



Б.С.Ишханов
и исследования с использованием новых информационных технологий



Б.С.Ишханов
и исследования с использованием
новых информационных технологий

В.В.Варламов

12/16/2020

«Б.С.Ишханов и...»
Семинар НИИЯФ, 15.12.2020

Титул



Б.С.Ишханов и исследования с использованием новых информационных технологий



~ 1968 ?

Борис Саркисович –
доцент кафедры
«Ускорители»

12/16/2020

Б.С.Ишханов – «главный фотоядерщик страны»:

- ❑ новые детекторы фотонейтронов и фотопротонов;
- ❑ новые методы экспериментальных исследований;
- ❑ новые методы обработки экспериментальных данных;
- ❑ большое количество данных, полученных впервые;
- ❑ новые особенности гигантского резонанса:
 - промежуточная и тонкая структура гигантского резонанса;
 - новые параметры изоспинового расщепления гигантского резонанса;
 - параметры конфигурационное расщепление гигантского резонанса (открытие);
- ❑ электронные ускорители нового поколения;
- ❑ руководство вновь созданным Центром данных фотоядерных экспериментов НИИЯФ МГУ.

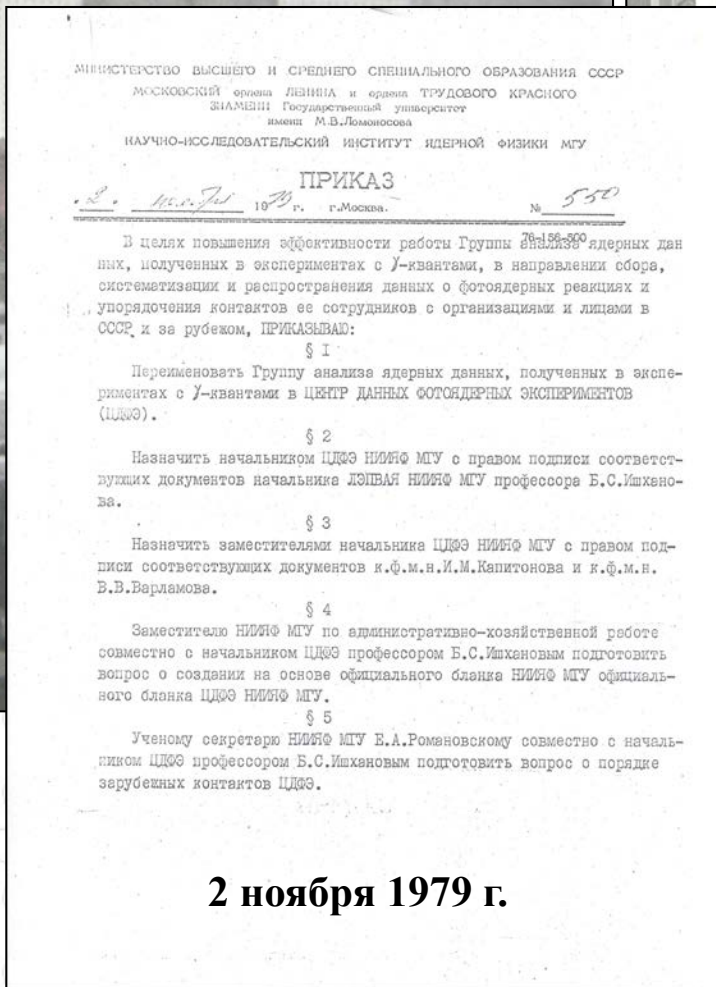
«Б.С.Ишханов и...»

Семинар НИИЯФ, 15.12.2020

Б.С.Ишханов

Б.С.Ишханов

и исследования с использованием новых информационных технологий



2 ноября 1979 г.



ЭВМ ЕС-1022



**Центр данных фотоядерных экспериментов
(ЦДФЭ – CDPE) НИИЯФ МГУ**

**Валерий
Викторович
Сургутанов**
из Центра
ядерных данных
(Обнинск)

12/16/2020

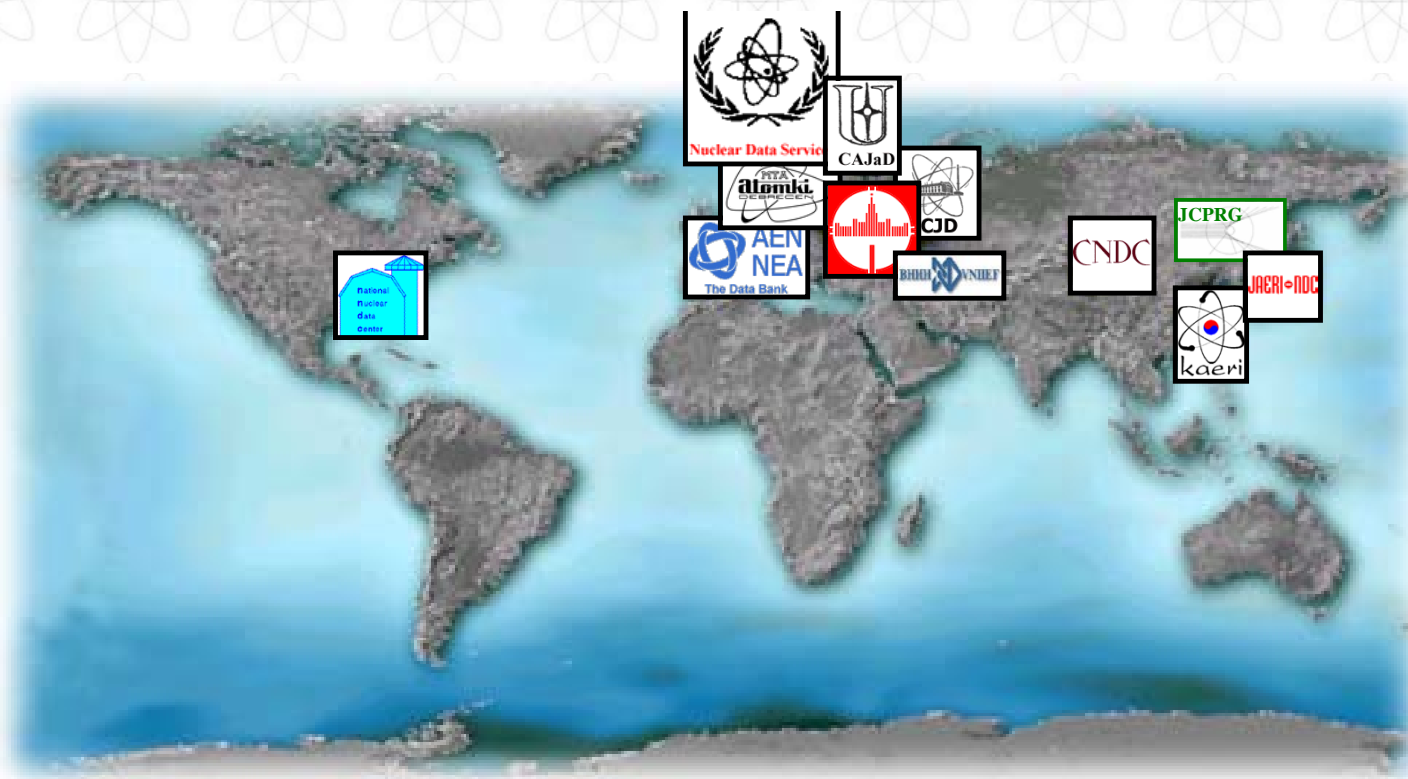
«Б.С.Ишханов и...»
Семинар НИИЯФ, 15.12.2020

ЦДФЭ (CDPE)



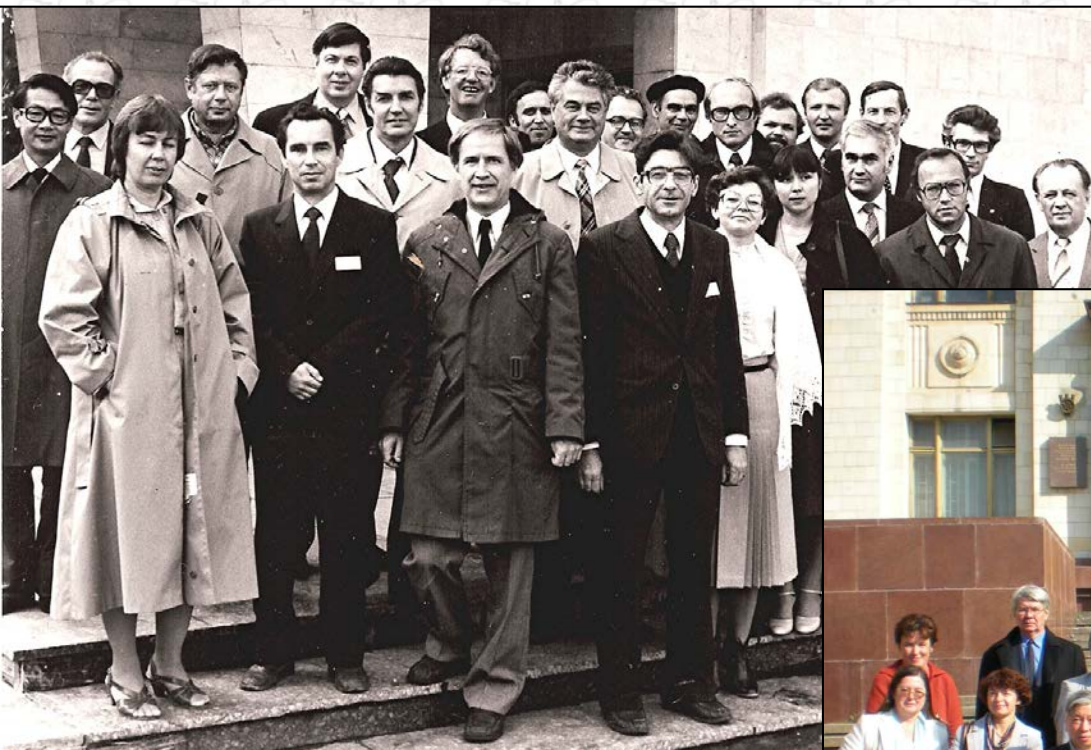
Б.С.Ишханов и исследования с использованием новых информационных технологий

**Сеть МАГАТЭ Центров данных по ядерным реакциям
(Nuclear Reaction Data Centers (NRDC) Network):
14 организаций из Австрии, Венгрии, Индии, Китая, Кореи, России, США,
Украины, Франции, Японии**



Б.С.Ишханов

и исследования с использованием новых информационных технологий



**1983, Обнинск, ФЭИ,
ЦЯД, ответственный за данные
по нейтронным реакциям**



2008, НИИЯФ

12/16/2020

«Б.С.Ишханов и...»
Семинар НИИЯФ, 15.12.2020

NRDC - meetings

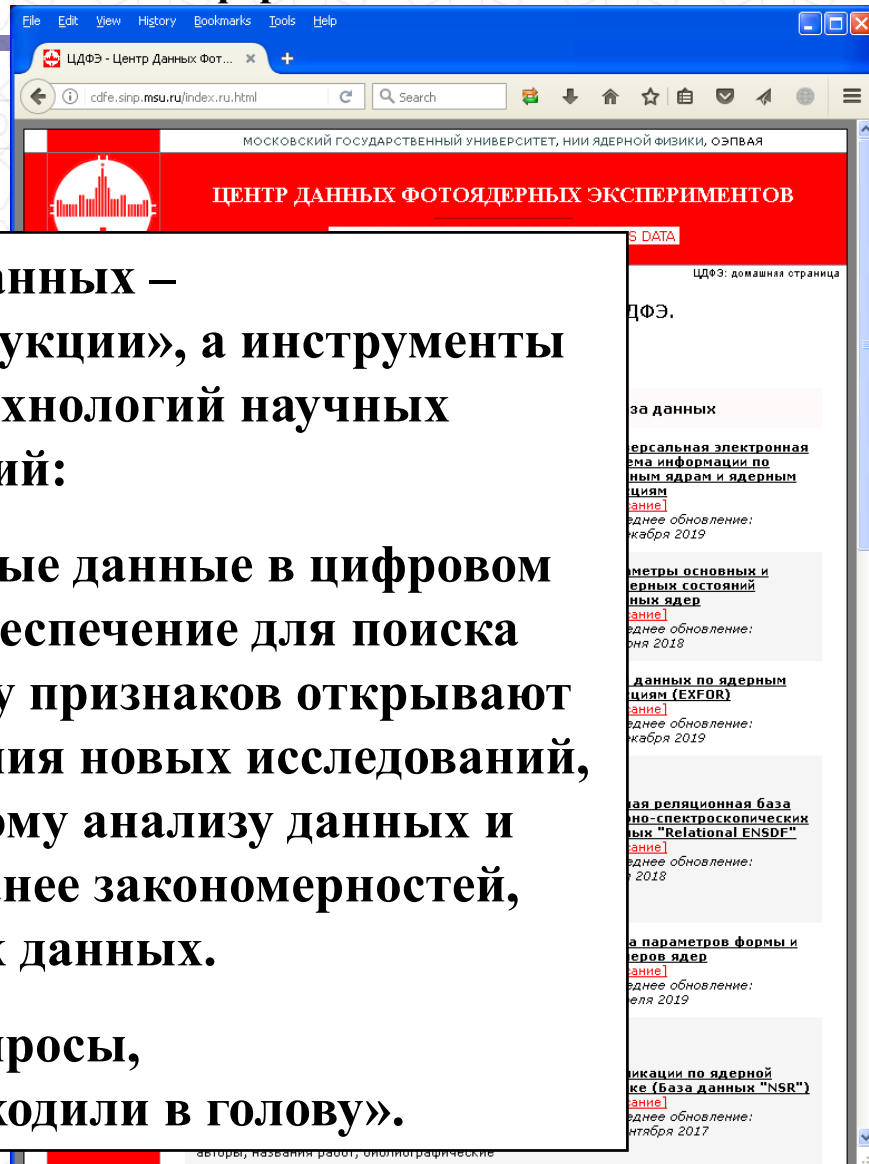


Основные задачи Центра:

- **поиск и компиляция фотоядерных данных, публикуемых в разных странах;**
- **форматирование данных в согласованных форматах международной системы EXFOR;**
- **подготовка информационных указателей, атласов, обзоров;**
- **экспертиза точности, надежности и достоверности данных;**
- **анализ и оценка данных, согласование результатов разных экспериментов;**
- **создание систем эффективного доступа к данным (электронные банки и базы данных, информационно-поисковые системы, Интернет-интерфейсы).**

Б.С.Ишханов

и исследования с использованием новых информационных технологий



«Фотоядерных» в названии ЦДФЭ – дань истории, ЦДФЭ давно – Центр ядерных данных

Базы и банки данных – не просто «склады готовой продукции», а инструменты новых информационных технологий научных исследований:

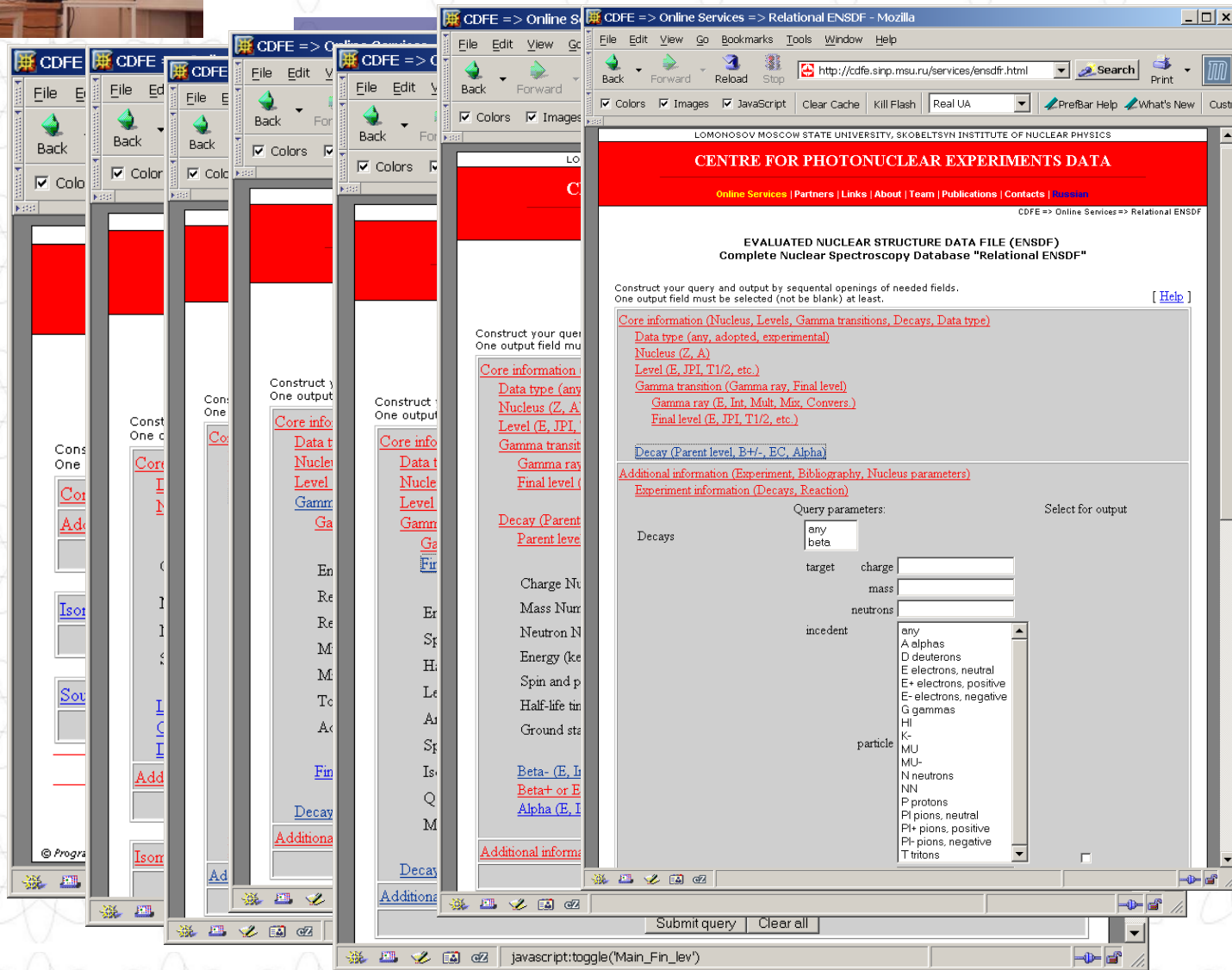
практически все опубликованные данные в цифровом виде и гибкое программное обеспечение для поиска данных по большому количеству признаков открывают новые возможности для проведения новых исследований, прежде всего по сравнительному анализу данных и установлению неизвестных ранее закономерностей, получению новых данных.

Ответы на вопросы, которые раньше «не приходили в голову».

Содержание –
“Relational ENSDF”
(NNDC USA).

Не имеющая
аналогов по
возможностям
поисковая система
ЦДФЭ:
информационная
«матрешка»:
возможно раскрытие
любой части
поисковой системы
сверху-вниз и обратно

- ядро
- уровень
- гамма-переход
- конечное ядро
- распад
- эксперимент
- реакция
- ...





Б.С.Ишханов

и исследования с использованием новых информационных технологий

CDFE search engine. - Microsoft Internet Explorer

Адрес: http://cdfe.sinp.msu.ru/cgi-bin/nessy/v.9/nessy.cgi

Query parameters:
 Energy (keV): 4000-6000
 Spin and parity: "100-500", "1550,7000-10000"
 Half-life: Stable
 Angular momentum transfer:
 Spectroscopic strength:
 Metastable state label: any
 Isospin: 3/2
 Q Moment:
 Additional remark: any

ENSDF Source	Nucleus	Level energy	Spin-parity	Half-life	Isospin	Photon energy	Spin-parity (fin.)	Half-life (fin.)
51.78	25-MN-51	5129	1/2-,3/2-		3/2	2145	5/2+	
51.78	25-MN-51	5129	1/2-,3/2-		3/2	2819	5/2(-)	0.9 PS (6)
51.78	25-MN-51	5129	1/2-,3/2-		3/2	2873	(5/2-)	79 FS (+33-26)
								1 FS (3)
								0 PS (17)

С использованием поисковых возможностей этой БД был выполнен ряд исследований относительно некоторых уровней, значений их энергий и спинов-четностей, характеристик соответствующих γ -переходов.

59.70	29-CU-59	5522.3 (4)	5/2		3/2	2805	7/2(-)	
59.70	29-CU-59	5550.0 (6)	5/2		3/2	2116	5/2	
59.70	29-CU-59	5550.0 (6)	5/2		3/2	2435	5/2-	14 FS (8)
59.70	29-CU-59	5550.0 (6)	5/2		3/2	2622	5/2(-)	
59.70	29-CU-59	5645.0 (8)	(3/2)-		3/2	2649	(7/2-)	

Уникальный запрос:

«Найти ядра с уровнями с $J^\pi = 3/2^-$ или $5/2^-$ и изоспином $T = 3/2$, возбуждаемые в диапазоне энергий $E = 4 - 6$ МэВ, распадающиеся с испусканием γ -квантов с энергиями $E_\gamma = 2000 - 3000$ кэВ на уровни конечных ядер с $J^\pi = 5/2^-$ или $7/2^-$ (должна быть выдана также информация об энергиях, значениях J^π и временах жизни конечных состояний)»: ⁵¹Mn, ⁵⁵Co и ⁵⁹Cu.

12/16/2020

«Б.С.Ишханов и...»
Семинар НИИЯФ, 15.12.2020

ENSDF - поиск



Б.С.Ишханов

и исследования с использованием новых информационных технологий

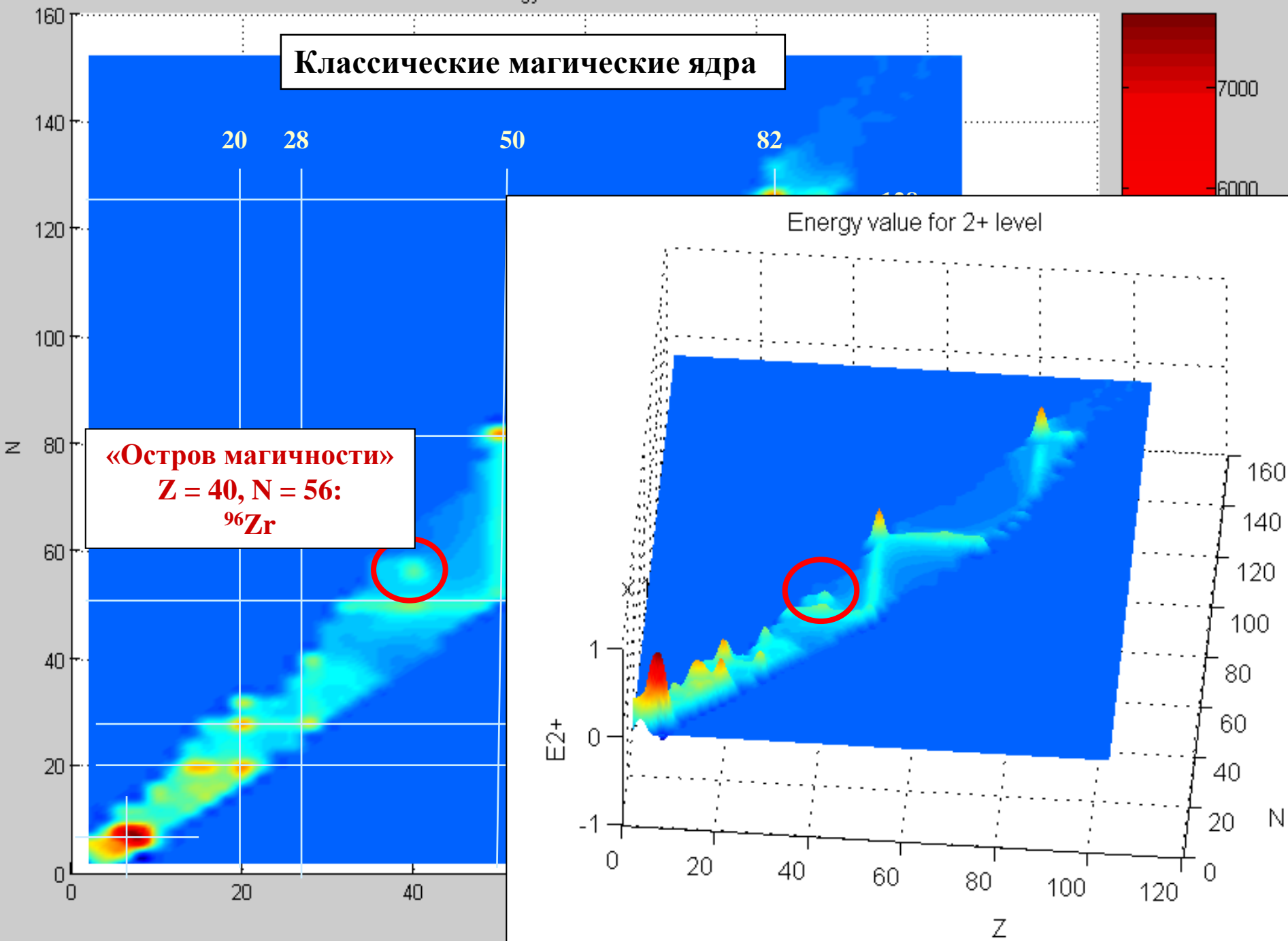
**Классические магические ядра:
2, 8, 20, 28, 50, 82, 126**

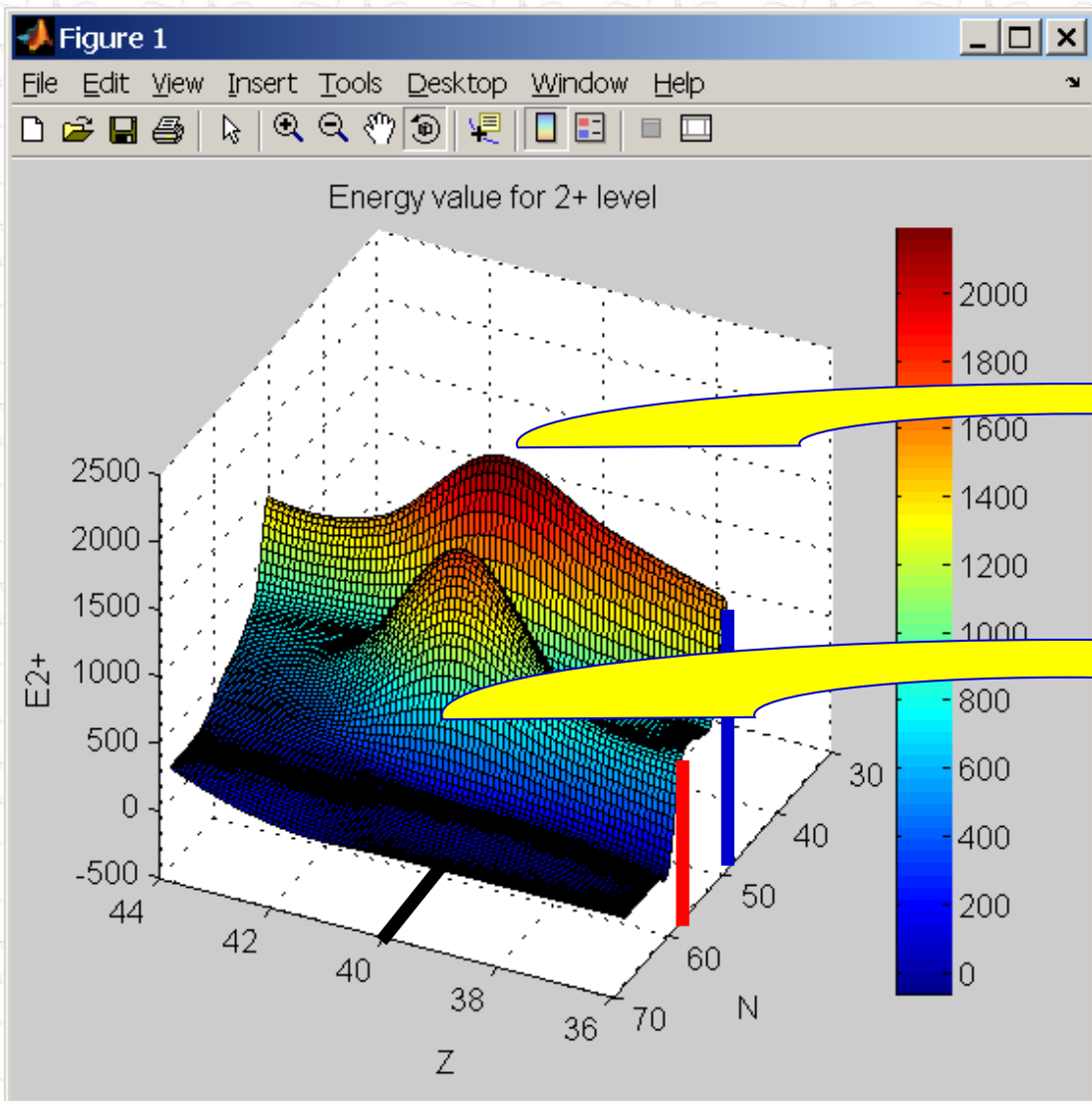
**Некоторые характерные признаки магических ядер
(по сравнению с соседними):**

- у них энергия первого $J^\pi = 2^+$ уровня $E(2_1^+)$ заметно больше;
- они имеют более сферическую форму (менее деформированы) - заметно меньший параметр квадрупольной деформации β_2 ;
- у них отношение энергий первых $J^\pi = 4^+$ и $J^\pi = 2^+$ $E(4_1^+)/E(2_1^+)$ заметно меньше;
- для них имеются заметные особенности в энергиях отделения нуклонов, например, в зависимостях $B(n)$, $B(2n)$ от N , Z и/или A ;
- и некоторые др. (различия энергетических щелей и т.д.)

Energy value for 2+ level

Классические магические ядра





«Линия магичности»
 $Z = 40, N = 50:$
 ^{90}Zr

«Остров магичности»
 $Z = 40, N = 56:$
 ^{96}Zr



Б.С.Ишханов

и исследования с использованием новых информационных технологий

Корреляция поведения «параметров магичности» Zr - Ca



Большая (1750.5 кэВ) энергия 2+ -состояния в ядре ^{96}Zr известна давно (А.Bohr, В.Р.Mottelson “Nuclear structure”, 1969), но никаких вопросов не вызывала, поскольку не было данных об энергиях 2+ -уровней в соседних ядрах.

Два максимума в $E_1(2^+)$ и минимума (в β_2 и в отношении $E_1(4^+)/E_1(2^+)$) для магического ядра $^{90}\text{Zr}(40,50)$ и ядра $^{96}\text{Zr}(40,56)$ – тоже магического?

Квадрупольная деформация ($\beta_2 = 0.08$) ядра ^{96}Zr меньше, чем не только у соседних изотопов циркония, но и у дважды магических ядер ^{40}Ca ($\beta_2 = 0.123$) и ^{48}Ca ($\beta_2 = 0.106$).

^{96}Zr – магическое ядро (N = 56).

Ядро	Z	N	Прот. пара	“j = j” связь	Нейтр. пара	Коммент.
¹⁴ C	6	8		$\pi 1p_{3/2} - \nu 1p_{3/2}$	$\nu 1p_{1/2}$	
¹⁴ O	8	6	$\pi 1p_{1/2}$	$\pi 1p_{3/2} - \nu 1p_{3/2}$		
¹⁶ O	8	8		$\pi 1p_{1/2} - \nu 1p_{1/2}$		дважды класс.
²⁴ O	8	16		$\pi 1p_{1/2} - \nu 2s_{1/2}$		
²⁸ O	8	20	$\pi 1p_{1/2}$	$\pi 1p_{3/2} - \nu 1d_{3/2}$		дважды класс.
⁴⁰ O	8	32	$\pi 1p_{1/2}$	$\pi 1p_{3/2} - \nu 2p_{3/2}$		теор. связ.
⁴⁸ O	8	40		$\pi 1p_{1/2} - \nu 2p_{1/2}$		нет данн.
³⁰ Si	14	16		$\pi 1d_{5/2} - \nu 1d_{5/2}$	$\nu 2s_{1/2}$	
³⁰ S	16	14	$\pi 2s_{1/2}$	$\pi 1d_{5/2} - \nu 1d_{5/2}$		нет данн.
⁵⁴ Ca	20	34	$\pi 2p_{1/2}$	$\pi 2p_{3/2} - \nu 1d_{3/2}$		
⁹⁶ Sr	38	58		$\pi 1f_{5/2} - \nu 2d_{5/2}$	$\nu 2p_{1/2}$	
⁹⁶ Zr	40	56	$\pi 2p_{1/2}$	$\pi 1f_{5/2} - \nu 2d_{5/2}$		

Установлено, что ядро ⁹⁶Zr имеет характерную структуру верхних подоболочек - заполненные протонная и нейтронная подоболочки с одинаковым j.

Установлено, что такую же структуру имеют некоторые другие «новые» (неклассические) магические ядра - имеющие признаки классических магических ядер, но не предусмотренных традиционной оболочечной моделью.

Предложен механизм парного взаимодействия протонов и нейтронов с одинаковым полным моментом j с учетом эффектов протон-нейтронного спаривания.

Игорь Николаевич Бобошин – докторская диссертация «Магические числа и эволюция оболочечной структуры атомных ядер».

Б.С.Ишханов

и исследования с использованием новых информационных технологий



**Международная электронная база
данных
по ядерным реакциям под действием
фотонов, нейтронов, заряженных
частиц и тяжелых ионов
системы EXFOR.**

**Фотоядерные данные:
числовые данные из многих (~ 5000)
публикаций.**

12/16/2020

«Б.С.Ишханов и...»
Семинар НИИЯФ, 15.12.2020

EXFOR



Б.С.Ишханов

и исследования с использованием новых информационных технологий

**Данные международной электронной БД системы EXFOR
(выходы, сечения (полных и парциальных) реакций, спектры, угловые,
зарядовые, массовые распределения продуктов, поляризации,
анализирующие способности, ...) -
о ядерных реакциях под действием:**

электронов

$[(e, e'), (e, 1n), (e, 2n), (e, 3n), \dots, (e, 1p), \dots, (e, f), \dots];$

фотонов

**$[(\gamma, \gamma'), (\gamma, 1n), (\gamma, 1n1p), (\gamma, 2n), (\gamma, 3n), \dots, (\gamma, 1p), (\gamma, 1p1n),$
 $\dots (\gamma, 2npd\alpha), \dots (\gamma, f), \dots];$**

нейтронов

$[(n, n'), (n, \gamma), (n, p), (n, d), (n, t), (n, \alpha), \dots];$

заряженных частиц

**$[(p, p'), (p, n), (p, d), (p, t), (p, \alpha), \dots$
 $\dots, (d, d'), (d, n), (d, p), (d, t), (d, \alpha), \dots$**

$\dots, (t, t'), (t, n), (t, p), (t, d), (t, \alpha), \dots, (\alpha, 117n80p), \dots];$

тяжелых ионов

$[(^6\text{Li}, n), (^{10}\text{B}, p), \dots, (^{14}\text{N}, ^{11}\text{C}), \dots, (^{40}\text{Ar}, 5np\alpha), \dots]$

Поисковая система ЦДФЭ «EXFOR»

The screenshot displays the EXFOR search interface with the following sections:

- Outgoing Particle / Process:** A dropdown menu with options: KP Kaons, positive; N Neutrons; P Protons; P10 Pions, neutral; PIN Pions, negative. Below it is a field for "or Sum (e.g., n + p)".
- Product Nucleus:** A field for "Z (digits) or Chemical symbol (letters) and Mass number (digits)" with a sub-field "Z or Symbol".
- Method:** A dropdown menu with options: any; ABSFY Absolute fission yield measurement; ACTIV Activation; AMS Accelerator mass spectrometry; ASEP Separation by mass-separator.
- Facility:** A dropdown menu with options: any; BETAT Betatron; CCW Cockcroft-Walton accelerator; CHOPF Fast chopper; CHOPS Slow chopper.
- Detector:** A dropdown menu with options: any; BE3 Boron Trifluoride neutron detector.
- Energy / Angle range:** Fields for "Low limit (X-min)" and "High limit (X-max)" with dropdown menus for "any", "ADEG", and "AMIN".
- Status:** A dropdown menu with options: any; APRVD Approved by author; COREL Data correlated with another data set; CPX Data taken from data file of McGowan, et al.; CURVE Data read from a curve.
- Methodic:** A section for methodological details.
- Number ENTRY / S:** A field for the number of entries.
- Target Nu Z (digits) (letters) and (digits):** A field for target nucleus information.
- Incident Particle:** A dropdown menu with options: KN Kaons, negative; or Ions. Below it is a field for "Sequence : Be-8, Pb-208, ...".
- Search and Filter Options:** "SEARCH" and "CLEAR ALL" buttons, and a "Number of subentries founded / page" field set to 50.
- Footer:** Navigation links: [Online Services | Partners | About | Team | Publications | Contacts | Links | Visit analyzer | Russian]

Могут быть найдены данные для любых реакций (любые налетающая и вылетающие частицы, любые конечные ядра), энергий налетающих частиц, энергий и/или углов вылета продуктов, любых типов пучка (γ -квантов или др.) и детектора, лаборатории, авторов и т.д. и т.п. Информация может быть представлена в виде графиков и таблиц числовых данных.



Пример: поиск данных по сечению реакции $^{26}\text{Mg}(\gamma, xn)$.

CDFE => Online Services => ... x EXFOR M0002013 Data/Graph x +

cdfe.sinp.r 90% Search

SUBENT M0002013 20130524
AUTHOR (B. S. Ishkhanov, I. M. Kapitonov, V. N. Orlin, I. M. Piskarev, V. I. Shvedunov, V. V. Varlamov)
TITLE Decay channels of the giant dipole resonance in Mg-26.
REFERENCE (J,NP/A,313,317,1979)
 #doi:10.1016/0375-9474(79)90503-7
INSTITUTE (4RUSMOS)
INC-SOURCE (BRST)
FACILITY (BETAT,4RUSMOS)
REACTION (12-MG-26(G,P)11-NA-25,,SIG,,BRS)

CDFE => Online Services => ... x http://cdfe...13&SOURCE=ON x +

cdfe.sinp.msu.ru/cgi-bin/exf2ht 90% Search

SUBENT M0002013 20130524
BIB 3 7
REACTION (12-MG-26(G,P)11-NA-25,,SIG,,BRS)
HISTORY (20130524A) Corrected by V.Varlamov: BRA -> BRS.
STATUS (DEP,M0002010) M0002 13 4
 (DEP,M0002011) M0002 13 5
 (DEP,M0002012) M0002 13 6
 This cross section is the sum of the partial cross M0002 13 7
 sections for various E-LVL. M0002 13 8
ENDBIB 7 0 M0002 13 9
NOCOMMON 0 0 M0002 13 10
DATA 3 105 M0002 13 11

EN	DATA	DATA-ERR
MEV	MB	MB
16.40	0.32	0.74
16.50	2.18	2.26
16.60	3.12	2.09
16.70	1.57	1.87

CDFE => Online Services => ... x http://cdfe.sinp.msu.ru

Data, MB

Energy, MEV

CDFE => Online Services => ... x http://cdfe...13&SOURCE=ON x +

M0002 13 12
M0002 13 13
M0002 13 14
M0002 13 15
M0002 13 16
M0002 13 17
M0002 13 18
M0002 13 19
M0002 13 20
M0002 13 21
M0002 13 22
M0002 13 23
M0002 13 24
M0002 13 25
M0002 13 26
M0002 13 27
M0002 13 28
M0002 13 29
M0002 13 30
M0002 13 31
M0002 13 32
M0002 13 33
M0002 13 34
M0002 13 35
M0002 13 36
M0002 13 37
M0002 13 38
M0002 13 39
M0002 13 40
M0002 13 41
M0002 13 42

Числовые данные – либо:

- авторские табличные данные;
- результаты точной оцифровки опубликованных графиков .



Б.С.Ишханов

и исследования с использованием новых информационных технологий

**Новые информационные технологии
в области фотоядерных реакций:**

**анализ достоверности результатов разных
фотоядерных экспериментов,
исследование причин расхождений результатов разных экспериментов,
получение (оценка) новых
фотоядерных данных, удовлетворяющих объективным
физическим критериям достоверности.**



Б.С.Ишханов

и исследования с использованием новых информационных технологий

Большинство данных о сечениях парциальных фотонейтронных реакций получено в 1962 – 1986 годах в Ливерморе (США) и Сакле (Франция) на пучках квазимоноэнергетических аннигиляционных фотонов с помощью метода разделения нейтронов по множественности и опубликовано в полном атласе –
S.S.Dietrich, B.L.Berman. Atomic Data and Nuclear Data Tables, 38 (1988) 199

Кроме таких данных имеется некоторое количество данных, полученных на пучках тормозного излучения, в том числе и в НИИЯФ.

Другие - 10

Ливермор ~ 240 наборов данных

Обе лаб. ~ 80 наборов данных для 19 ядер

Сакле ~250 наборов данных

Данные, полученные с тормозным излучением

Основная проблема – головная боль пользователей

Для каждого ядра – сечения реакций:

$(\gamma, 3n)$

$(\gamma, 2n)$

$(\gamma, 1n)$

$(\gamma, Sn) = (\gamma, 1n) + (\gamma, 2n) + (\gamma, 3n) + \dots$

$(\gamma, xn) = (\gamma, 1n) + 2(\gamma, 2n) + 3(\gamma, 3n) + \dots$



Б.С.Ишханов

и исследования с использованием новых информационных технологий

Главная проблема: для 19 ядер, исследованных в обеих лабораториях: сечения реакций $(\gamma, 1n)$ имеют большие величины в Сакле, $(\gamma, 2n)$ – в Ливерморе.

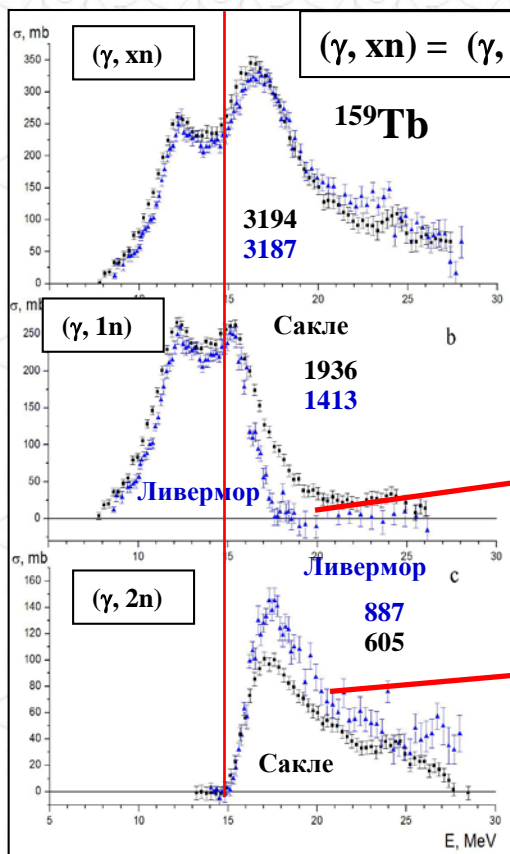
Отношения интегральных сечений $R^{int} = \sigma^{int}_C / \sigma^{int}_L$

Такое соотношение сечений реакций означает присутствие в результатах значительных систематических погрешностей, обусловленных особенностями экспериментальных методов разделения нейтронов по множественности.

Это ставит вопросы о том, являются ли такие данные достоверными и, если нет, то почему.

Необходимы объективные критерии достоверности данных, не зависящие от способа их получения.

B2n

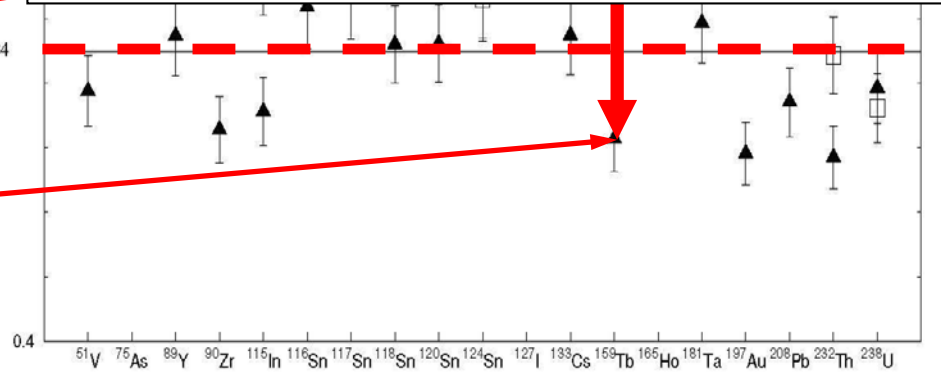


R^{int}

1.07

0.84

0.4



Среднее отношение для реакции $(\gamma, 2n)$ – $\langle R \rangle = 0.84$.



Б.С.Ишханов

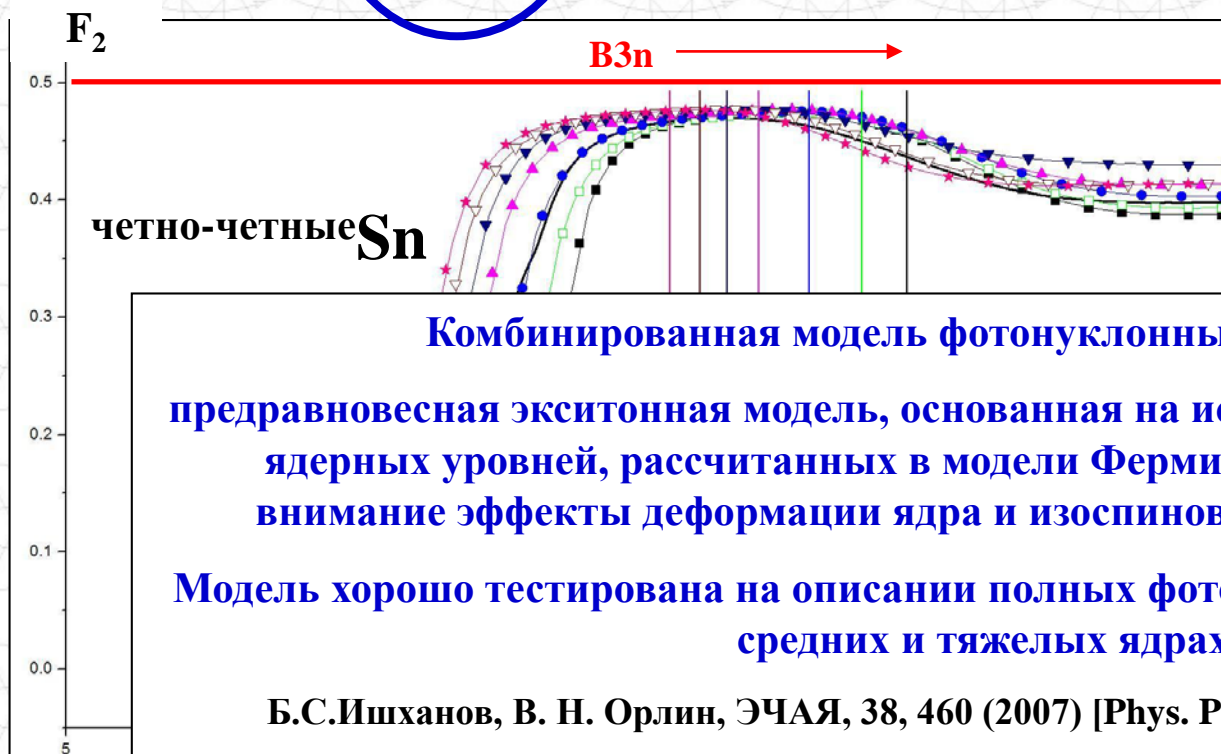
и исследования с использованием новых информационных технологий

Главный критерий достоверности данных

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

Физически достоверное поведение функции F_2 должно быть следующим:

- до порога V_{2n} реакции $(\gamma, 2n)$ возможна только реакция $(\gamma, 1n)$: $F_2 = 0$;
- выше V_{2n} возможны реакции $(\gamma, 1n)$ и $(\gamma, 2n)$, F_2 увеличивается в соответствии с конкуренцией роста $\sigma(\gamma, 2n)$ и уменьшения $\sigma(\gamma, 1n)$ и приближается к физическому пределу 0.50, негде его не достигая;
- выше V_{3n} возможна реакция $(\gamma, 3n)$,



Комбинированная модель фотонуклонных реакций –

предравновесная экситонная модель, основанная на использовании плотностей ядерных уровней, рассчитанных в модели Ферми-газа, и принимающая во внимание эффекты деформации ядра и изоспинового расщепления его ГДР.

Модель хорошо тестирована на описании полных фотонейтронных реакций на средних и тяжелых ядрах.

Б.С.Ишханов, В. Н. Орлин, ЭЧАЯ, 38, 460 (2007) [Phys. Part. Nucl. 39, 232 (2007)]

Б.С.Ишханов, В. Н. Орлин, ЯФ, 71, 517 (2008) [Phys. Atom. Nucl. 71, 493 (2008)]



^{116}Sn :

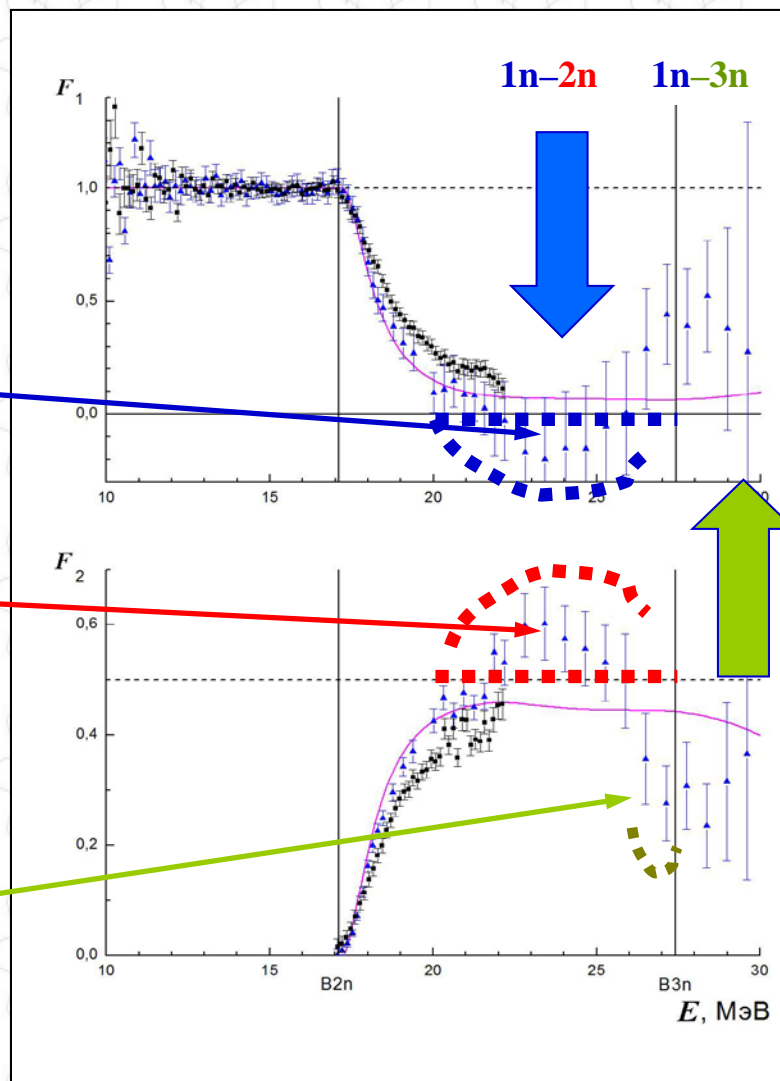
очевидные признаки недостоверности данных

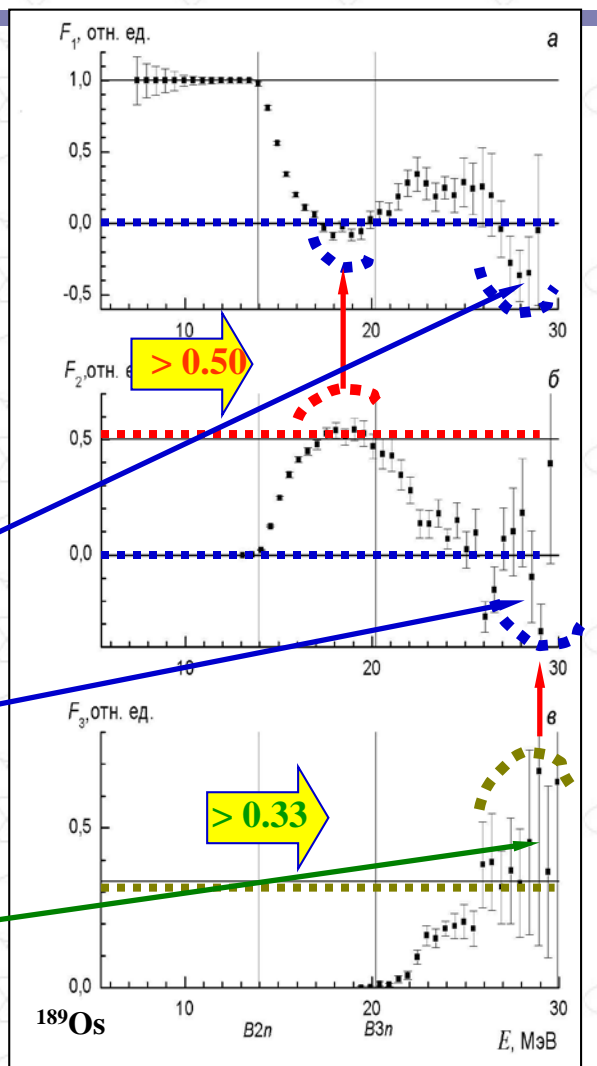
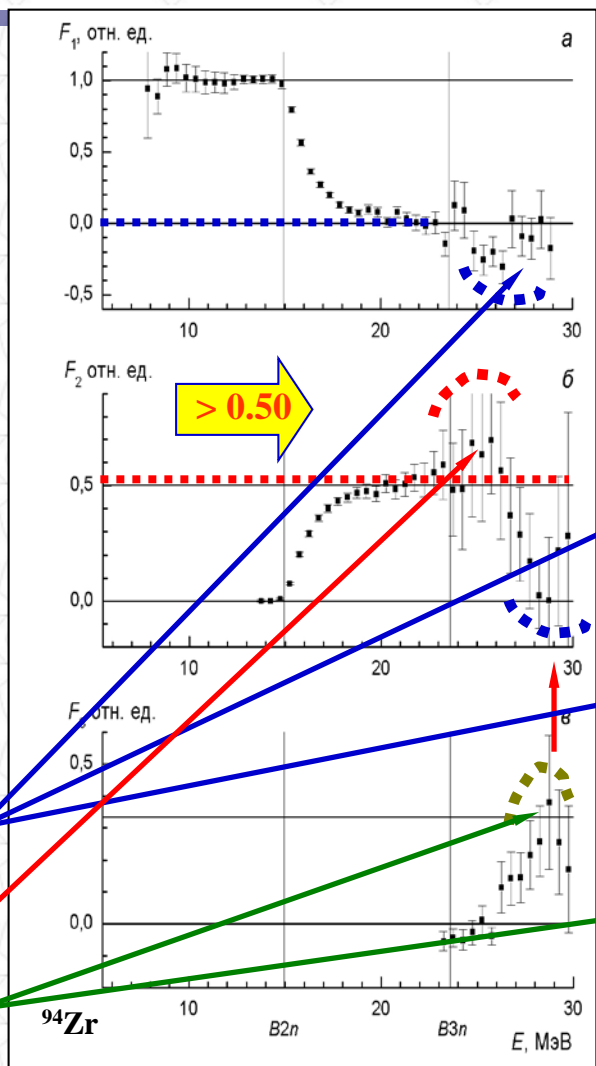
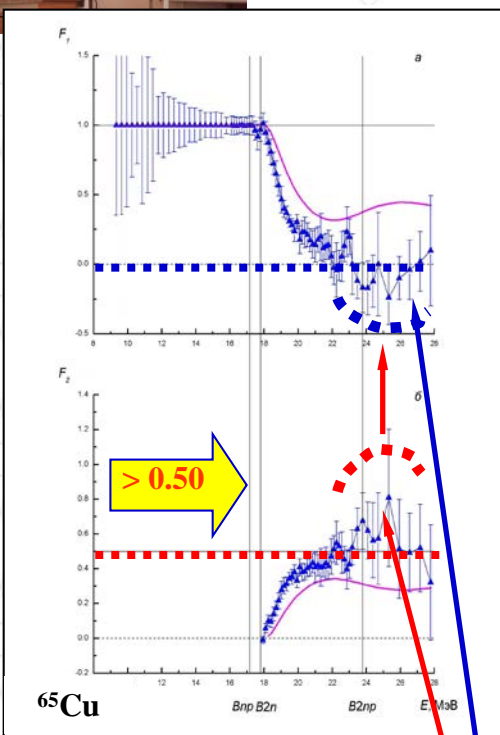
Физически запрещенные
отрицательные значения F_1

Значения, превышающие достоверные

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

Уменьшение F_2 при энергиях на
2.5 МэВ меньших B_{3n}





Физически запрещенные отрицательные значения

Физически недостоверные значения $F_i > 0.50$ (0.33)



**Новый экспериментально-теоретический метод
оценки сечений парциальных фотонейтронных реакций:**

$$\sigma^{\text{оцен}}(\gamma, 1n) = F_1^{\text{теор}} \bullet \sigma^{\text{эксп}}(\gamma, xn),$$

$$\sigma^{\text{оцен}}(\gamma, 2n) = F_2^{\text{теор}} \bullet \sigma^{\text{эксп}}(\gamma, xn),$$

$$\sigma^{\text{оцен}}(\gamma, 3n) = F_3^{\text{теор}} \bullet \sigma^{\text{эксп}}(\gamma, xn), \dots$$

- только экспериментальное сечение реакции полного выхода нейтронов $\sigma^{\text{эксп}}(\gamma, xn)$, априори свободное от ограничений методов разделения нейтронов по множественности, используется как исходное;
- для определения вкладов в сечение полной реакции $\sigma^{\text{эксп}}(\gamma, xn)$ сечений парциальных реакций $\sigma^{\text{оцен}}(\gamma, 2n)$ и $\sigma^{\text{оцен}}(\gamma, 3n)$ - описания конкуренции каналов распада ГДР – используются переходные функции множественности - отношения $F_{1,2,3}, \dots$, рассчитанные в рамках комбинированной модели фотонуклонных реакций.

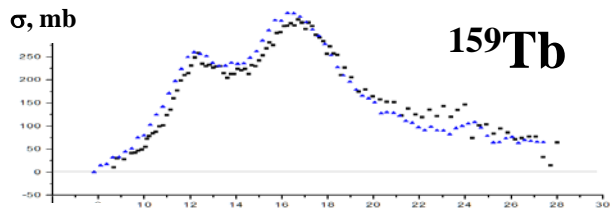
Экспериментально-теоретический подход к оценке сечений парциальных реакций означает, что соотношение между ними соответствует представлениям модели, а соответствующая сумма сечений парциальных реакций $\sigma^{\text{оцен}}(\gamma, xn)$ равна сечению выхода нейтронов $\sigma^{\text{эксп}}(\gamma, xn)$, не зависящему от разделения нейтронов по множественности.



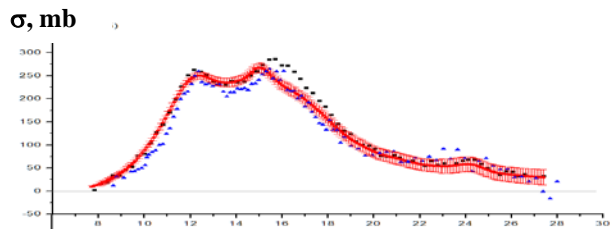
Б.С.Ишханов

и исследования с использованием новых информационных технологий

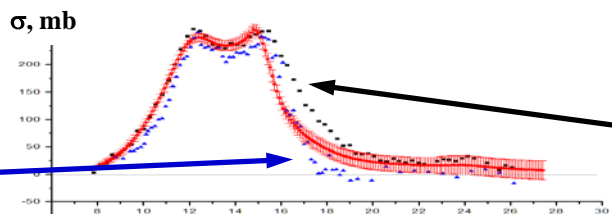
$\sigma(\gamma, xn)$



$\sigma(\gamma, Sn)$

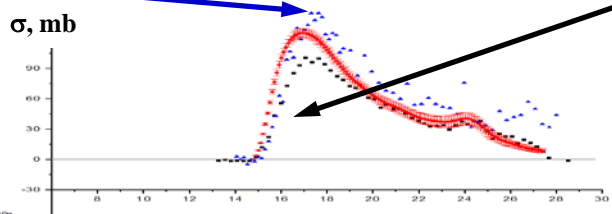


$\sigma(\gamma, 1n)$

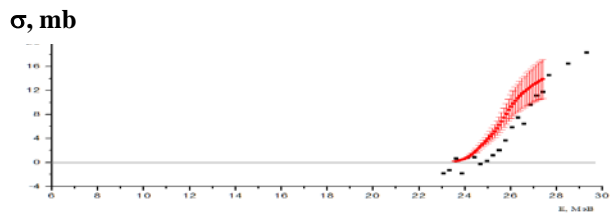


**Данные
Ливермора**

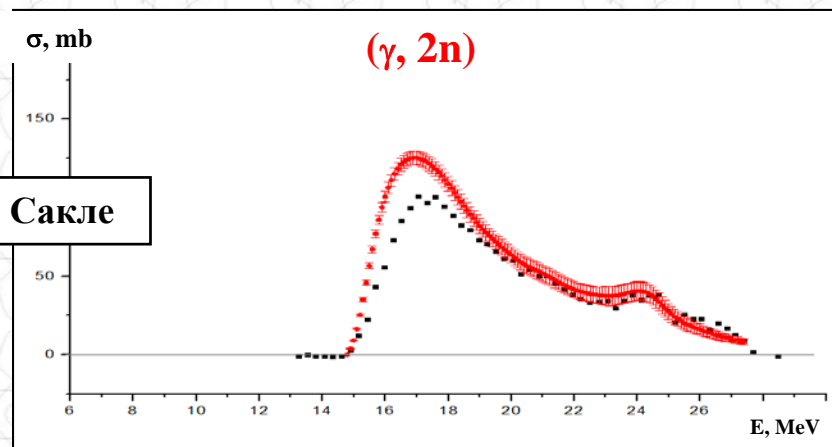
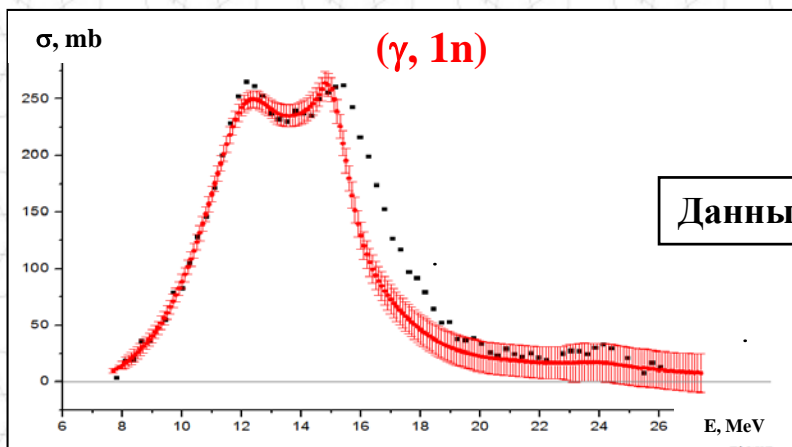
$\sigma(\gamma, 2n)$



$\sigma(\gamma, 3n)$



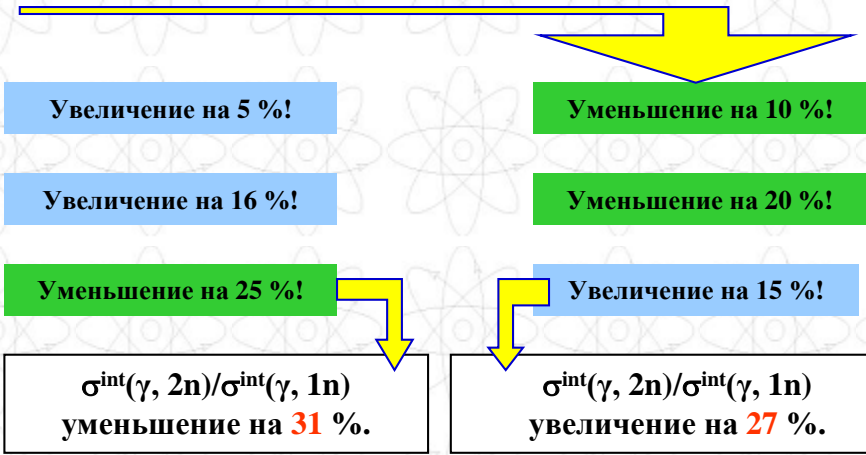
**Данные
Сакле**



Данные Сакле

^{159}Tb

Реакция	Интегральное сечение σ^{int} , MeV•mb		
	Ливермор	Оценка	Сакле
(γ, Sn)	3187 \approx	3200 \approx	3194
(γ, tot)	2300 $<$	2383 $<$	2557
$(\gamma, 1n)$	1413 $<$	1642 $<$	1936
$(\gamma, 2n)$	887 $>$	714 $>$	605
$(\gamma, 3n)$	46 $>$	26 $>$	16



Установлено, что для многих ядер (^{51}V , $^{63,65}\text{Cu}$, ^{75}As , $^{76,78,80,82}\text{Se}$, ^{89}Y , $^{90,91,92,94}\text{Zr}$, ^{103}Rh , $^{116,117,118,119,120,124}\text{Sn}$, ^{115}In , ^{127}I , ^{129}Xe , ^{133}Cs , ^{138}Ba , ^{139}La , $^{140,142}\text{Ce}$, ^{141}Pr , $^{145,148}\text{Nd}$, ^{153}Eu , ^{159}Tb , ^{160}Gd , ^{165}Ho , ^{181}Ta , ^{186}W , $^{186,188,189,190,192}\text{Os}$, ^{197}Au , ^{208}Pb , ^{209}Bi , и некоторые другие) оцененные и экспериментальные данные существенно различаются.

**^{65}Cu
(Livermore)**

**^{188}Os
(Livermore)**

(γ , 1n)

(γ , 2n)

Основной причиной расхождений является недостоверная (ошибочная) сортировка нейтронов по множественности, основанная на измерении их энергии, поскольку спектры нейтронов из реакций (γ , 1n) и (γ , 2n) оказываются близкими.



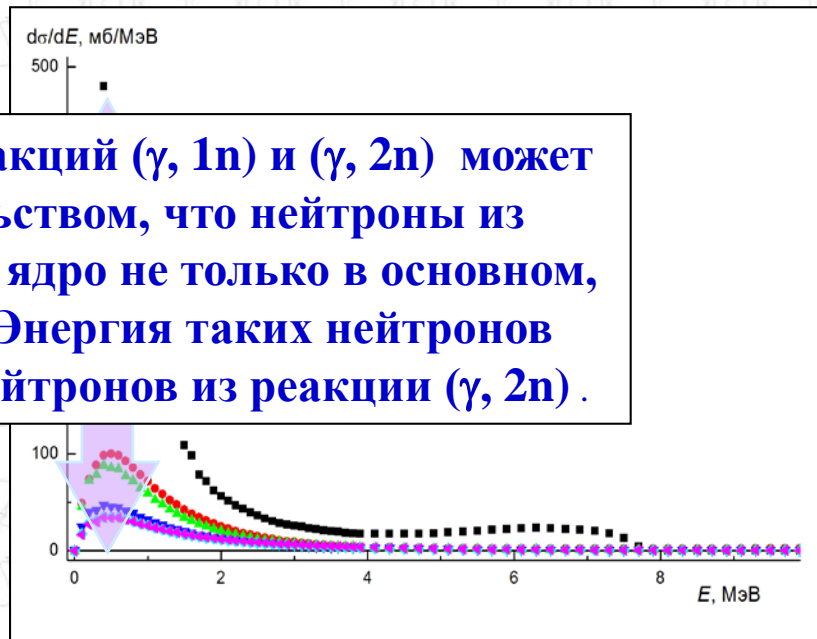
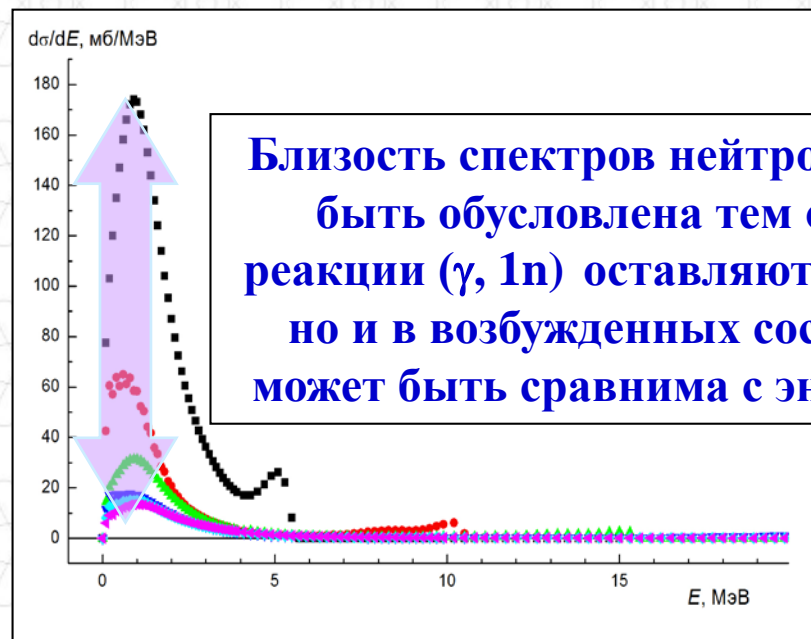
Б.С.Ишханов

и исследования с использованием новых информационных технологий

Основной причиной расхождений является недостоверная (ошибочная) сортировка нейтронов по множественности, основанная на измерении их энергии, поскольку спектры нейтронов из реакций $(\gamma, 1n)$ и $(\gamma, 2n)$ оказываются близкими.

^{141}Pr

^{181}W



Близость спектров нейтронов из реакций $(\gamma, 1n)$ и $(\gamma, 2n)$ может быть обусловлена тем обстоятельством, что нейтроны из реакции $(\gamma, 1n)$ оставляют конечное ядро не только в основном, но и в возбужденных состояниях. Энергия таких нейтронов может быть сравнима с энергией нейтронов из реакции $(\gamma, 2n)$.

$(\gamma, 4n)$



Б.С.Ишханов

и исследования с использованием новых информационных технологий

Для многих ядер (^{51}V , $^{63,65}\text{Cu}$, ^{75}As , $^{76,78,80,82}\text{Se}$, ^{89}Y , $^{90,91,92,94}\text{Zr}$, ^{103}Rh , $^{116,117,118,119,120,124}\text{Sn}$, ^{115}In , ^{127}I , ^{129}Xe , ^{133}Cs , ^{138}Ba , ^{139}La , $^{140,142}\text{Ce}$, ^{141}Pr , $^{145,148}\text{Nd}$, ^{153}Eu , ^{159}Tb , ^{160}Gd , ^{165}Ho , ^{181}Ta , ^{186}W , $^{186,188,189,190,192}\text{Os}$, ^{197}Au , ^{208}Pb , ^{209}Bi , и некоторые другие) оцененные и экспериментальные данные существенно различаются вследствие присутствия в сечениях реакций существенных систематических погрешностей, обусловленных недостоверной (ошибочной) сортировки нейтронов по множественности, основанной на измерении их энергии.

Для четырех ядер (^{75}As , ^{127}I , ^{181}Ta и ^{208}Pb) обнаружено присутствие в сечениях реакций систематических погрешностей иного рода.

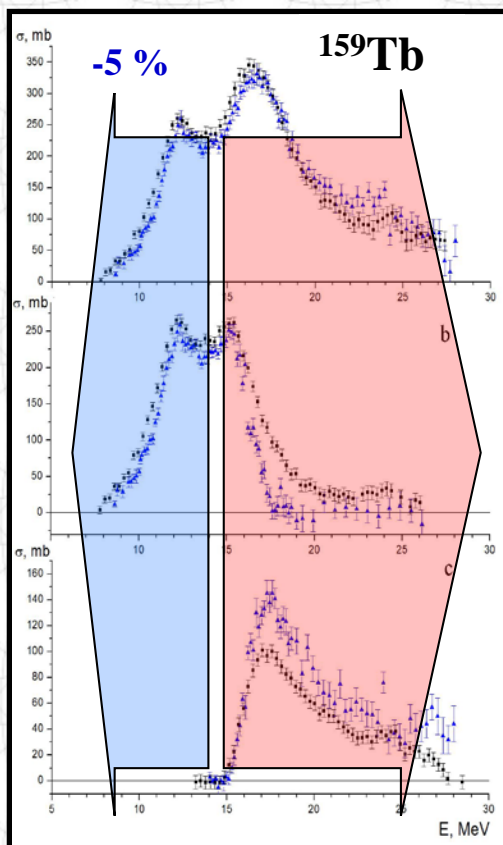


Б.С.Ишханов

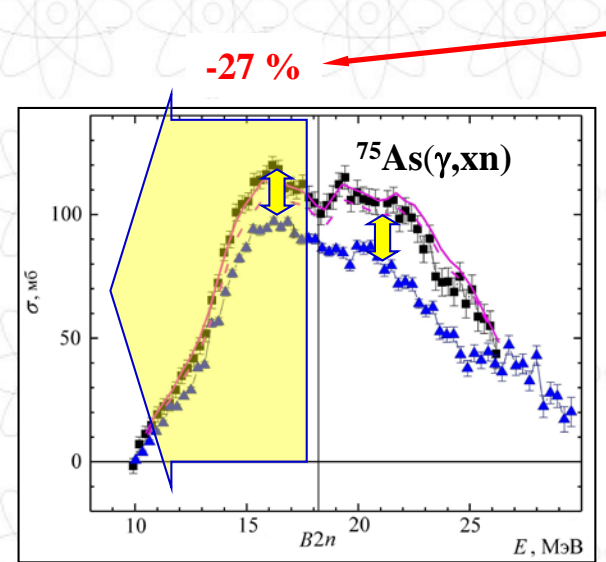
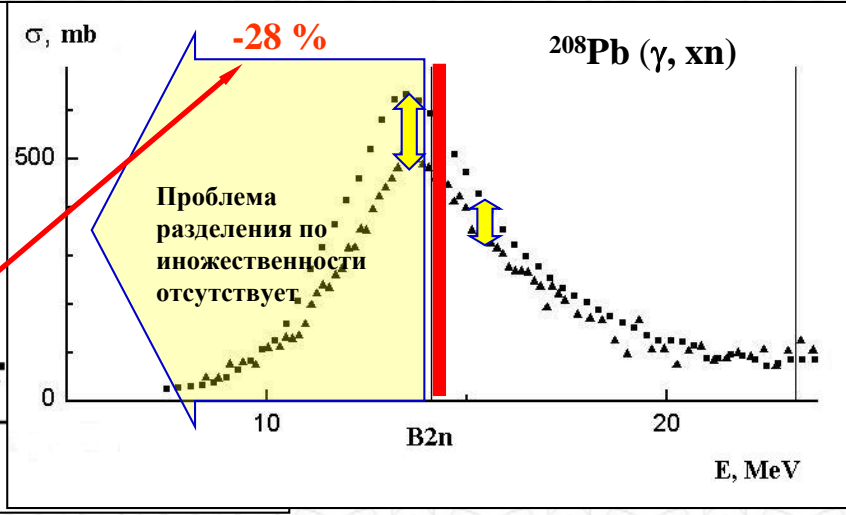
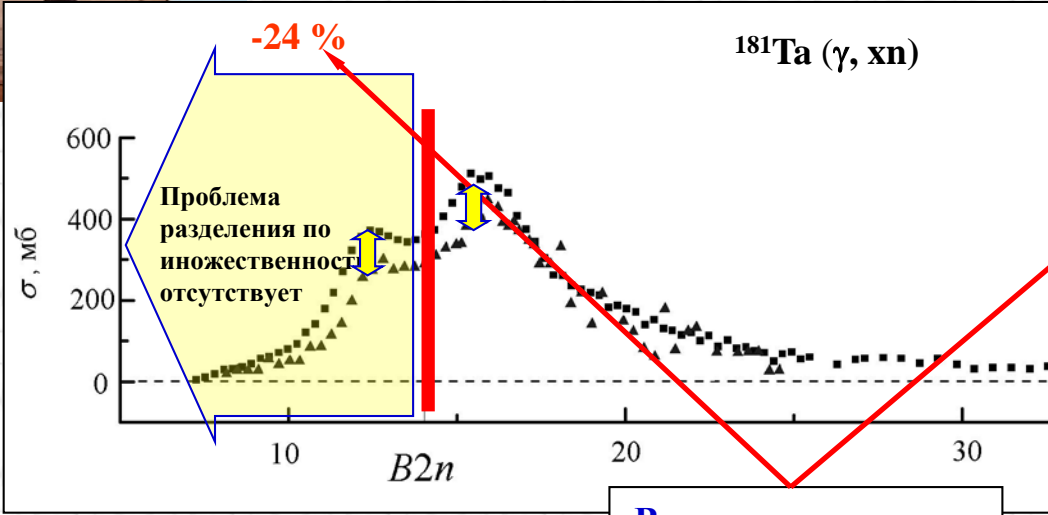
и исследования с использованием новых информационных технологий

Для остальных исследованных ядер в области энергий до порога B_{2n} реакции $(\gamma, 2n)$, в которой проблемы множественности нейтронов отсутствуют, сечения реакции (γ, xn)

**при малых энергиях
практически совпадают
(отличаются очень мало)**

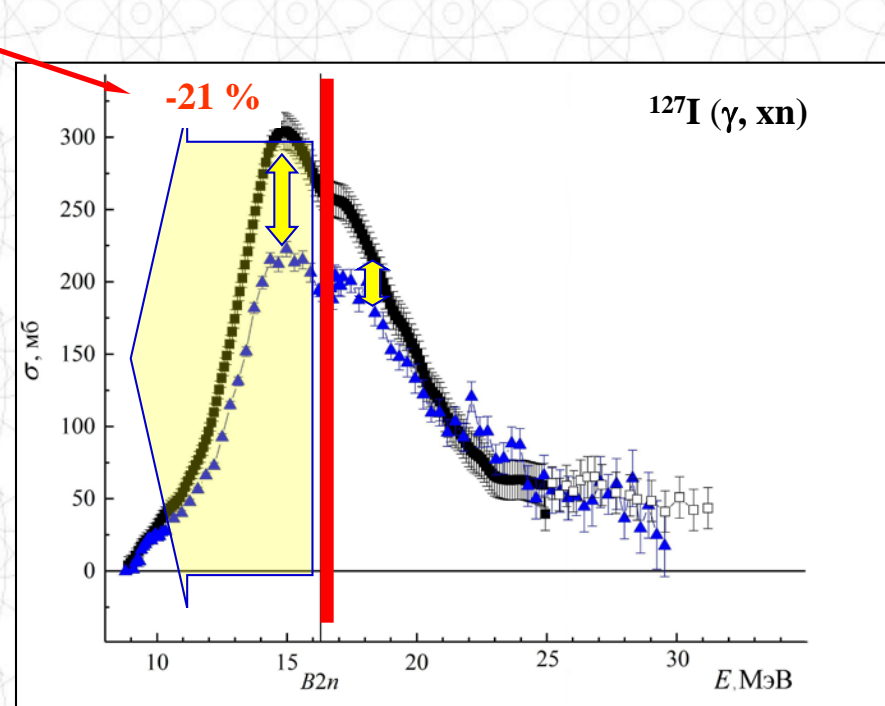


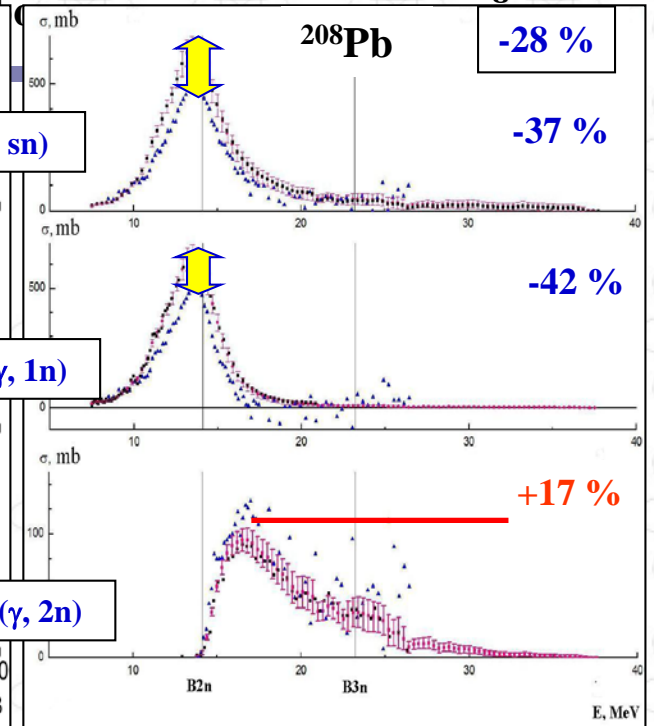
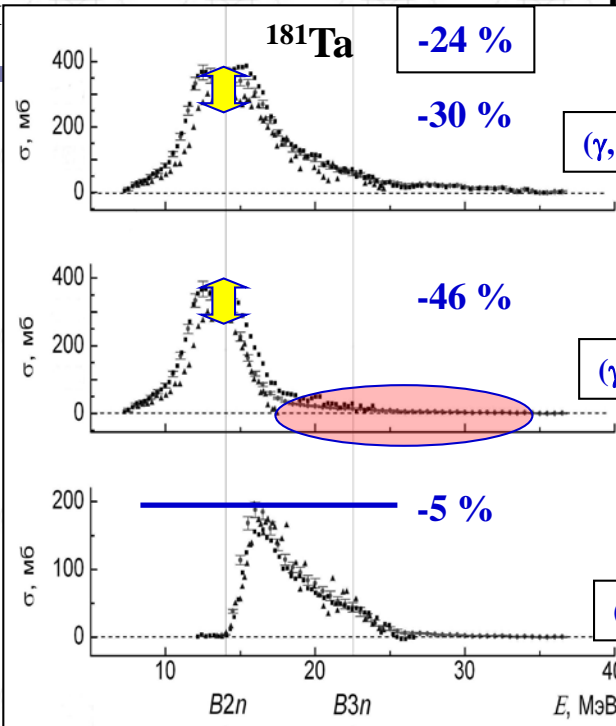
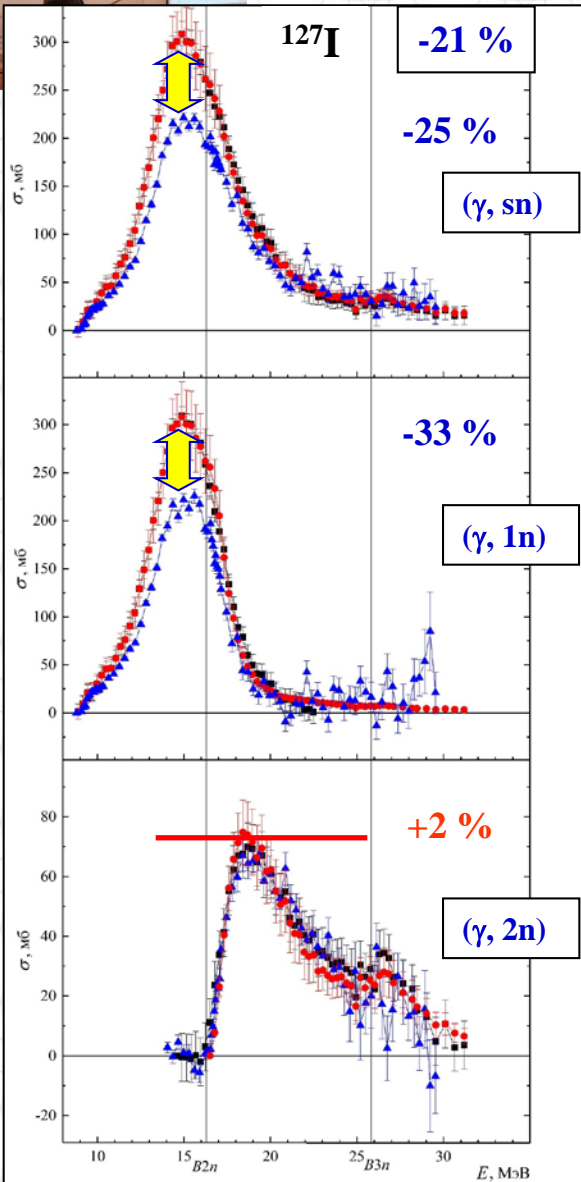
**при больших энергиях
расхождения
увеличиваются.**



В отличие от случая ядра ^{159}Tb :

Наблюдаются значительные расхождения при энергиях $E_\gamma < B_{2n}$, тогда как при больших энергиях расхождения оказываются меньшими.





Расхождения между оцененными и экспериментальными сечениями $(\gamma, 1n)$ реакции оказываются значительно большими по сравнению с расхождениями сечений реакции (γ, xn) .

В то же время расхождения между сечениями реакции $(\gamma, 2n)$ оказываются значительно меньшими (практически отсутствуют).

	$\sigma_{\text{оцен}}^{\text{int}} / \sigma_{\text{Л}}^{\text{int}}$		
Ядро реакция	^{127}I	^{181}Ta	^{208}Pb
(γ, xn)	1.21	1.24	1.28
(γ, Sn)	1.25	1.30	1.37
$(\gamma, 1n)$	1.33	1.46	1.42
$(\gamma, 2n)$	0.98	1.05	0.83

Чем больше вклад сечения $\sigma(\gamma, 1n)$ простой реакции в сечение более сложной реакции, тем больше степень недоверного (ошибочного) занижения экспериментального сечения по сравнению с оцененным:

$$(\gamma, xn) = (\gamma, 1n) + [2(\gamma, 2n) + 3(\gamma, 3n) + \dots]$$

некоторый вклад реакции $(\gamma, 1n)$;

$$(\gamma, sn) = (\gamma, 1n) + [(\gamma, 2n) + (\gamma, 3n) + \dots]$$

большой вклад реакции $(\gamma, 1n)$;

$$(\gamma, 1n) = (\gamma, 1n) + [0]$$

максимальный 100%-вклад реакции $(\gamma, 1n)$;

$$(\gamma, 2n) [0]$$

минимальный (0-й) вклад реакции $(\gamma, 1n)$.

Установленные соотношения означают, что именно очень большие (33, 46 и 42%) занижения сечения реакции $(\gamma, 1n)$ обуславливают значительные (20, 24 и 28%) занижения сечений реакции (γ, xn) .

Расхождения не могут быть убраны простой перенормировкой.

Это означает, что в экспериментах Ливермора для исследуемых ядер большое количество нейтронов **из реакции $(\gamma, 1n)$ было потеряно** (вследствие каких-то технических проблем).



Б.С.Ишханов

и исследования с использованием новых информационных технологий

Использование информационных технологий в области фотоядерных реакций с целью решения проблемы систематических расхождений результатов разных экспериментов:

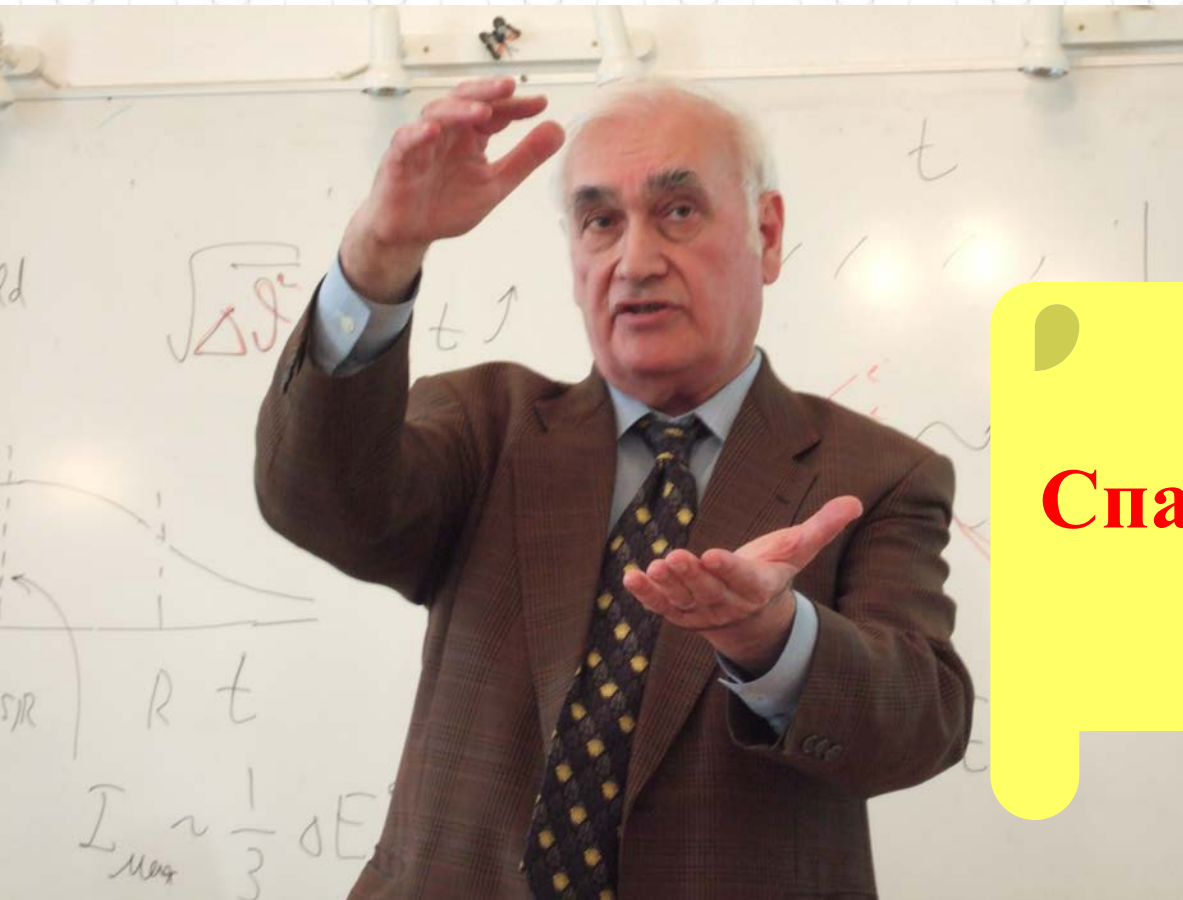
- анализ всех опубликованных данных по сечениям парциальных и полных реакций, установление систематических закономерностей расхождений;
- нахождение объективных физических критериев достоверности данных;
- разработка нового экспериментально-теоретического метода оценки сечений парциальных реакций, удовлетворяющих физическим критериям достоверности;
- сравнение оцененных данных с результатами других оценок и альтернативных экспериментов;
- в рамках Исследовательского контракта № 20501 (международный Исследовательский Проект № F41032) «НИИЯФ – МАГАТЭ» получение (оценка) новых данных по сечениям парциальных и полных реакций для ~ 50 ядер, исследованных в разных лабораториях;
- с использованием новых оцененных данных обновление и пополнение международной электронной библиотеки МАГАТЭ оцененных фотоядерных данных.

T. Kawano, ... , V.V.Varlamov, ..., M.Wiedeking.

IAEA Photonuclear Data Library 2019, Nuclear Data Sheets, 163 (2020) 109 - 162.

Б.С.Ишханов

и исследования с использованием новых информационных технологий



Спасибо за внимание!

12/16/2020

«Б.С.Ишханов и...»
Семинар НИИЯФ, 15.12.2020

Спасибо