



Лев Борисович Пикельнер

Вехи научной жизни в ЛНФ

К столетию со дня рождения



Лев Борисович Пикельнер – жизнь, отданная ЛНФ

- Важнейшей задачей Ильи Михайловича Франка при развертывании ЛНФ было формирование коллектива исследователей для проведения экспериментов на создаваемом первом в мире импульсном реакторе ИБР.
- Для решения этой задачи он привлек своего талантливое соратника по ФИАНу Федора Львовича Шапиро, который, в свою очередь, опирался как на молодых выпускников (В.И. Луциков, А.Б. Попов, Г.С. Самосват, Ю.М. Останевич, А.В. Стрелков и др.), так и на более старших физиков (Л.Б. Пикельнер, В.П. Алфименков, Ю.С. Язвицкий, Ю.П. Попов)
- Под предложенную Ф.Л. Шапиро научную программу начали активно создаваться с нуля экспериментальные установки, как для исследований в области традиционной нейтронной ядерной физики методами времени реакций – (n,γ) , (n,f) , (n,α) , (n,p) , $(n,\gamma\alpha)$, $(n,2\gamma)$, так и для других популярных в то время задач, например, эффект Моссбауэра на ^{67}Zn для измерения принципа эквивалентности в общей теории относительности. Были начаты исследования и по физике конденсированного состояния вещества с активным участием польских физиков.
- Лев Борисович, став сотрудником ЛНФ в 1959 году, активно включился в реализацию научной программы. С его участием был проведен первый после пуска реактора ИБР в 1960 году эксперимент по измерению радиационного захвата резонансных нейтронов в мишени Ag^{nat} .
- В дальнейшем Лев Борисович руководил исследованиями реакций (n,γ) , (n,f) , для которых были созданы детекторы соответствующего тогдашнему мировому уровню, один из которых в строю до сих пор – знаменитая «Бочка Пикельнера»

Магнитные моменты нейтронных резонансов

Впервые на возможность измерения магнитных моментов нейтронных резонансов указал Ф.Л.Шапиро^{/16/}. Им было предложено использовать для определения магнитных моментов энергетический сдвиг нейтронных резонансов, возникающий за счет сверхтонкого взаимодействия магнитного момента ядра с внутриатомным магнитным полем в экспериментах с поляризованными нейтронами или ядрами.

$$\Delta E_{m,m'} = -H \left(\mu_g \frac{m'}{J} - \mu_0 \frac{m}{I} \right).$$

$$\Delta E_0 = \sum_{m,m'} W(m) W(m') (I g m m' / J M) \Delta E_{m,m'} \quad (2)$$

Относительная заселенность уровня ядра-мишени с проекцией m может быть записана в виде

$$W(m) = c \cdot \exp\left(-\frac{\mu_0 H}{kT} \cdot \frac{m}{I}\right). \quad (3)$$

Связь $W(m)$ с поляризацией ядер f_N выражается соотношением

$$\sum_m m W(m) = \langle m \rangle = I f_N. \quad (4)$$

$$\Delta E_0 = -f_N H (\mu_g - \mu_0), \quad g = I - \frac{1}{2} \quad (7)$$

$$\Delta E_0 = -f_N H \left\{ \left[1 - \frac{1}{(2I+1)(I+1)} \right] \mu_g - \mu_0 \right\}, \quad g = I + \frac{1}{2}.$$

Подставляя численные значения в оценку $\Delta E_0 \approx H(\mu_g - \mu_0)$ получим при $H = 10^6$ Э и $\mu_g - \mu_0 = 1 \mu_N$ (- ядерный магнетон) $\Delta E_0 = 3 \cdot 10^{-6}$ эВ. Отсюда видно, что только внутренние поля на ядрах редкоземельных элементов, где $H \approx (4 - 7) \cdot 10^6$ Э, могут обеспечить сдвиг, доступный измерению. Вторым

$$f_N = \frac{2I+1}{2I} \operatorname{cth}\left(\frac{2I+1}{2I} x\right) - \frac{1}{2I} \operatorname{cth}\left(\frac{1}{2I} x\right), \quad (9)$$

где $x = \frac{\mu H}{kT}$. Подставляя для оценки f_N $I = 3/2$ и $x = 3$, получим $f_N = 0,90$. Отсюда видно, что достаточно низкой температурой для получения такой поляризации при $\mu H = 2 \cdot 10^{-5}$ эВ является $T = 77$ мК. Такие температуры в стационарном режиме может обеспечить рефрижератор с растворением ^3He в ^4He . В нашем эксперименте использовался подобный рефрижератор, разработанный и изготовленный В.П.Алфименковым и О.Н.Овчинниковым^{/3/} и обеспечивавший температуру около 30 мК на мишени.

Магнитные моменты нейтронных резонансов

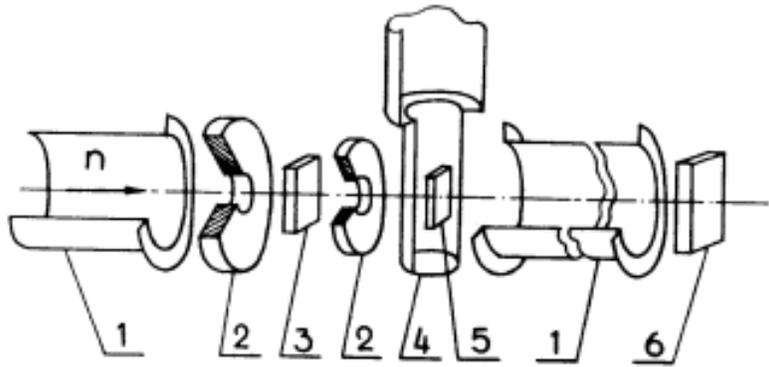


Рис. 1 Схема эксперимента по измерению магнитных моментов нейтронных резонансов. 1 - нейтронотводы, 2 - коллиматоры, 3 - реперная вспомогательная мишень, 4 - криостат с раствором ${}^3\text{He}$ в ${}^4\text{He}$, 5 - исследуемая мишень, 6 - детектор нейтронов.

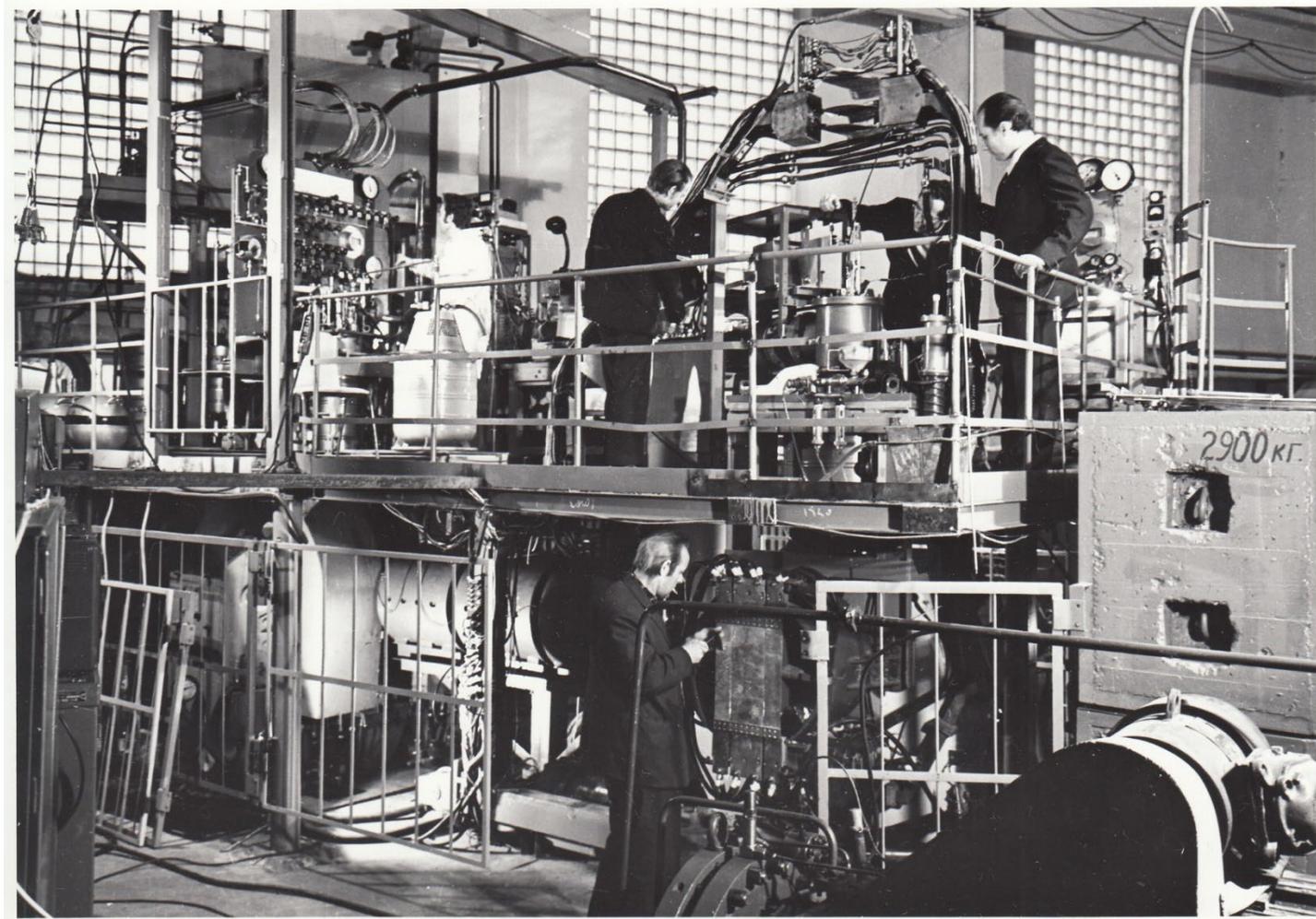
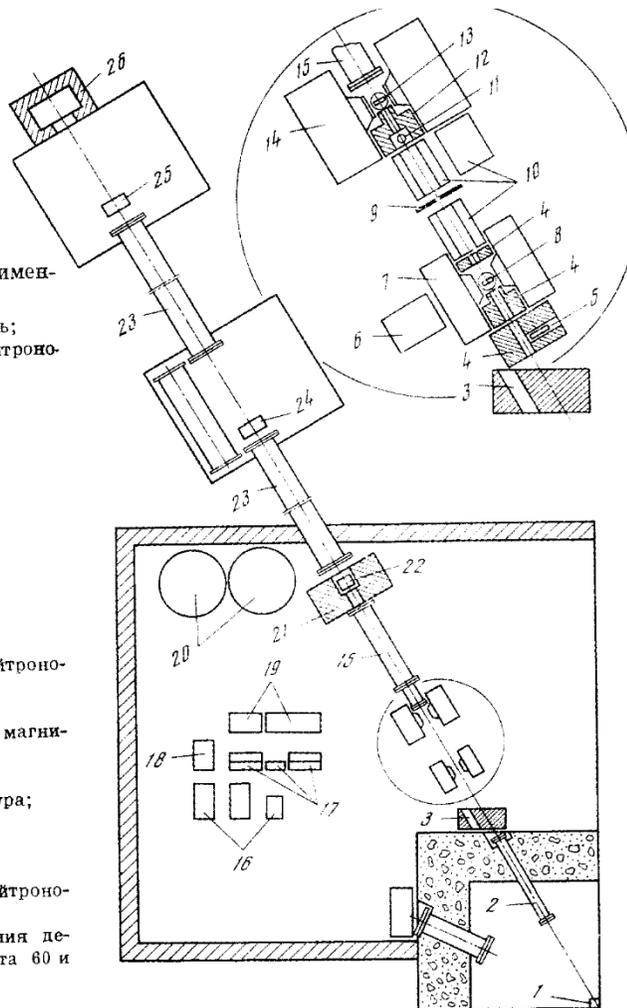
Исследуемый изотоп (% содер.)	${}^{167}\text{Er}$ (23%)	${}^{161}\text{Dy}$ (19%)	${}^{163}\text{Dy}$ (25%)	${}^{159}\text{Tb}$ (100%)	${}^{165}\text{Ho}$ (100%)
Толщина (яд. изот/см ²), 10^{20}	1,5	3,6	4,7	18	6
Точка Кюри, К	20	87	87	219	20
Поле на ядре Н, 10^6 Э	7,0	5,2	5,2	3,1	7,3
μ_0/μ_N	-0,56	-0,47	+0,67	+2,0	+4,1
Поляризация f_N при 30 мК	0,96	0,84	0,92	0,98	0,99

7. Alfimenkov V.P., Lason L., Mareev Yu.D., Ovchinnikov O.N., Pikelner L.B., Sharapov E.I. Magnetic Moments of Neutron Resonances in Rare-Earth Nuclei.- Nucl.Phys., 1976, v.A267, p.172-180.

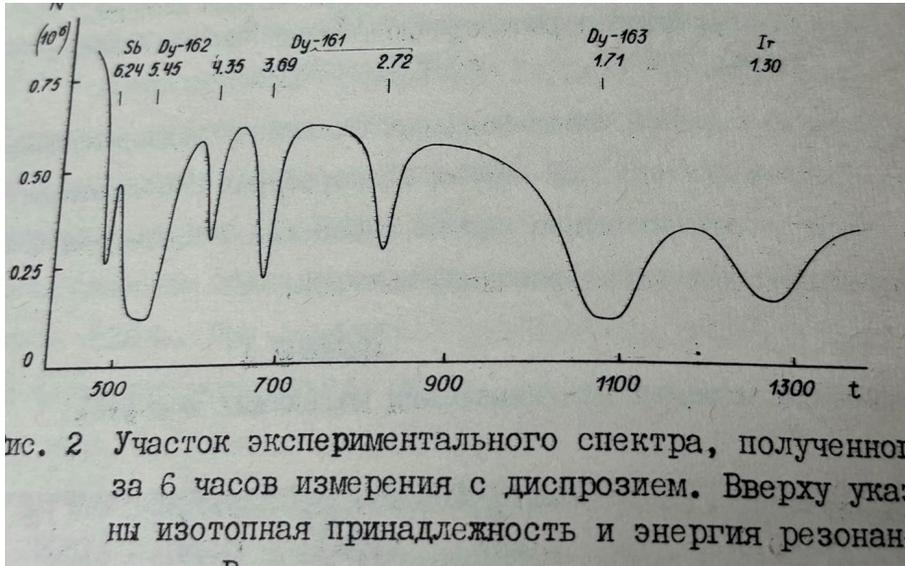
Магнитные моменты нейтронных резонансов. Установка ПОЛЯНА

Рис. 39. Схема экспериментальной установки

- 1 — реактор и замедлитель;
- 3 — вакуумированный нейтронвод;
- 3 — шибер;
- 4 — коллиматоры;
- 5 — первый монитор;
- 6 — паромасляный насос;
- 7 — магнит первой ППМ;
- 8 — первая ППМ;
- 9 — токовая фольга;
- 10 — спиновый ротатор;
- 11 — второй монитор;
- 12 — коллиматор;
- 13 — вторая ППМ;
- 14 — магнит;
- 15 — вакуумированный нейтронвод;
- 16 — насосная группа;
- 17 — пульты управления магнитами и насосами;
- 18 — компрессор;
- 19 — электронная аппаратура;
- 20 — газгольдеры;
- 21 — защита детектора;
- 22 — детектор;
- 23 — вакуумированный нейтронвод;
- 24, 25 — места расположения детекторов на базе пролета 60 и 120 м соответственно;
- 26 — ловушка нейтронов



Магнитные моменты нейтронных резонансов



Ис. 2 Участок экспериментального спектра, полученного за 6 часов измерения с диспрозием. Вверху указаны изотопная принадлежность и энергия резонанса.

Экспериментальные данные по магнитным моментам резонансов.

Компаунд-ядро	E_0 , эВ	J	$\langle \tau \rangle$, нс	ΔE_0 , 10^{-6} эВ	$\bar{\mu}_B / \mu_N$	g
^{160}Tb	3,35	2	$-6,7 \pm 3,1$	19 ± 9	$-0,2 \pm 1,0$	$-0,1 \pm 0,5$
	4,99	1	$3,8 \pm 6,2$	-20 ± 33	$4,3 \pm 3,7$	$4,3 \pm 3,7$
	11,1	2	$-1,8 \pm 2,2$	31 ± 39	$-1,7 \pm 4,4$	$-0,8 \pm 2,2$
^{162}Dy	2,72	3	$-0,6 \pm 4,2$	$1,3 \pm 8,9$	$-0,4 \pm 0,7$	$-0,13 \pm 0,23$
	3,69	2	$4,8 \pm 3,2$	$-16,1 \pm 10,7$	$-1,8 \pm 0,9$	$-0,90 \pm 0,45$
	4,35	2	$-2,7 \pm 3,4$	$11,4 \pm 14,8$	$0,5 \pm 1,2$	$0,25 \pm 0,60$
^{164}Dy	1,71	2	$26,6 \pm 5,5$	$-28,3 \pm 5,9$	$2,8 \pm 0,5$	$1,40 \pm 0,25$
^{166}Ho	3,93	4	$-9,7 \pm 3,2$	36 ± 12	$1,8 \pm 0,7$	$0,45 \pm 0,17$
	12,7	4	$-0,2 \pm 1,4$	4 ± 30	$3,9 \pm 1,9$	$0,98 \pm 0,47$
^{168}Er	0,46	4	-183 ± 47	27 ± 7	$0,9 \pm 0,4$	$0,22 \pm 0,10$
	0,58	3	-210 ± 76	44 ± 16	$1,8 \pm 0,9$	$0,6 \pm 0,3$

$$\bar{g} = \bar{\mu}_B / \bar{J}$$

$$\langle g \rangle = 0,34 \pm 0,22 \quad \Delta g = 0,51 \pm 0,20.$$

Статистическая теория $\langle g \rangle = 0.28$

$$\mathcal{F}_i = (\mathcal{F}_i^* - \frac{\partial \mathcal{F}^*}{\partial t} \Delta t) \kappa + \phi \quad (I0)$$

и будем искать минимум функционала

$$\chi^2 = \sum_i (\mathcal{F}_i^0 - \mathcal{F}_i)^2 w_i, \quad (II)$$

варьируя параметры Δt , κ и ϕ . В выражении (II) w_i означает статистический вес каждой точки, а сумма берется по всем каналам, входящим в резонанс.

Такая обработка проводилась отдельно для каждой пары спектров, а в спектре – как для резонансов исследуемого изотопа

7. Alfimenkov V.P., Lazon L., Mareev Yu.D., Ovchinnikov O.N., Pikelner L.B., Sharapov E.I. Magnetic Moments of Neutron Resonances in Rare-Earth Nuclei. - Nucl.Phys., 1976, v.A267, p.172-180.

Бунатян Г.Г. магнитные моменты возужденных состояний деформированных ядер. – ОИЯИ, Р4-8889, Дубна, 1975.
 Бунатян Г.Г. Моменты инерции и гиромангнитные отношения компаунд-состояний. – Ядерная физика, 1977, т. 26, в. I, с.44-54.



Химический сдвиг нейтронных резонансов

Открытие эффекта Мёссбауэра с его чрезвычайно высоким энергетическим разрешением дало толчок изучению эффектов сверхтонких взаимодействий. Почти сразу же появились первые работы по измерению изомерных химических сдвигов гамма-линий. Такие сдвиги наблюдаются при сравнении γ -переходов для одного и того же ядра, входящего в разные химические соединения, если форма ядра в основном и изомерном состояниях различна. Величина сдвига может быть приближенно записана в виде

$$\Delta E^{IS} \sim \Delta |\psi(0)|^2 \Delta \langle r^2 \rangle, \quad (21)$$

т.е. пропорциональна разности электронных плотностей на месте ядра у двух химических соединений и разности среднеквадратичных радиусов ядра в основном и возбужденном состояниях. Из выражения

Наблюдение мёссбауэровского спектра практически возможно для энергии гамма-переходов порядка и ниже 100 кэВ, поэтому измерение $\Delta \langle r^2 \rangle$ проводилось только для низших возбужденных уровней в ядре. На возможность проведения аналогичных исследований для уровней, энергия возбуждения которых соответствует энергии связи нейтрона в ядре, было указано в работе Игнатович Останевича и Черы /24/. Проведенные ими оценки показали, что наблюдая с высокой точностью положение нейтронных резонансов в разных химических соединениях, можно по сдвигу резонансной энергии определить изменение $\langle r^2 \rangle$ при захвате нейтрона. При

мы можем записать выражение для электрического монополюного взаимодействия, дающего основной вклад в сдвиг уровня:

$$U_0 = -e^2 \iint \frac{\rho_e(\vec{r}_e) \rho_p(\vec{r}_p)}{r_{ep}} d\tau_e d\tau_p. \quad (24)$$

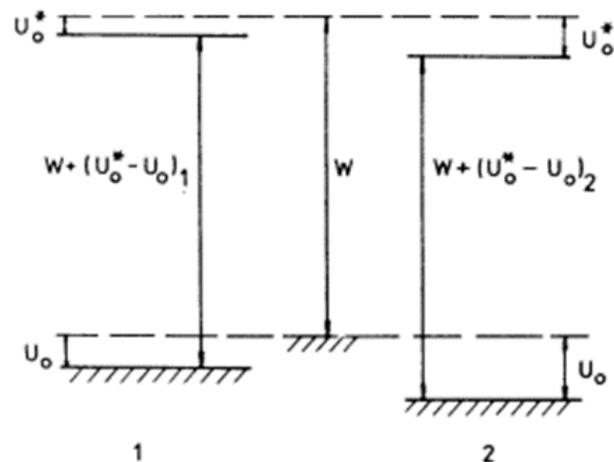


Рис. 4. Схема сдвига уровня в результате электростатического взаимодействия ядра с электронной оболочкой. Пунктиром показаны основной и возбужденный уровни "голого" ядра. 1 и 2 - соответствующие уровни в различных химических соединениях.

$$\Delta E_0 = (U_0^* - U_0)_1 - (U_0^* - U_0)_2.$$

$$\Delta E_0 = \frac{2}{3} \pi e^2 Z \Delta \rho_e(0) \Delta \langle r_p^2 \rangle.$$

Игнатович В.К., Останевич Ю.М., Черы Л. Изомерный сдвиг и нейтронные резонансы. - ОИЯИ, Р4-7296, Дубна, 1973.

Химический сдвиг нейтронных резонансов

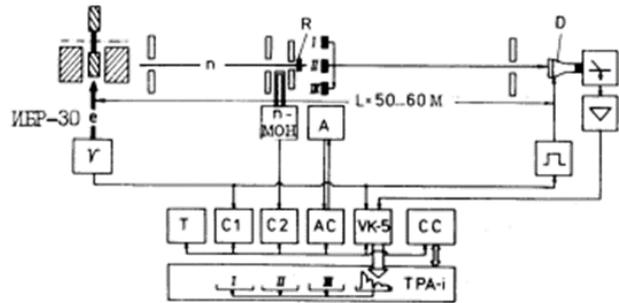
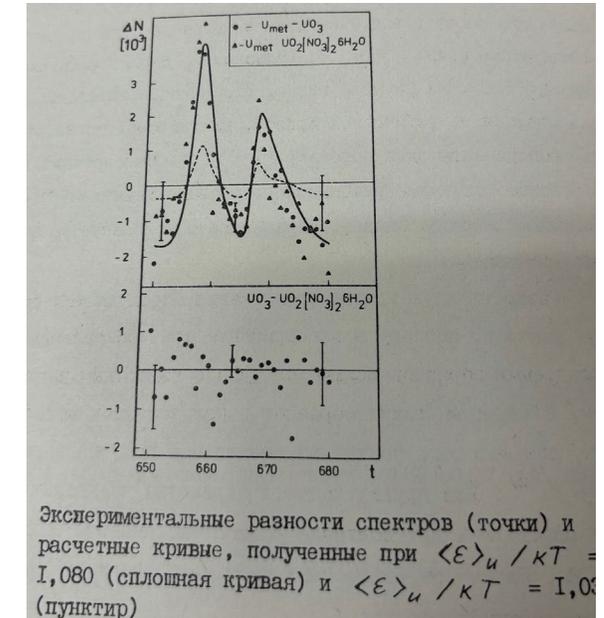
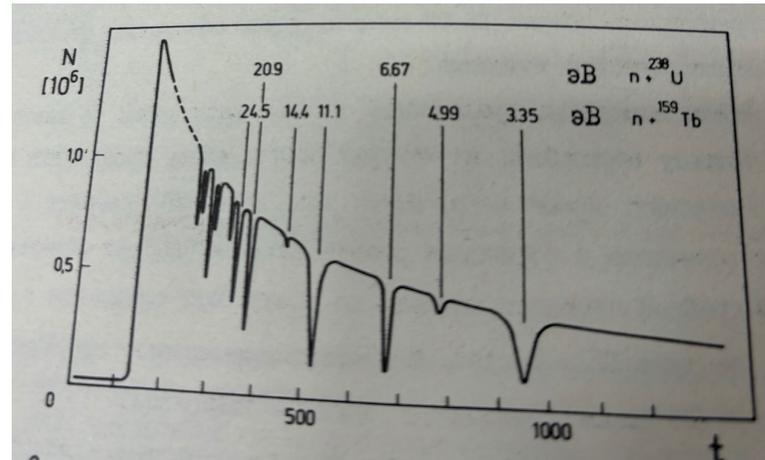
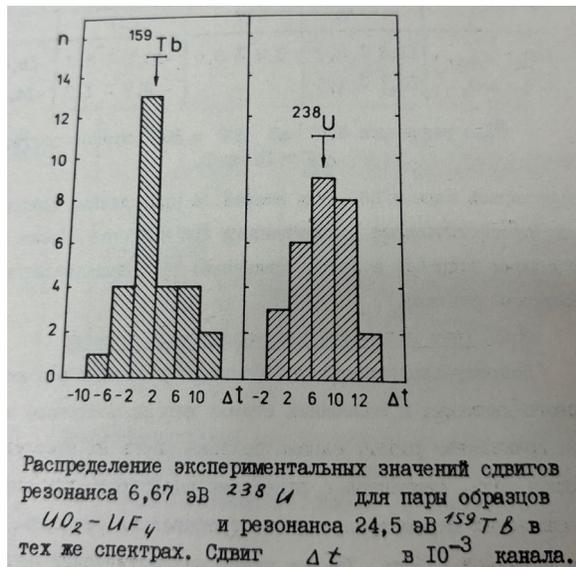


Рис. 5 Схема эксперимента по измерению химического сдвига нейтронного резонанса. I, II и III – образцы из разных соединений урана и соответствующие спектры в памяти ЭВМ TPA-i, R – реперный образец ТВ



Экспериментальные разности спектров (точки) и расчетные кривые, полученные при $\langle \epsilon \rangle_u / kT = 1,080$ (сплошная кривая) и $\langle \epsilon \rangle_u / kT = 1,0$ (пунктир)



Акопян Г.Г., Вагов В.А., Зайдель К., Майстер А., Пабст Д., Пикельнер Л.Б., Салаи Ш., Изомерный сдвиг нейтронных резонансов. I Измерения с разными химическими соединениями ^{238}U ., ОИЯИ, РЗ-11740, Дубна, 1978
 Зайдель К., Майстер А., Пабст Д., Пикельнер Л.Б., Изомерный сдвиг нейтронных резонансов. II. Учет колебаний в кристаллической решетке., ОИЯИ, з-3-11741, Дубна, 1978

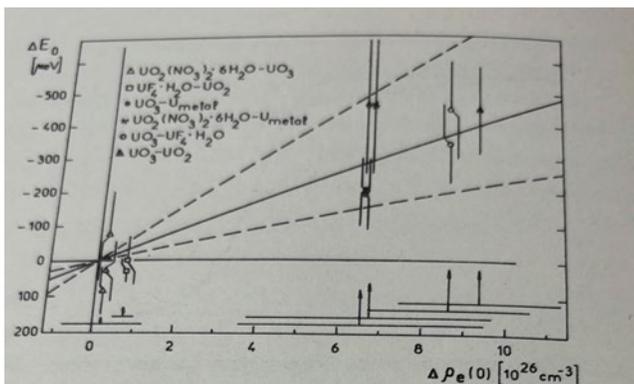
Химический сдвиг нейтронных резонансов

Результаты измерений химического сдвига 6,67 эВ резонанса ^{235}U .

$$\Delta E_0 = \frac{2}{3} \pi e^2 Z \Delta \rho_e(0) \Delta \langle r_p^2 \rangle.$$

$$\Delta E_{ex} = \Delta E_0 + \Delta E_{ev} \quad (35)$$

Здесь ΔE_0 - искомый химический сдвиг резонанса, ΔE_{ev} - поправка, связанная с колебаниями решетки. Описанная процедура определения поправки ΔE_{ev} проводилась для каждой сравниваемой пары



1. Величина химического сдвига ΔE_0 как функция разности электронных плотностей. Горизонтальные отрезки внизу показывают неопределенность $\Delta \rho_e(0)$ для соответствующей пары образцов.

Пара образцов I - 2	$\Delta \rho_e(0)$ 10^{26} см^{-3}	Толщина образцов 10^{21} яд/см^2	$\frac{\langle \epsilon \rangle_{u1} - \langle \epsilon \rangle_{u2}}{kT}$ (T = 300 K)	ΔE_{ex} мкэВ	ΔE_{ev} мкэВ	ΔE_0 мкэВ
$\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} - \text{UO}_3$	$0,22 \pm 1,01$	0,440	0	-74 ± 87	-2 ± 90	-72 ± 126
— " —	$0,22 \pm 1,01$	0,410	0	$+108 \pm 56$	$+24 \pm 16$	$+84 \pm 59$
— " —	$0,22 \pm 1,01$	1,190	0	-44 ± 51	$+15 \pm 12$	$+29 \pm 53$
$\text{UF}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} - \text{UO}_2$	$0,75 \pm 0,27$	0,552	$0,015 \pm 0,014$ %	-38 ± 25	-69 ± 11	$+31 \pm 27$
— " —	$0,75 \pm 0,27$	1,000	$0,011 \pm 0,002$	$+266 \pm 50$	$+266 \pm 46$	0 ± 68
$\text{UO}_3 - \text{U}_{мет}$	$6,55 \pm 2,95$	0,552	$0,065 \pm 0,010$	$+26 \pm 48$	$+214 \pm 86$	-188 ± 99
— " —	$6,55 \pm 2,95$	0,552	$0,065 \pm 0,010$	-48 ± 44	$+145 \pm 89$	-193 ± 99
— " —	$6,55 \pm 2,95$	1,190	$0,065 \pm 0,011$	$+1069 \pm 39$	$+1525 \pm 205$	-456 ± 209
$\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} - \text{U}_{мет}$	$6,77 \pm 2,95$	1,190	$0,065 \pm 0,011$	$+1097 \pm 50$	$+1552 \pm 205$	-455 ± 210
$\text{UO}_3 - \text{UF}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$8,65 \pm 1,93$	0,552	$0,040 \pm 0,005$	-90 ± 36	$+250 \pm 112$	-340 ± 117
— " —	$8,65 \pm 1,93$	1,000	$0,046 \pm 0,007$	$+133 \pm 88$	$+579 \pm 121$	-445 ± 150
$\text{UO}_3 - \text{UO}_2$	$9,40 \pm 1,96$	1,000	$0,057 \pm 0,006$	$+348 \pm 80$	$+793 \pm 106$	-445 ± 132

$$\Delta \langle r_p^2 \rangle = - \left(\begin{matrix} 1,7 & +1,2 \\ -0,8 & \end{matrix} \right) \text{ Fm}^2$$

$$\frac{\Delta \langle r_p^2 \rangle}{\langle r_p^2 \rangle} = -0,05$$

1. Meister A., Pabst D., Pikelner L.B., Zeidel K. Mean-Square Radius Change from Chemical Neutron Resonance Shifts.-Intern.Conf.on Nuclear Physics (Berkeley, USA, Aug.24-30, 1980.)

Бунатян Г.Г. О статистическом описании свойств компаунд-состояний. - Ядерная физика, 1979, т. 29, вып. 1, с. 10-21.



А.Майстер, Д.Пабст, К.Зайдель, З.Экштейн и Л.Б.Пикельнер за обсуждением программы исследований химического сдвига нейтронных резонансов. 1977 г.

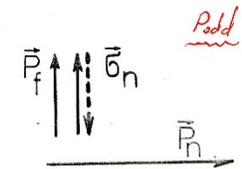


P-четные и P-нечетные угловые корреляции осколков ядерного деления

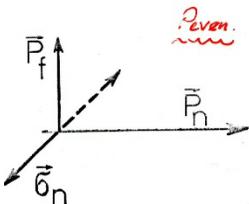
INVESTIGATION OF P-ODD AND P-EVEN CORRELATIONS IN THE FISSION OF ^{235}U BY RESONANCE NEUTRONS

Angular correlation function:

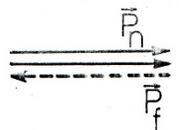
$$W(\theta) \approx 1 + \alpha_{nf} (\vec{\sigma}_n \vec{p}_f) + \alpha_{nf}^{\prime} \vec{\sigma}_n [\vec{p}_f \times \vec{p}_n] + \alpha_{nf}^{\prime\prime} (\vec{p}_f \vec{p}_n) + A_2(E) P_2(\vec{n}_f \vec{n}_f)$$



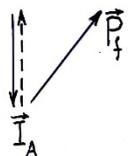
$$(\vec{\sigma}_n \vec{p}_f)$$



$$\vec{\sigma}_n [\vec{p}_f \times \vec{p}_n] \quad RL$$

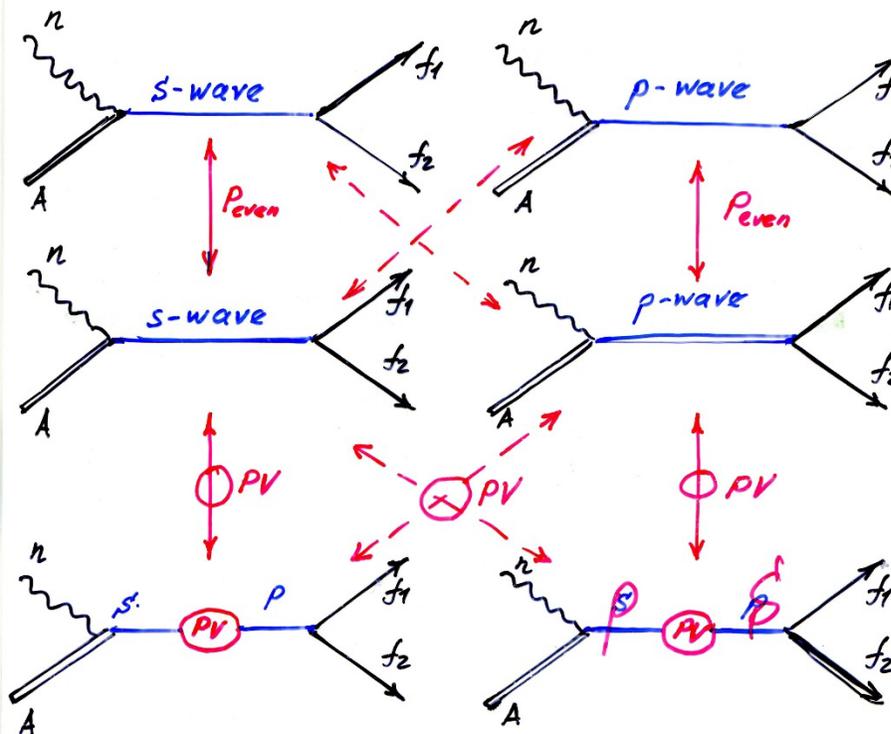


$$(\vec{p}_f \cdot \vec{p}_n) \quad FB$$



$$P_2(\vec{n}_f \vec{n}_f) \quad A_2(E)$$

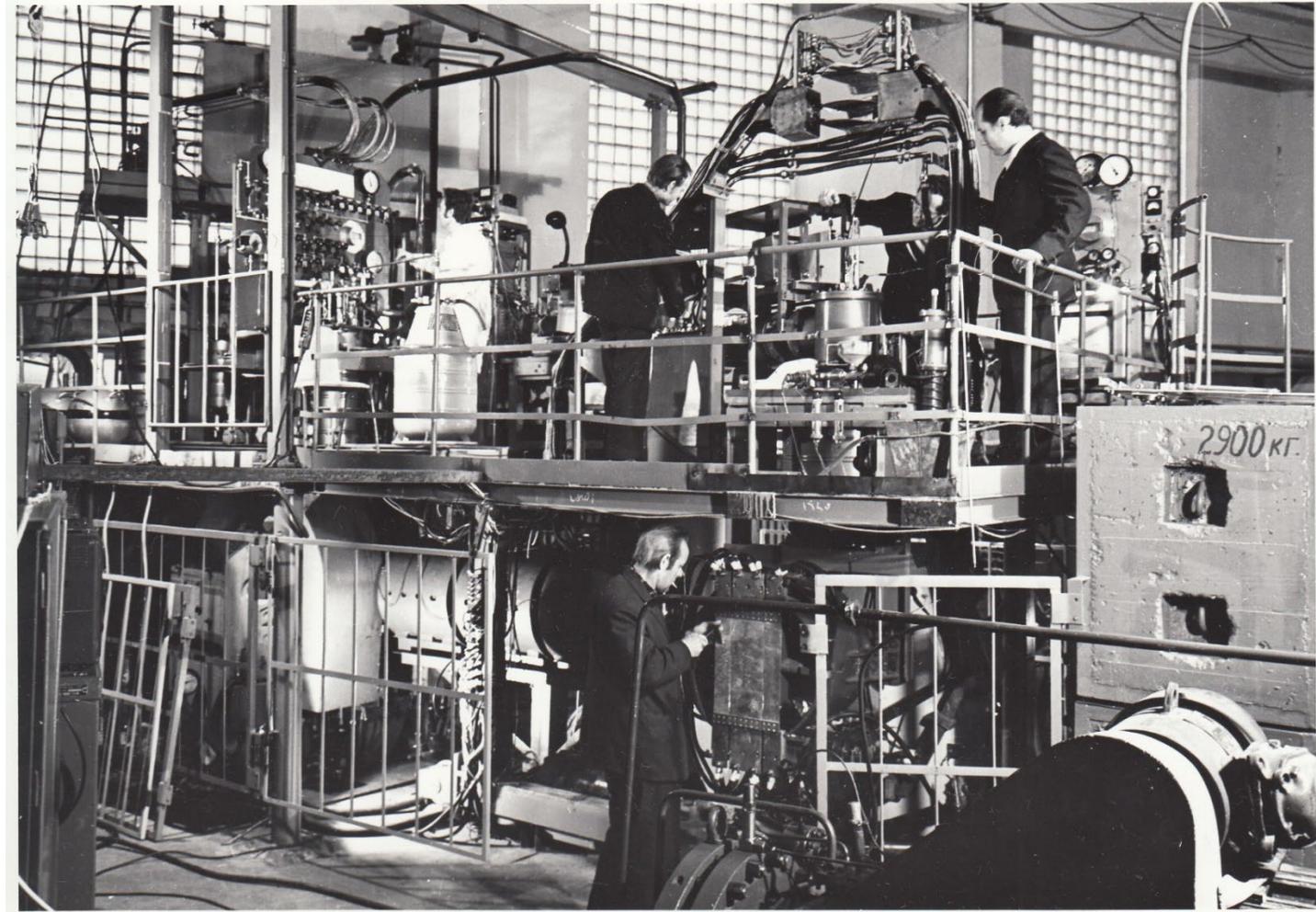
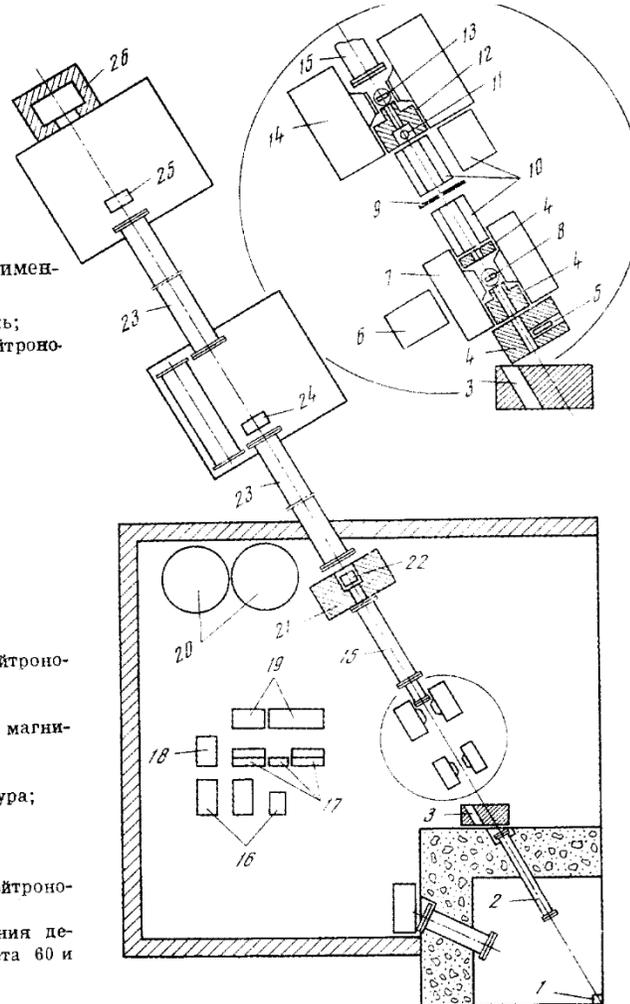
Interference effects in slow neutron induced fission.

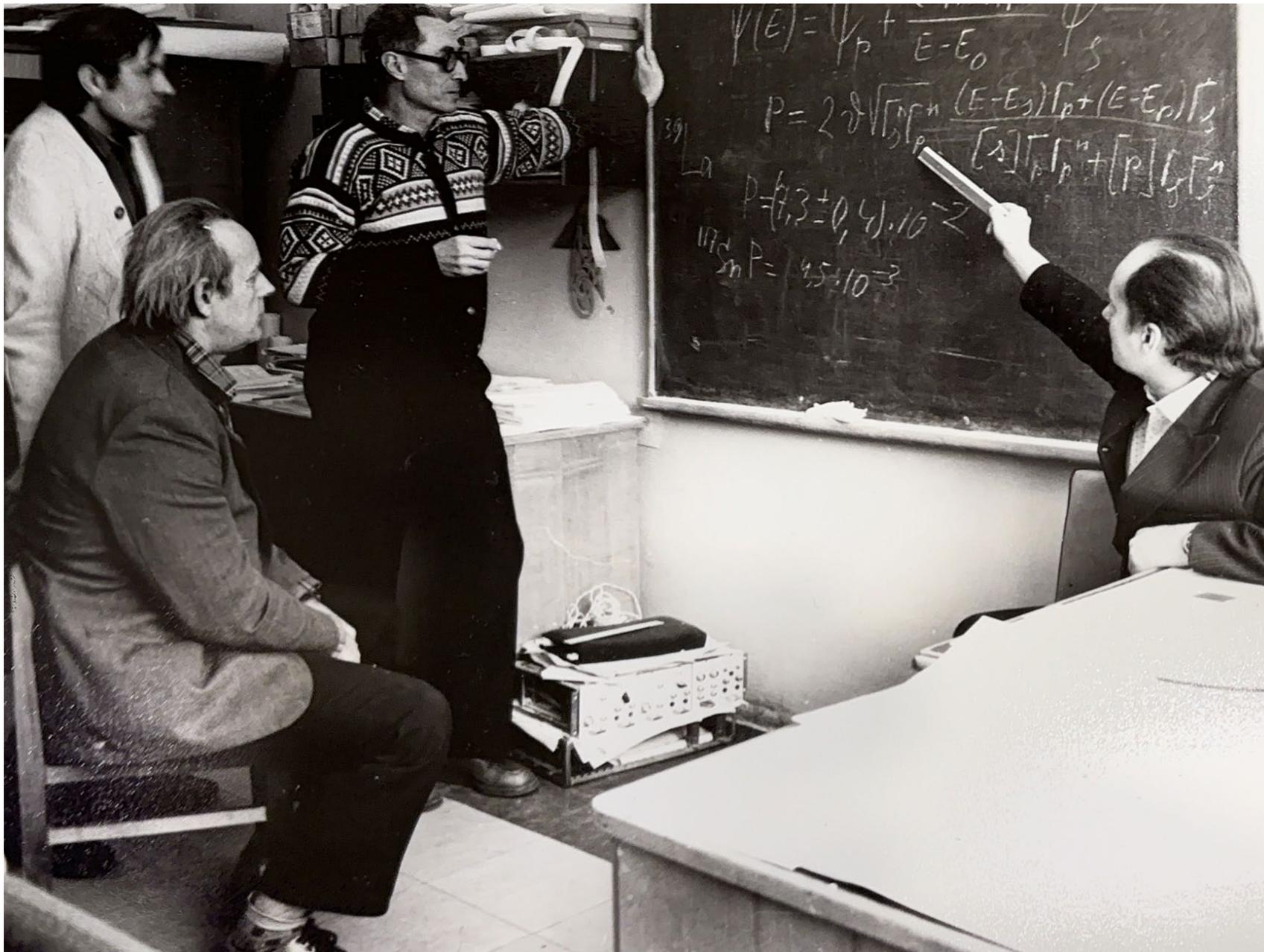


P-четные и P-нечетные угловые корреляции осколков деления. Установка ПОЛЯНА

Рис. 39. Схема экспериментальной установки

- 1 — реактор и замедлитель;
- 3 — вакуумированный нейтронвод;
- 3 — шибер;
- 4 — коллиматоры;
- 5 — первый монитор;
- 6 — паромасляный насос;
- 7 — магнит первой ППМ;
- 8 — первая ППМ;
- 9 — токовая фольга;
- 10 — спиновый ротатор;
- 11 — второй монитор;
- 12 — коллиматор;
- 13 — вторая ППМ;
- 14 — магнит;
- 15 — вакуумированный нейтронвод;
- 16 — насосная группа;
- 17 — пульта управления магнитами и насосами;
- 18 — компрессор;
- 19 — электронная аппаратура;
- 20 — газгольдеры;
- 21 — защита детектора;
- 22 — детектор;
- 23 — вакуумированный нейтронвод;
- 24, 25 — места расположения детекторов на базе пролета 60 и 120 м соответственно;
- 26 — ловушка нейтронов





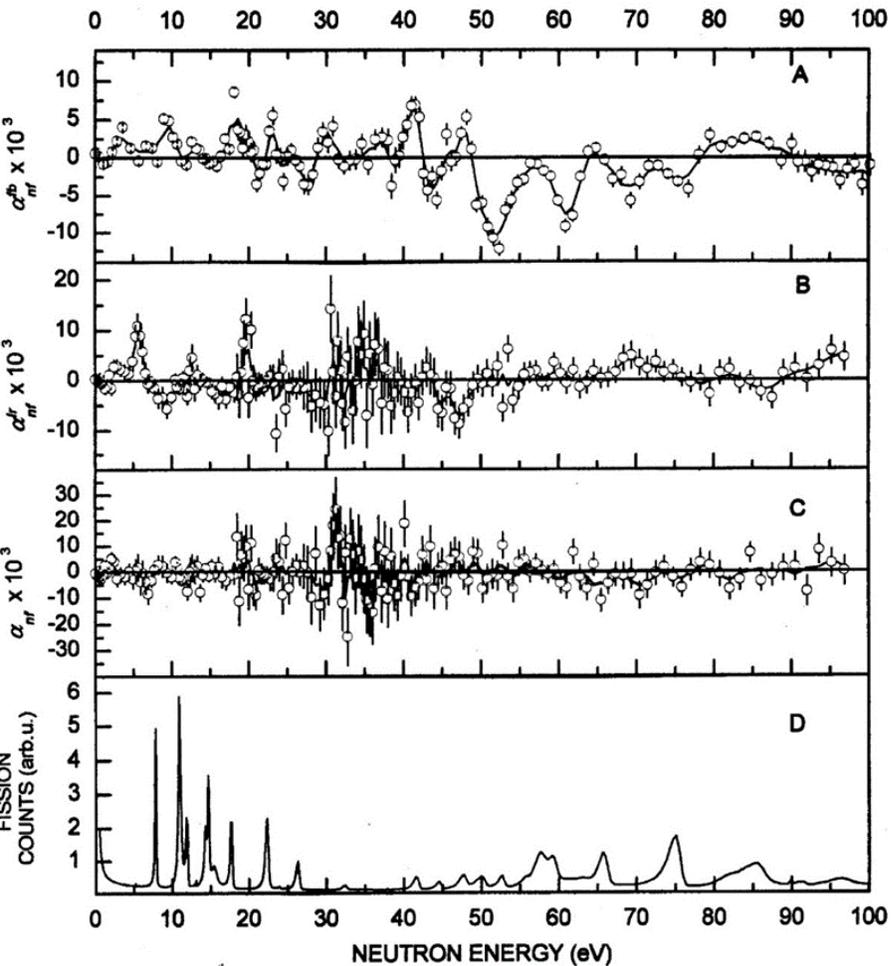
Семинар Льву Борисовичу Пикельнеру- 100, 21.11.2024



Семинар Льву Борисовичу Пикельнеру- 100, 21.11.2024

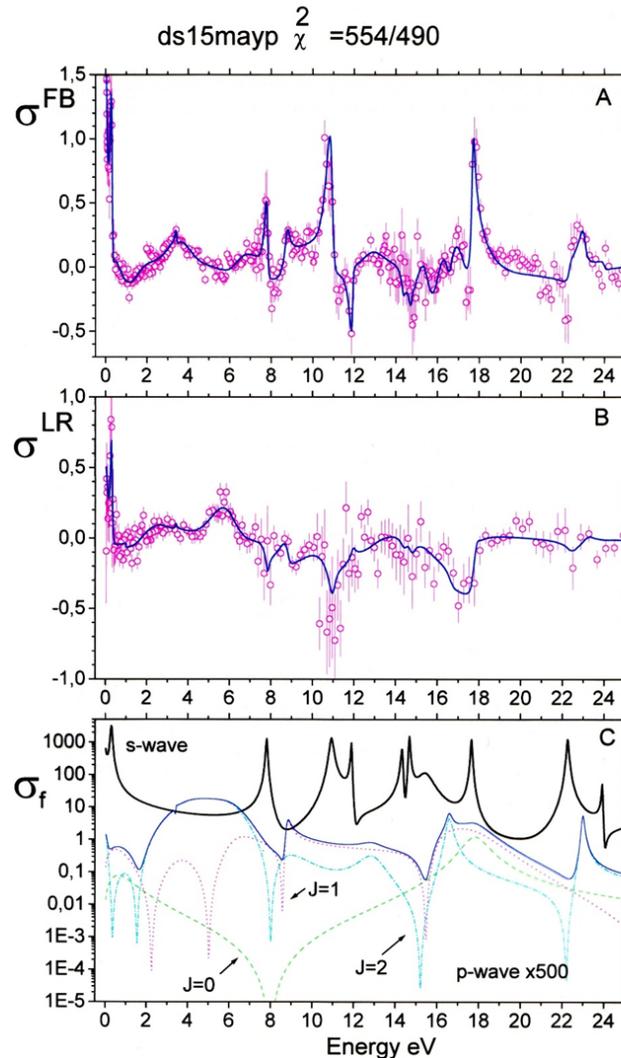
P-четные и P-нечетные угловые корреляции осколков ядерного деления

$^{239}\text{Pu}(n,f)$



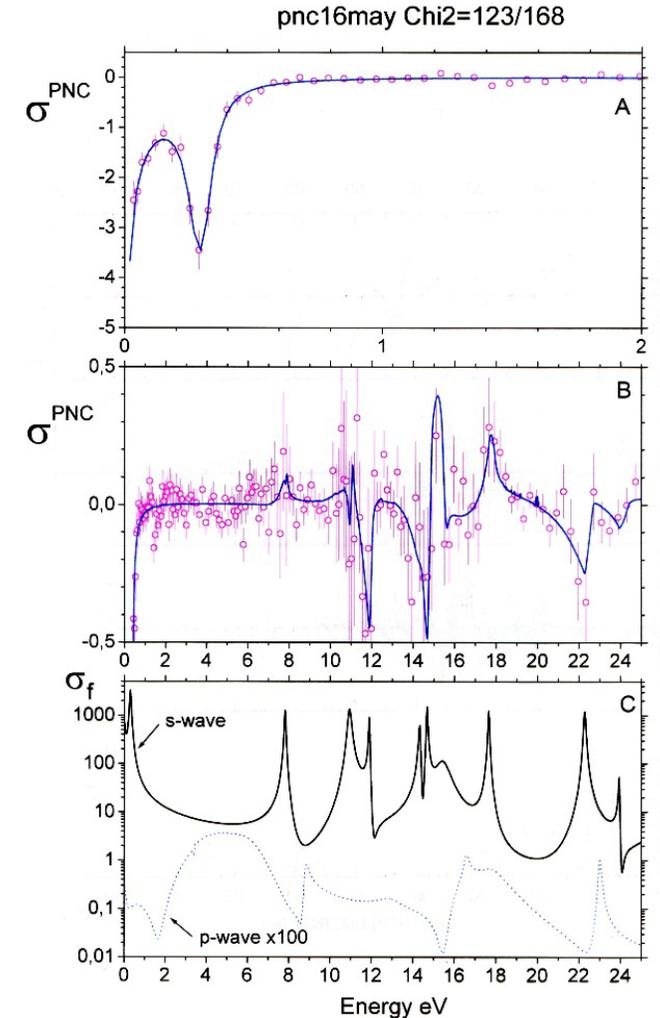
1. Gagarski A.M., Guseva I.S., Krasnoschokova I.A., A.M., Petrov G.A., Petrova V.L., Petukhov A.K., Pleva Yu.S., Sokolov V.E., Soloviev S.M., Alfimenkov V.P., Bazhanov N., Chernikov A.N., Furman W.I., Lason L., Mareev Yu.D., Novitski V.V., Pukelner L.B., Pikelmer T.L., Popov A.B., Tsulaya M.I., Barabanov A.L. Investigations of parity violation and interference effects in fission of ^{239}Pu induced resonance neutrons. // Proc. ISINN-10, Dubna, 2002, P. 184.

$$\langle p_\mu || H^{PV} || p_\nu \rangle \approx 2.4 \text{ meV}$$



Семинар Льву Борисовичу Пикельнеру- 100,
21.11.2024

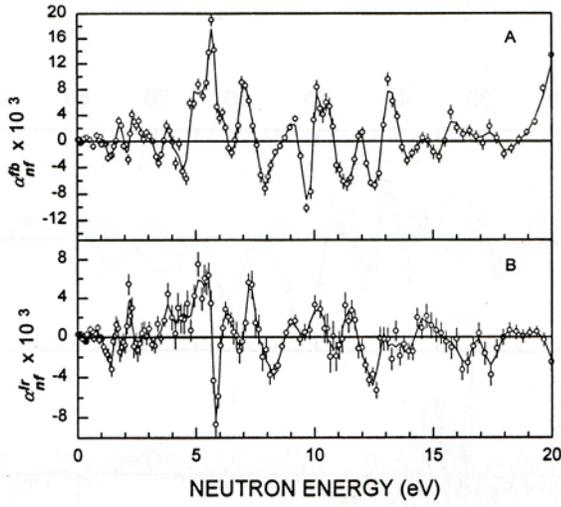
$^{239}\text{Pu}(n,f)$



V. P. Alfimenkov, G. V. Val'skii, A. M. Gagarskii, P. Gel'tenberg, I. S. Guseva, I. Last, G. A. Petrov, A. K. Petukhov, L. B. Pikel'ner, Yu. S. Pleva, V. E. Sokolov, V. I. Furman, K. Shrekkenbakh, and O. A. Shcherbakov, "Interference effects in angular distributions of fission fragments in the fission of heavy nuclei induced by thermal and resonance neutrons", Yad. Fiz. 58, 799 (1995) [Phys. At. Nucl. 58, 737 (1997)].

S-wave - p-wave interference
Dubna-Gatchina-Lodz - collaboration.

Even

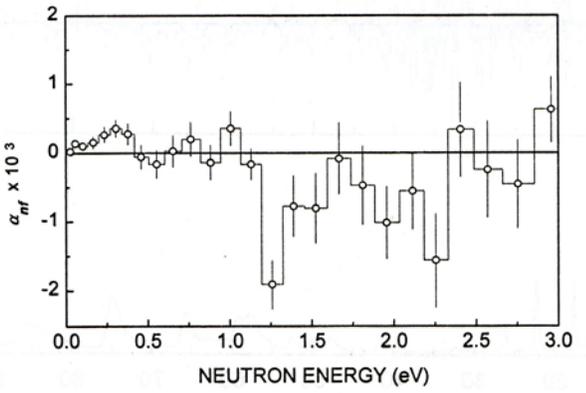


$(\vec{k}_n \vec{k}_f)$

$(\vec{k}_f [\vec{k}_n \vec{\sigma}_n])$

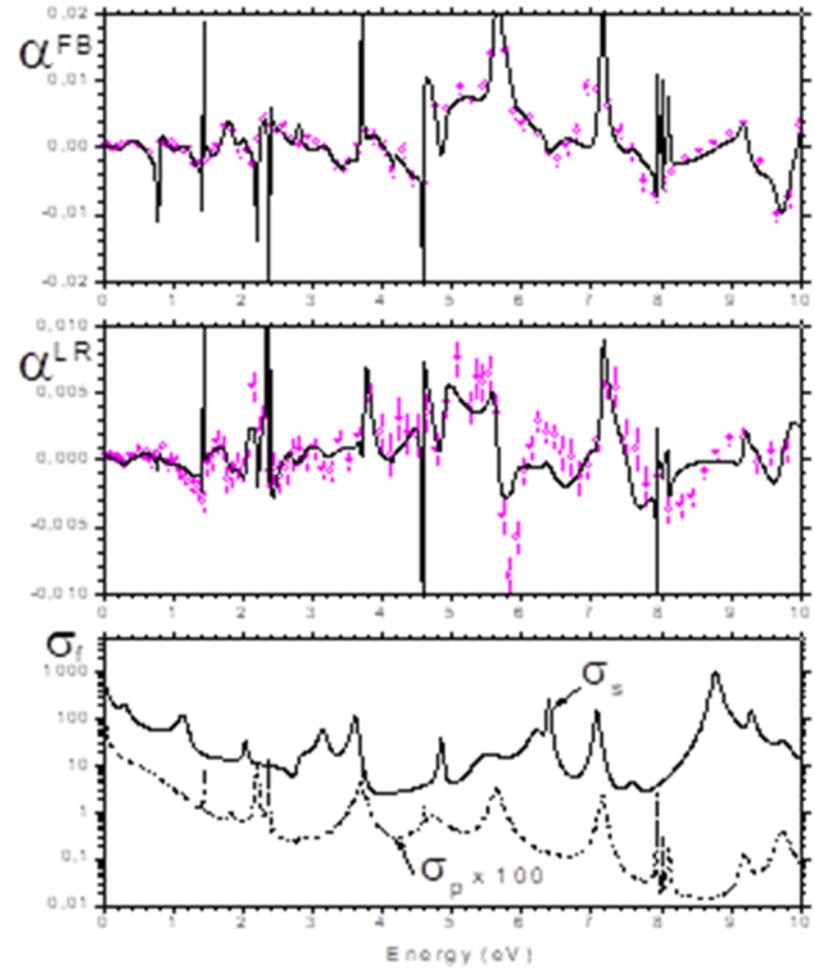
Parity conserving forward-backward (A) and left-right interference effects (B) of fission fragment emission in neutron induced fission of ²³⁵U

Odd



$(\vec{\sigma}_n \vec{k}_f)$

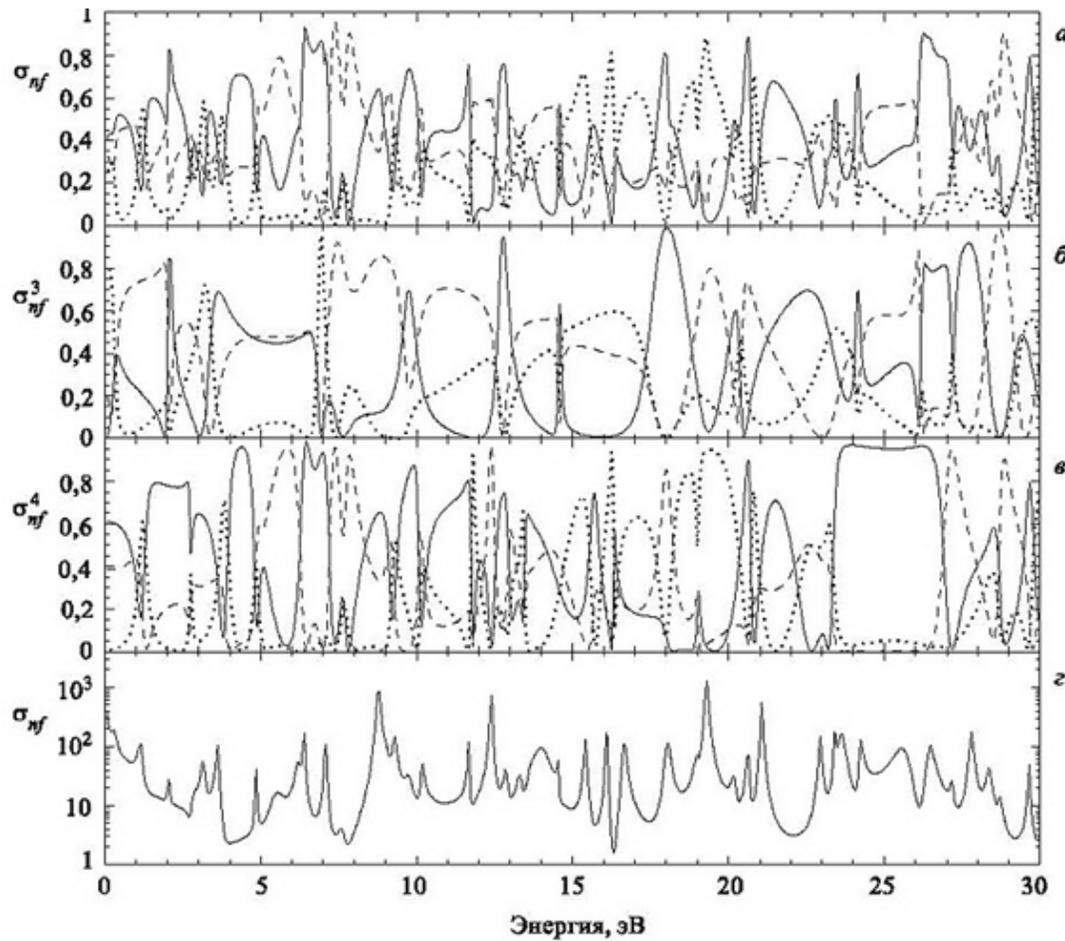
Parity violating interference effect of fission fragment emission in neutron induced fission of ²³⁵U



V. P. Alfimenkov, A. M. Gagarskii, S. P. Golosovskaya, I. S. Guseva, I. S. Krasnoshchekova, L. Lason', Yu. D. Mareev, V. V. Novitskii, G. A. Petrov, V. I. Petrova, A. K. Petukhov, L. B. Pikel'ner, Yu. S. Pleve, V. E. Sokolov, M. I. Tsulaya, and A. N. Chernikov, "Investigations of spatial parity violation and interference effects in angular distributions of fission fragments in ²³⁵U fission induced by resonance neutrons", *Yad. Fiz.* . **63**, 598 (2000) [*Phys. At. Nucl.* **63**, 539 (2000)].

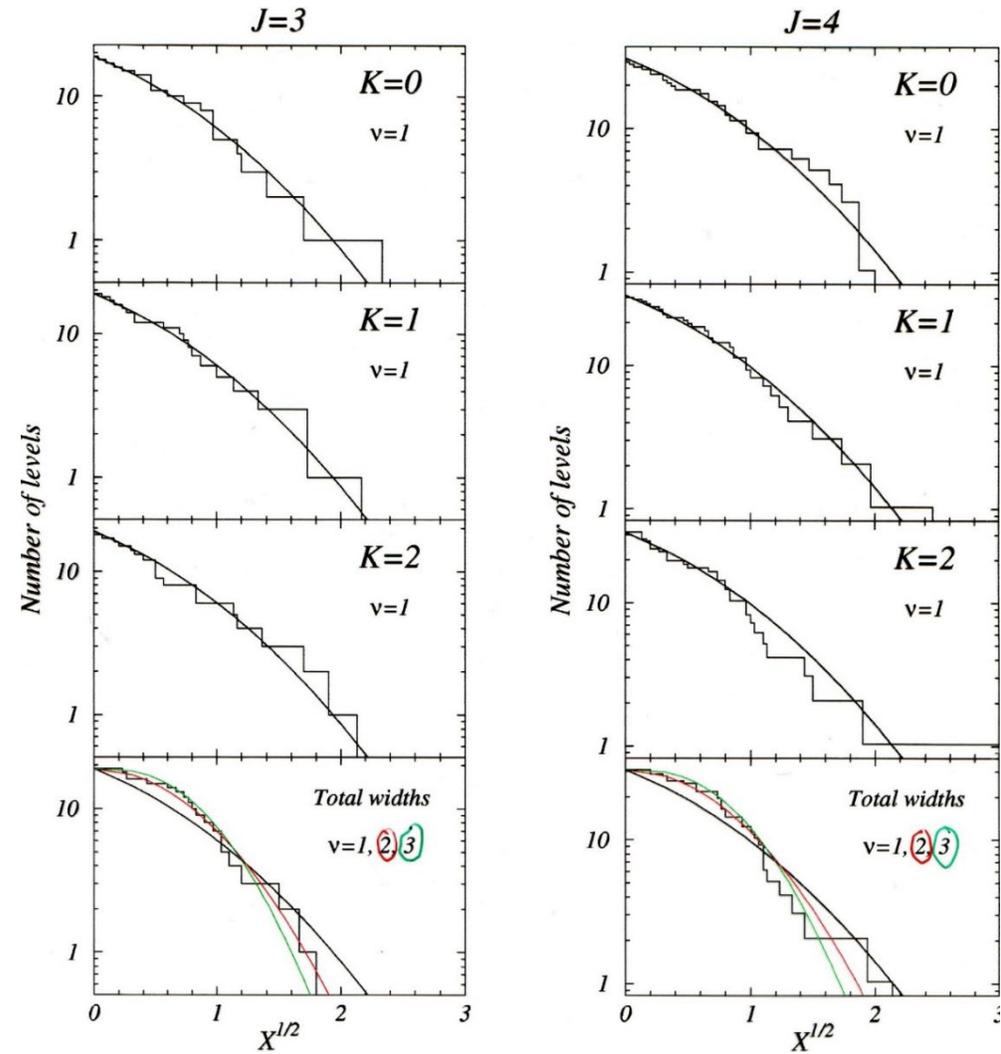
Barabanov A., Furman W., Popov A. // *Astrophysics, Symmetries and Applied Physics at Spallation neutron Sources*, World Scientific, 2002, P. 185

P-четные и *P*-нечетные угловые корреляции продуктов ядерного деления



Веса *K*-компонент в полном и спин-разделенных сечениях деления: *K*=0 – точечная кривая, *K*=1 – сплошная, *K*=2 – штриховая. На графике г показано полное сечение деления в барнах.

1.Копач Ю.Н., Попов А.Б., Фурман В.И., Алфименков В.П., Ласонь Л., Пикельнер Л.Б., Гонин Н.Н., Козловский Л.К., Тамбовцев Д.И., Гагарский А.М., Петров Г.А., Соколов В.Е. Деление тяжелых ядер резонансными нейтронами. //ЭЧАЯ, 2001, Т. 32, С. 204.



$$\langle \Gamma_f^{JPK} \rangle / \langle \Gamma_f \rangle \approx 1/3$$

P-четные и P-нечетные угловые корреляции продуктов ядерного деления

Экспериментальное наблюдение P-четных и P-нечетных угловых корреляций осколков феноменологически подтверждает, что процесс деления с хорошей точностью носит адиабатический характер, то есть, что внутренняя волновая функция делящегося ядра, несущая только квантовое число K , определена в каждой точке траектории движения в пространстве деформаций. При этом коллективная часть волновой функции переходного состояния $\Psi_f^{J\pi KM}(\Omega_f, \{\chi\}, \{\beta\})$ описывает ориентацию спина и оси деформации делящегося ядра.

$$\Psi_f^{J\pi KM}(\omega, \beta, \tau) = i^{\frac{1-\pi}{2}} \sqrt{\frac{2J+1}{8\pi}} (D_{MK}^J(\omega)\Phi_K(\beta_f, \tau) + \pi(-1)^{J+K} D_{M-K}^J(\omega)\Phi_{-K}(\beta_f, \tau))$$

Она является носителем оболочечной структуры делящегося ядра, определяющей дискретное «меню» предразрывных конфигураций (мод деления), а также основные характеристики соответствующих барьеров деления.

$$\Phi_K(\beta_f, \tau) = \sum_m \alpha_m^K(\beta_f)\Phi_m^K(\beta_f, \tau)$$

$$\frac{d\sigma^{c_f}}{d\Omega_f} = \pi\hat{\lambda}^2 \sum_{JJ} (g_J g_J)^{1/2} \sum_{l'lj} \sum_Q \Phi_{l'ljJJ}^Q(\mathbf{n}_f, \mathbf{n}_k, \mathbf{n}_l, \mathbf{n}_s) B_Q^{c_f}(l'j'lj; JJ), \quad (19)$$

где l и j орбитальный момент и полный спин входного нейтронного канала.

Кинематический фактор Φ^Q зависит только от относительной ориентации единичных векторов $\mathbf{n}_k, \mathbf{n}_s, \mathbf{n}_l$ и \mathbf{n}_f , определяемой условиями эксперимента

Однако дифференциальное сечение (19) является практически ненаблюдаемым. В эксперименте имеет место суммирование по каналам c_f

Сохранение при таком суммировании интерференционных членов в дифференциальном сечении, определяющих наблюдаемые угловые корреляции продуктов деления, связано со структурой и свойствами симметрии волновой функции переходного состояния, которая имеет вид обобщенной функции коллективной модели ядра $\Psi_f^{J\pi KM}(\Omega_f, \{\chi\}, \{\beta\})$ с квантовыми числами $J\pi KM$ и параметрами, фиксирующими положение $\{\beta\}$ делящейся системы в конфигурационном пространстве деформаций. Эта функция описывает возможные «траектории движения» делящегося ядра в таком пространстве вплоть до разрыва на осколки. Она является носителем оболочечной структуры делящегося ядра, определяющей дискретное «меню» предразрывных конфигураций (мод деления), а также основные характеристики соответствующих барьеров деления.

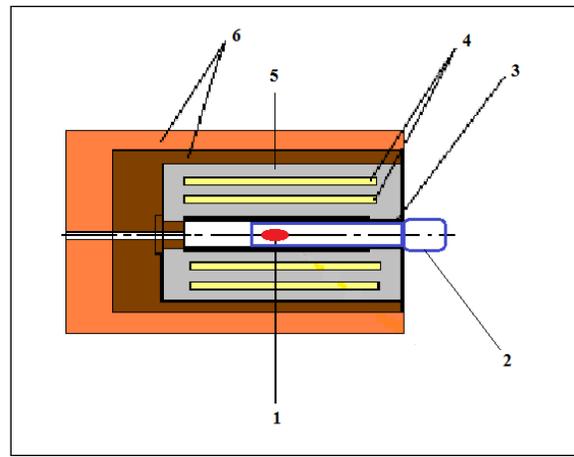
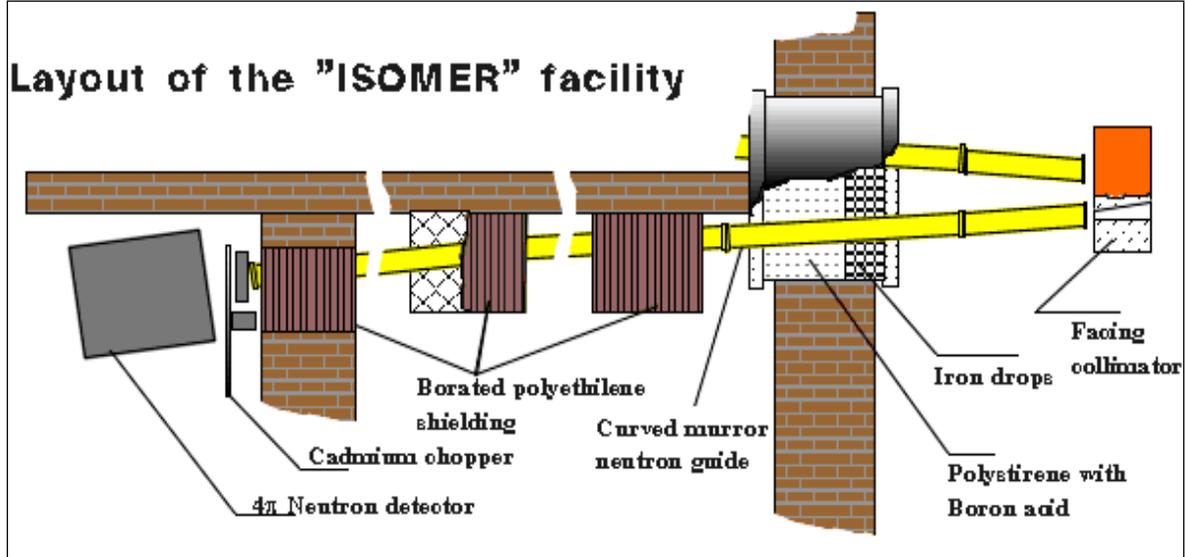
Амплитуда функции $\Psi_f^{J\pi KM}(\Omega_f, \{\chi\}, \{\beta\})$ при $\{\beta\} = \{\beta\}_{\text{ground}}$, соответствующей деформации компаунд-ядра после захвата нейтрона, определяется весом $a_\lambda^{J\pi K}$ компоненты с данным K в волновой функции

$$X_\lambda^{J\pi M}(\{\chi\}) = \sum_K a_\lambda^{J\pi K} \Phi_\lambda^{J\pi KM}(\{\chi\}) \quad (20)$$

нейтронного резонанса λ .

суммирование в формуле (19) по всем необходимым по условиям эксперимента каналам c_f . В результате «наблюдаемое» дифференциальное сечение сохраняет прежнюю структуру только фактор $B_Q^{c_f}$ выражается теперь через элементы приведенной многоуровневой S -матрицы $S_j(l, j \rightarrow K\pi f)$, определенной для эффективного канала $J\pi K$. Приведенная S -матрица включает делительные амплитуды нейтронных резонансов, просуммированные по состояниям осколков $\gamma_{\lambda f}^{J\pi K}$, которые пропорциональны величинам $a_\lambda^{J\pi K}$, что, как отмечено выше, обеспечивает сильную флюктуацию парциальных делительных ширин.

Измерения запаздывающих нейтронов деления на реакторе ИБР-2



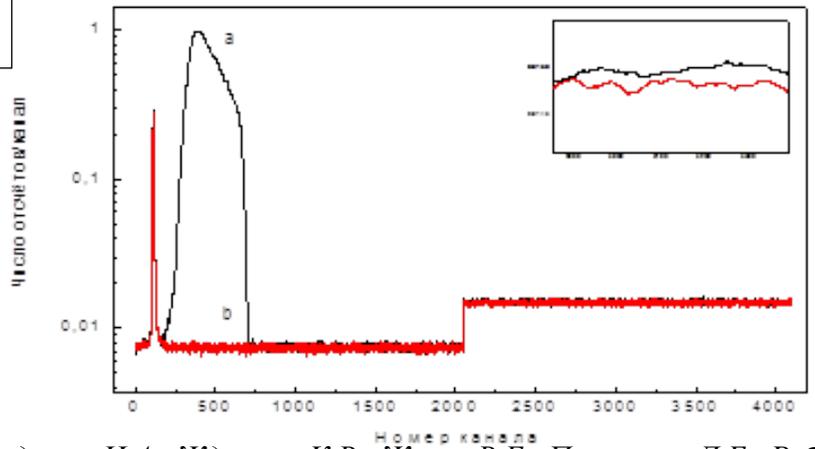
$$v_d = v_p \frac{\epsilon_p N_d}{\epsilon_d N_p}$$

237Np

$$v_d = 0.0110 \pm 0.0009$$

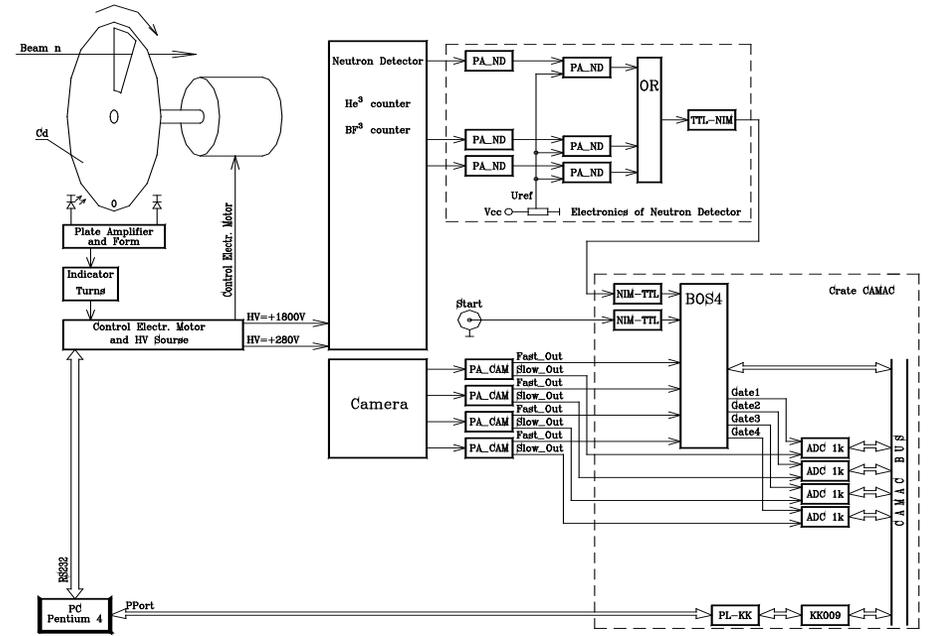
245Cm

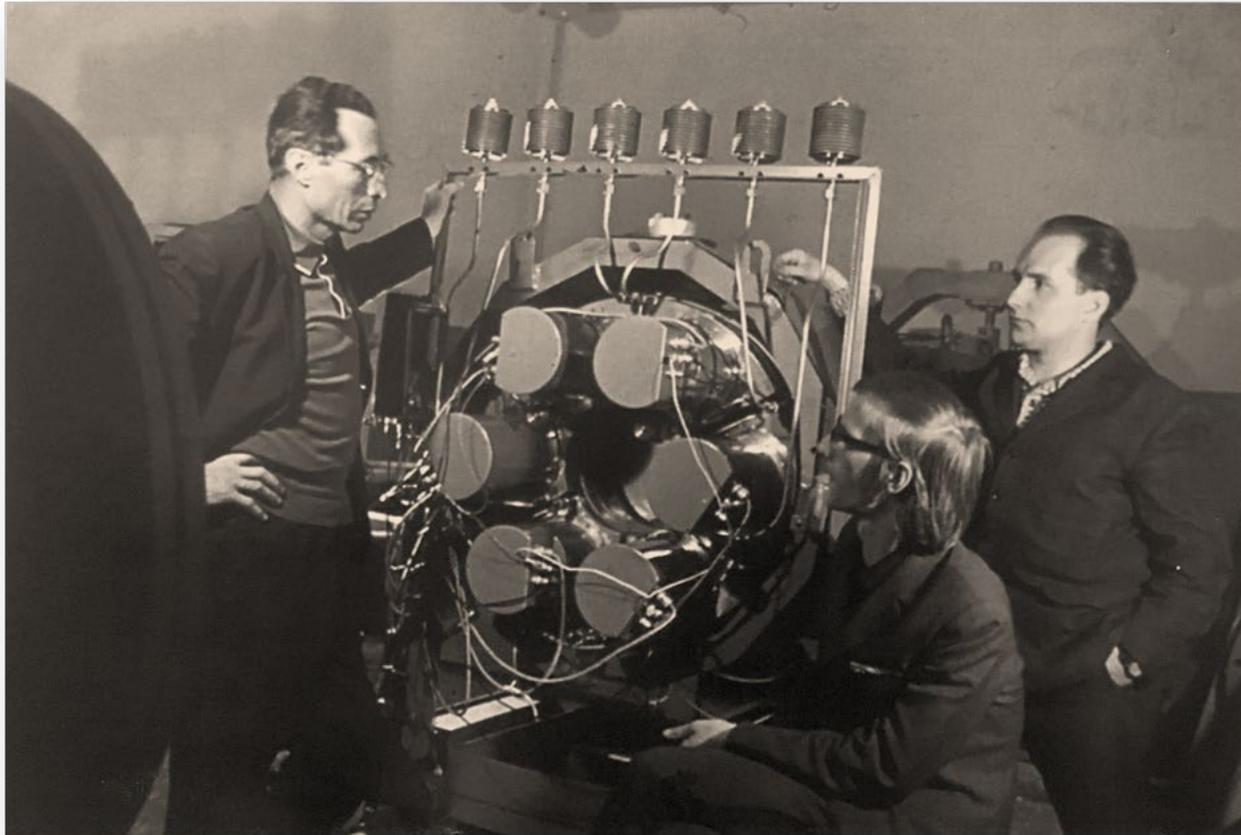
$$v_d = 0.0064 \pm 0.0002$$



Гундорин Н.А., Жданова К.В., Жучко В.Е., Пикельнер Л.Б., Реброва Н.В., Саламатин И.М., Смирнов В.И., Фурман В.И. Измерение выхода запаздывающих нейтронов при делении ²³⁷Np тепловыми нейтронами // Ядерная физика, 2007, Т.70, В. 6, С. 1011-1018.

Андреанов В.Р., ...Н.А. Гундорин, ...К.В. Жданова, ... Л.Б. Пикельнер, Н.В. Реброва и др., Измерение выхода ЗН при делении ²⁴⁵Cm тепловыми нейтронами, Сообщение ОИЯИ 33-2007-123





Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

Physics Procedia 64 (2015) 163 – 170

Physics

Procedia

Scientific Workshop on Nuclear Fission dynamics and the Emission of Prompt Neutrons and Gamma Rays, THEORY-3

TANGRA-Setup for the Investigation of Nuclear Fission induced by 14.1 MeV neutrons

I.N. Ruskov^{a,b*}, Yu.N. Kopatch^a, V.M. Bystritsky^a, V.R. Skoy^a, V.N. Shvetsov^a, F.-J. Hamsch^c, S. Oberstedt^c, R. Capote Noy^d, P.V. Sedyshev^a, D.N. Grozdanov^{a,b}, I.Zh. Ivanov^b, V.Yu. Aleksakhin^a, E.P. Bogolubov^f, Yu.N. Barmakov^f, S.V. Khabarov^a, A.V. Krasnoperov^a, A.R. Krylov^a, J. Obhođas^e, L.B. Pikelner^a, V.L. Rapatskiy^a, A.V. Rogachev^a, Yu.N. Rogov^a, V.I. Ryzhkov^f, A.B. Sadovsky^a, R.A. Salmin^a, M.G. Sapozhnikov^a, V.M. Slepnev^a, D. Sudac^c, O.G. Tarasov^a, V. Valkovič^c, D.I. Yurkov^f, N.I. Zamyatin^a, Sh.S. Zeynalov^a, A.O. Zontikov^a, E.V. Zubarev^a

^aJoint Institute for Nuclear Research (JINR), Joliot Curie 6, 141980 Dubna, Moscow region, Russian Federation

^bBulgarian Academy of Sciences (BAS), Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy (INRNE), Tsarigradsko chaussee Blvd. 72, 1784 Sofia, Bulgaria

^cEuropean Commission (EC), Joint Research Centre (JRC), Institute for Reference Materials and Measurements (IRMM), Retieseweg 111, 2440 Geel, Belgium

^dInternational Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna International Centre, P.O. Box 100, A-1400 Vienna, Austria

^eLaboratory for Nuclear Analytical Methods (LNAM), Ruđer Bošković Institute (RBI), Bijenička cesta 54, P.O. Box 180, 10002 Zagreb, Croatia

^fDukhov All-Russia Research Institute of Automation (VNIIA), P.O. Box 918, 101000 Moscow, Russian Federation

Abstract

The new experimental setup TANGRA (Tagged Neutrons & Gamma Rays), for the investigation of neutron induced nuclear reactions, e.g. (n,xn'), (n,xn') γ , (n, γ), (n,f), on a number of important isotopes for nuclear science and engineering (^{235,238}U, ²³⁷Np, ²³⁹Pu, ^{244,245,248}Cm) is under construction and being tested at the Frank Laboratory of Neutron Physics (FLNP) of the Joint Institute for Nuclear Research (JINR) in Dubna.

* Corresponding author. Tel.: +7-496-216-2785; fax: +7-496-216-5085.
E-mail address: ruskoiv@nf.jinr.ru.

Home > Nuclear Data for Science and Technology > Conference paper

Fission Gamma-Ray Multiplicity Measurements in ²³³U, ²³⁵U, ²³⁷Np and ²³⁹Pu Low Energy Fission Resonances

Conference paper

pp 147–149 | [Cite this conference paper](#)

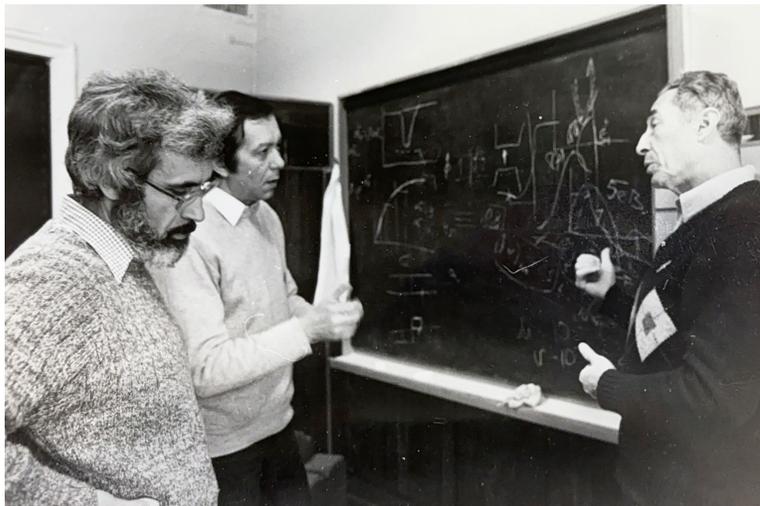


1992

Nuclear Data for Science and Technology

2015

Как работал Лев Борисович со своими сотрудниками по ОЯФ

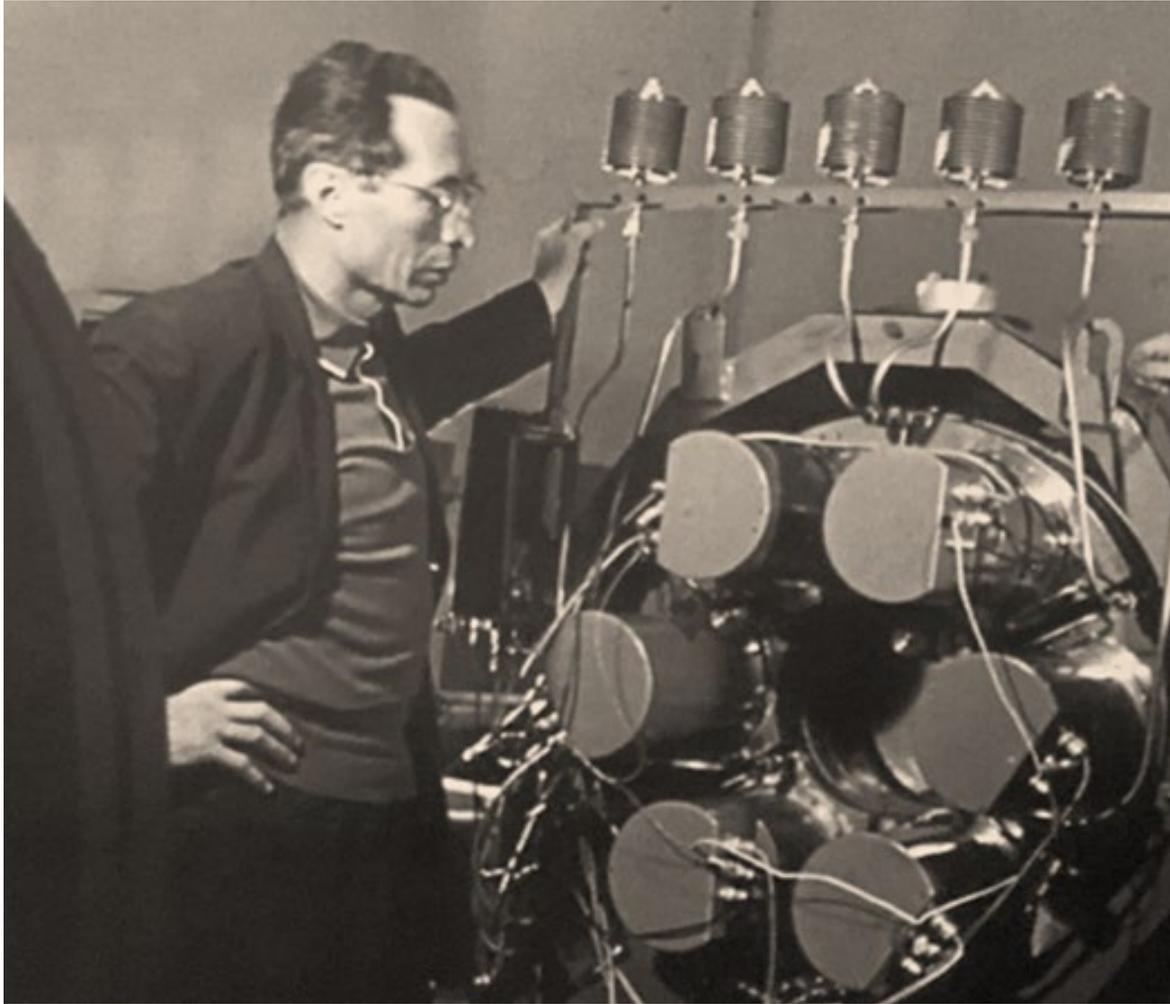




Семинар Льву Борисовичу Пикельнеру- 100, 21.11.2024



Семинар Льву Борисовичу Пикельнеру - 100, 21.11.2024



Крепкий тыл – на всю жизнь!

*Thanks for
your
attention*

