

ЯДЕРНАЯ ИНФОРМАТИКА: Big Data & Artificial Intelligence

И.А.Митропольский

Центр ядерных данных
Петербургский институт ядерной физики
им.Б.П.Константинова
НИЦ «Курчатовский Институт»

«Есть два главных человеческих греха, из которых вытекают все прочие: нетерпение и небрежность. Из-за нетерпения люди изгнаны из рая, из-за небрежности они не возвращаются туда».

Ф.Кафка

Международная сеть оценки ядерных данных (МАГАТЭ)

International Nuclear Structure and Decay Data Evaluators' Network

<https://www-nds.iaea.org/>

Long-Term Contributors:

BELGIUM
CANADA
CHINA
FRANCE
JAPAN
KUWAIT
RUSSIA, PNPI
USA

Emerging New Contributors:

ARGENTINA
AUSTRALIA
BRAZIL
BULGARIA
INDIA

7.3 FTE (US & Canada)
2.2 FTE
Total: 9.5 FTE



Download

Download data, codes, packages

Quick Links

ADS-Lib

Atomic Mass Data Centre

Beta-delayed neutrons

CINDA

Charged particle reference cross section

CoNDERC

DICEBOX

DROSG-2000

DXS

Decay Data Library for Actinides

EE-View

EMPIRE-3.2

ENDF Archive

ENDF Retrieval

ENDF-6 Codes

ENDF-6 Format

ENDVER

ENSDF

ENSDF ASCII Files

ENSDF programs

EPICS Electron & pho-

NEW

TALYS-2.0 - Nuclear reaction model code and related packages [page]

EXFOR-C5 - full EXFOR library translated to computational format C5: [readme] [version] [download]

EXFOR-X5 - comprehensive presentation of full EXFOR library with supplementary data in JSON: [about] [version] [download]

Main | All | Reaction Data | Structure & Decay | by Applications | Doc & Codes | Index | Events | Links | News



EXFOR

Experimental nuclear reaction data



LiveChart of Nuclides

Interactive Chart of Nuclides
Mobile App: Isotope Browser



CINDA

Nuclear reaction bibliography



ENDF

Evaluated nuclear reaction libraries



ENSDF

evaluated nuclear structure and decay data (+XUNDL) **



NSR

Nuclear Science References *

NuDat-3

selected evaluated nuclear structure data **

RIPL

reference parameters for nuclear model calculations

IBANDL

Ion Beam Analysis Nuclear Data Library

Charged particle reference cross section

Beam monitor reactions

PGAA

Prompt gamma rays from neutron capture

FENDL

Fusion Evaluated Nuclear Data Library

Photonuclear

- IAEA Photonuclear Data Library, 2019
- EPICS Electron & Photon Interaction Data, 2017

IRDFF-II

International Reactor Dosimetry and Fusion File

NAA

Neutron Activation Analysis Portal

Safeguards Data

Last updated: May 2021

Medical Portal

Medical Portal

Standards

- Neutron cross-sections, 2017
- Decay data, 2005

*Database at the IAEA, Vienna

**Database at the US NNDC

IAEA Nuclear Data Section



IAEA-NDS Mission



A+M Atomic and Molecular Data



Meetings Workshops



Newsletters



Coordinated Research Projects



Nuclear Reaction Data Center Network



Nuclear Structure & Decay Data Network



International Network of Nuclear Data Evaluators



Technical Documents INDC Reports Publications



Computer Codes



IAEA-NA Department of Nuclear Sciences and Applications

Mirrors

Partners

Events



Neutron Resonance Analysis School
May 13-17, 2024
EC-JRC Geel, Belgium



Compound-Nuclear Reactions and Related Topics (CNR²⁴)
Jul 08-12, 2024
International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria

ENSDF: Data Sources and Derivatives

Contributing Databases:

Atomic Masses
(Wapstra & Audi)

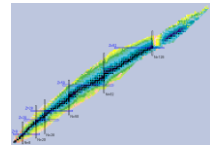
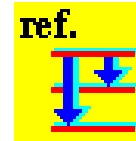
Nuclear Science
References (NSR)

MC Codes

- MCNPX
- GEANT

ORTEC & CANBERRA

ENSDF



IE

NuDat2

Derivative Databases:

NUBASE

MIRD

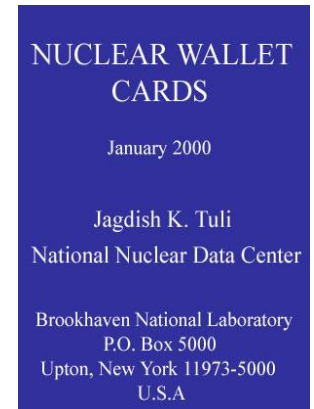
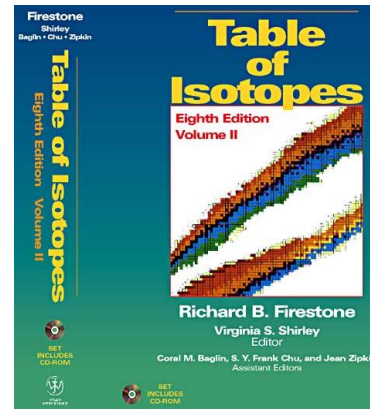
RIPL

JANIS

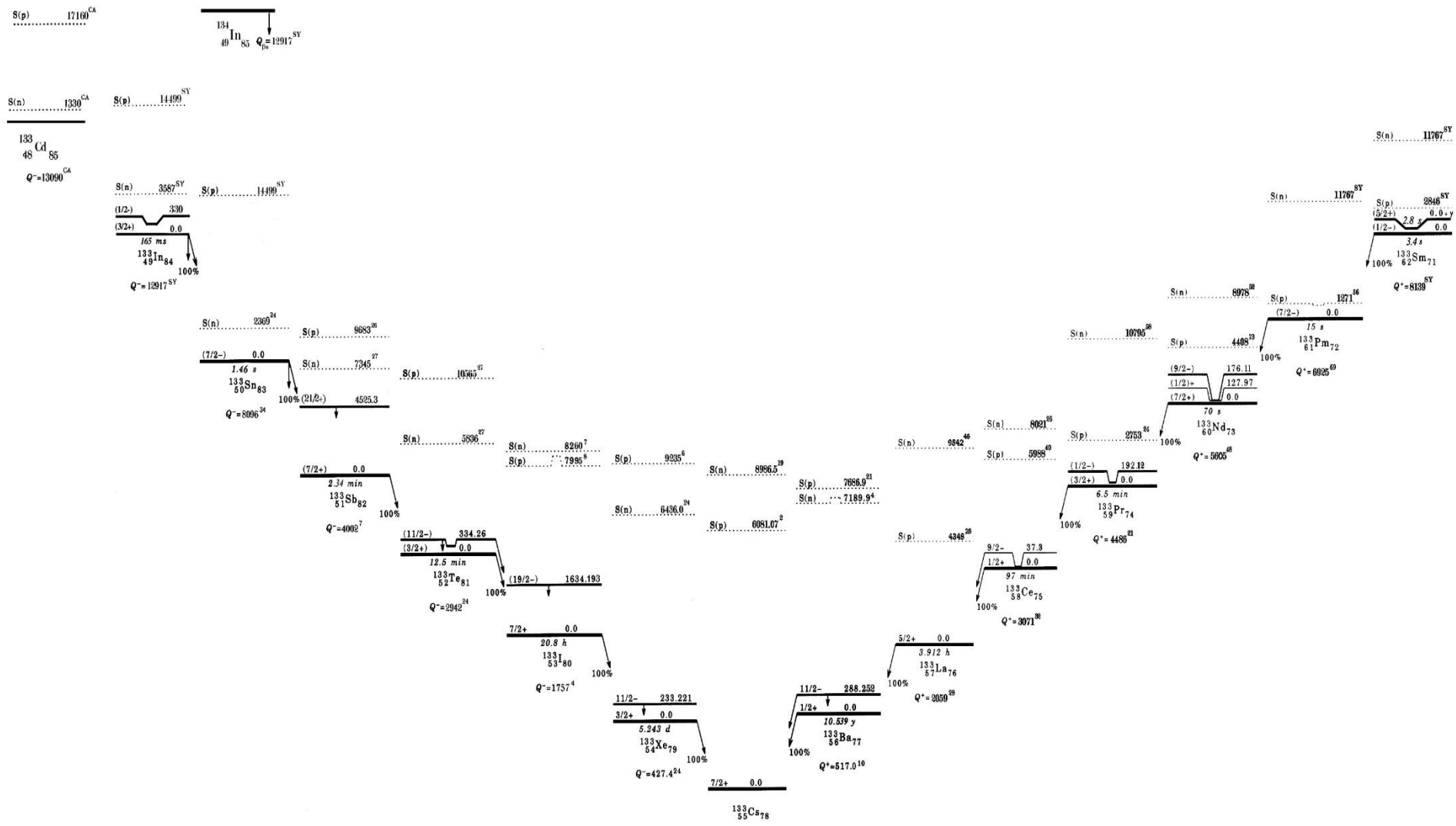
RADWARE

...

Derivative Publications:



Оценка данных о структуре ядер с $130 \leq A \leq 135$, 146



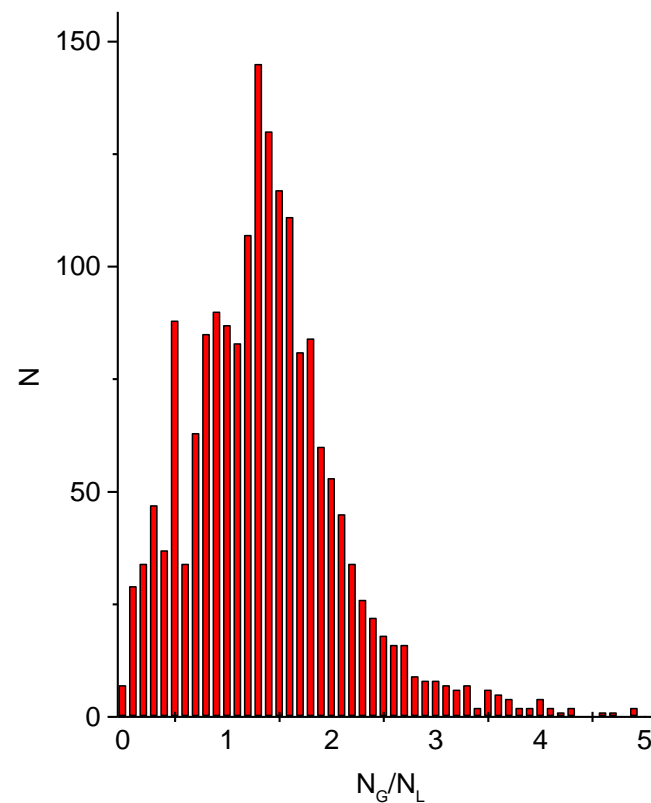
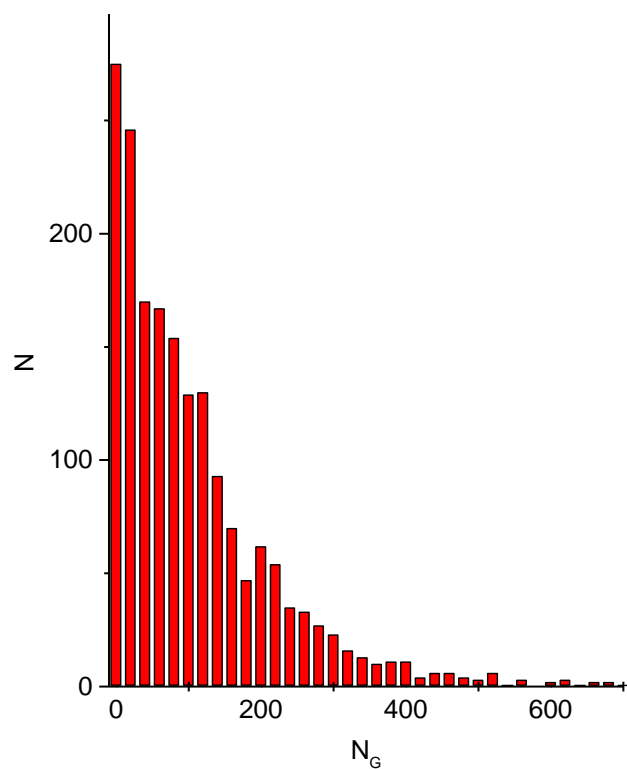
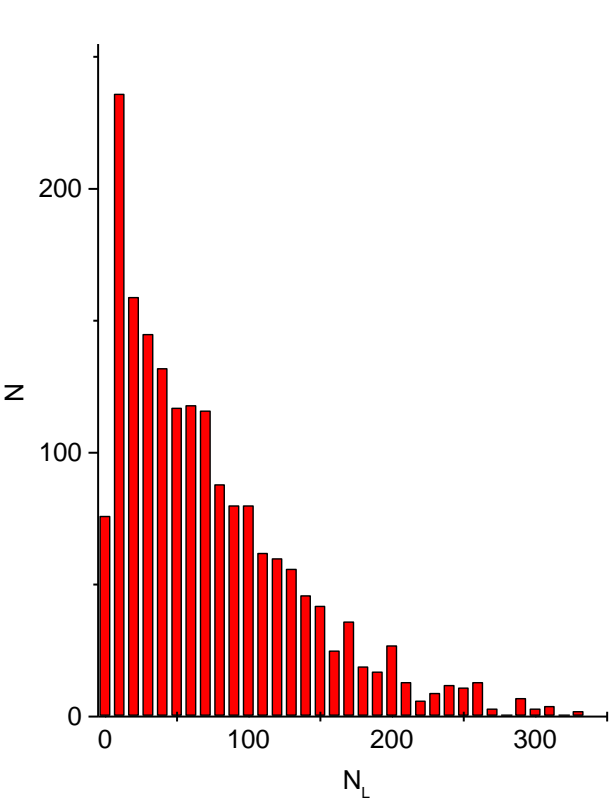
Файл оцененных данных

Всего в анализируемой версии ENSDF имеются схемы уровней для 2931 нуклида. Из них 1830 нуклидов имеют схемы уровней, в которых число размещенных переходов $N_G > 0$.

Общее количество уровней для всех нуклидов составляет 138617. Из них 40235 уровней не связаны переходами с другими уровнями, а 17539 уровней введено только одним переходом. Наибольшее число уровней N_L – в схеме ^{40}Ca .

Общее число размещенных переходов, включая многократные и сомнительные размещения, составляет 204708. В двух наборах число переходов превышает 1000: 1319 переходов в схеме ^{53}Mn и 1130 – в схеме ^{55}Mn . Для двух наборов отношение N_G/N_L больше 5 – 5.26 в схеме уровней ^{55}Mn , и 6.44 – в ^{198}Au .

Распределения схем уровней ядер по числу уровней и числу переходов



Анализ размещения переходов в схемах уровней

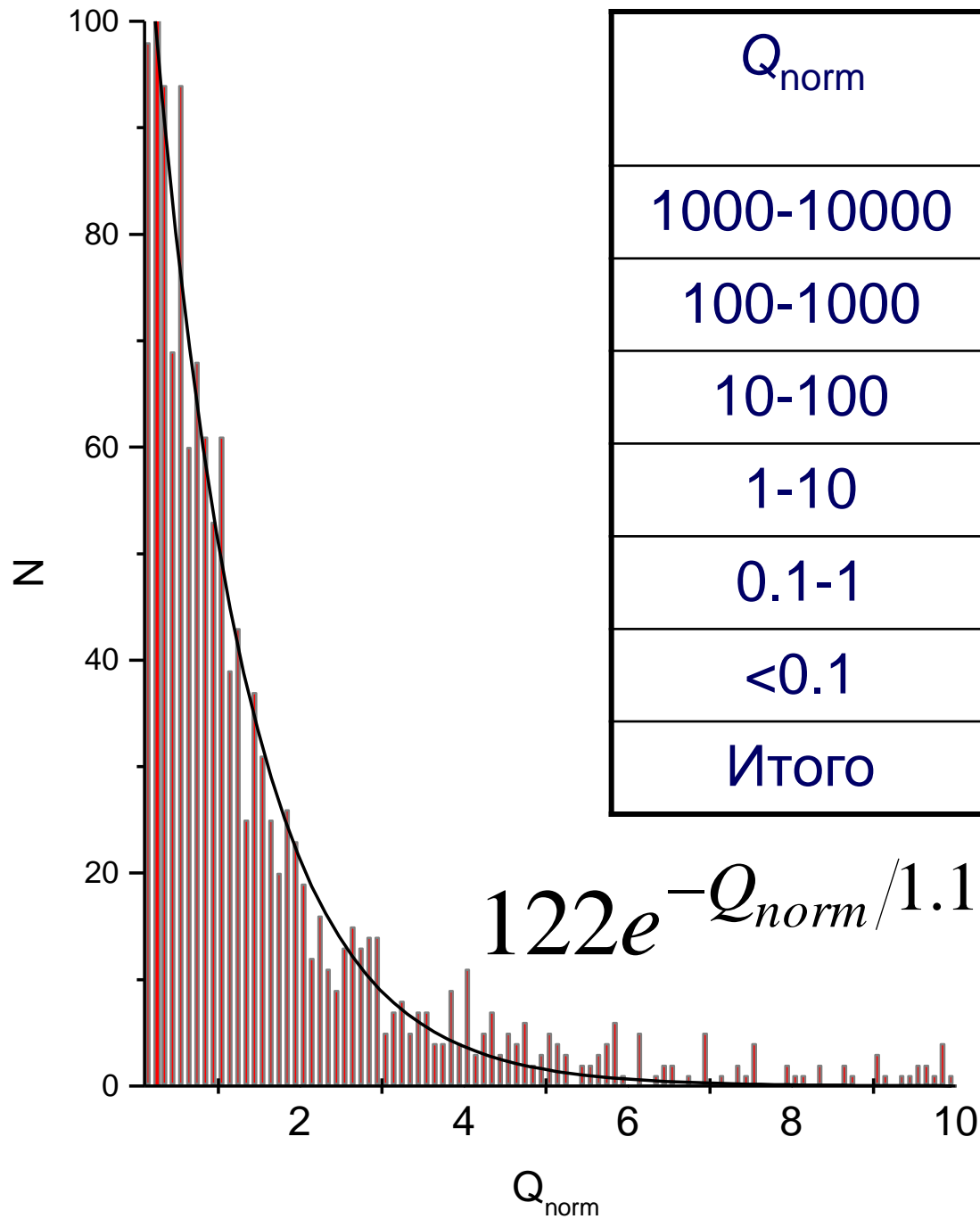
Для каждого из всех размещенных в схемах переходов
вычисляются:

$$\Delta = E_G + E_{rec} - (E_{L,top} - E_{L,bot})$$

$$\delta = \Delta / dE_G$$

Для каждой схемы уровней -

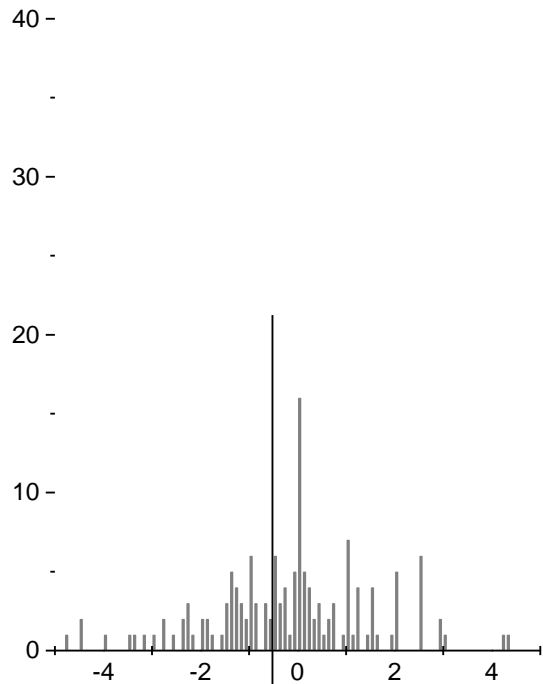
$$Q = \sum_{i=1}^{N_G} \delta_i^2 \quad Q_{norm} = Q / N$$



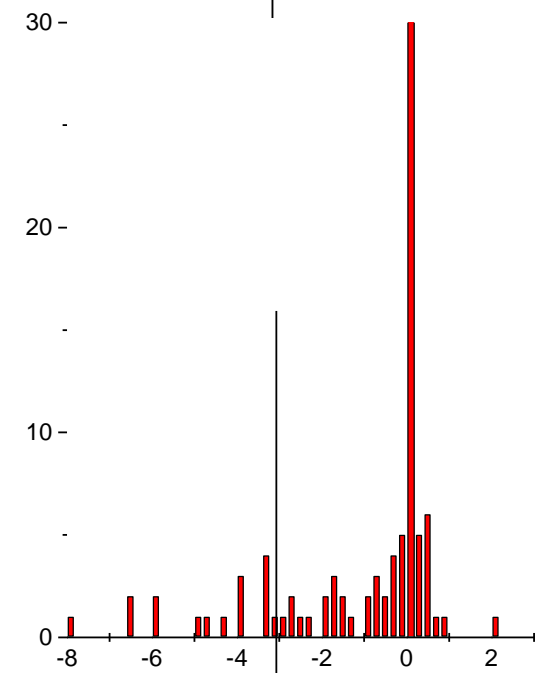
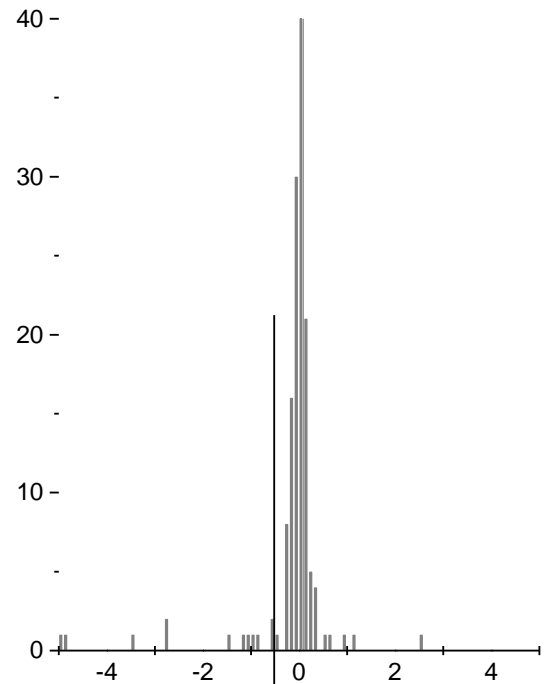
Q_{norm}	Число наборов
1000-10000	2
100-1000	17
10-100	81
1-10	654
0.1-1	704
<0.1	372
Итого	1830

Анализ оптимальности значений энергии уровней в схемах

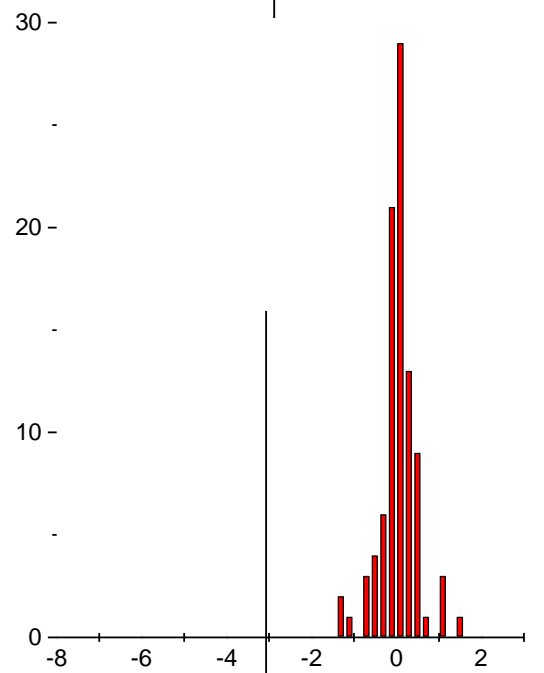
Нуклид	N_G	N_L	Q_{norm}	R	Q_{norm}	R
27Mg	114	56	9.5	55	0.05	-6.1
51Mn	148	141	3.1	14	0.13	-5.9
109Cd	257	135	20	154	0.67	-2.6
113I	208	168	17	103	1.35	2.3
116Te	102	85	66	196	1.60	1.8
141Sm	123	84	1.1	11	0.10	-3.0
147Sm	116	94	585	3250	2.86	10
148Dy	93	57	12	48	0.47	-2.3
171Hf	247	155	39	259	3.11	14



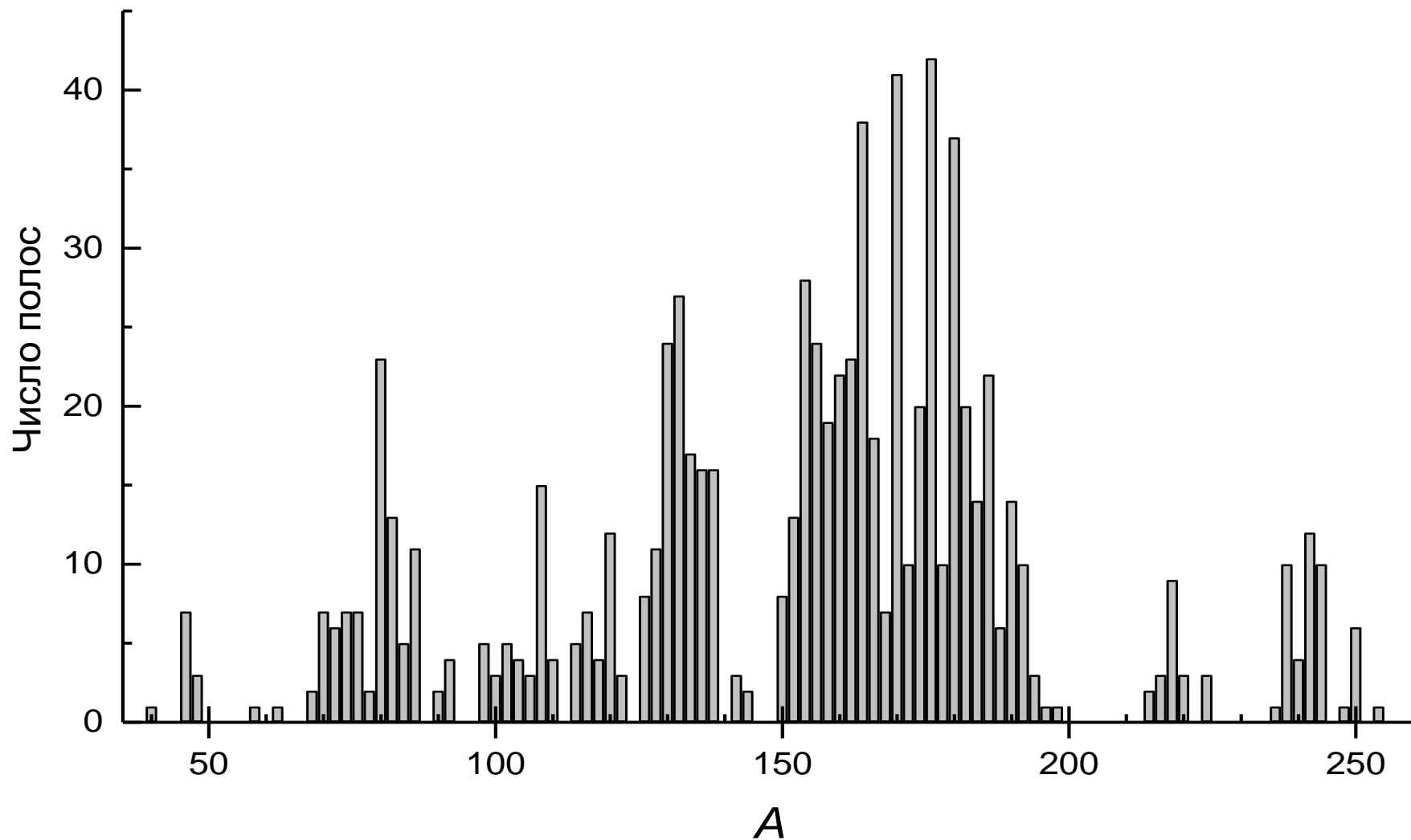
^{51}Mn



^{148}Dy



Вращательные полосы в нечетно-нечетных ядрах



Модель переменного момента инерции

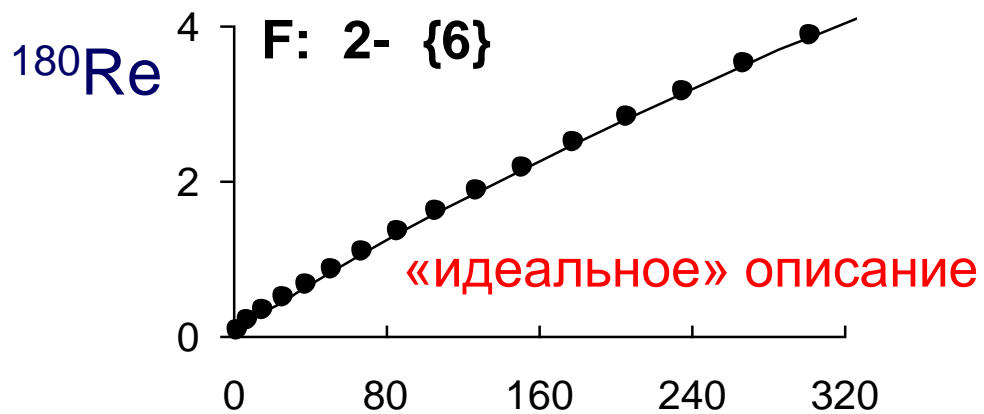
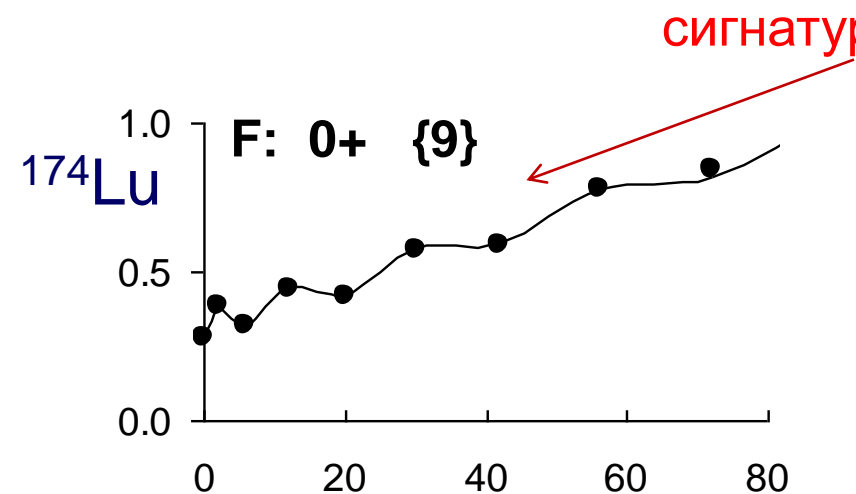
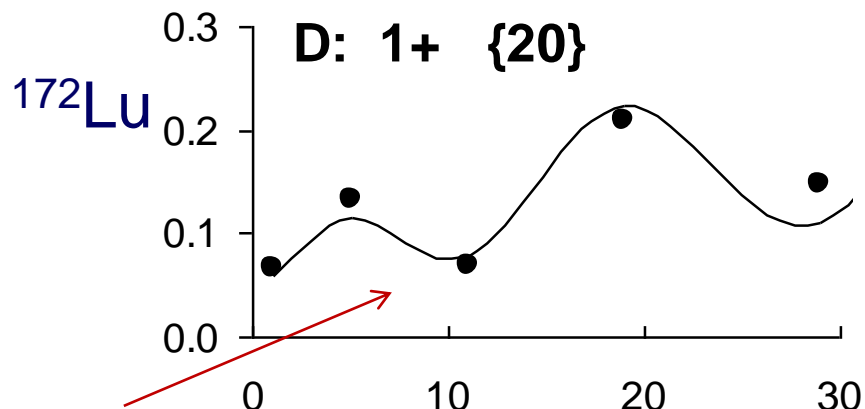
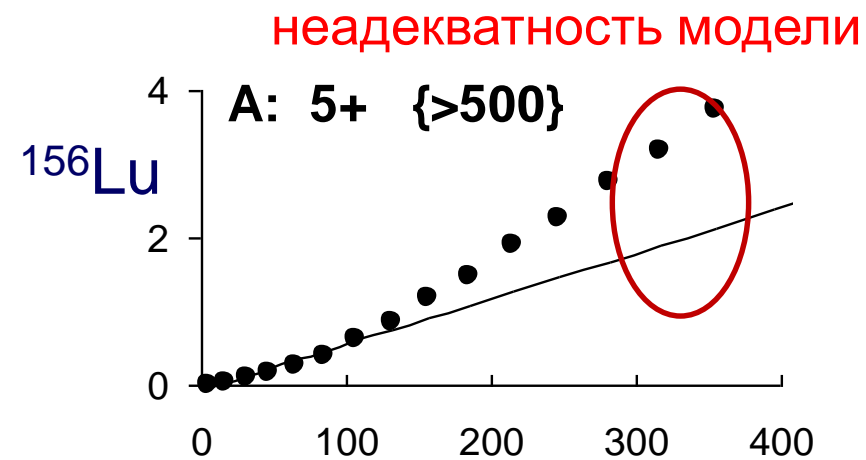
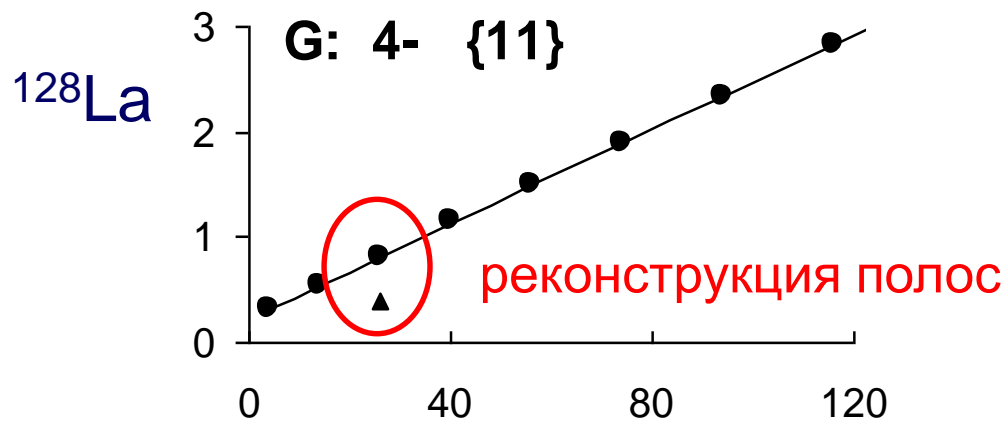
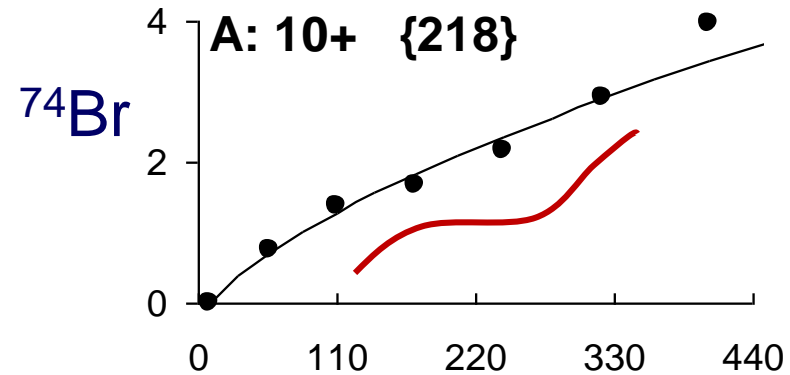
$$E(I, K) = \frac{I(I+1) - K^2}{2J_I} + E_0 + \frac{C}{2}(J_I - J_0)^2 + \Delta E(I, K)$$

$$\frac{\partial E(I, K)}{\partial J_I} = 0$$

Сигнатурные поправки:

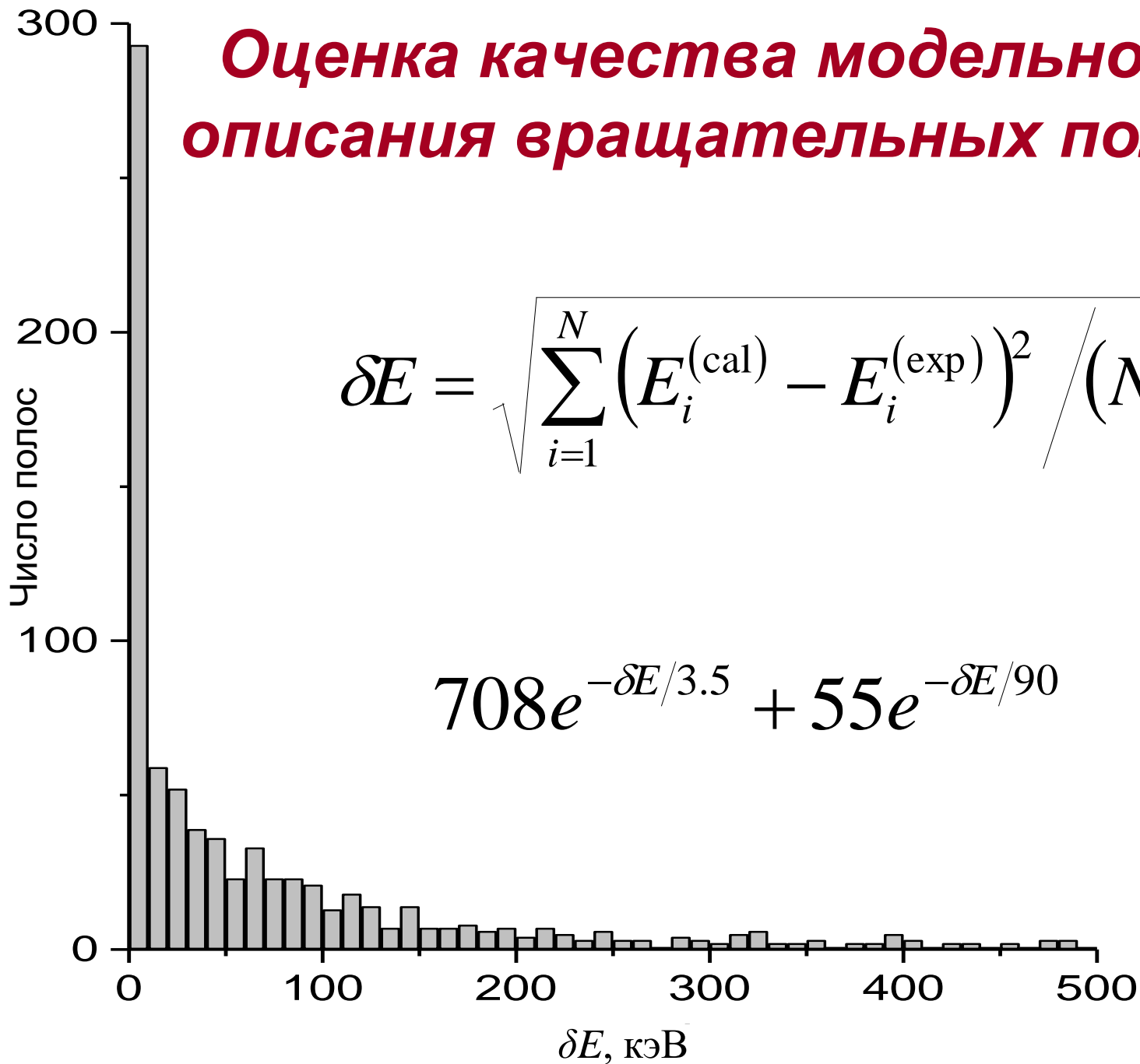
$$\Delta E(I, K = 0) = (-1)^I d$$

$$\Delta E(I, K = 1) = (-1)^{I+1} I(I+1)b/2J_I$$

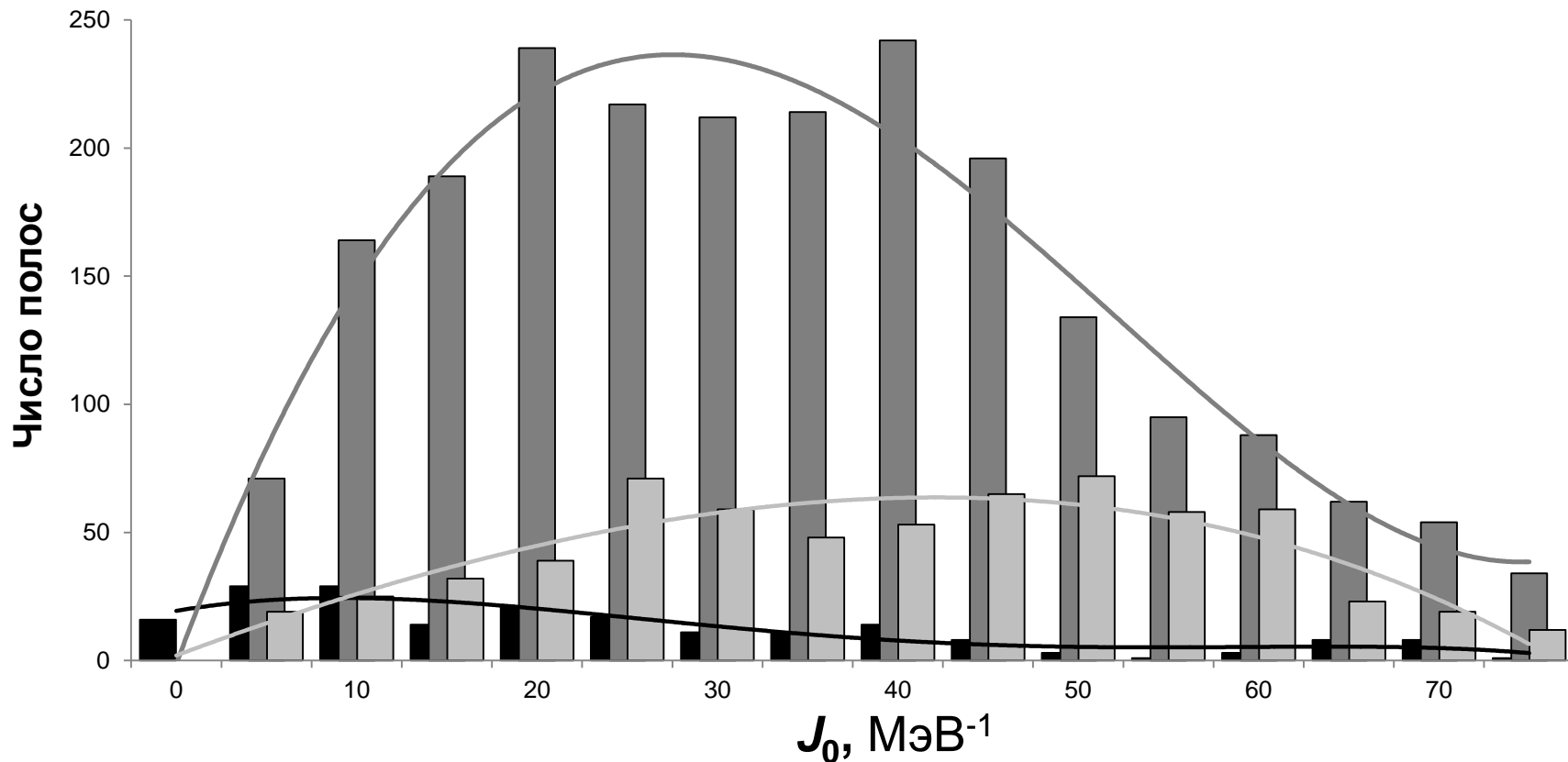


Оценка качества модельного описания вращательных полос

$$\delta E = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(E_i^{(\text{cal})} - E_i^{(\text{exp})} \right)^2 / (N - N_0)}$$



Систематика моментов инерции



Четно-четные ядра (основные вращательные полосы):
 $J_0=0.0062 \cdot A^{5/3} \text{ МэВ}^{-1}$, A-нечетные ядра: $J_0=0.0074 \cdot A^{5/3} \text{ МэВ}^{-1}$,
нечетно-нечетные ядра: $J_0=0.009 \cdot A^{5/3} \text{ МэВ}^{-1}$.

Поиск новых закономерностей в больших массивах данных

*Анализ распределения значащих цифр в
больших группах измеримых величин
(данные измерений).*

**«Луж больше, чем озёр;
озёр больше, чем морей;
морей больше, чем океанов»**

S.Newcomb. Amer. J. Math., 1881, v. 4, p.39.

F.Benford. Proc. Amer. Philos. Soc., 1938, v.78,
No.4, p.551.

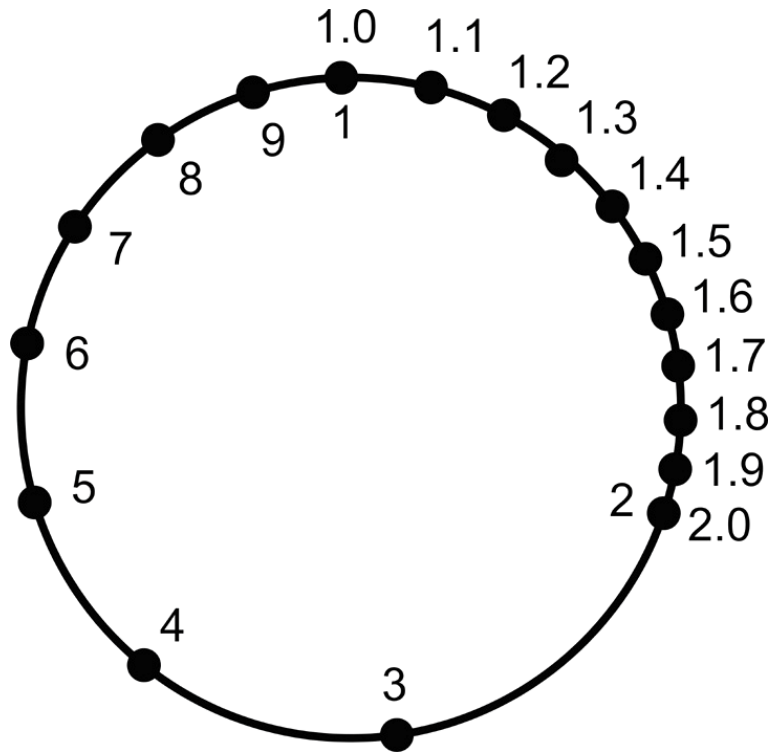
F.Benford										
1938	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Rivers Area	31	16,4	10,7	11,3	7,2	8,6	5,5	4,2	5,1	335
Population	33,9	20,4	14,2	8,1	7,2	6,2	4,1	3,7	2,2	3259
Constants	41,3	14,4	4,8	8,6	10,6	5,8	1	2,9	10,6	104
Newspapers	30	18	12	10	8	6	6	5	5	100
Spec. Heat	24	18,4	16,2	14,6	10,6	4,1	3,2	4,8	4,1	1389
Pressure	29,6	18,3	12,8	9,8	8,3	6,4	5,7	4,4	4,7	703
H.P. Lost	30	18,4	11,9	10,8	8,1	7	5,1	5,1	3,6	690
Mol. Wgt.	26,7	25,2	15,4	10,8	6,7	5,1	4,1	2,8	3,2	1800
Drainage	27,1	23,9	13,8	12,6	8,2	5	5	2,5	1,9	159
Atomic Weight	47,2	18,7	5,5	4,4	6,6	4,4	3,3	4,4	5,5	91
Design	26,8	14,8	14,3	7,5	8,3	8,4	7	7,3	5,6	560
Digest	33,4	18,5	12,4	7,5	7,1	6,5	5,5	4,9	4,2	308
Cost Data	32,4	18,8	10,1	10,1	9,8	5,5	4,7	5,5	3,1	741
X-Ray Volts	27,9	17,5	14,4	9	8,1	7,4	5,1	5,8	4,8	707
Am. League	32,7	17,6	12,6	9,8	7,4	6,4	4,9	5,6	3	1458
Black Body	31	17,3	14,1	8,7	6,6	7	5,2	4,7	5,4	1165
Addresses	28,9	19,2	12,6	8,8	8,5	6,4	5,6	5	5	342
Death Rate	27	18,6	15,7	9,4	6,7	6,5	7,2	4,8	4,1	418
Average	30,6	18,5	12,4	9,4	8	6,4	5,1	4,9	4,7	

Числовые последовательности

Data Set	Series	No of Terms	χ^2	Prob
1	$t_{n+1} = t_n + t_{n-1}$ (Fibonacci)	1476	0.0470	1.00000
2	$t_{n+1} = t_n \times (1 + \sqrt{5})/2$	1475	0.0423	1.00000
3	$t_{n+1} = t_n \times (1 + \sqrt{3})/2$	2276	0.436	0.99992
4	$t_{n+1} = t_n \times e/2$	2314	1.56	0.99153
5	$t_{n+1} = t_n \times (1 + \sqrt{3})/3$	7934	0.0519	1.00000
6	$t_{n+1} = t_n \times e/3$	7530	0.0318	1.00000
7	$t_{n+1} = t_n \times \sqrt{2}$	2048	0.0725	1.00000
8	$t_{n+1} = t_n \times \sqrt{3}$	1293	0.0466	1.00000
9	$t_{n+1} = t_n \times \sqrt{5}$	883	0.100	1.00000
10	$t_{n+1} = t_n \times \sqrt{6}$	793	0.246	0.99999
11	$t_{n+1} = t_n \times \sqrt{7}$	730	0.403	0.99994
12	$t_{n+1} = t_n \times \sqrt{8}$	683	0.732	0.9994
13	$t_{n+1} = t_n \times 2$	1001	0.161	1.0000
14	$t_{n+1} = t_n \times 5$	5000	0.0930	1.0000
15	$t_{n+1} = t_n \times 9$	5000	0.026	1.000
16	$t_{n+1} = t_n \times 9.9$	5000	0.766	0.999
17	$t_{n+1} = t_n \times 9.99$	5000	137	0.0000
18	$t_{n+1} = t_n \times 9.999$	5000	17561	0.0000
19	$t_{n+1} = t_n \times 10$	5000	11609	0.0000
20	$t_{n+1} = t_n \times \sqrt{10}$	5000	18315	0.0000

√

Закон Ньюкомба-Бенфорда



$$W(k) = \lg \frac{k+1}{k}$$

$$k = 1, 2, \dots, 9$$

$$W(k, n) = \sum_{i=10^{n-2}}^{9 \cdot 10^{n-2}} \lg \frac{10i + k + 1}{10i + k}$$

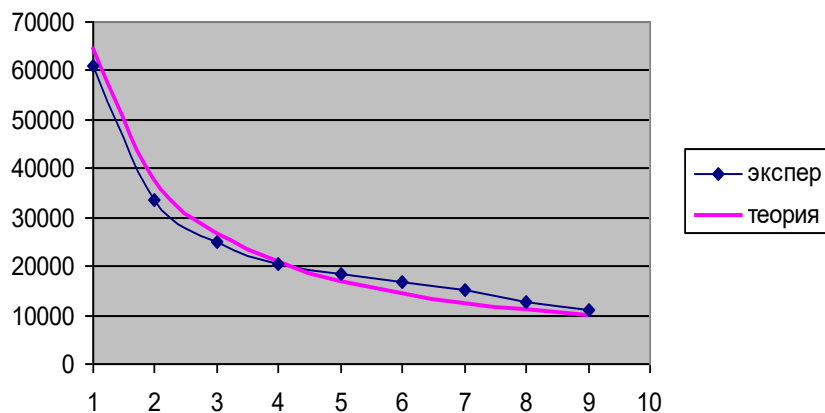
$$k = 0, 1, \dots, 9; \quad n \geq 2$$

Вероятность появления цифры в первом, втором и третьем разряде многозначного числа

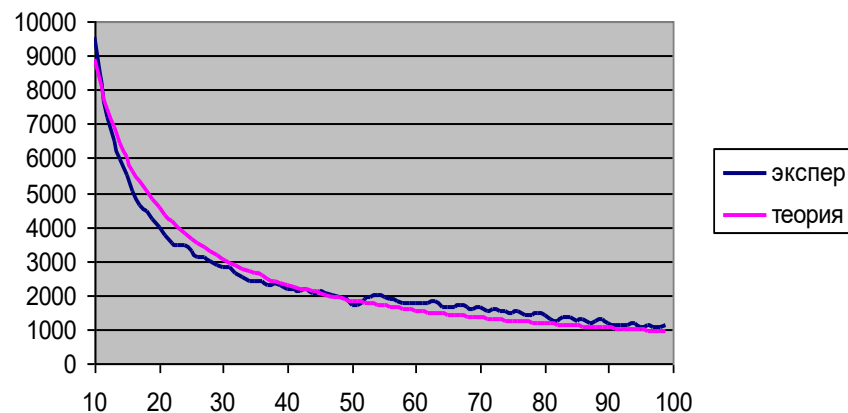
Digit	First place	Second place	Third place
0	0.000	0.120	0.102
1	0.301	0.114	0.101
2	0.176	0.109	0.101
3	0.125	0.104	0.101
4	0.097	0.100	0.100
5	0.079	0.097	0.100
6	0.067	0.093	0.099
7	0.058	0.090	0.099
8	0.051	0.088	0.097
9	0.046	0.085	0.098
Sum	1.000	1.000	1.000

Энергии ядерных переходов

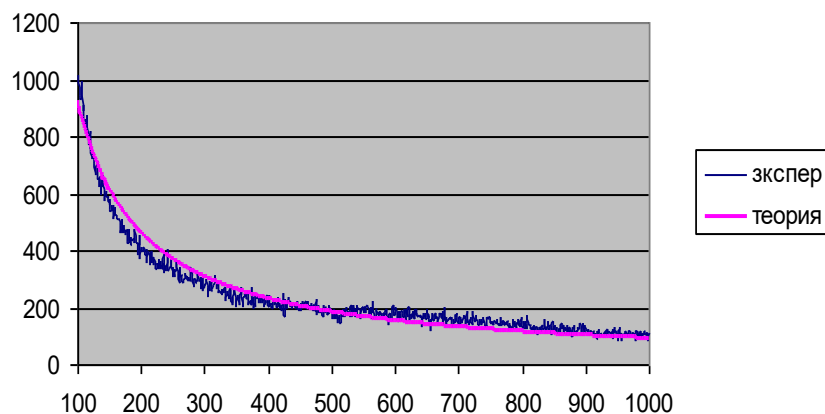
Распределение первой цифры 214112 энергии



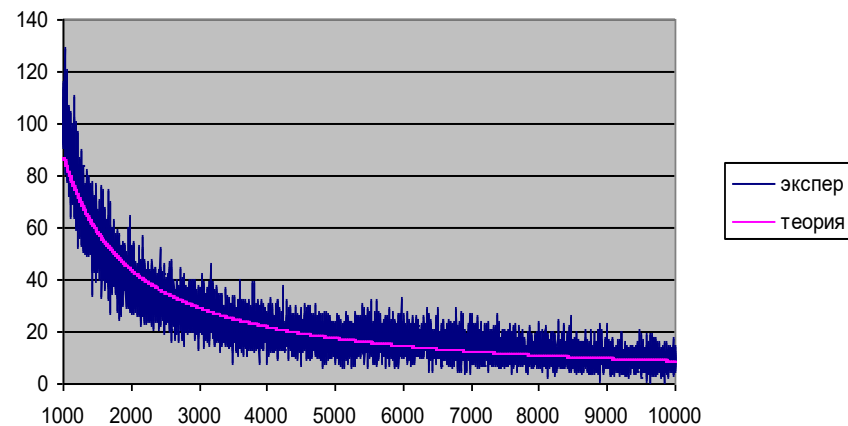
Распределение первых двух цифр 214100 энергии



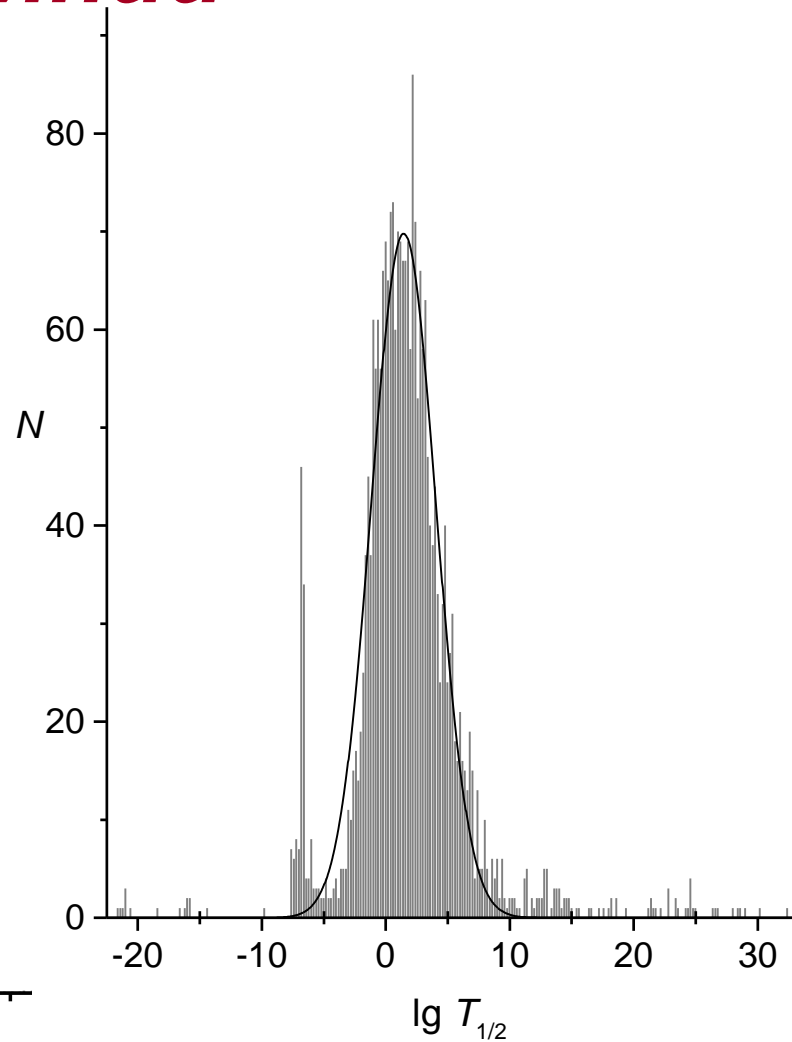
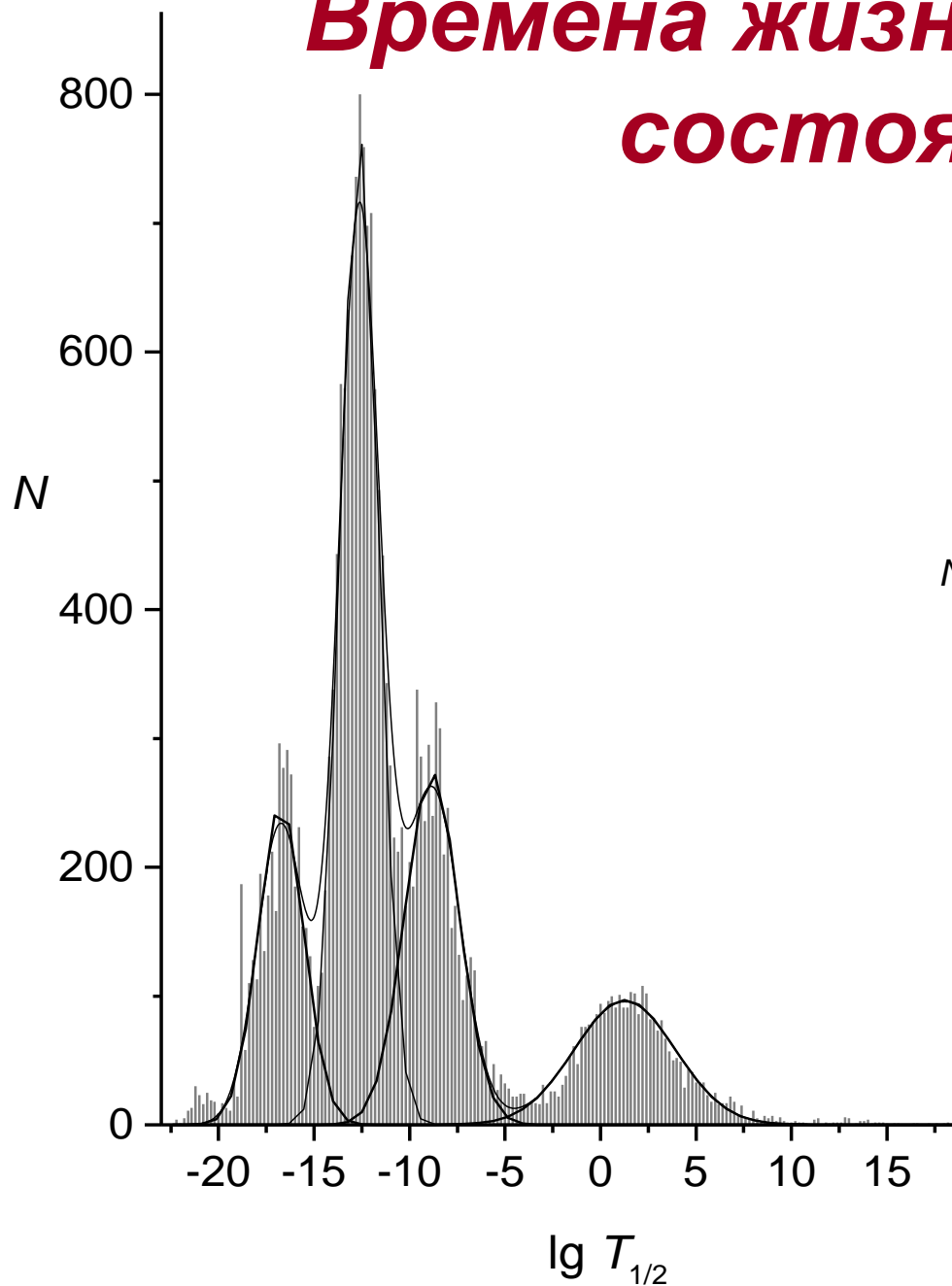
Распределение первых трех цифр 213754 энергии



Распределение первых четырех цифр 201059 энергии



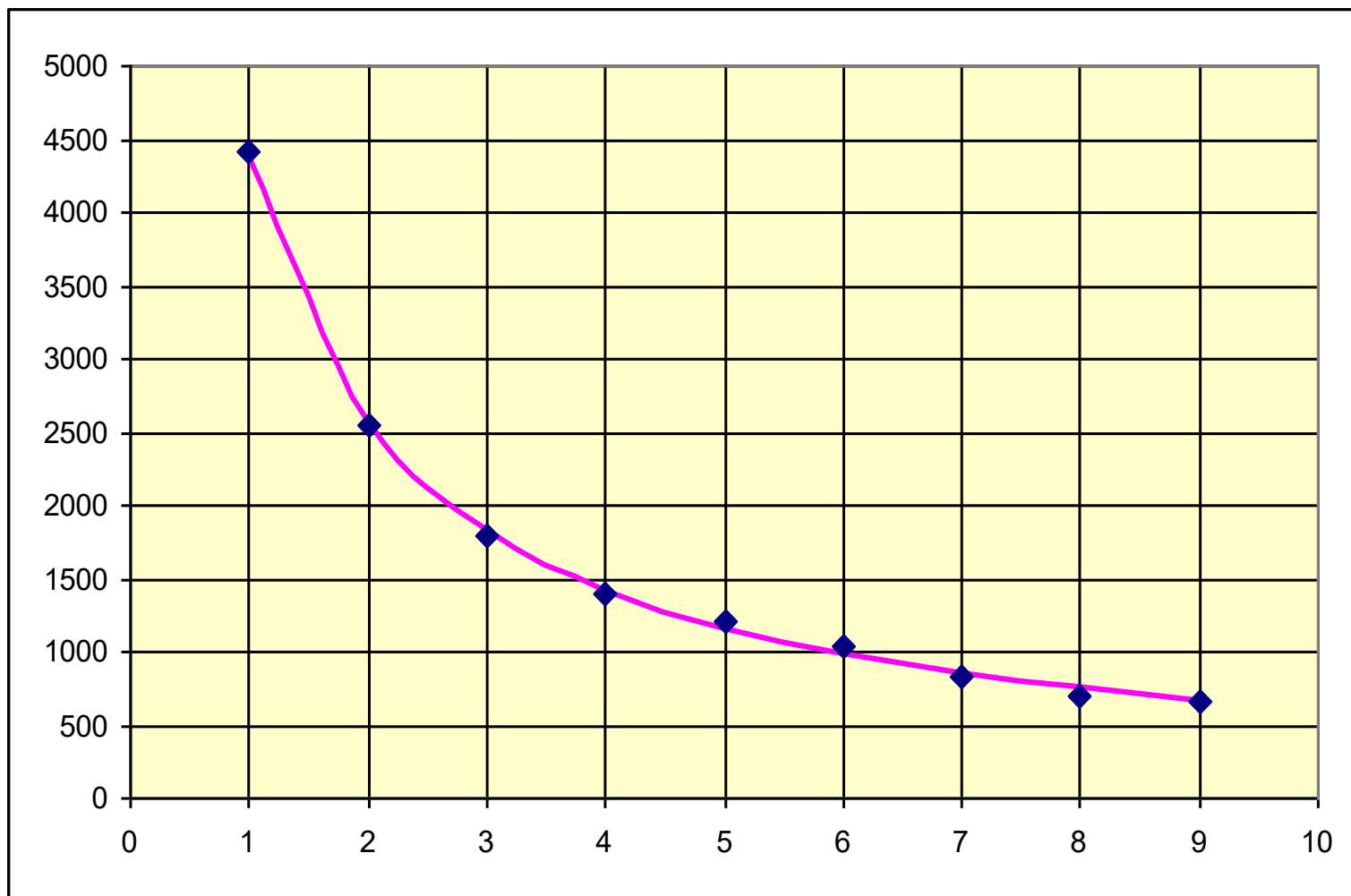
Времена жизни ядерных состояний



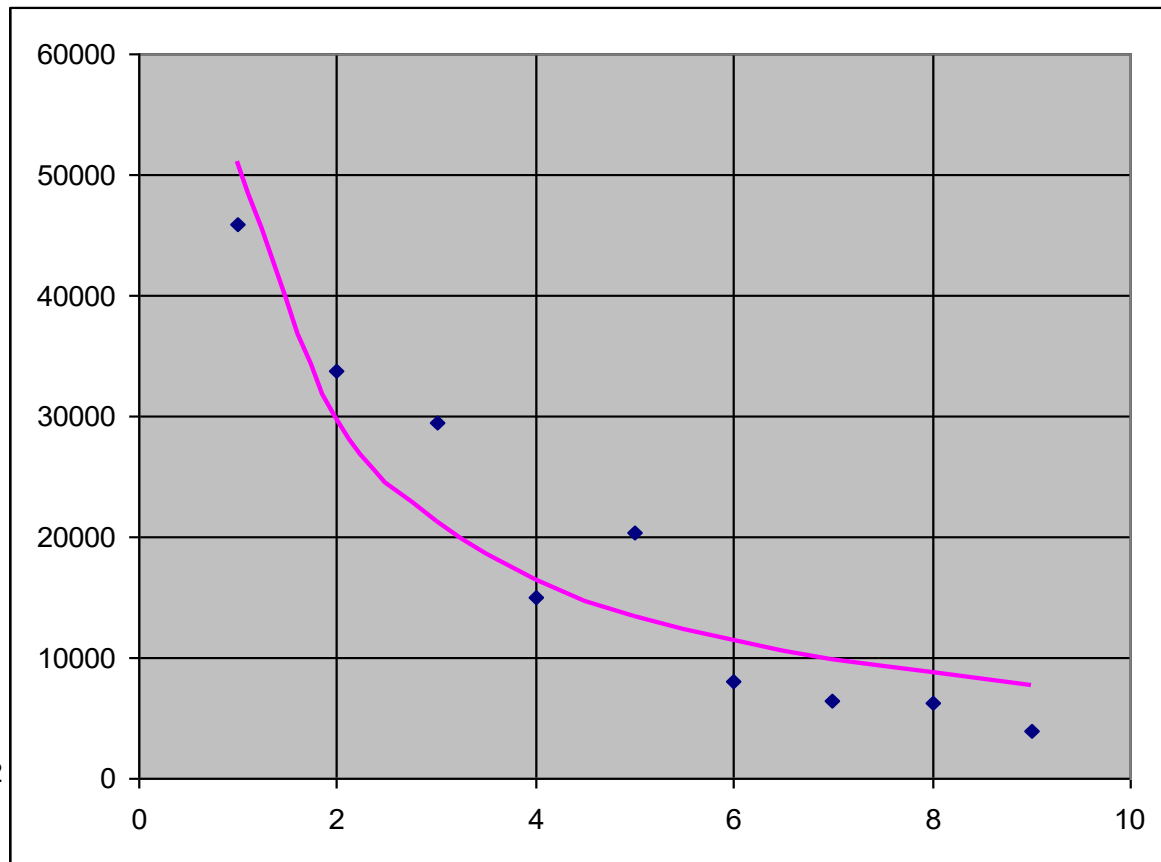
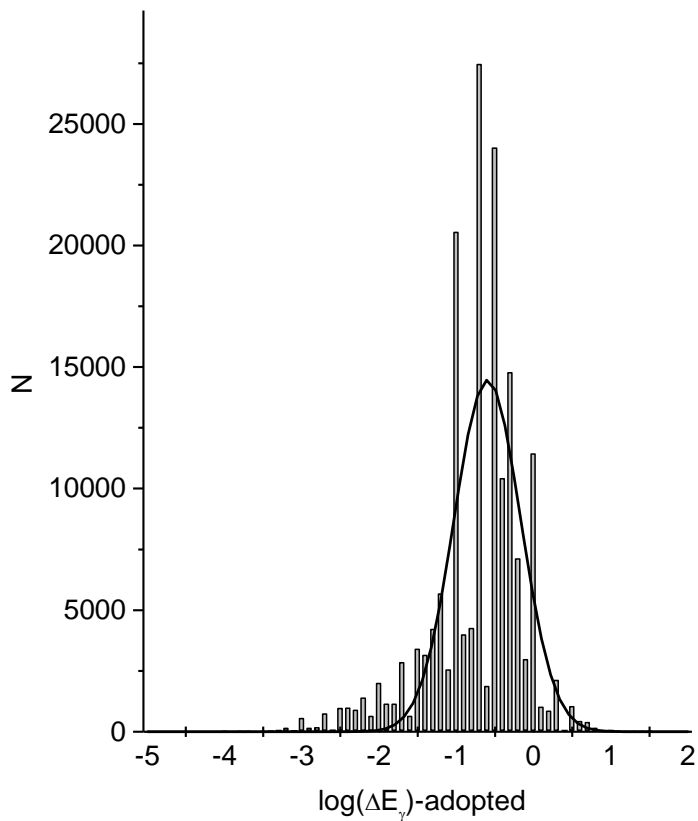
Распределение первых значащих цифр для времен жизни ядерных состояний



Распределение первых значащих цифр для времен жизни, имеющих определенную погрешность

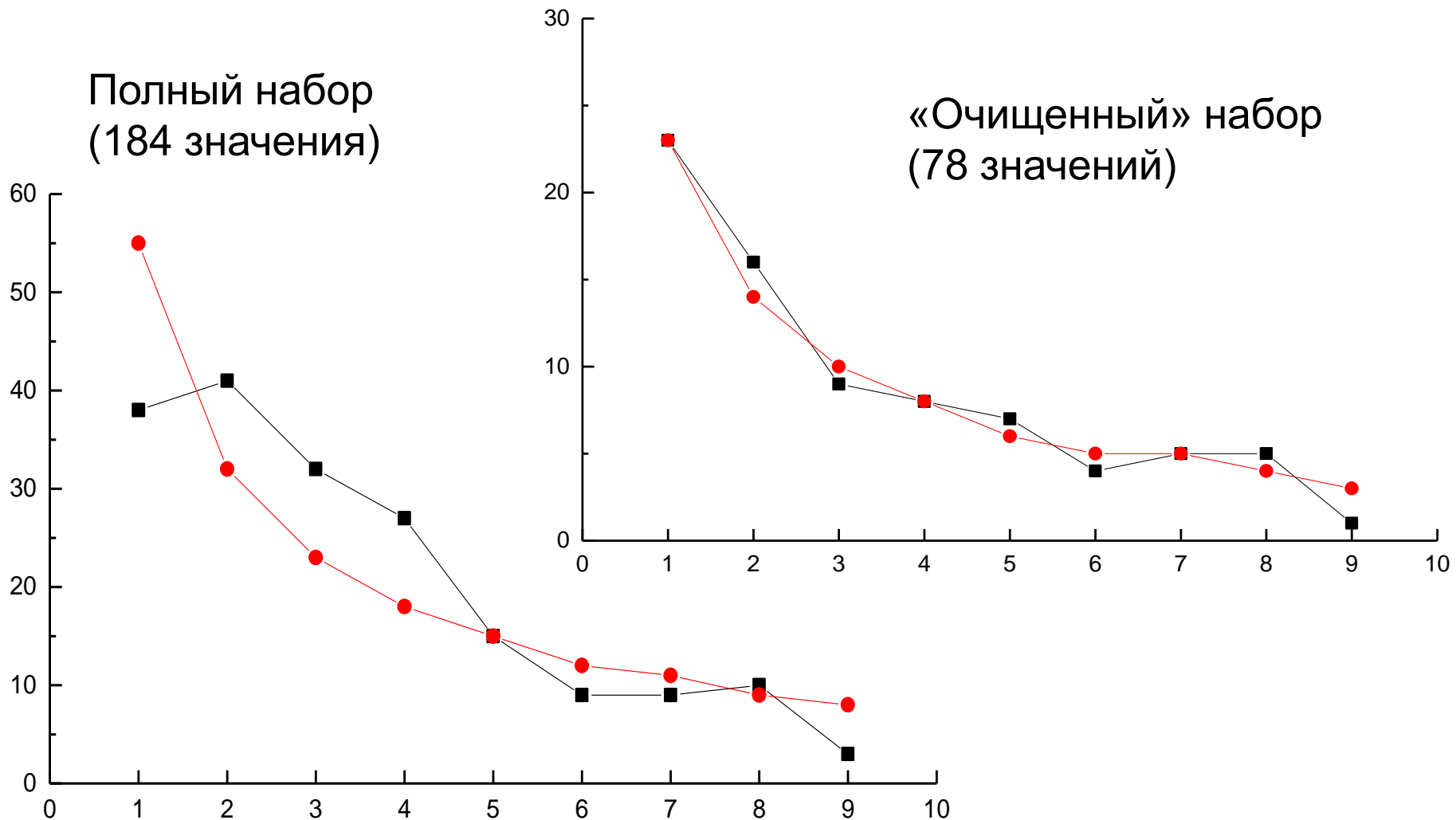


Анализ погрешностей измерений



Погрешности измерения энергии ядерных переходов.

Погрешности данных, не вошедших в группу рекомендованных PDG



Гибридная нейронная сеть

Не чудесно, не прекрасно,
А ужасно и опасно
Букву Т писать напрасно!

Искусственные нейронные сети

$$Q_{\beta^-} = M(A, Z) - M(A, Z + 1) \quad Q_{2\beta^-} = M(A, Z) - M(A, Z + 2)$$

$$Q_{\alpha} = M(A, Z) - M(A - 4, Z - 2) - M(^4\text{He})$$

$$S_n = -M(A, Z) + M(A - 1, Z) + m_n$$

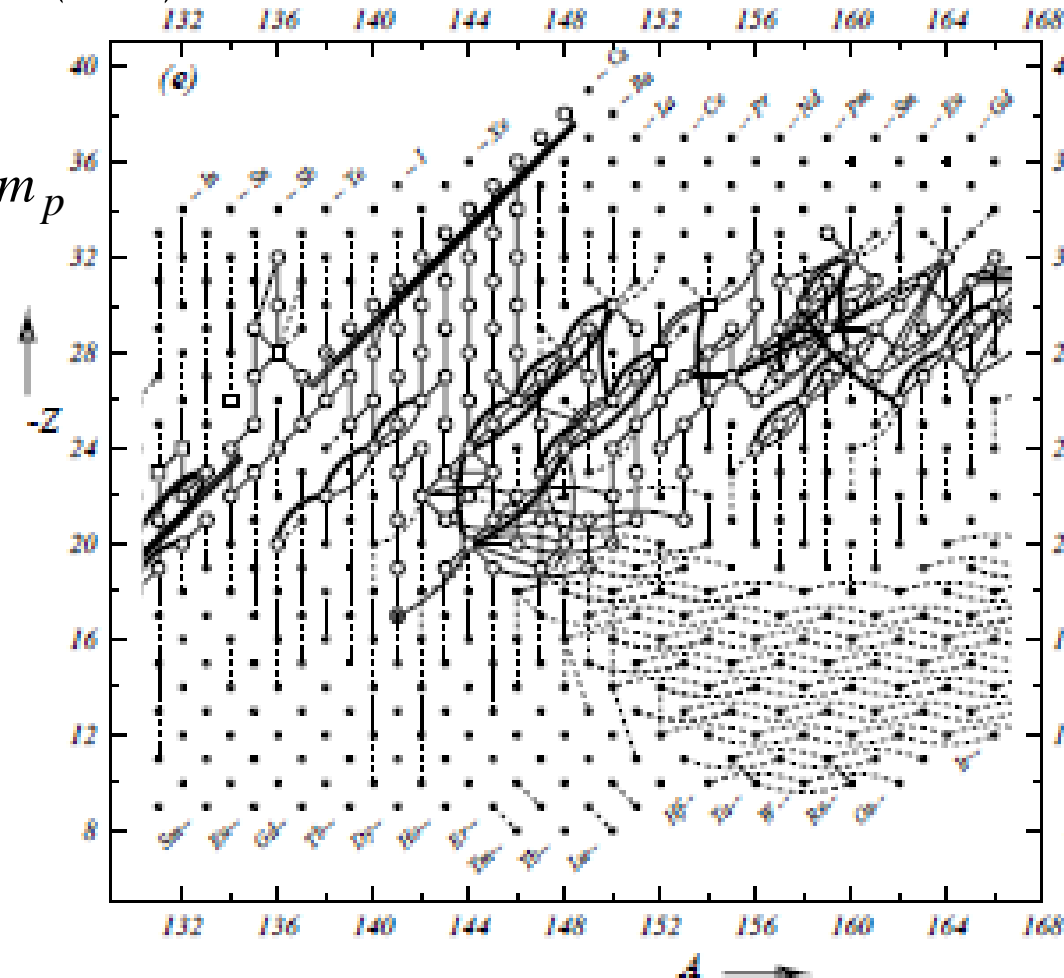
$$S_p = -M(A, Z) + M(A - 1, Z - 1) + m_p$$

$$Q(\gamma, p) = -S_p$$

$$Q(\gamma, n) = -S_n$$

$$Q(p, n) = Q_{\beta^-} - (m_n - m_p)$$

$$Q(p, d) = -S_n + E_B(d)$$



**Все данные
связаны!**

Нечёткая (fuzzy) логика

Нечёткая логика более естественно описывает характер человеческого мышления и ход его рассуждений, чем традиционные формально-логические системы.

Принципиальное отличие нечёткого и вероятностного подходов:



$$\mu(A)=0.91 \quad p(B)=0.91$$

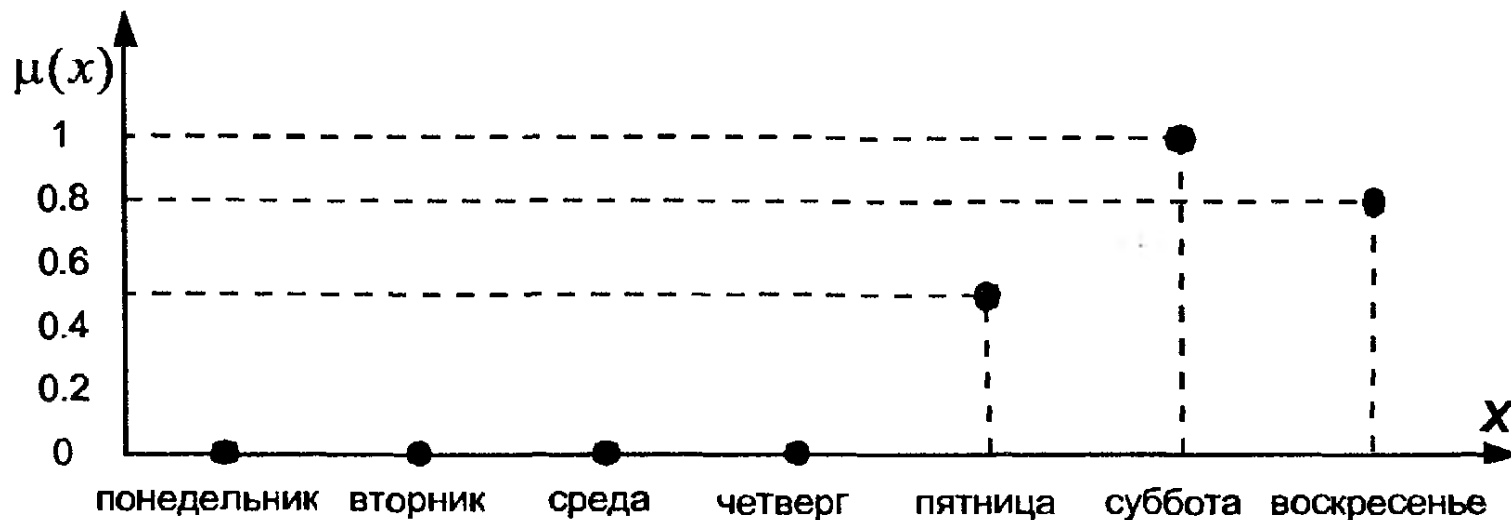
Нечёткие модели обобщают традиционные, и иногда они работают лучше!

2/3 и 3/5

Нечёткие множества

1965 г. Нечёткое множество представляет собой совокупность элементов, относительно которых нельзя утверждать, принадлежит ли тот или иной элемент данному множеству. Функция принадлежности ставит каждому элементу действительное число из интервала $[0, 1]$.

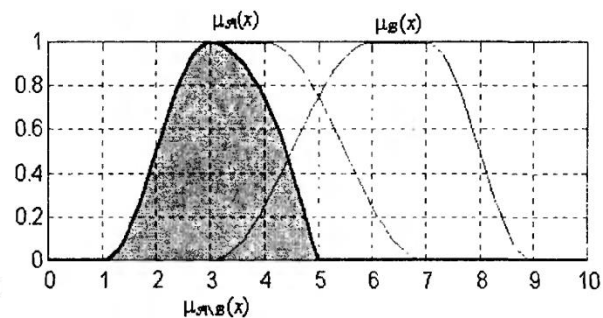
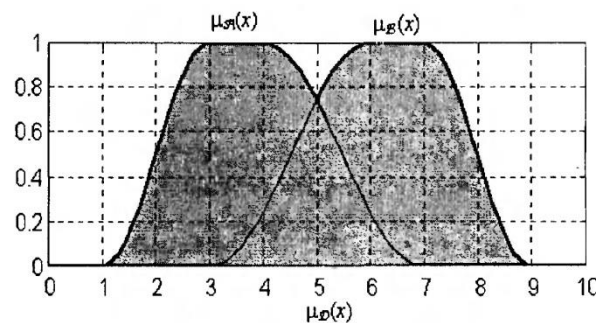
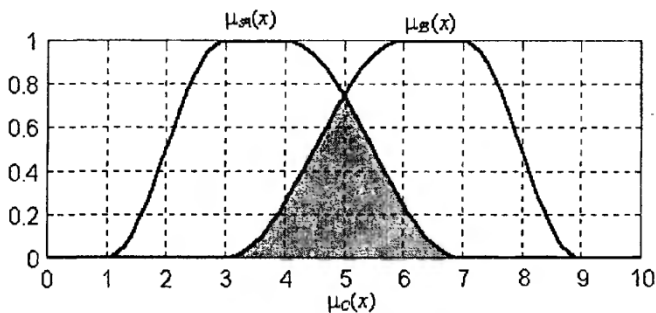
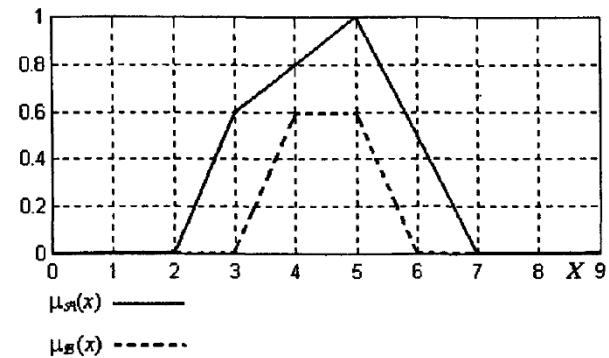
Пример. Нечёткое множество, содержательно описывающее выходные (нерабочие) дни недели:



Нечёткая логика и системы нечёткого вывода

Нельзя пользоваться диаграммами Венна, но работают основные логические операции:

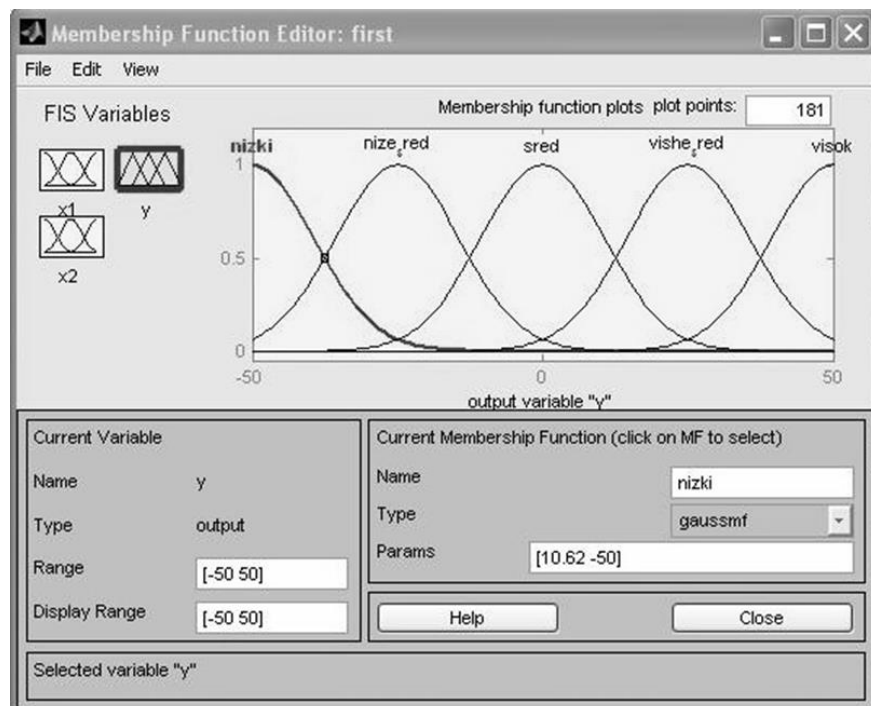
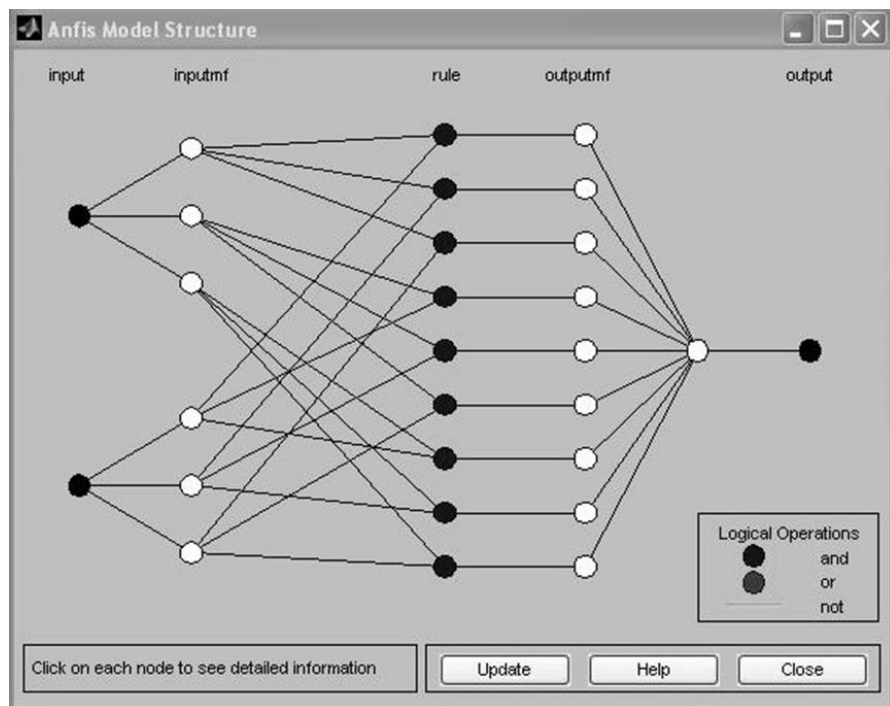
- равенство - все функции принадлежности совпадают,
- подмножество (доминирование) – функции принадлежности не превышают исходные,
- пересечения, объединения и разности



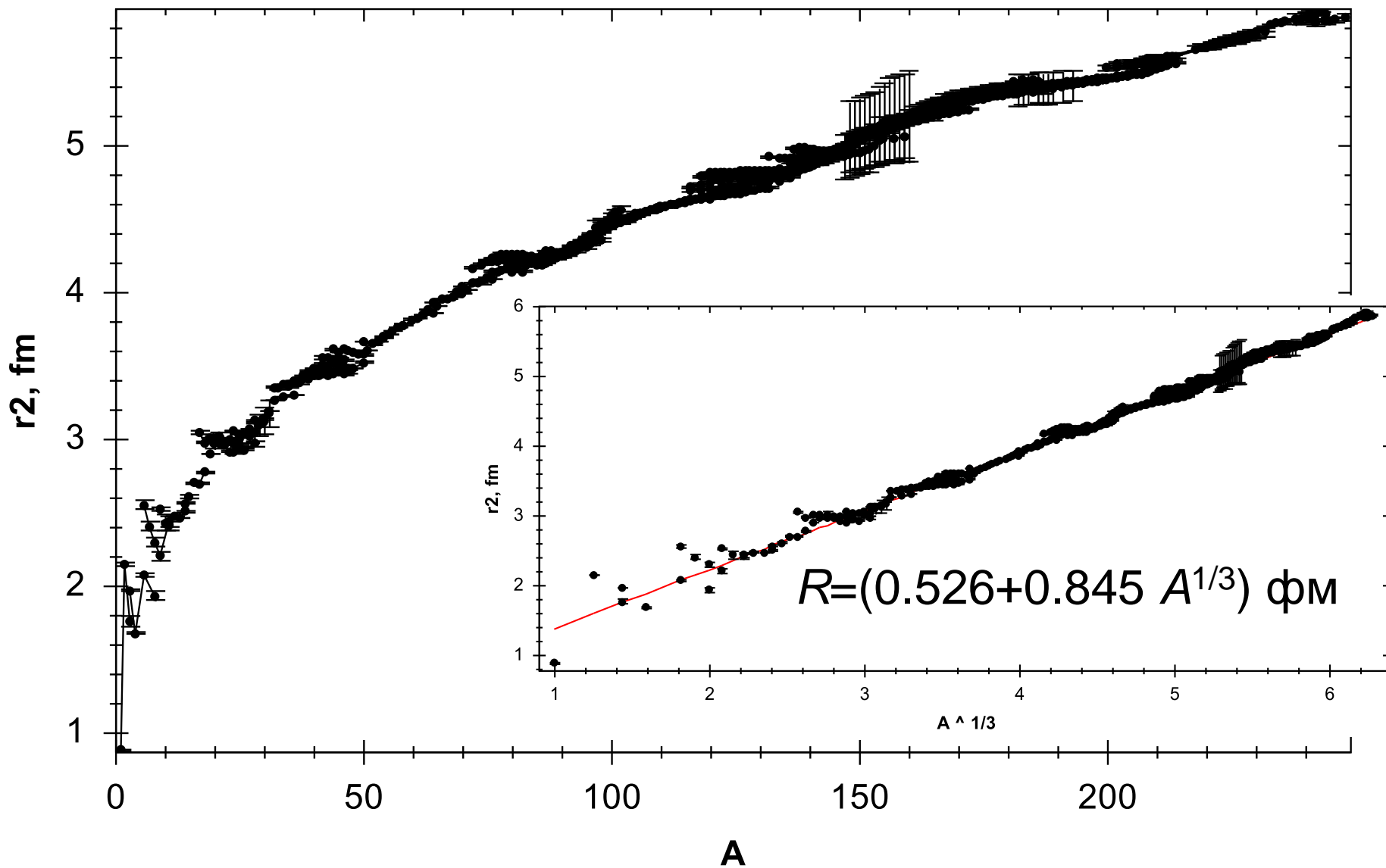
Пакет Fuzzy Logic Toolbox в Matlab

В 1994 г. доказана теорема о нечёткой аппроксимации, согласно которой **любая математическая система может быть аппроксимирована системой на нечёткой логике.**

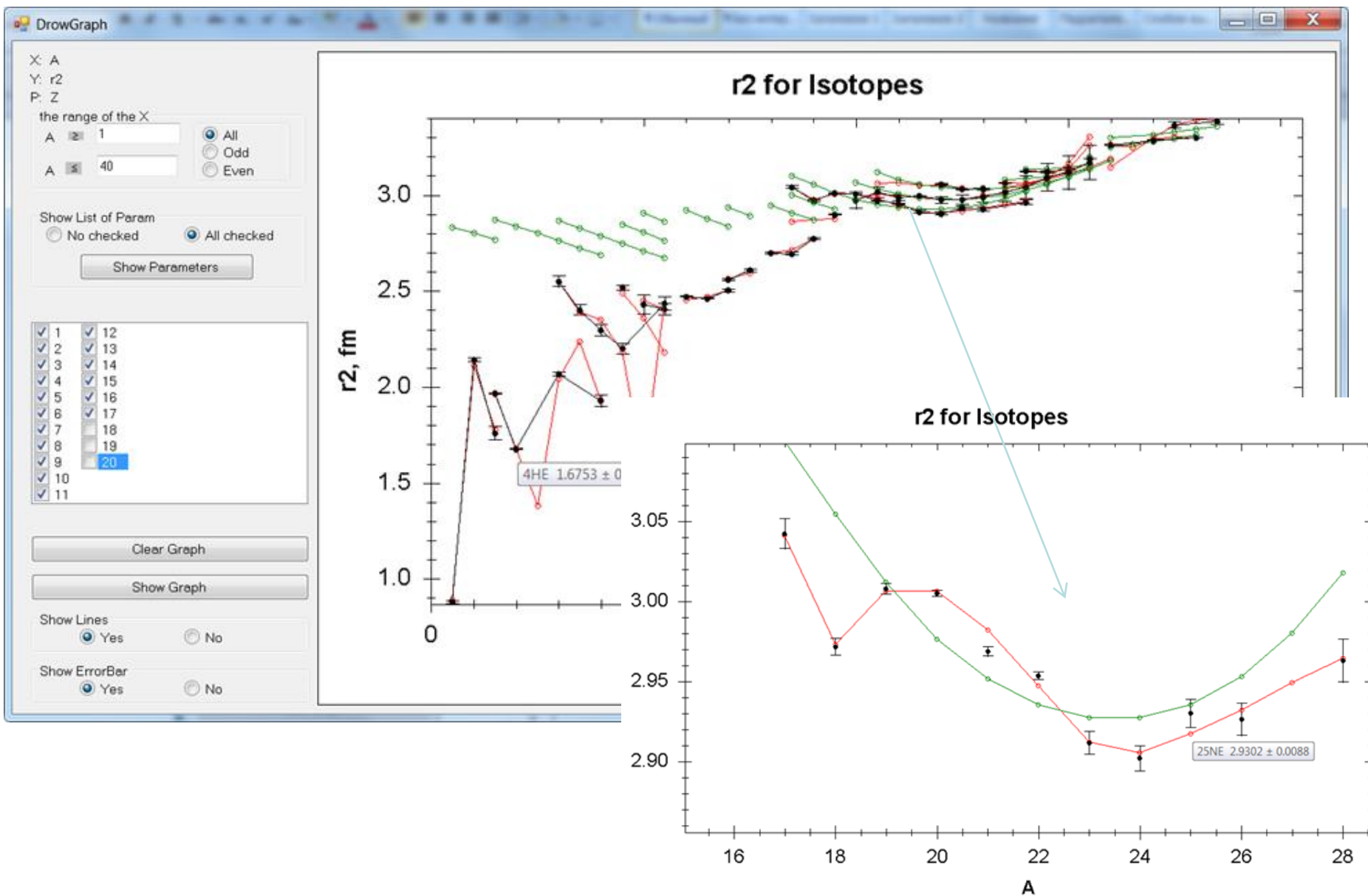
С помощью простых лингвистических правил «Если..., То...» и их последующей формализацией нечёткими множествами можно сколько угодно точно отразить любую взаимосвязь входы – выход **без использования аппарата дифференциального и интегрального исчисления** или иного традиционного аппарата.

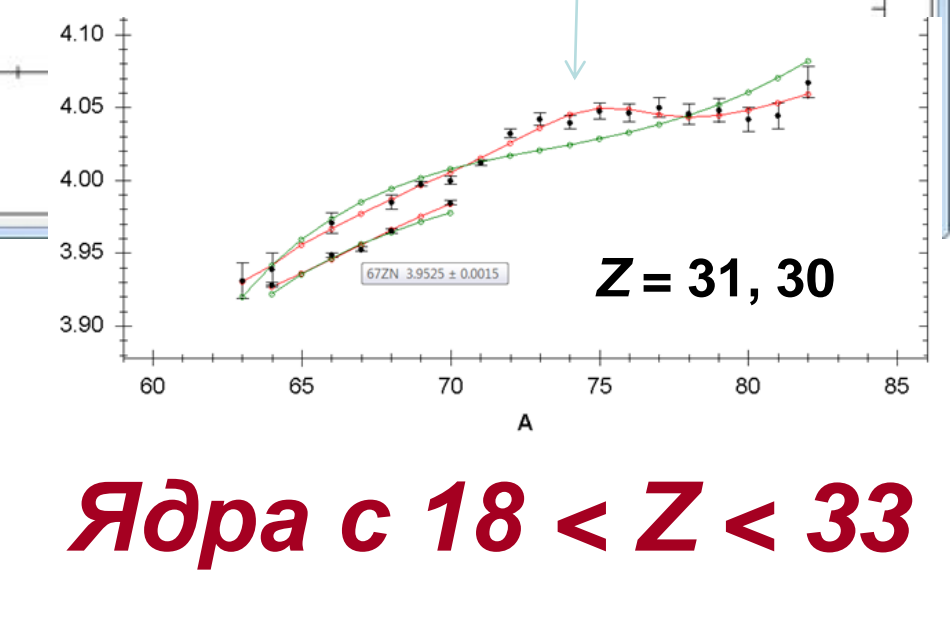
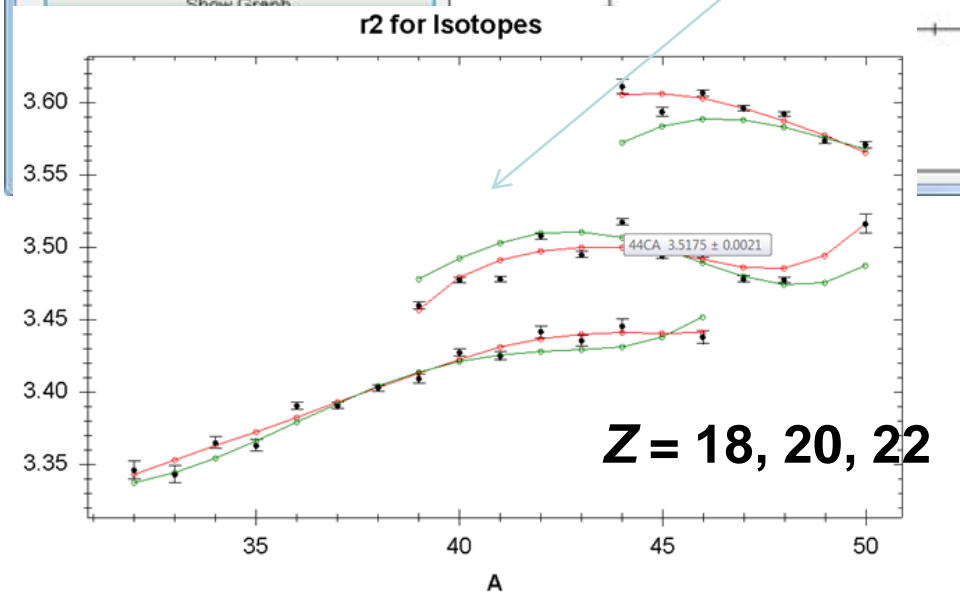
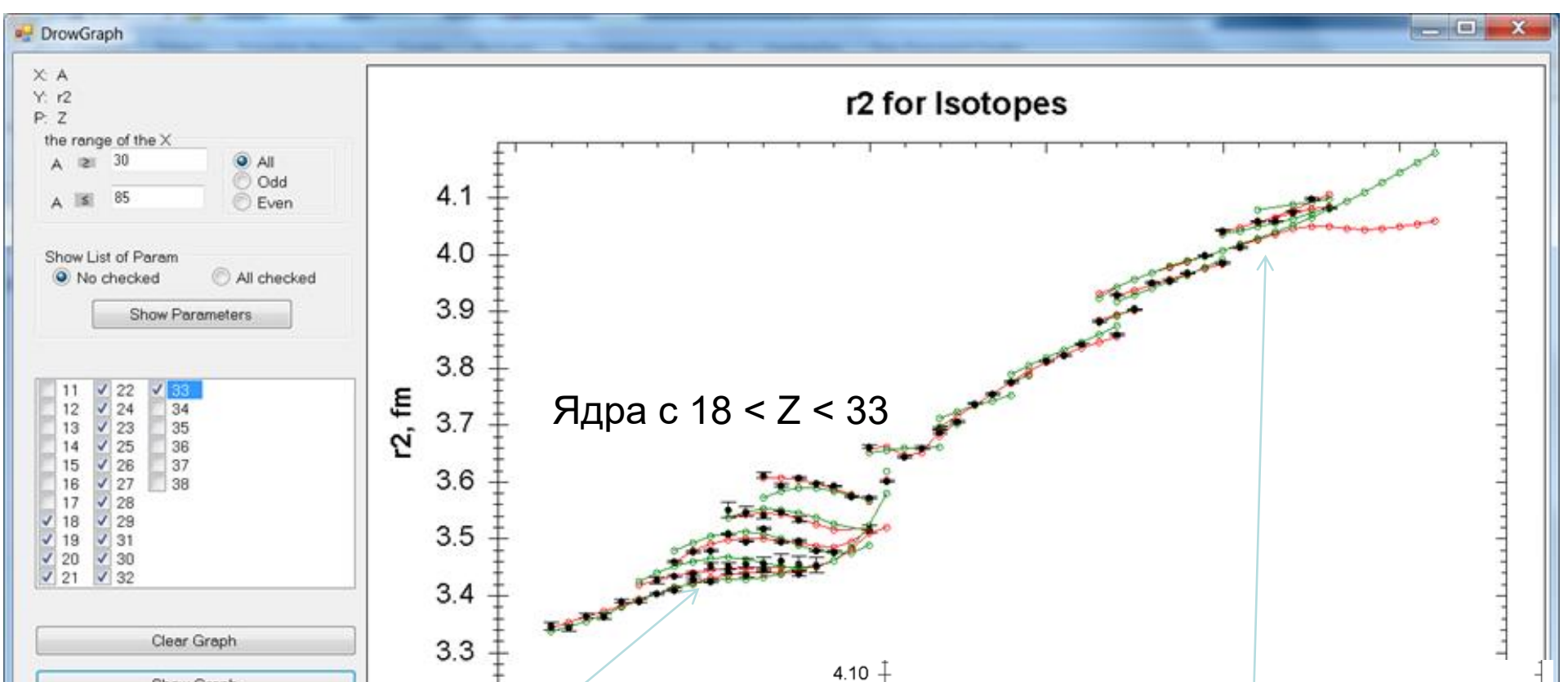


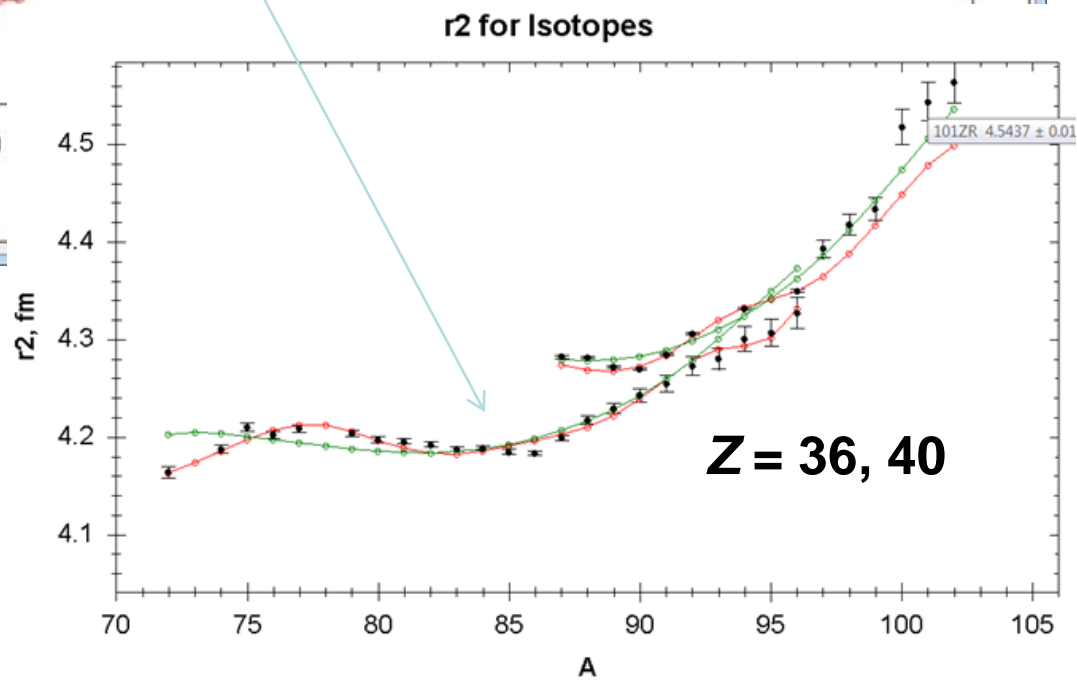
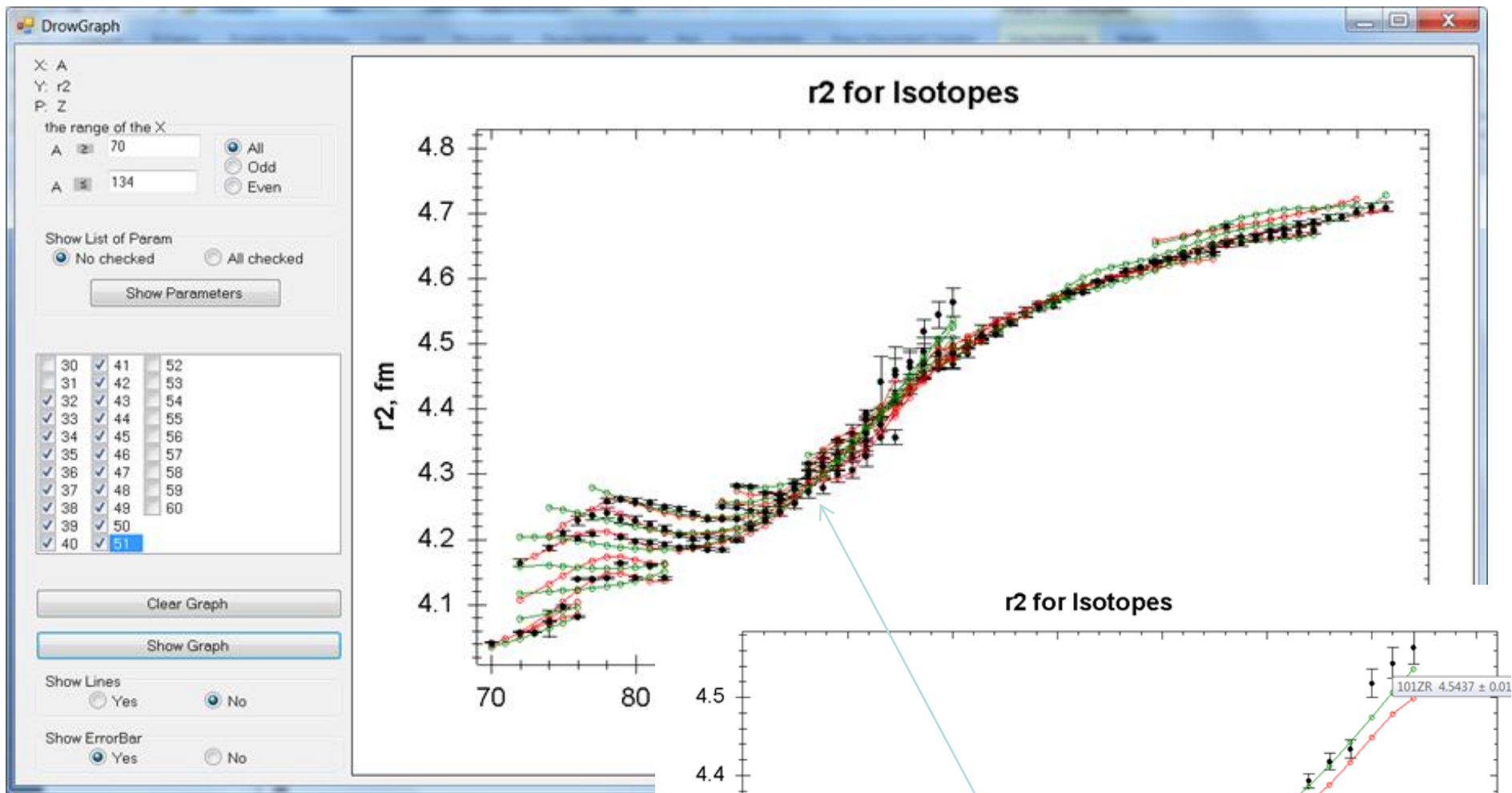
Систематика ядерных радиусов



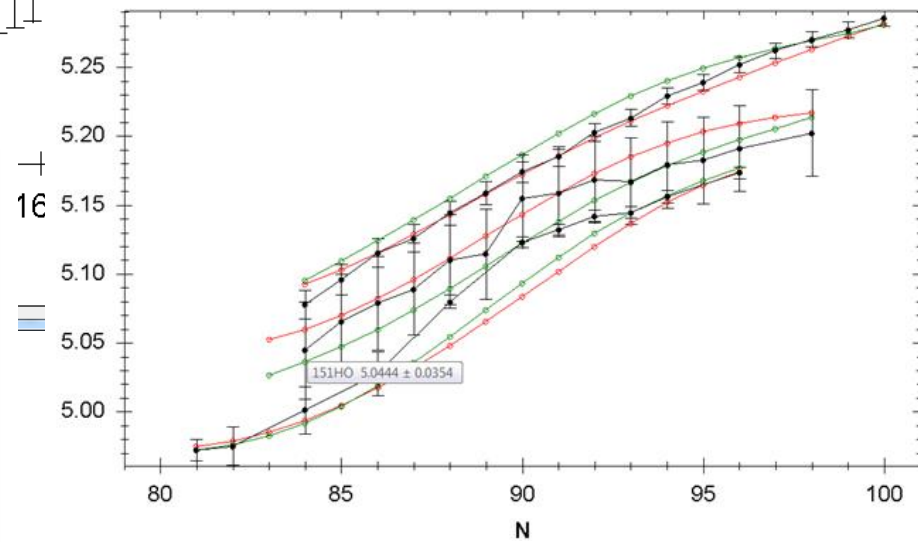
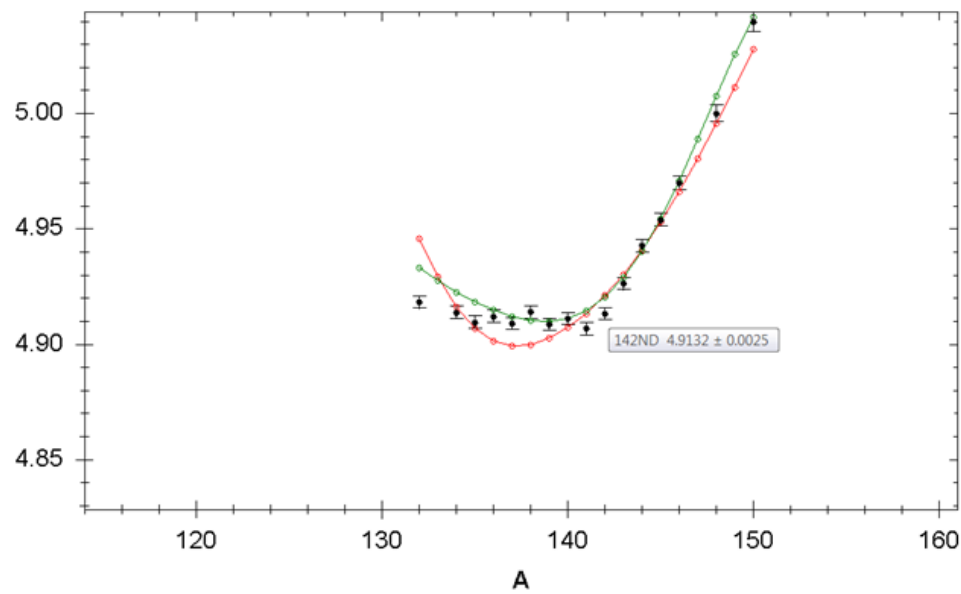
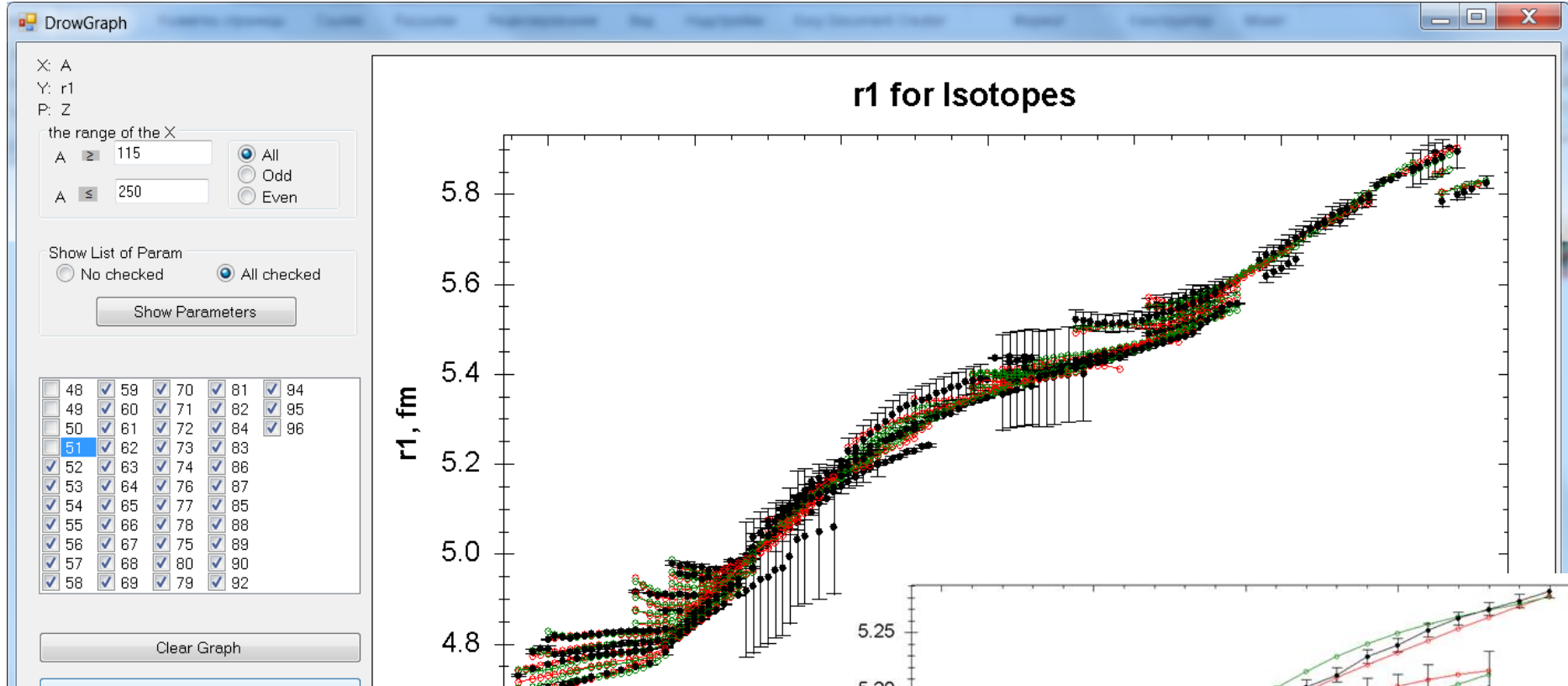
Результаты. Лёгкие ядра с $1 < Z < 17$







Ядра с $32 < Z < 51$



Ядра с $52 < Z < 96$

Резюме

Систематика:

- Оценка имеющегося числового материала, анализ трендов и аномалий
- Отбор достоверных данных
- Удаление «ошибочных» значений
- Предсказание «пропущенных» значений
- Привлечение дополнительной информации для описания деталей

Спасибо за внимание

Mitropolsky_IA@pnpi.nrcki.ru