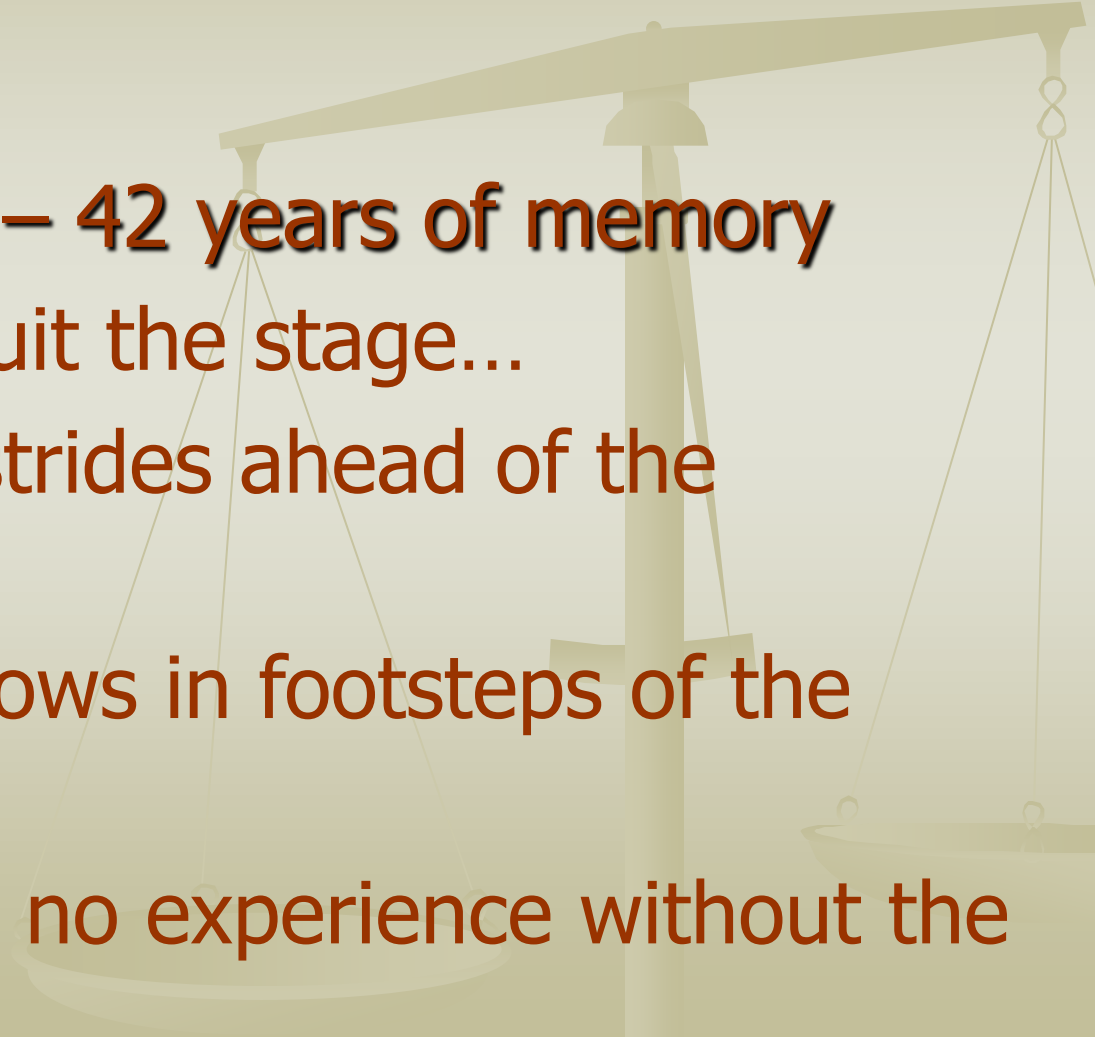


Fyedor Shapiro & Pulsed Neutron Sources in Dubna

6 April 2015 – 42 years of memory

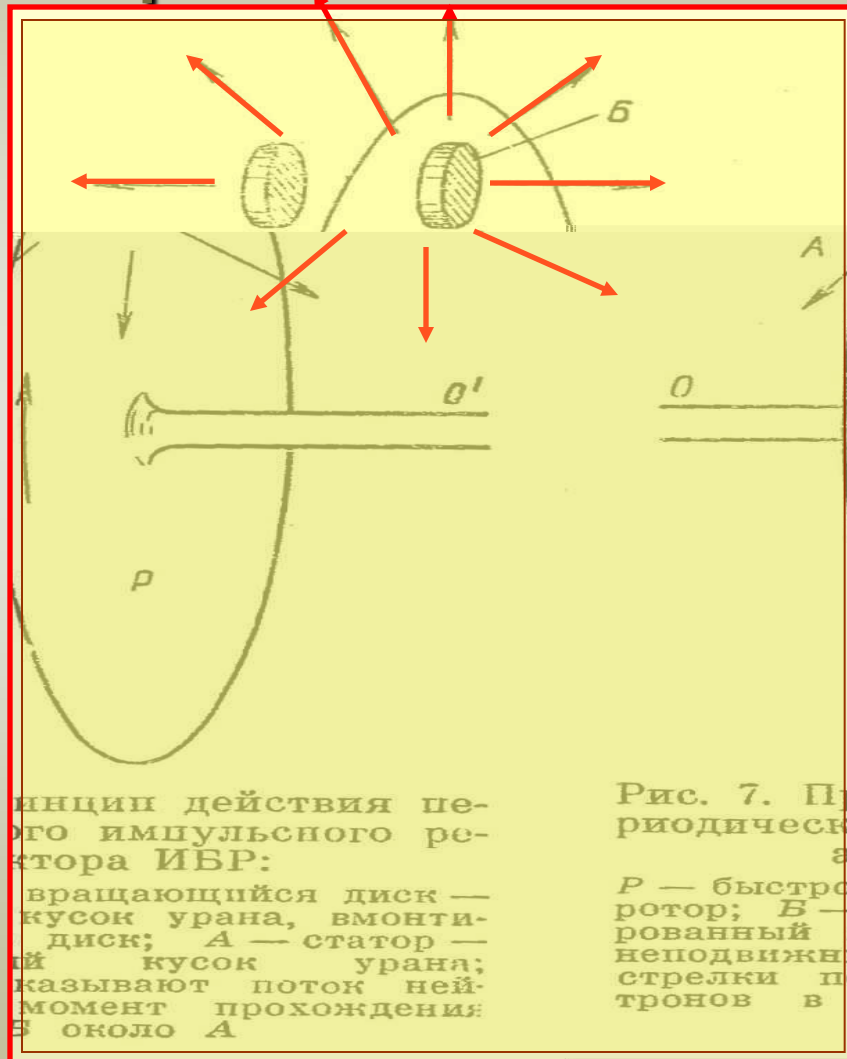
- Past does not quit the stage...
 - Futhermore, it strides ahead of the present...
 - The present follows in footsteps of the Past...
 - No knowledges, no experience without the Past...
- 

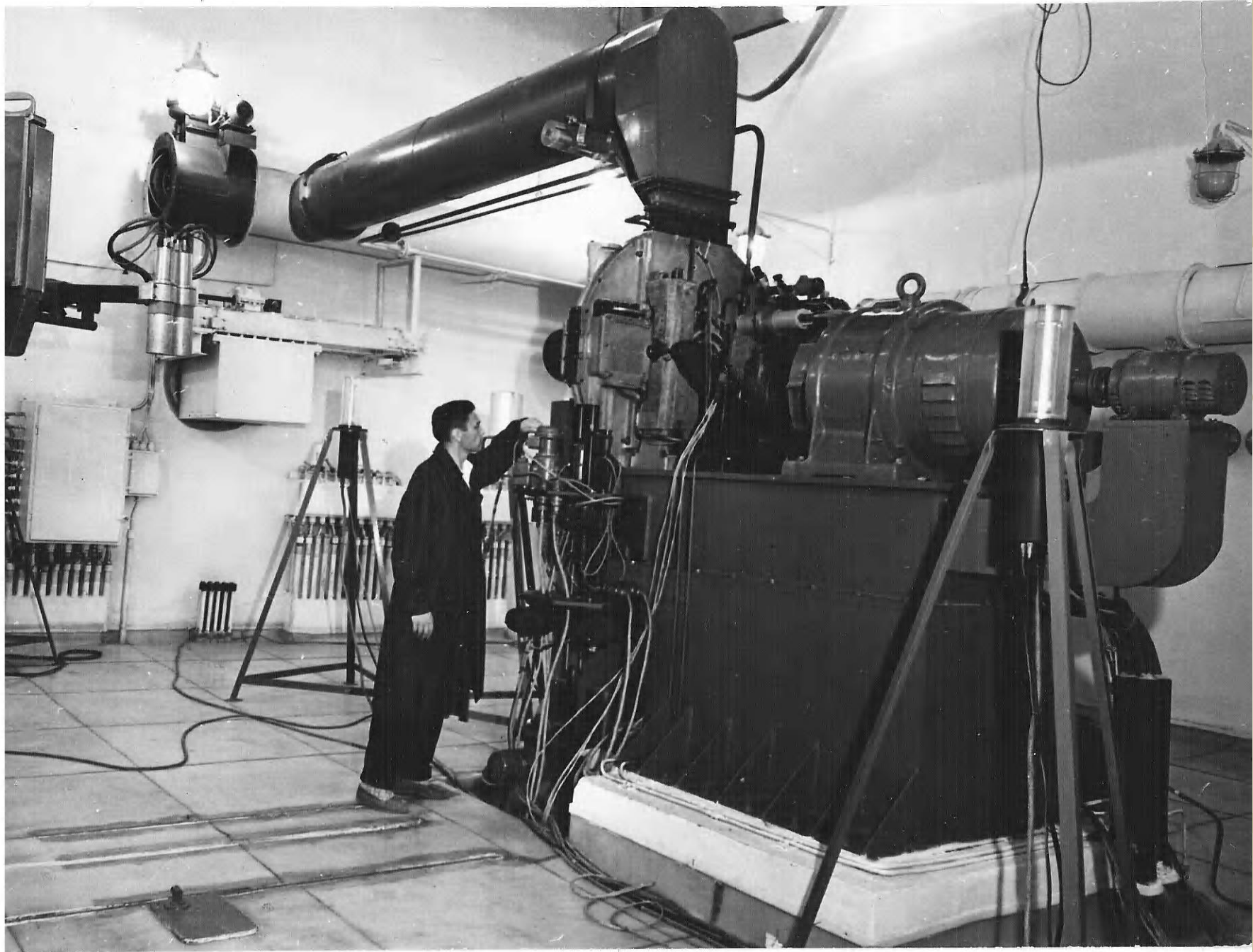
From the IBR history



- История началась в Обнинске в 1955 г., на семинаре, где Д.И.Блохинцев изложил свою идею пульсирующего реактора.
- Dmitry Blokhintsev had proposed the pulsed reactor idea

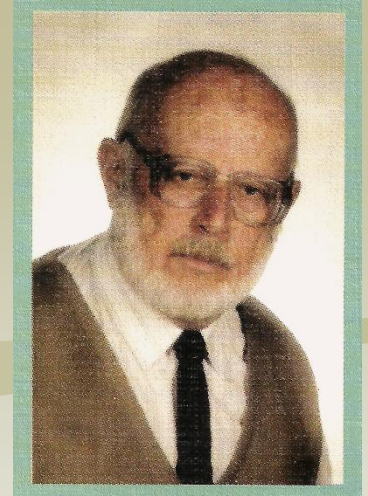
The Blokhintsev's idea of the pulsed reactor







Comprehensive theory of IBR was developed by



Igor Bondarenko (1926–1964)

Yury Stavisky (1927-2010)

Полная теория ИБРа была впервые создана в 1956 году И.И. Бондаренко (1926–1964) и Ю.Я. Стависским (1927-2010)

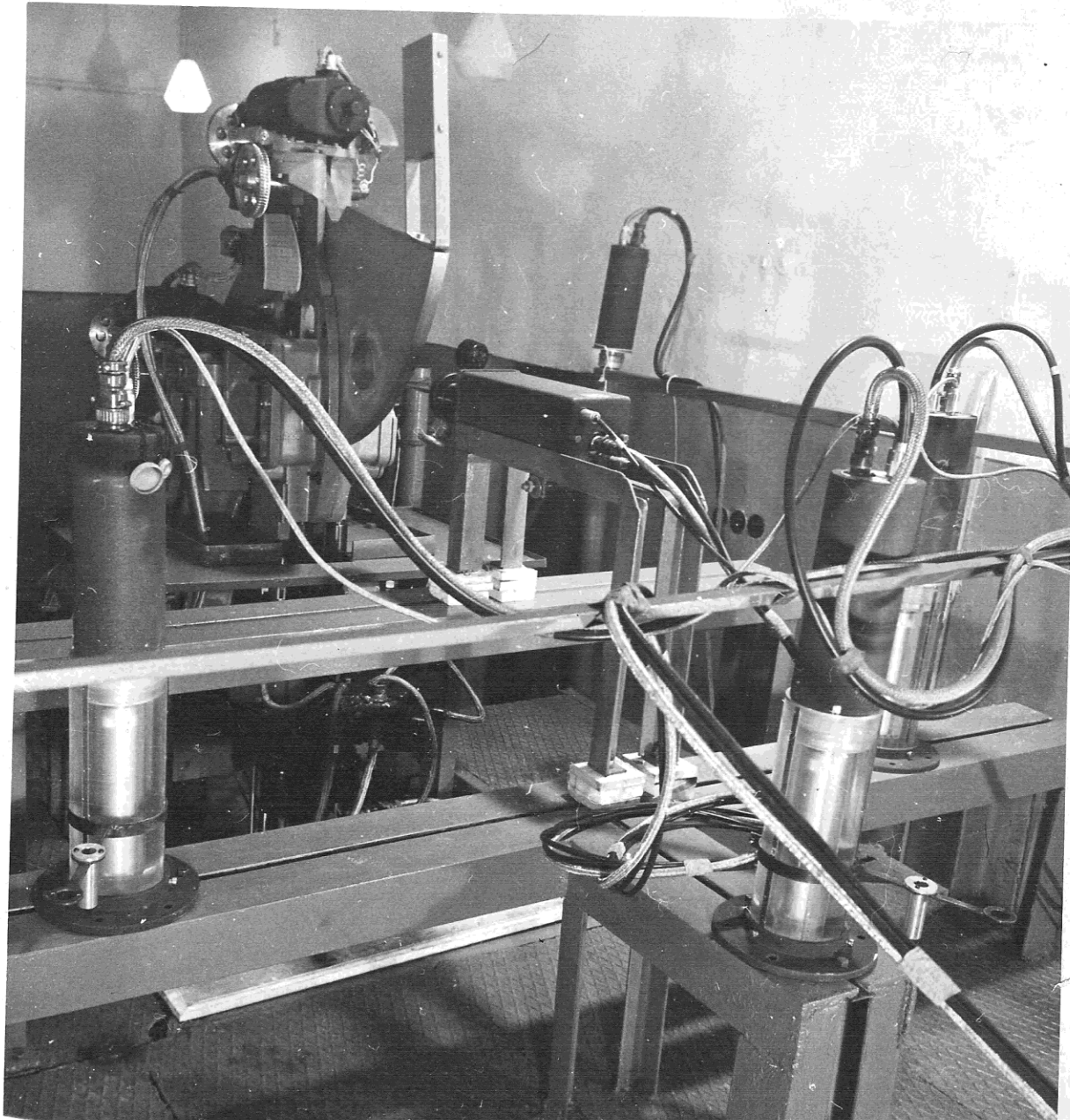
Другие теории (D.Judd, 1945 . Зубарев, 1956) использовали не совсем адекватные приближения.

1959-1960

- **F.L. Shapiro**, being a scientific leader of LNPh, attentively followed the course of the start-up of the reactor. In the meantime, he was maturing plans of how to use this “baby-toy of Blokhintsev” for scientific research more properly.

July 1959



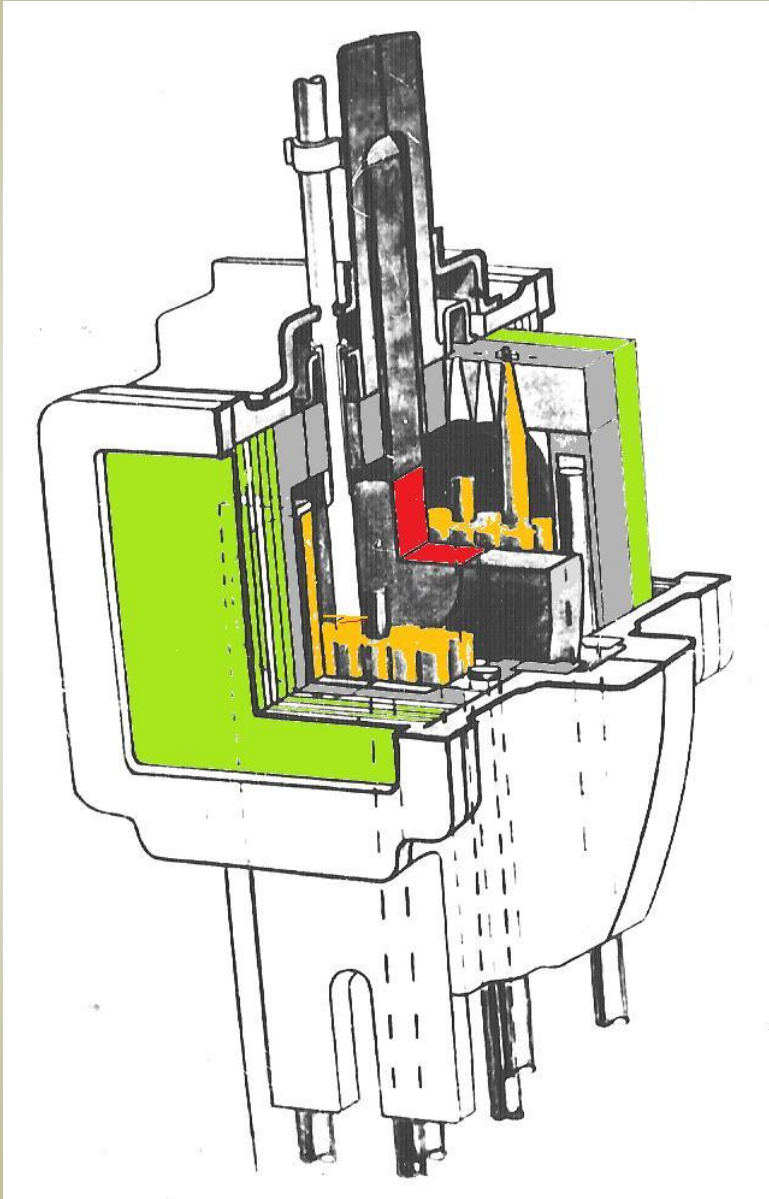


Subcritical
assembly
of the
IBR, 1959

July 1959 , Dubna



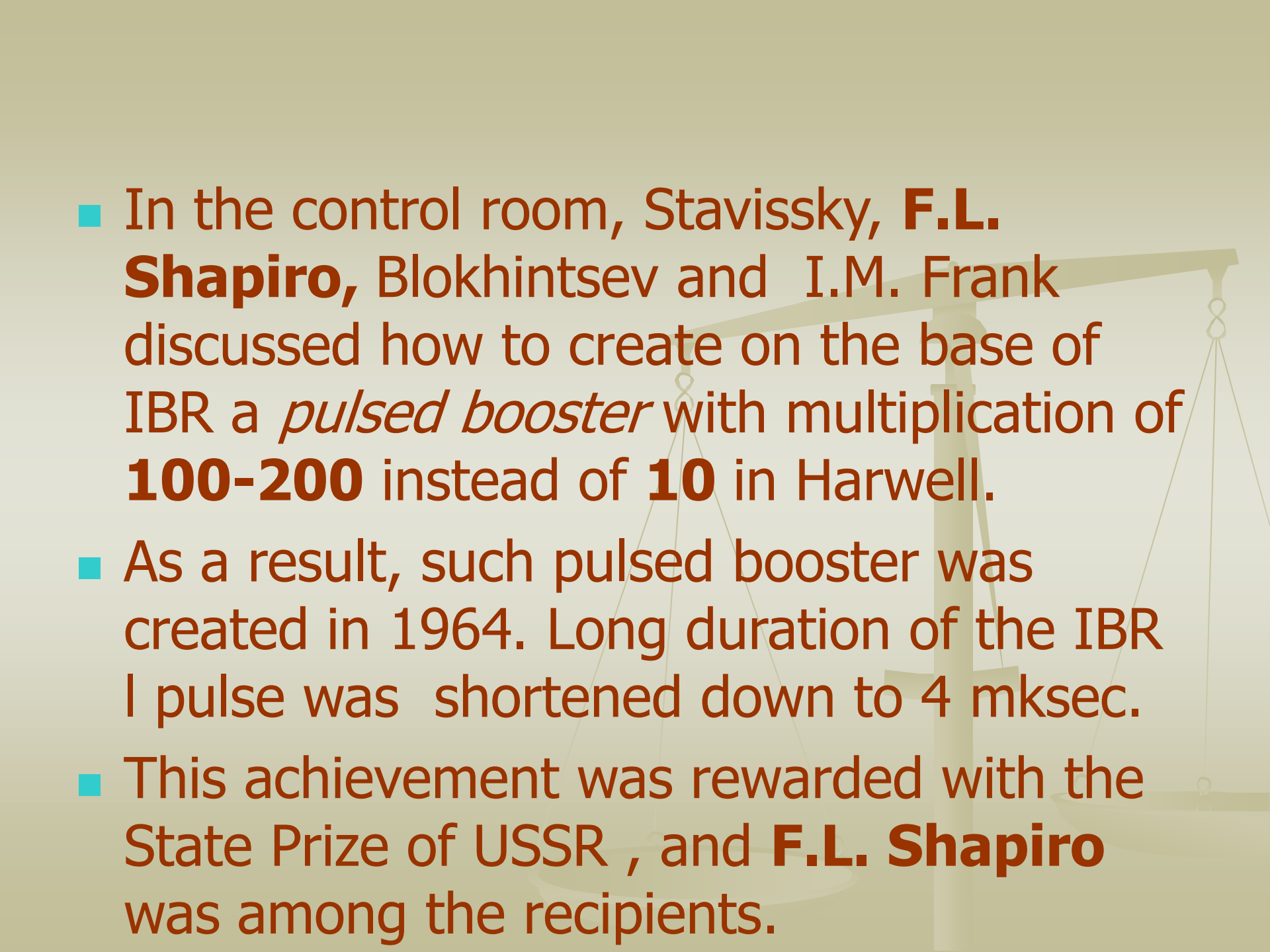
Fiedor Shapiro ?



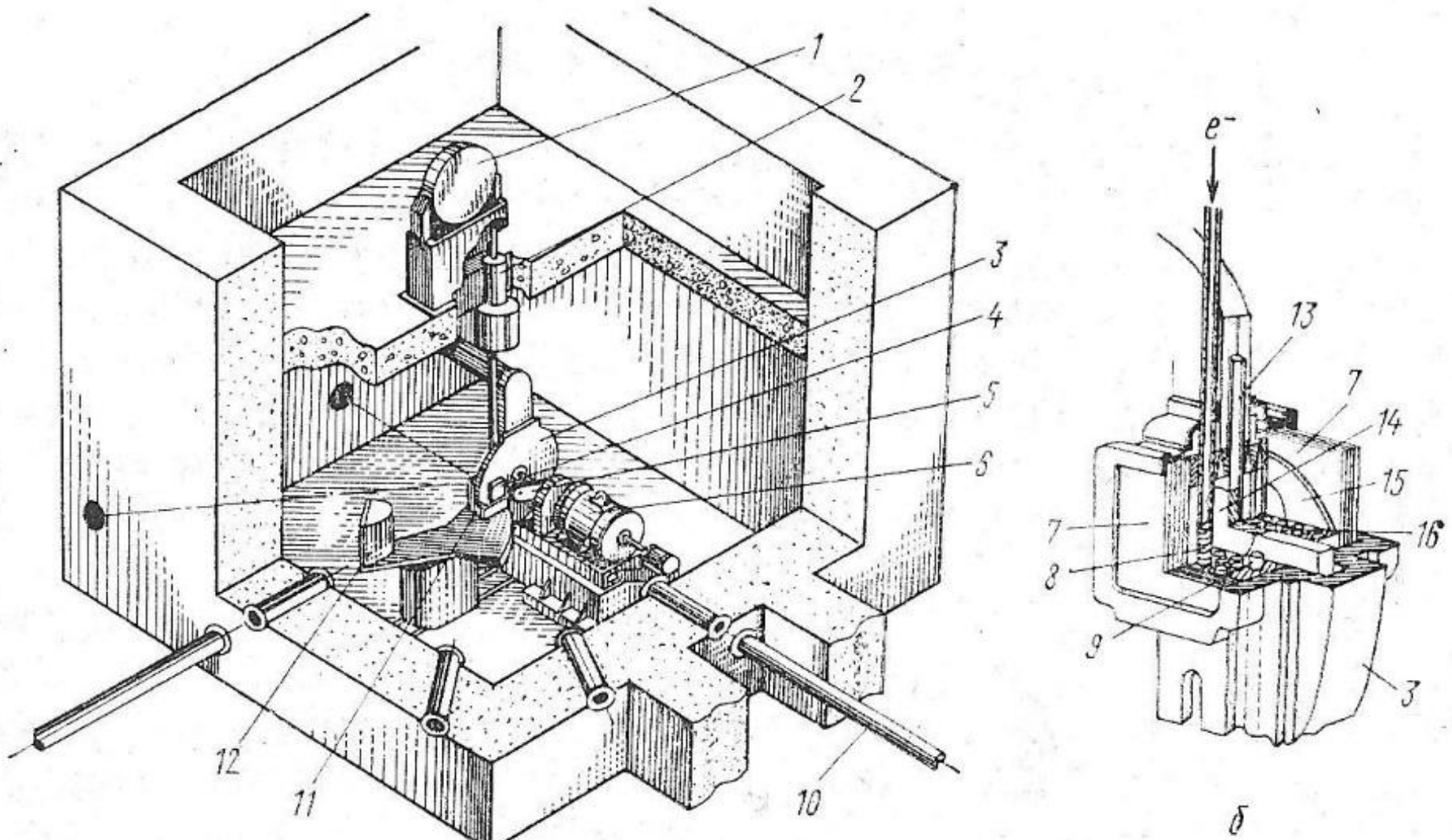
- Sofia Shapiro in her memories writes:
“**F.L.** brought from Geneva Conf. 1955 the idea of pulsed reactor”. I think, memory lets her down: probably, **F.L. Shapiro got information about pulsed neutron source in Harwell, England.** In there, bunch of fast electrons from linear accelerator kicked neutron producing target installed inside subcritical assembly.

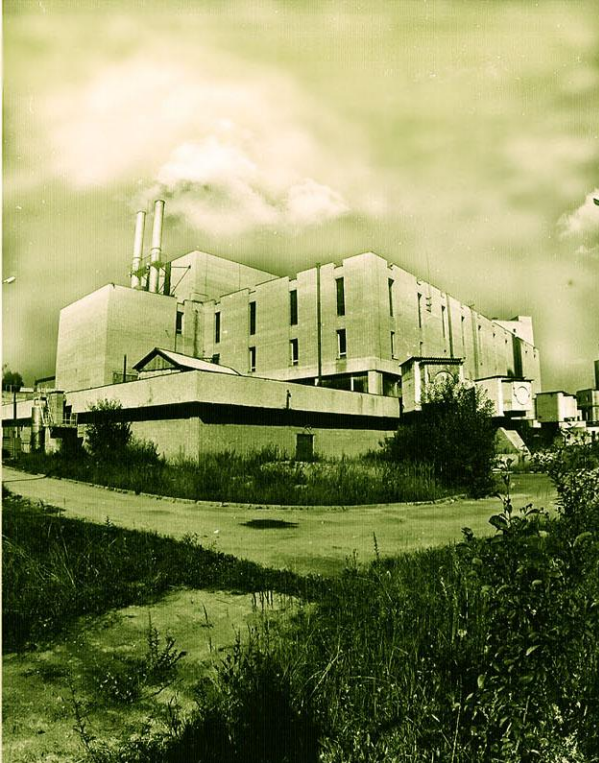
Control room of the IBR in 1960



- 
- In the control room, Stavissky, **F.L. Shapiro**, Blokhintsev and I.M. Frank discussed how to create on the base of IBR a *pulsed booster* with multiplication of **100-200** instead of **10** in Harwell.
 - As a result, such pulsed booster was created in 1964. Long duration of the IBR I pulse was shortened down to 4 mksec.
 - This achievement was rewarded with the State Prize of USSR , and **F.L. Shapiro** was among the recipients.

Sketch of the pulsed booster in LNPh, 1964





.....
Но мудрым гением Шапиро
Был виден дальний горизонт,
Где мегаваттный мастодонт
В его мечтах вставал над миром.
Так наши судьбы дерзкий взгляд
Решил 15 лет назад.

We started it ourself!

- **It was 1964** when the work to formulate basic principles for powerful pulsed reactor for condensed matter researches began. And **F.L. Shapiro** was an initiator of the work.
- Nevertheless, opinion exists that the beginning of the project of IBR-2 was ignited with SORA project which were firstly announced by Prof. Kley **in May 1965**. I'll try to prove fallacy of this opinion.

$$\theta = 1,6 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{r}{L}\right)^{1/3}$$

$$\theta_{10} = 1,6 \cdot 10^{-3} \cdot 4,05 \cdot 10^{-2} = 65 \text{ мксек.}$$

$$\theta_{11,5} = 6,9 \cdot 10^{-2} \cdot 1,6 \cdot 10^{-3} = 110 \text{ мксек.}$$

$$\bar{N}_{th, 4} = 6 \cdot 10^{13}, \quad \bar{N}_{th, 11,5} = 2,3 \cdot 10^{14}$$

$$\bar{N}_{th, \text{ср}} = 9 \cdot 10^{13}$$

V (cm)	R a.s. (cm)	W мксек	\bar{N}_{th}	θ	\bar{N} / θ^2
2	8	0,6	$2 \cdot 10^{13}$	~50	~0,8
4 _а	10	1,8	$6 \cdot 10^{13}$	65	1,43
5,5	11	2,7	$9 \cdot 10^{13}$	75	1,6
132 _а	12	14,0 мксек	$1,3 \cdot 10^{14}$	85	
11,5	14	7	$2,5 \cdot 10^{14}$	110	2,0
32 _а	20	19	$6,8 \cdot 10^{14}$	~220	1,4

(12-19)

R_{разр.} →

$$N_{max} = 150 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 9 \cdot 10^{13} = 1,35 \cdot 10^{16}$$

$$150 \cdot 10^{-5}$$

MWP { Полярис R = 12 см

θ	W	$N_s / \theta^{(1-P_s)}$	$N_s / \theta^2 (1-P_s)$
50	0,6	1,14	2,28
60	1,8	2,8	4,7
65	2,7	3,9	6,0
100	7	6,3	6,3
200	19	4,7	2,4

W_{разр.}

Nepian	$\frac{Nepi}{\theta^2}$	W _{разр.}	$\frac{Nepi}{\theta}$ (max)	$N_{th, max}$
143	5,7	4%	2,9	4
314	7,4	5%	4,8	9,3
390	7,0	6%	5,2	12
600	5,0	7%	5,5	15
1330	2,75	10%	6,1	22
		>50%		31

10

<14

>10

<15

(by condition: мин. шаг)

$$6 \cdot 10^{16}$$

(8-12)

$$R_{разр.} = 12 \div 14 \text{ см.}$$

Factual evidences of that

optimization of a powerful pulsed reactor had been done in Dubna **regardless of SORA project:**

- 1. Results were presented at the Conf. on Research Reactors, Budapest, Nov. 1965 by E. Shabalin (were published later on in Kernenergie **V 9, #12 1966** with reference to the Budapest's Conference) .

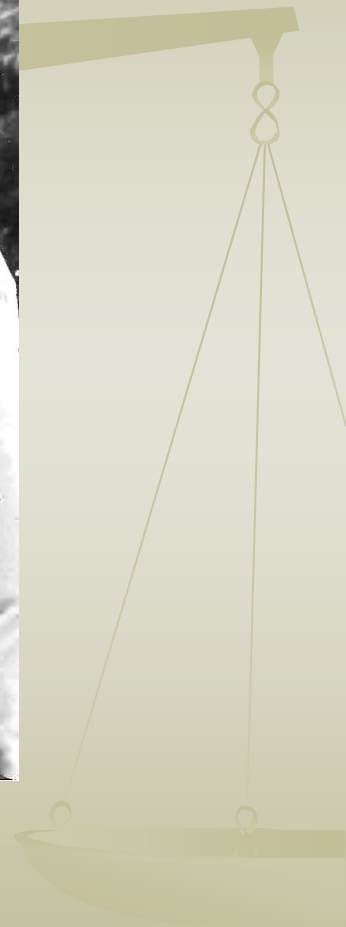
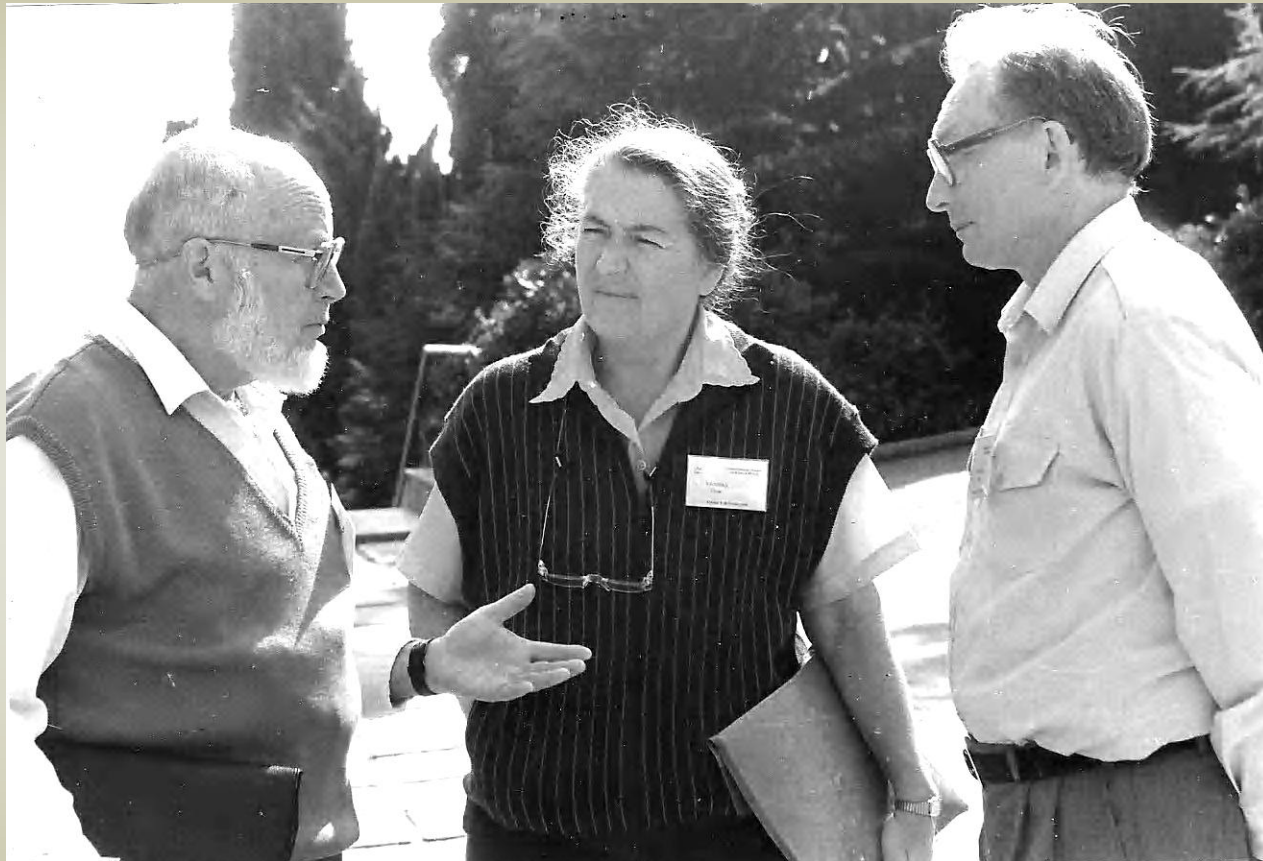
But the first talk on SORA project had taken place in May 1965 (Prof. Klein)

Современные источники для нейтронных исследований

	Grenoble	ISIS	ИБР-2М	SNS 2008-2010
Мощность тепловая МВт	60	0.18	2 1500	1.4 ÷ 2
Плотность потока холодных нейтронов н/с/см ² 10 ¹²	50	< 1.2	0.7	~ 2 ÷ 4
Поток холодных нейтронов на один импульс , 10 ¹² (со всей поверхности замедлителя)	-	< 7.2	35	~ 10 ÷ 15

Вручение медали им. Франка
Джеку Карпентеру (второй справа) и Юрию
Стависскому (первый справа)







*С Сергеем Поликановым на первомайской
демонстрации. Москва, 1948*



■ 1991, PANS-I, Дубна

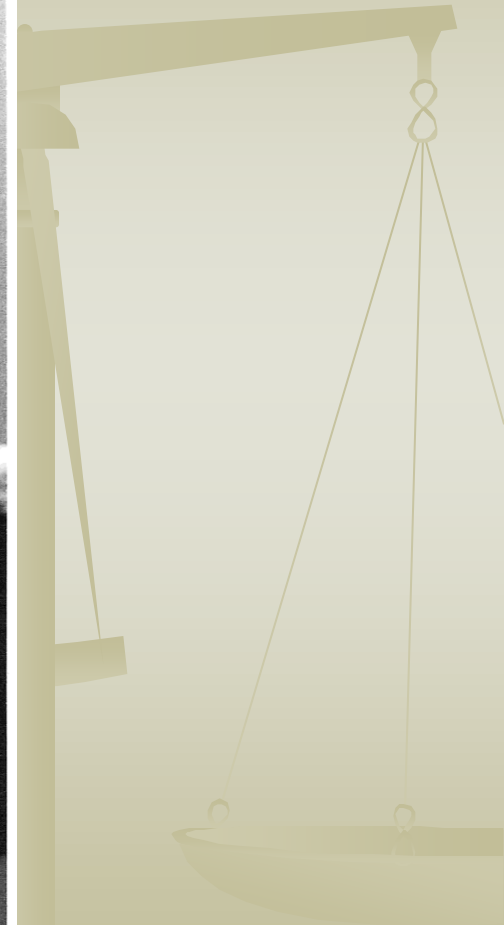
Д.Карпентер, Ю. Стависский, Р. Лонг, В. Аксенов



*Сорок лет пульсирующим реакторам.
На теплоходе по Волге.*

Команды ветеранов, 1974





СТАТЬЯ Б.М. ПОНТЕКОРВО

9 октября 1970 г. ● № 282 (19060)

На соискание Государственной премии

В ГЛУБИНЫ ВЕЩЕСТВА

В Объединенном институте ядерных исследований вот уже 10 лет работает единственный в мире импульсный, быстрый (т. е. работающий на быстрых нейтронах) реактор периодического действия — ИБР. С его помощью ученые социалистических стран успешно постигают закономерности строения вещества.

Трудно переоценить огромное значение, которое имеют в современной физике исследования взаимодействия нейтронов как с отдельными частицами, так и с веществом в твердом и жидком состояниях. Дело в том, что, не имея электрического заряда, нейтрон легко проникает в глубь вещества. Изучая поведение нейтронов, бомбардирующих мишень, можно получить ценные сведения о свойствах вещества мишени, а также о свойствах самого нейтрона. Если вспомнить, кроме того, что именно взаимодействие ядер с нейтронами лежит в ос-

новании спектроскопии. В реакторе ИБР часть делящегося вещества вмонтирована в быстро вращающийся стальной диск. Использование этого принципа получения импульсов позволило устранить недостатки, присущие реакторам «взрывного» действия. ИБР генерирует импульсы нейтронов продолжительностью по 40—60 микросекунд до 50 раз в секунду; в течение многих лет он способен работать без замены заряда ядерного топлива.

ИБР — удобный и надежный инструмент для исследований с помощью нейтронов. Это доказано десятком лет безаварийной и дешевой его эксплуатации и множеством экспериментов, выполненных в лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований. Среди самых существенных и важных можно упомянуть исследования, значительно расширившие наши знания: работы с поляризованными нейтронами относи-

вия — ИБР был создан как новый тип источника для нейтронных исследований по методу времени пролета. Мощные источники нейтронов и ранее создавались на базе ядерных реакторов. Однако большие трудности заключались в разработке эффективного способа модуляции нейтронного потока. Традиционная установка механических прерывателей на стационарных (непрерывных) реакторах, а также использование так называемых «взрывающихся» реакторов (в том числе и ядерных взрывов), практикуемые до сих пор, обладают существенными недостатками.

На стационарных реакторах в методике времени пролета полезный поток нейтронов составляет лишь десятые доли процента от всего потока вследствие применения вращающегося прерывателя. Благодаря импульсному характеру работы ИБР его мощность используется много эффективнее. Этот маленький по размеру и простой в обслуживании реактор с тепловой мощностью всего 20 киловатт эквивалентен (в исследованиях с медленными нейтронами методом времени пролета) реактору-гиганту стационарного действия мощностью в десятки мегаватт.

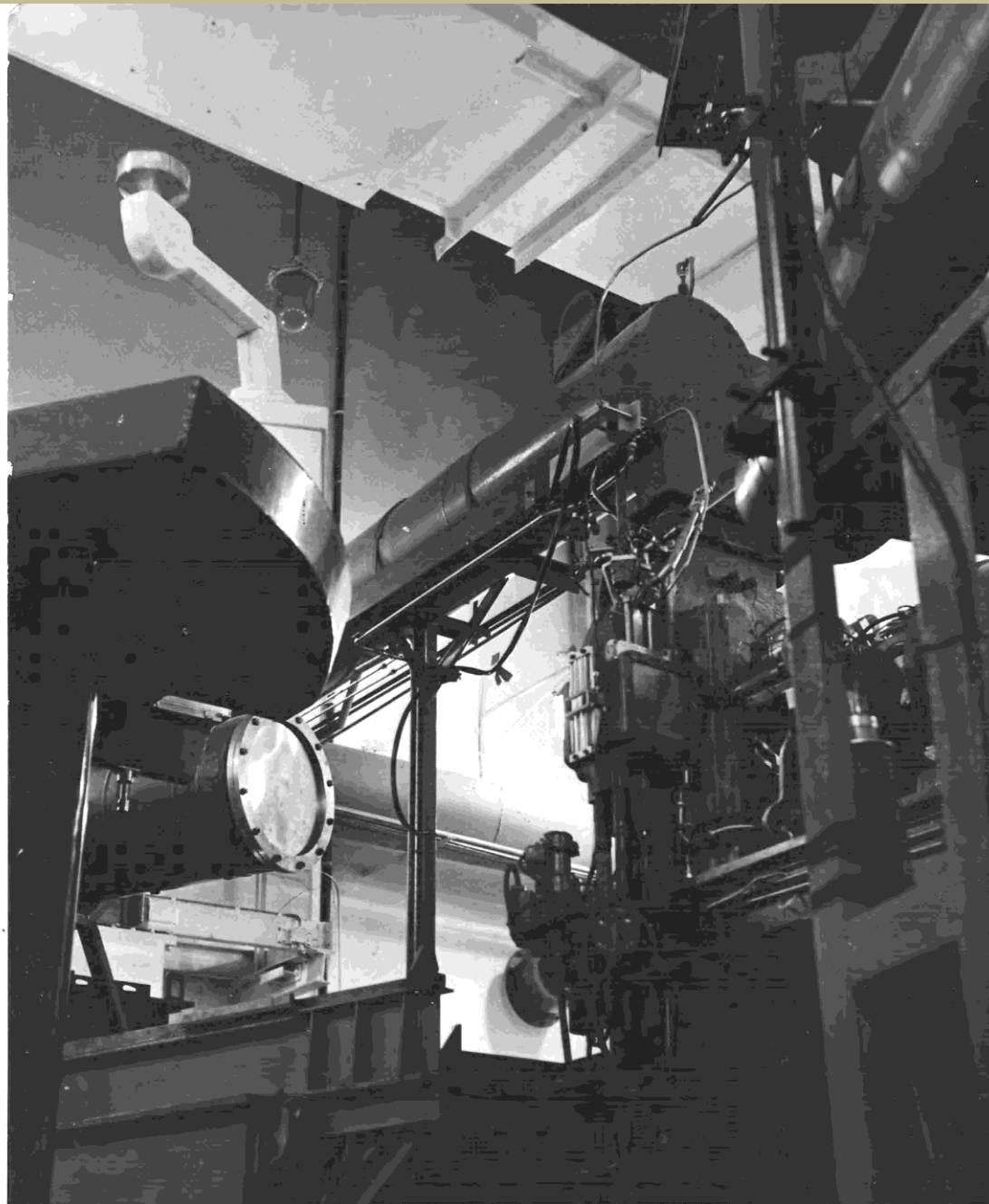
Американские импульсные реакторы, работающие на принципе теплового самогашения цепной реакции, генерируют импульсы нейтронов не чаще 2—3 раз в час. Эти «взрывающиеся» реакторы имеют небольшой срок службы из-за высоких механических нагрузок на конструкции во время вспышки и не годятся для целей нейтронной

работы в дуэне была осуществлена совместная работа двух ядерных установок — ИБР и электронного ускорителя (микротрона), специально созданного для этой цели. Синтез двух устройств позволил более чем в 10 раз сократить длительность нейтронной вспышки и тем самым увеличить точность измерения скоростей нейтрона.

Ввод в действие ИБР и системы «ИБР + микротрон», успешная демонстрация их возможностей в экспериментальной физике вызвали широкое обсуждение в научном мире перспектив применения импульсных реакторов (в том числе работающих совместно с ускорителем). Результатом дискуссии явилось появление у нас и за рубежом ряда проектов мощных импульсных реакторов на быстрых нейтронах периодического действия, следующих схеме ИБР и «ИБР + микротрон». Дело в том, что современные стационарные исследовательские реакторы уже приблизились к практическому «потолку» нейтронного потока, обусловленному быстрым выгоранием ядерного топлива и технологическими трудностями охлаждения. Будущие импульсные реакторы позволят преодолеть этот «потолок».

За создание принципа импульсного реактора периодического действия и его воплощение группа ученых и инженеров выдвинута на соискание Государственной премии СССР. Без сомнения, работа по созданию и усовершенствованию ИБР заслуживает самой высокой оценки.

Академик.
Б. ПОНТЕКОРВО.



Киноленты прошлых лет
(из архивов студии ЛНФ
сценарий мультфильма (в двух сериях)

Серия I

Боб капронов и куча нейтронов

Действующие лица:

Боб капронов - молодой специалист-физик, знающий
английский язык во сне.

Милиционер - не знающий языка, так как ему
спать некогда.

Константинов - Главный инженер Лаборатории
элементарной физики.

Квас Квасыч - серьезный человек с большими усами.

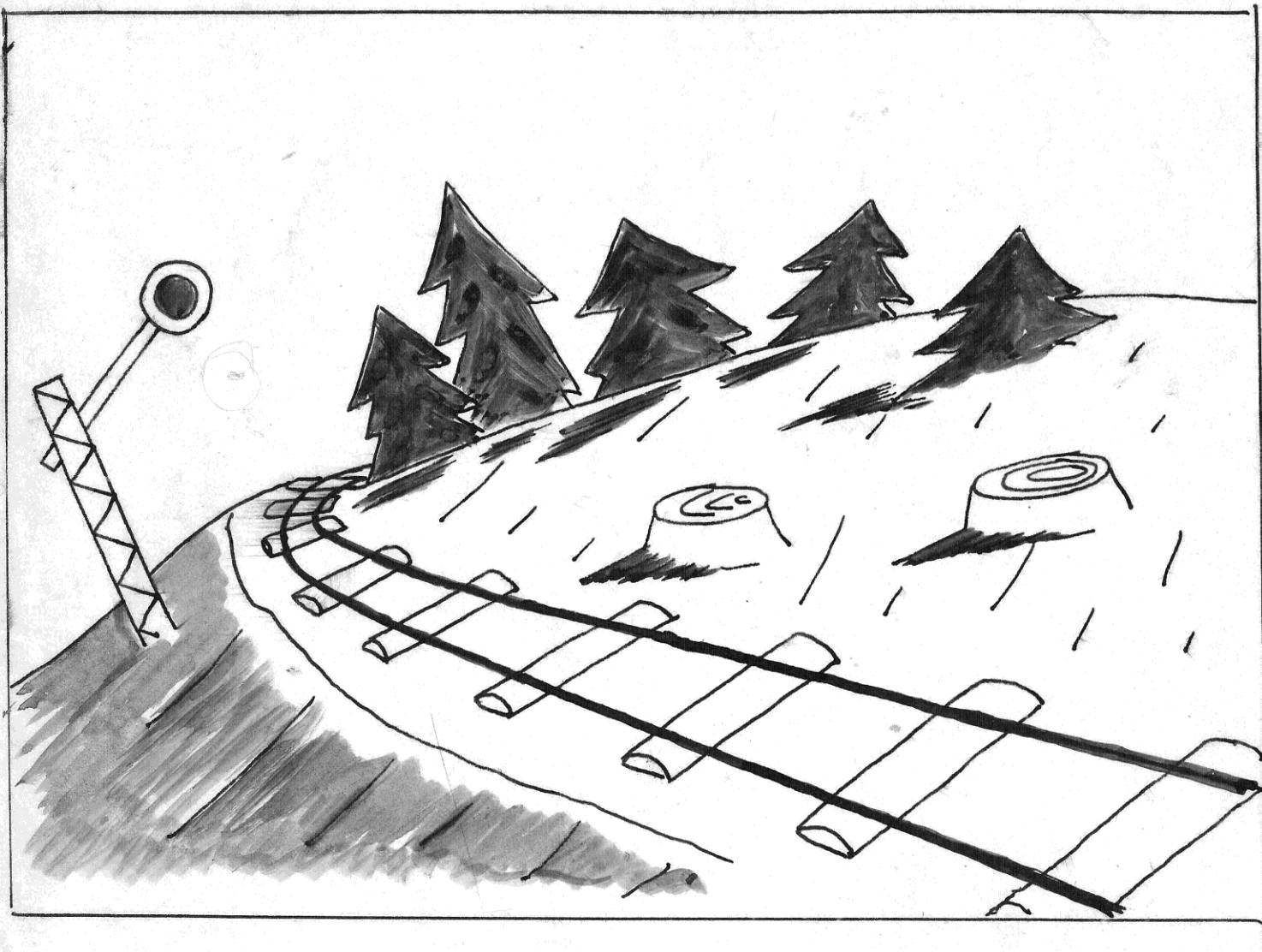
Бродягин - инженер с лепешкой в руках, на которой
написано - 238

Базаров - человек, обвешанный дозиметрами и
толкающий тачку со спецталонами.

Вас Васыч - физик, улыбающийся худой человек
в пиджаке цвета шахматной доски.

Титр

Прощай столица!



Первый
кадр (орен)
мультфильма
"Боб Карпов
и кура Кел-Гр
нов"

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО - ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ
Ц Н И И Г П Э

г. Москва,
Бережковская наб., 18

№ _____ " " 1974 г.

Директору Объединённого
института ядерных исследований
тов. Карповскому В.Л.

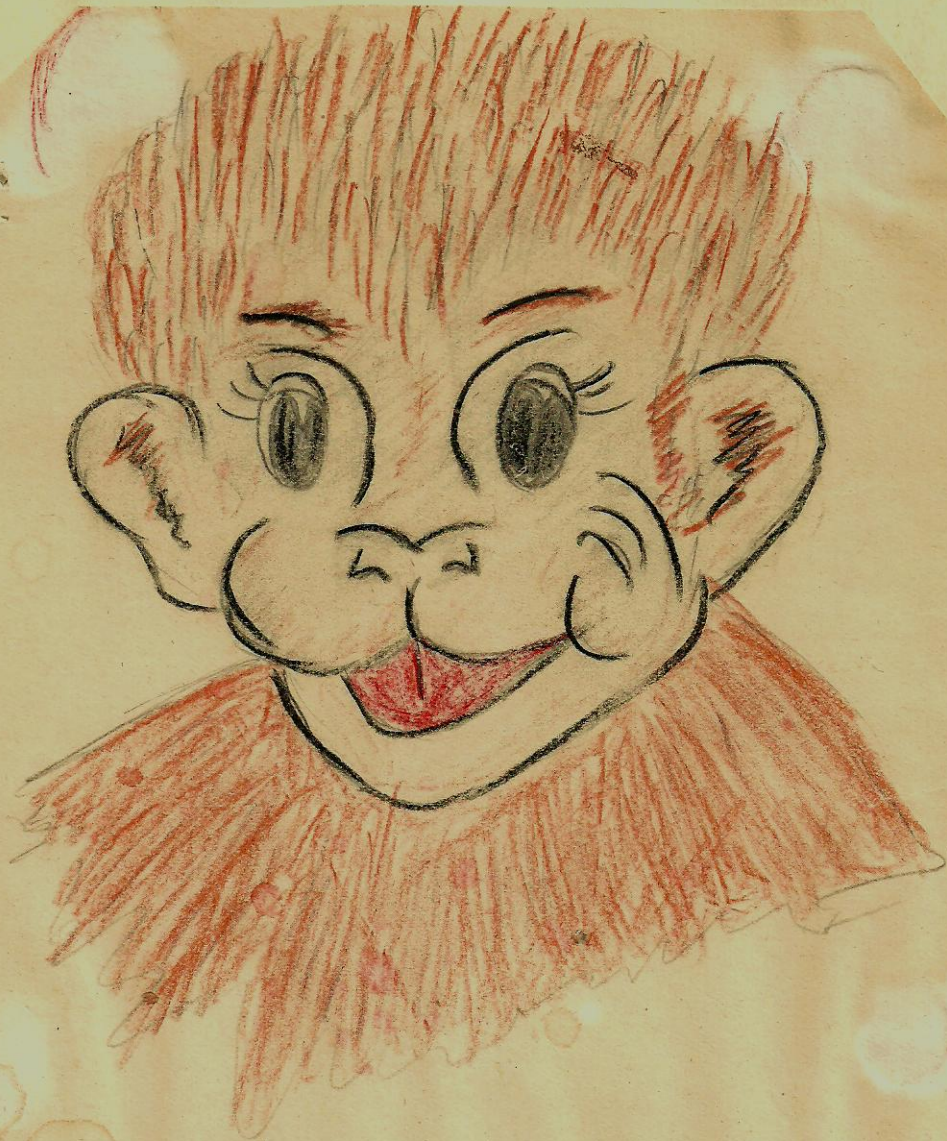
Копия: Шабалину Е.П.,
Чайкину В.И.

Настоящим сообщаю, что жюри конкурса предложений по способу упаковки стеклянной тары присудило заявке сотрудников Вашего института т.т. ШАБАЛИНА Е.П. и ЧАЙКИНА В.И. ВТОРУЮ ПРЕМИЮ. Прошу сообщить финансовые кондергенты вышеуказанных сотрудников для пересылки вознаграждения не позднее 29-го марта 1974 г.

Зам. директора ЦНИИГПЭ

/ Н.И.Марков /





Днялька троне —
потом
— везде огонь!



Импульс в надкритике

$$\frac{N(t)}{S} \approx \frac{V\overline{B}\pi}{\varepsilon_m} L(B) \exp\left\{-\frac{B\hat{x}^2}{3}(\hat{x}-3)\right\}, \quad \hat{x} = \frac{t+t_1}{t_1}; \quad (5.30)$$

$$M = \frac{Q}{S} \approx \frac{V\overline{B}\pi}{\varepsilon_m} N_m \tau L(B) = \frac{\pi B \tau}{\varepsilon_m^2} \exp\left(\frac{4}{3}B\right) L^2(B). \quad (5.31)$$

Безразмерный параметр B зависит от ε_m ; для критического реактора значение B в практически интересных случаях всегда больше 2.

$$B = \varepsilon_m^{3/2} / \alpha^{1/2} v \tau.$$

Энергия импульса:

$$M = \frac{Q}{S} \approx \frac{3,35}{\alpha^{1/2} v \varepsilon_m^{1/2}} \exp\left(\frac{4}{3}B\right).$$

Вехи истории ИБР и ИБР-30

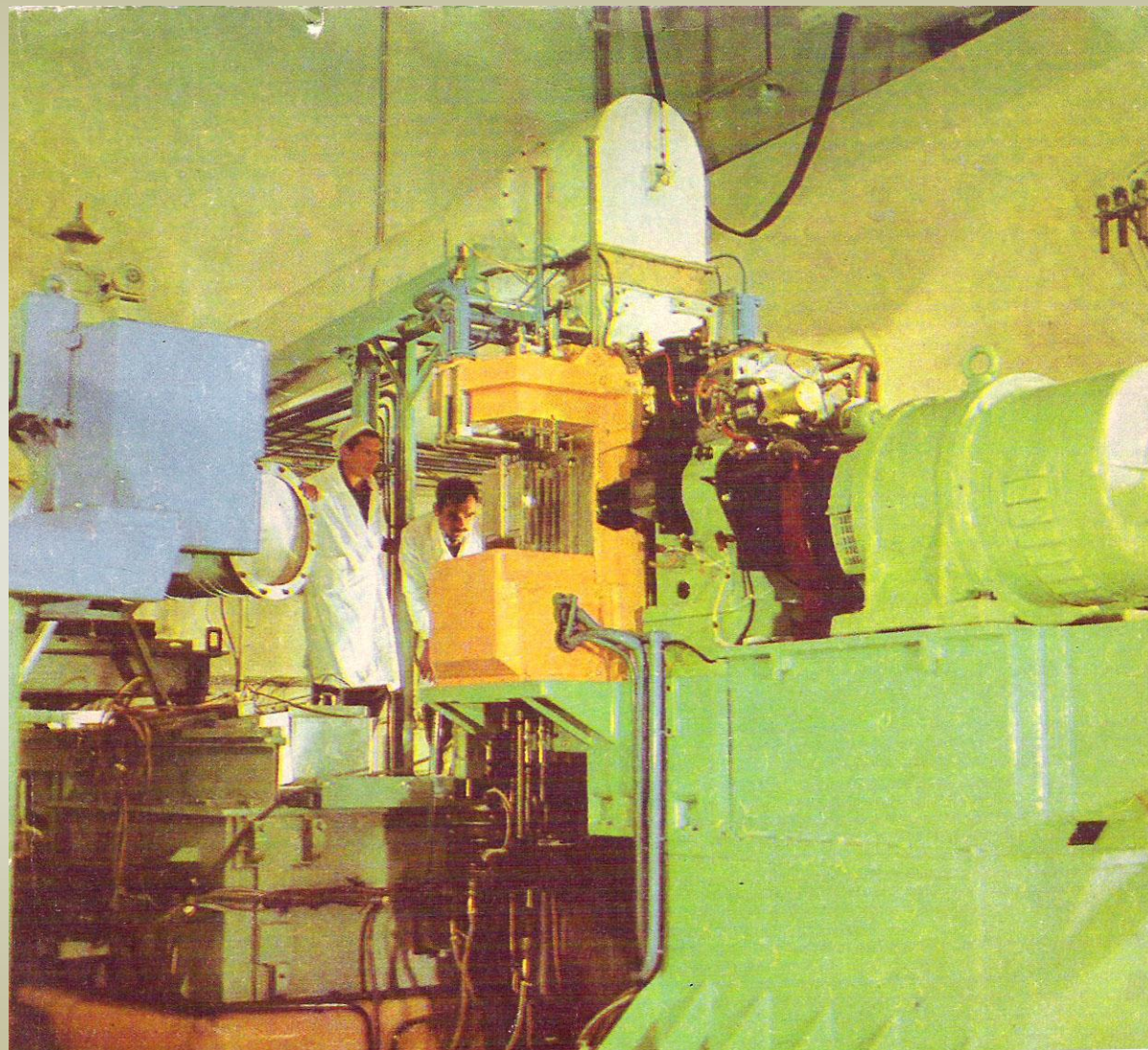
Дата	Событие	Люди, коллективы	Прим.
1955, осень.	Рождение идеи пульсирующего реактора	Д.И. Блохинцев	
1956, фев. – март	Теория пульсирующего реактора	И.И. Бондаренко и Ю.Я. Стависский	Правильная!
1956, май	Начало проектирования ИБР	ФЭИ, ЦИАМ (Г.Е. Блохин), ЦНИИ-58 (Грабин), «9» (И.С. Головнин)	
1957, весна	Начало строительства в Дубне	С.К. Николаев и др.	
1959, лето	Критстенд в Дубне, зд. 45	Ю.Я. и гр. ФЭИ, Б.Н. Дерягин и гр. молодежи ЛНФ	
1959-1960, зима	Второй критстенд	Те же	Для уточнения параметра α
1960, 23 июня	Физический пуск ИБРа	Те же	26 работ до 1961 (открытых)
?	Поломка подшипника ОПЗ		Ввели дополн. подшипник
1963, лето	Снижение скорости ОПЗ с 5000 до 3000 об/мин		Из-за выпучивания мембраны

Вехи истории ИБР и ИБР-30

1963, зима	Замена диска ОПЗ; замена ВПЗ	В.П. Воронкин, КБ ЛНФ (Б.И. Воронов, А.В. Андросов и др.)
1964	Улучшение охлаждения , повышение средней мощности до 3 и 6 кВт	В.Д. Ананьев, В.Т. Руденко
1964	Создание микротрона	И.М. Матора, С.П. Капица, Р.В. Харьюзов
1965, начало года	Запуск первого в мире импульсного бустера (ИБР + микротрон)	И.М. , Р.В., Ю.Я., В.Д., В.Т., Е.П. Шабалин
1965	Дистанционное управление скоростями ОПЗ и ВПЗ	В.П., КБ ЛНФ
1966	Режим пакета импульсов	В.П. Пластинин, Е.П.
1968 , лето	Режим редких импульсов (5 секунд)	В.Т., Е.П.
1968, август	Открытие УХН на ИБРе и завершение работы ИБР-1	Ф.Л. Шапиро с группой
1969, 10 июня	Пуск ИБР-30 (20 кВт)	И.С. Головнин, В.Т., В.И. Константинов
1970, 24 марта	Пуск ускорителя ЛУЭ-40	

ИБР-30

1968-2001



Подвижный отражатель
решетчатого типа для
ИБР-2 и ИБР-2М
(установлен на ИБР-2 в
2004 г.)
Конструктор - НИКИЭТ



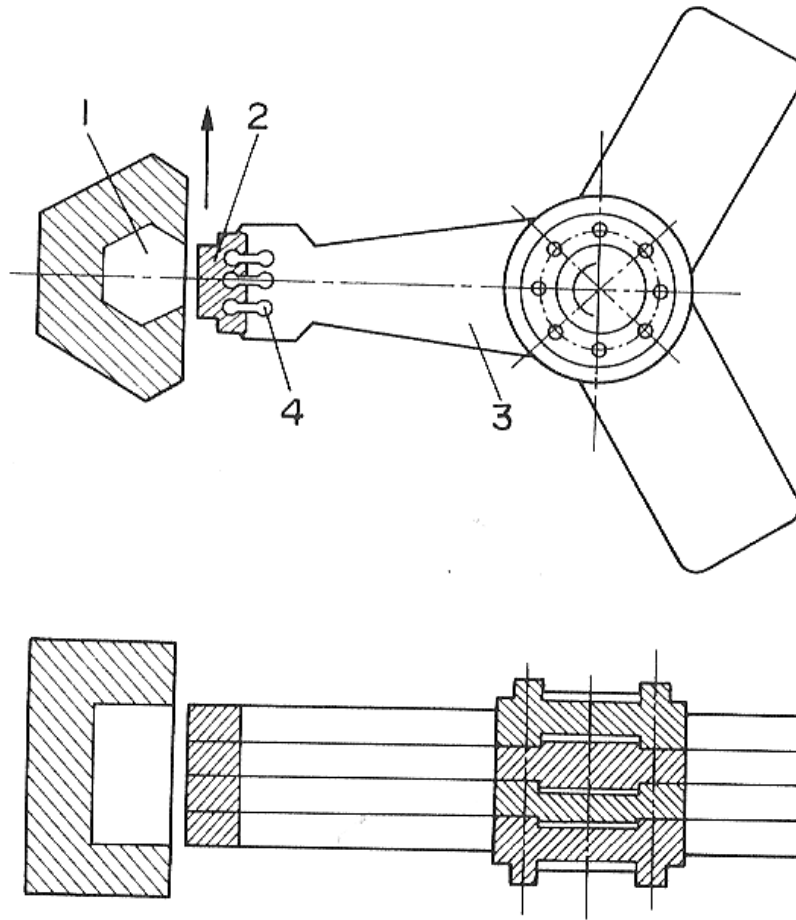


Вехи истории ИБР и ИБР-30

1970	Начало работы ИБР-30 попеременно в режиме реактора и бустера		
1971	Присуждена Госпремия СССР «за создание ИБРа и ИБРа с инжектором»		
1972, июнь	Ядерная авария на ИБР-30 в режиме редких импульсов		
	Пуск ИБР-30 после замены половины зоны		
	Разгерметизация твэла около мишени		Реконструирован а мишень
1982	Открытие нарушения пространственной четности в нейтронных резонансах	Л.Б. Пикельнер, В.П. Алфименков и др.	
1987	Начало работы ИБР-30 только в режиме бустера, 10 кВт		Как следствие Чернобыля
2001, 15 июня	Вывод ИБР-30 из эксплуатации		
1990	Начало работ по НИВР (ИРЕН)	Ю.П. Попов, ВТ. Руденко	

- Известно немало предложенных разных типов модуляции реактивности и конструкций модуляторов: подвижные вкладыши урана (ИБР-1), использование влияния магнитного поля на перенос нейтронов (В.В. Орлов), изменение степени гетерогенности активной зоны, движение частей активной зоны под действием тепловых ударов, быстрое движение «пуль» из пластика сквозь реактор (УАУОІ) и т.д.

- Практически приемлемым модулятором реактивности для импульсного реактора на быстрых нейтронах оказался *подвижный вращающийся отражатель* (ПО) с горизонтальной осью вращения. Д.И. Блохинцев в свое время настоял именно на принципе вращения, а не поступательного движения, и правильность такого решения была подтверждена 20-летней успешной работой реактора ИБР-2



6.2. Diagram of the moveable reflector of the SORA reactor: 1) Core; 2) Beryllium block (moveable reflector proper); 3) Rotor; 4) Coupling key.



Длительность импульса:

$$\theta_{\text{эфф}} = \sqrt{\frac{2\pi \cdot \tau}{\gamma}} \cdot L(B)$$

$$\theta_{1/2} = \sqrt{\frac{8 \ln 2 \cdot \tau}{\gamma}} \cdot \frac{2(\ln 2 - 6B)}{3(\ln 2 - 4B)}$$

$$\gamma = \frac{2\pi \cdot \nu}{L} \cdot \Delta K$$

$$\theta_{1/2} = \frac{2}{\omega} \arcsin \left(1 - \frac{2\omega \tau \ln 2}{\Delta K} \right)$$

320 мкс \Rightarrow 220 мкс \Rightarrow 130 мкс (245 мкс)

Гомогенные
ОПО и ДПО

Трезубец
ДПО

Решеточные
лопасти МР