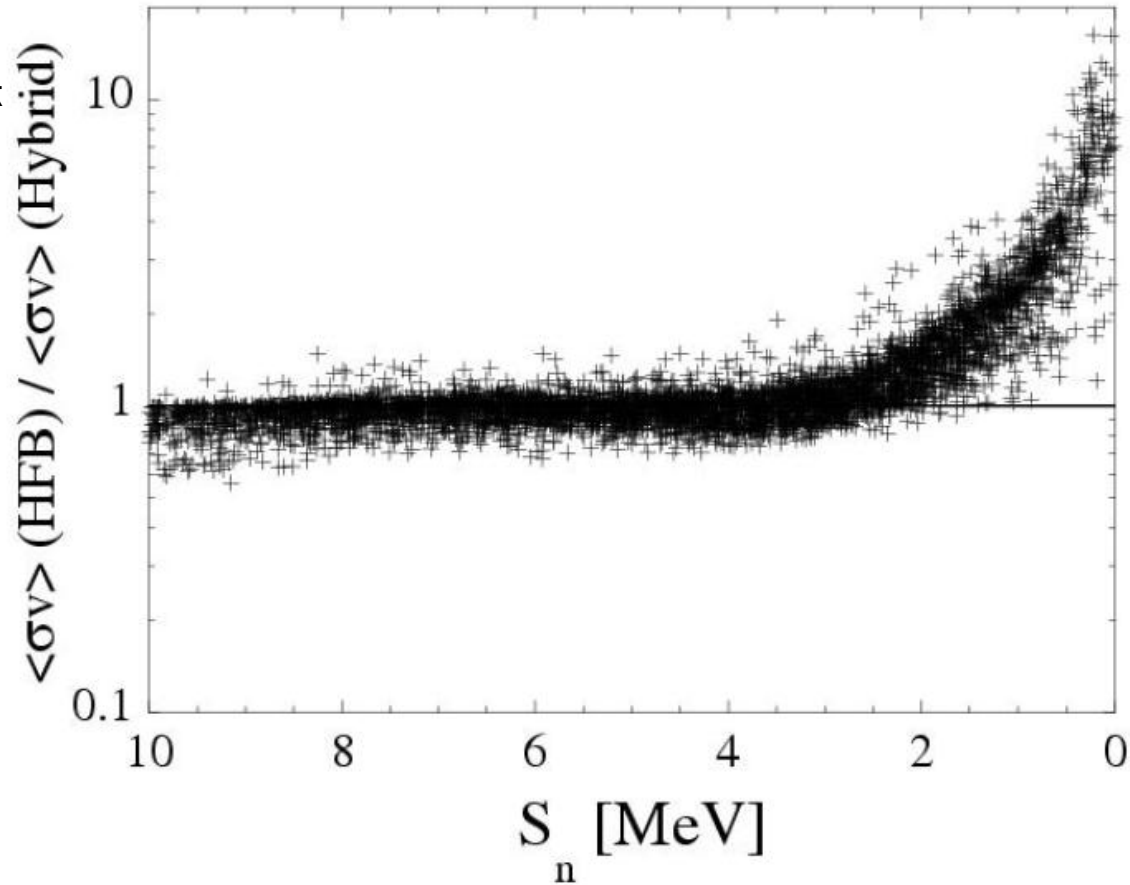
Очевидно, что согласие может быть достигнуто увеличением радиационной E1 силовой функции ( требуется примерно 20-кратное увеличение) или/и уменьшением нейтронных проницаемостей.

Уменьшение нейтронных проницаемостей предполагает учёт структурных эффектов.

Параметризация E1- силовой функции с использованием данных по гигантскому дипольному резонансу на стабильных ядрах, возможно, должна быть изменена для использования в нейтроно-избыточной области.

Требование увеличения E1 силовой функции согласуется с усилением роли низкоэнергетического E1 ( PYGMY) резонанса в сильно нейтроно избыточных ядрах и может иметь отношение к расчётам r-процесса.

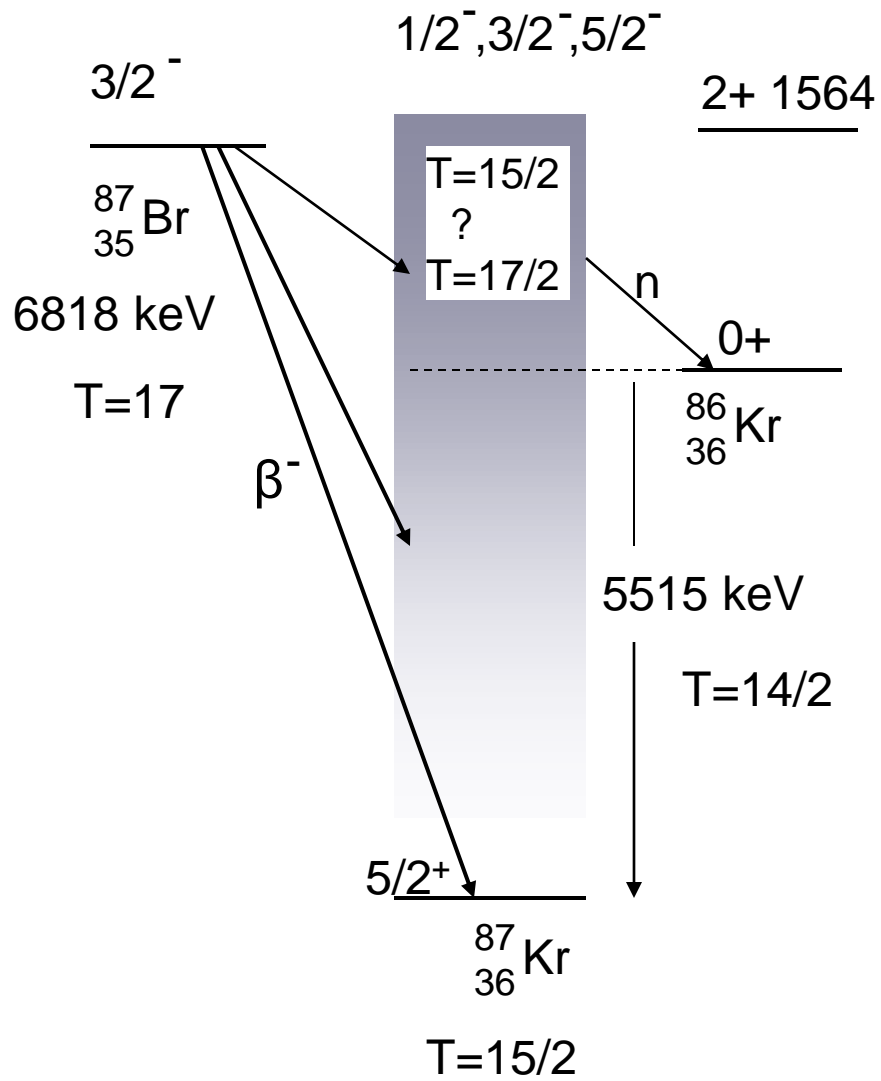
GDR показать рисунок



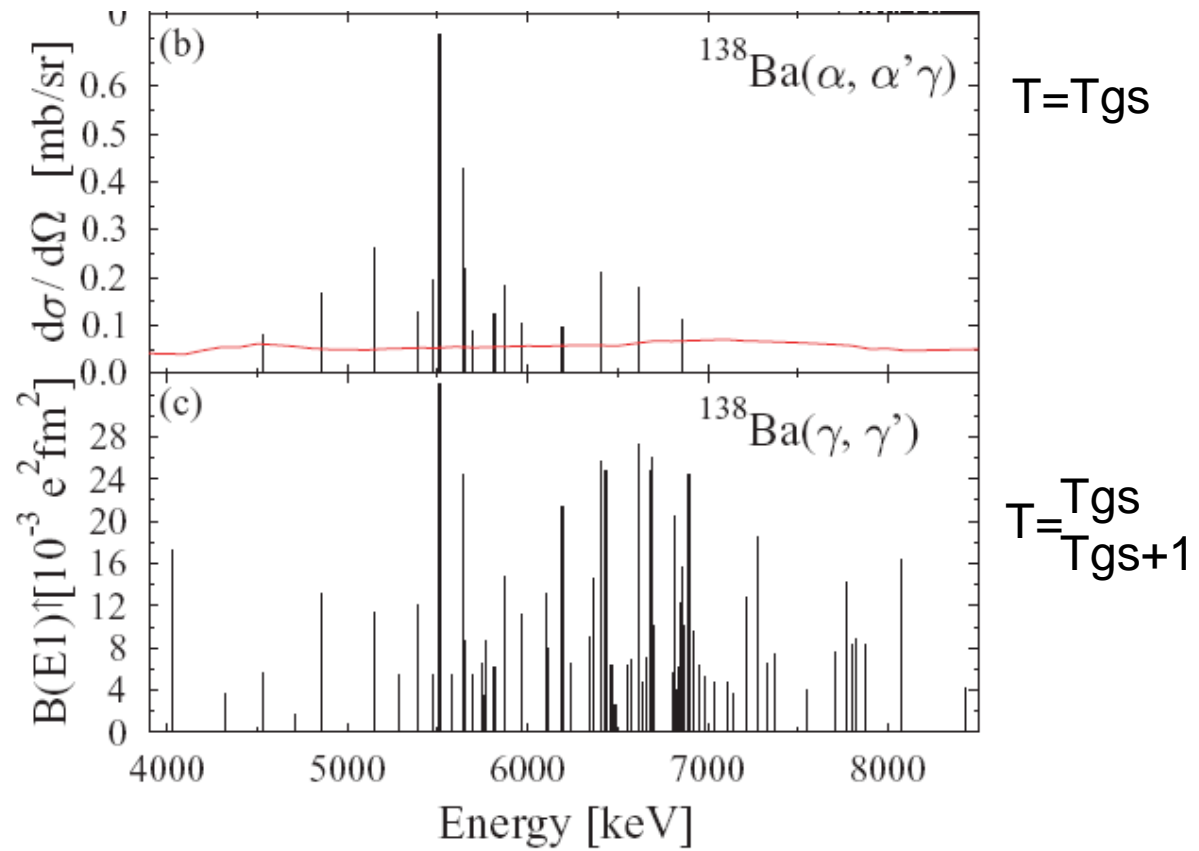
ph<sub>1</sub>.

Найти рисунок  
 $\sigma v(S_n)$

Fig. 38. Ratio of the Maxwellian-averaged  $(n, \gamma)$  rate at the temperature  $T = 1.5 \times 10^9$  K obtained with the HFB+QRPA  $E1$  strength [201] to the one using the Lorentz-type Hybrid formula [176] as a function of the neutron separation energy  $S_n$  for all nuclei with  $8 \leq Z \leq 110$ . The rate is estimated within the Hauser-Feshbach model







КОНЕЦ

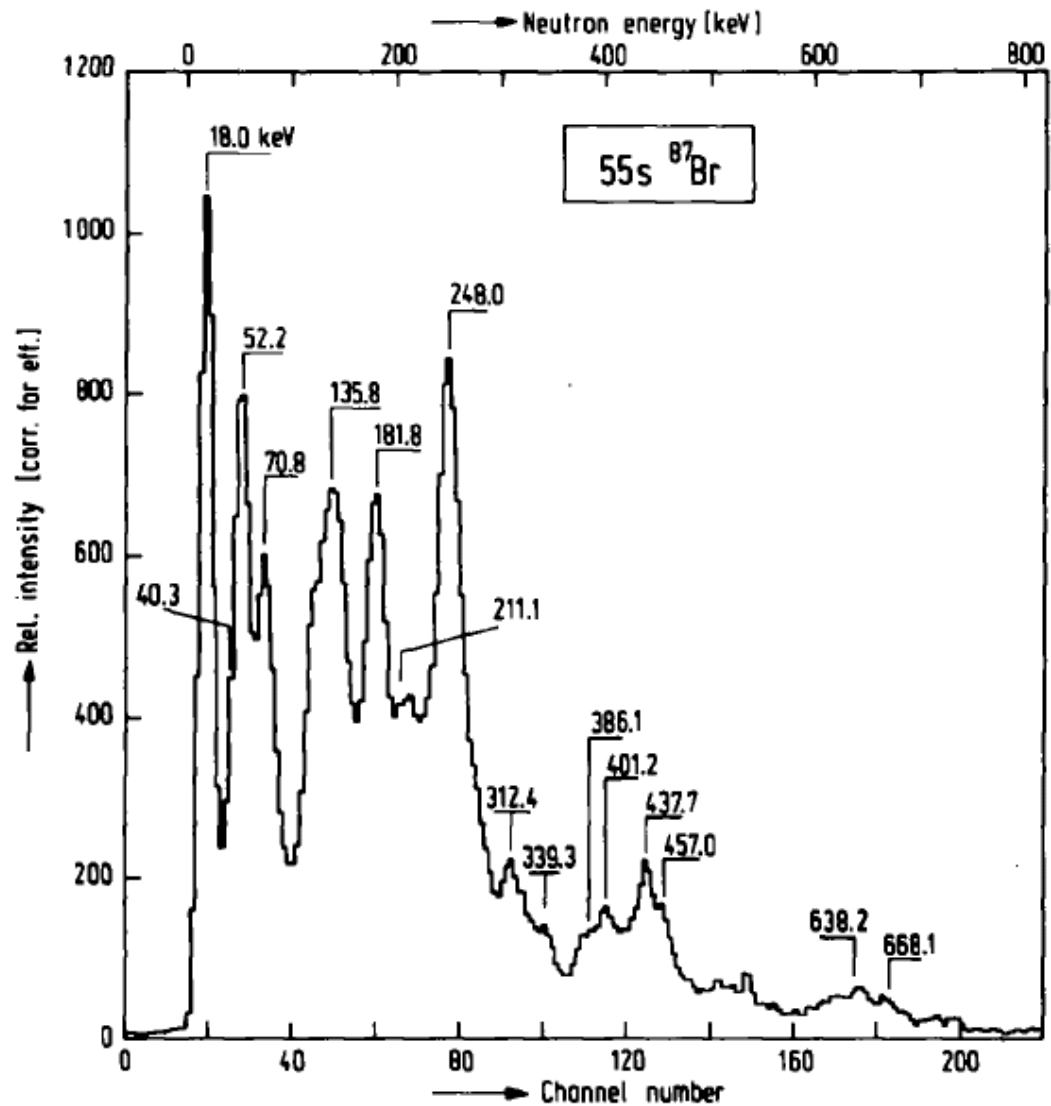
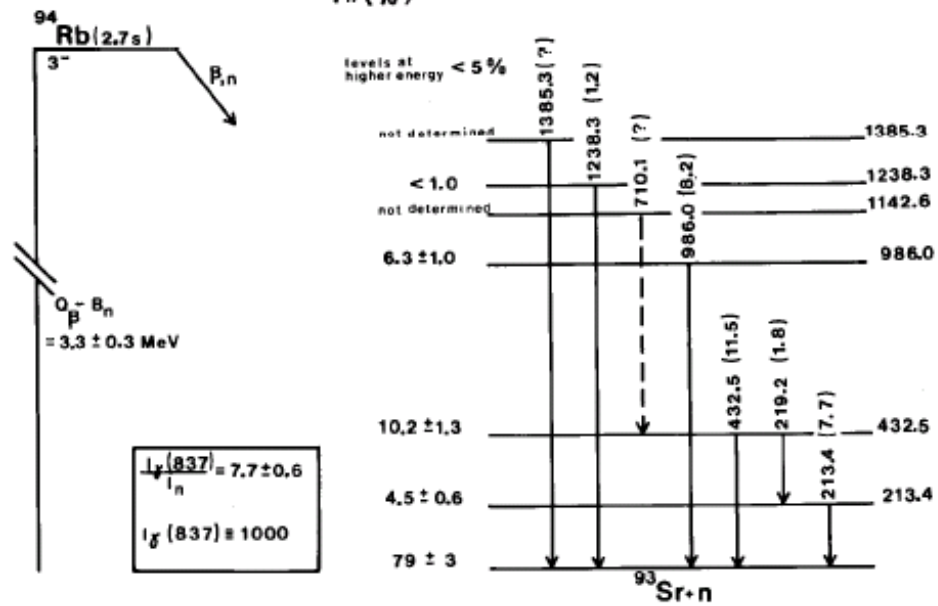
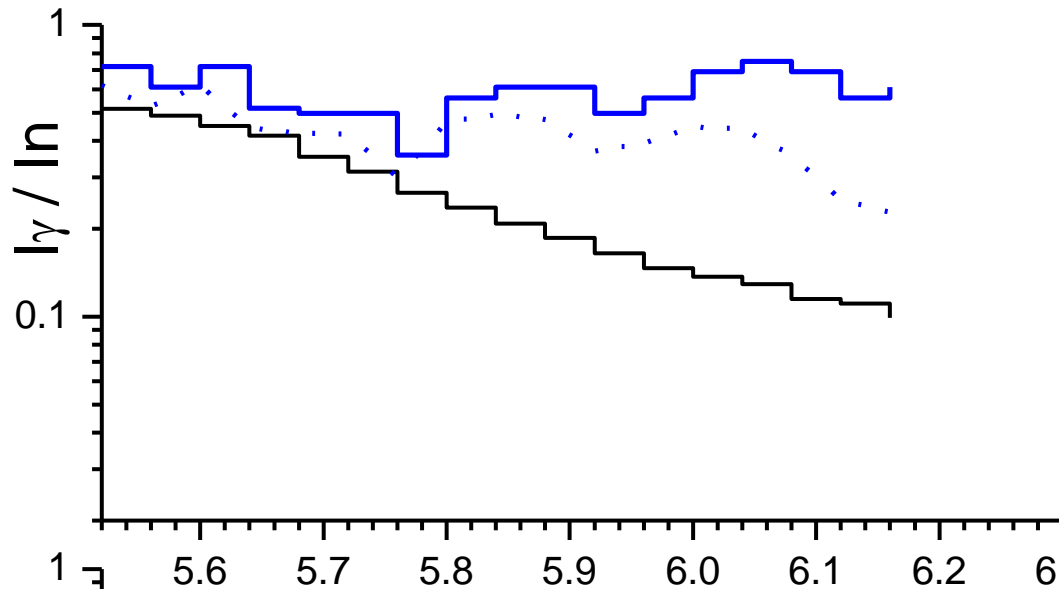


Fig. 2. Neutron spectrum from  $^{87}\text{Br}$  decay after correction for detector efficiency and thermal neutrons.

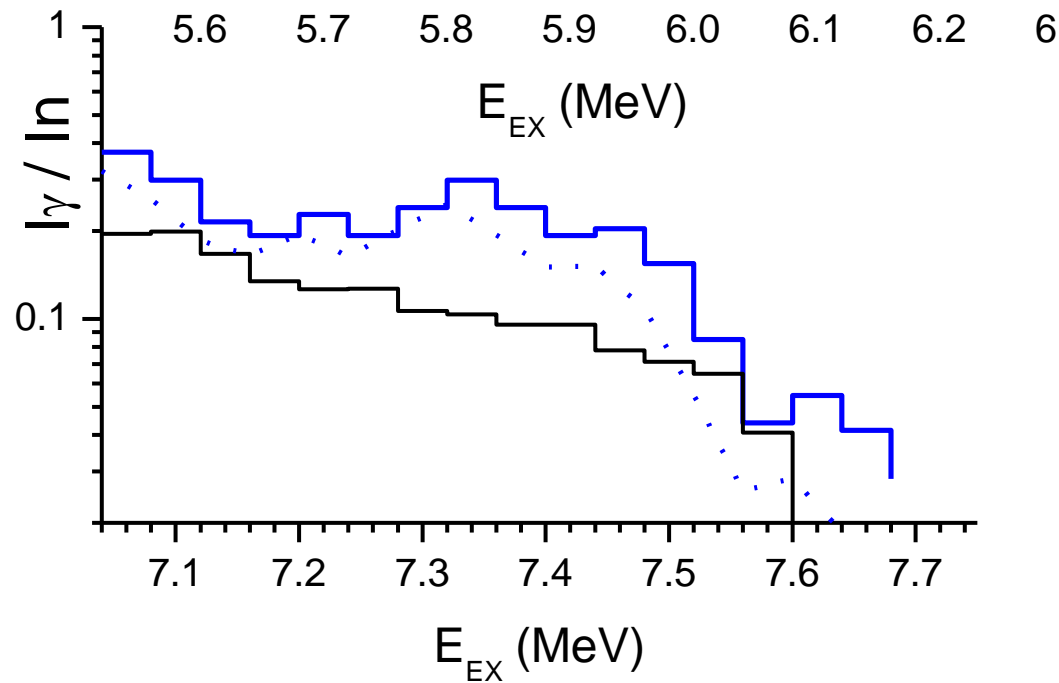


Конкуренция эмиссии гамма и нейтронов из состояний, заселяемых при  $\beta$ -распаде

— exp



$^{87}\text{Br}; b_{\beta,\gamma}=57\%$



$^{88}\text{Br}; b_{\beta,\gamma}=20\%$