

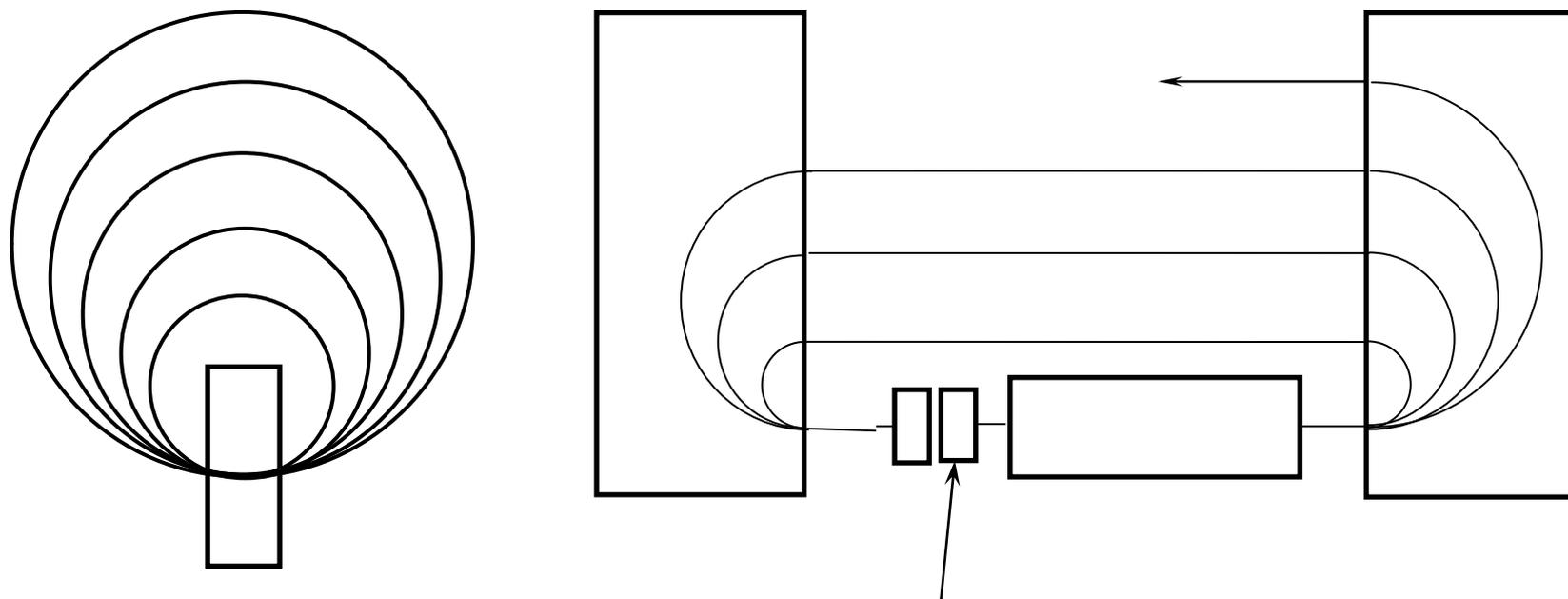
# **МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ФИАН – НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ**

Куракин В.Г.

Сообщение на семинаре ОФВЭ

Троицк, 17 декабря 2010 г.

## МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС



Схемы, поясняющие принципы действия микротрона (слева) и разрезного микротрона

# МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

1976 – 1986 – период сооружения разрезного микротрона в ФИАНе

1976      *ЖУРНАЛ ТЕХНИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ*      Том 46, в. 12  
1976      *JOURNAL OF TECHNICAL PHYSICS*      Vol. 46, № 12

36

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A261 (1987) 36–38  
North-Holland, Amsterdam

УДК 621.384.633.4

## РАЗРЕЗНОЙ МИКРОТРОН-ИНЖЕКТОР ДЛЯ СИНХРОТРОНА «ПАХРА»

*В. И. Алексеев, К. А. Беловинцев, В. А. Бойко,  
Р. М. Воронков, А. И. Карев и В. Г. Куракин*

Рассматриваются основные параметры и узлы разрезного микротрона, предназначенного для использования в качестве инжектора в синхротроне «Пахра». Микротрон состоит из двух 180° поворотных электромагнитов, создающих однородное магнитное поле с индукцией 0.4 Тл, и секции линейного ускорителя, работающей в режиме бегущей волны с фазовой скоростью, равной скорости света. Проектные параметры микротрона — энергия электронов 25 МэВ при токе 0.5 А в импульсе длительностью 6 мкс — обеспечивают возможность довести интенсивность синхротрона до значения  $2 \cdot 10^{11}$  электронов в импульсе. Применение «прозрачной» электронной пушки значительно упрощает конструкцию микротрона и позволяет отказаться от сложного инфлекторного узла. СВЧ питание микротрона осуществляется от импульсного усилительного клистрона КИУ-15. Обосновывается выбор отдельных параметров микротрона и приводятся вариационные характеристики.

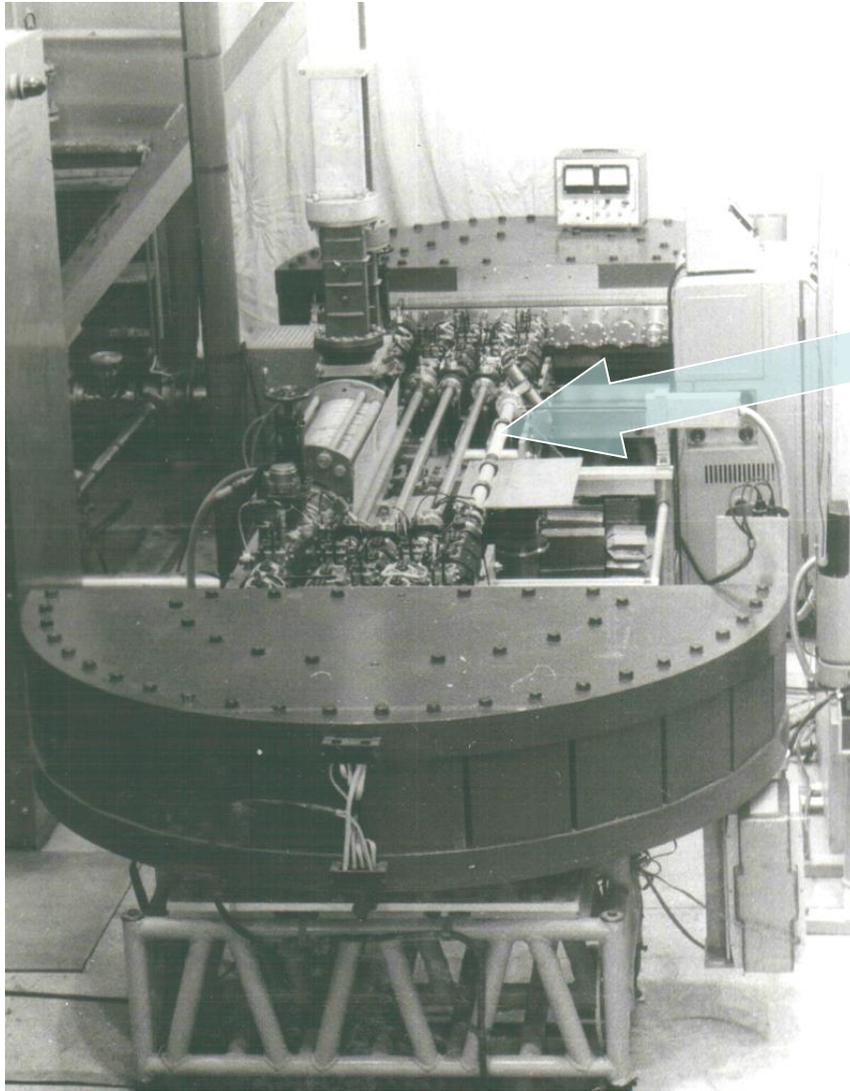
## THE LEBEDEV PHYSICAL INSTITUTE RACE-TRACK MICROTRON

K.A. BELOVINTSEV, A.I. KAREV and V.G. KURAKIN

*Lebedev Physical Institute, Moscow, USSR*

A short description of the Lebedev Physical Institute Race-Track Microtron is presented. The main features of its being put into operation are discussed. As a result of the completed construction and research work a beam intensity of 250 mA at 30 MeV has been achieved.

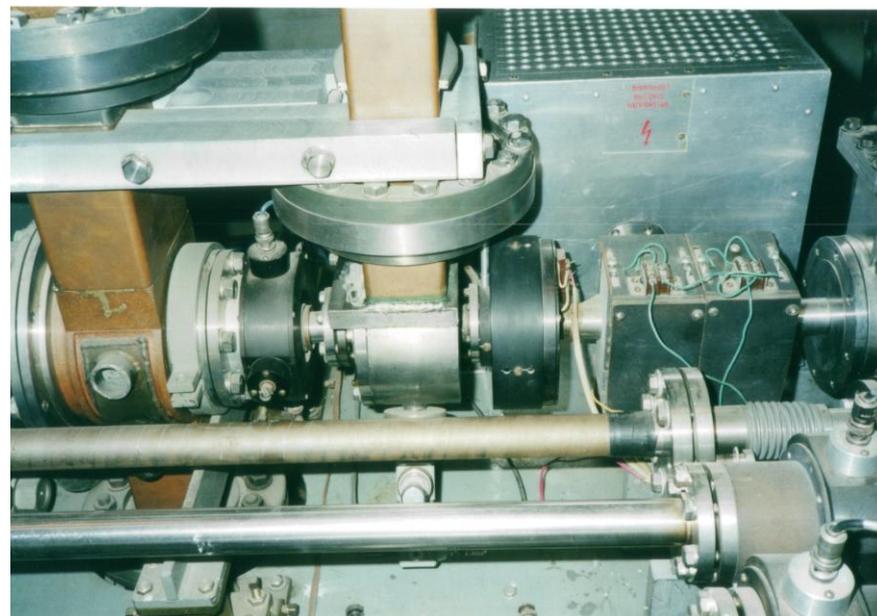
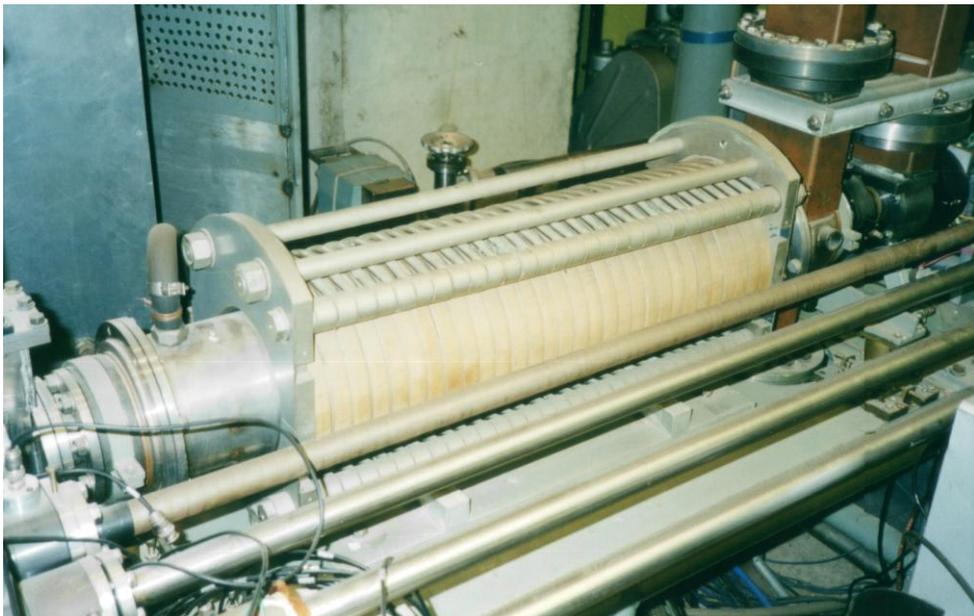
# МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС



Так выглядел комплекс в конце 80-х

Исследование спирального ондулятора, установленного на дисперсном участке 4-ой орбиты

## МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС



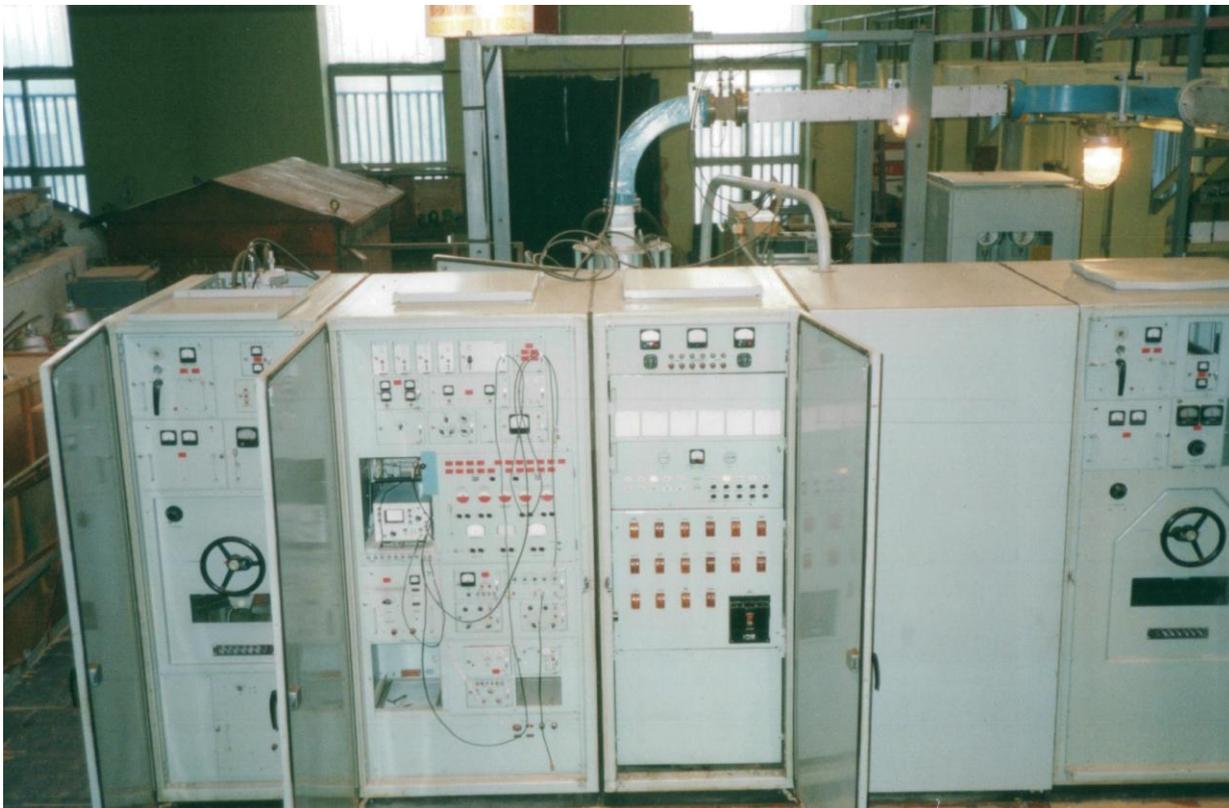
Линейный ускоритель (слева) и узел инжекции (справа)

## МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС



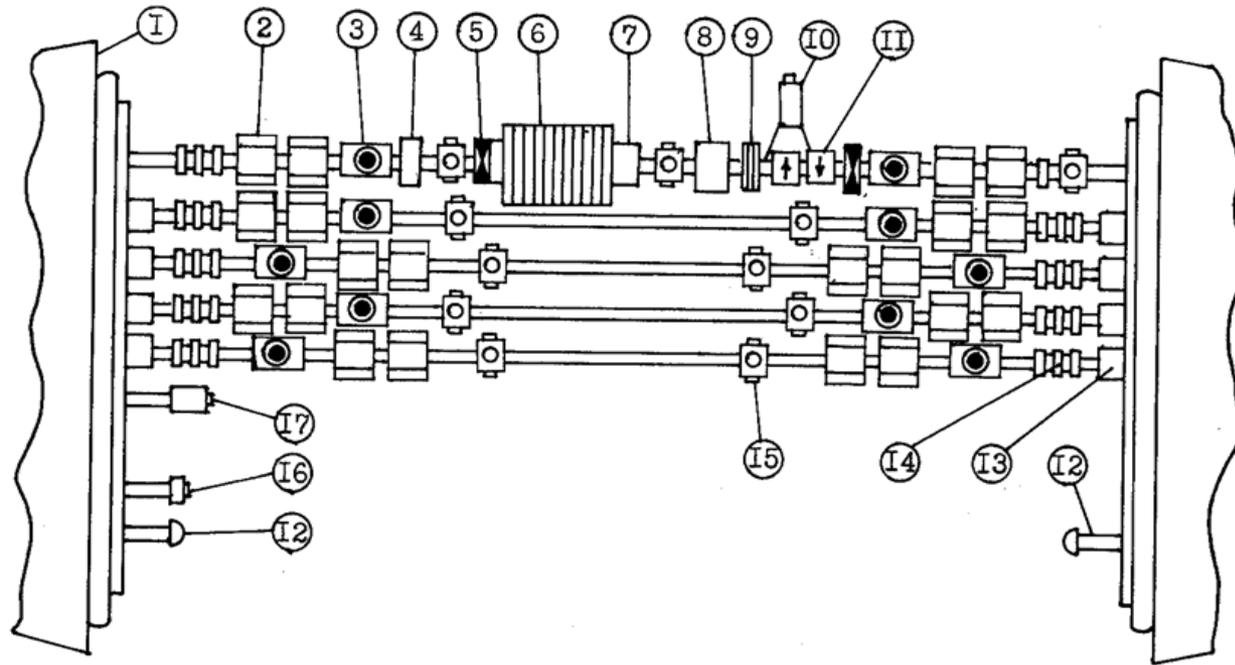
Элементы ВЧ –тракта: регулируемый фазовращатель и делитель мощности

## МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС



СВЧ – усилитель (слева) и каскад оконечного усиления (КИУ-15)

# МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС



**Схема разрезного микротрона ФИАН.**

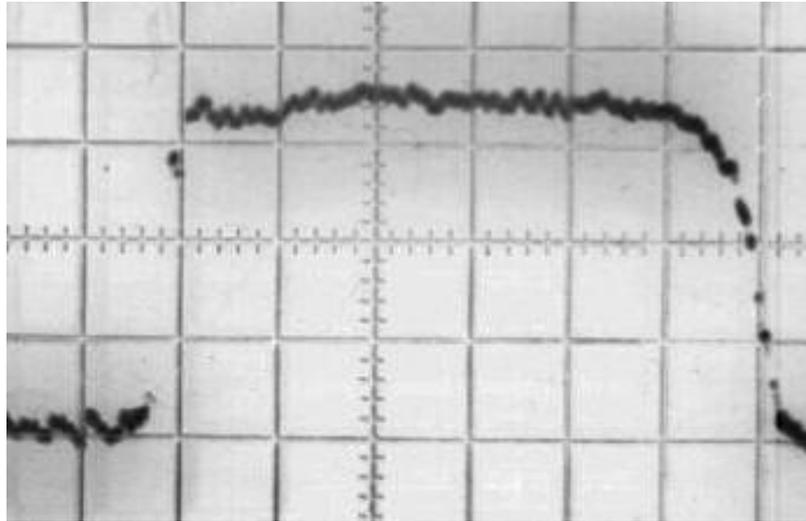
**1 – электромагнит, 2 – квадрупольная линза, 3 – индикаторная вставка, 4 – резонаторный датчик, 5 – вакуумный затвор, 6 – соленоид, 7 – КДВ, 8 – резонатор, 9 – бронева линза, 10 – электронная пушка, 11- инфлектор, 12 – датчик магнитного поля, 13 – корректор, 14 – сильфон, 15 – датчик тока, 16 – коллектор спектрометра, 17 – цилиндр Фарадея.**

# МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

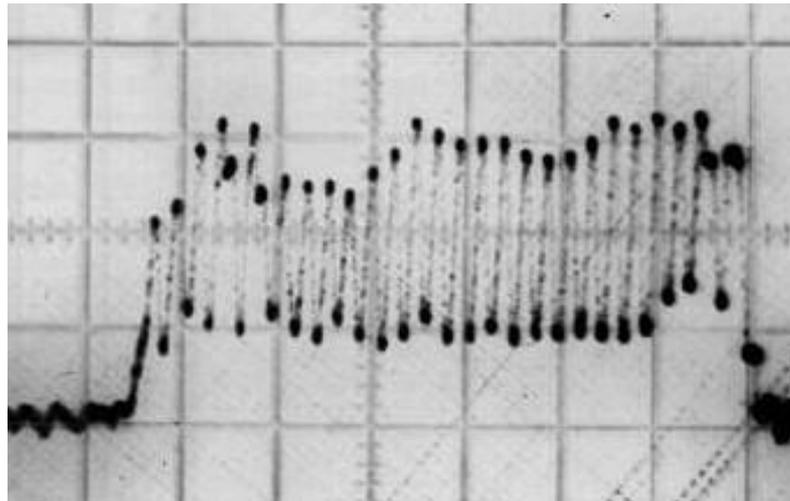
## Основные параметры разрезного микротрона

Номер орбиты	1	2	3	4	5
Энергия пучка (МэВ)	6	12	18	24	30
Ток пучка (А)	0,5	0,4	0,28	0,23	0,2
Длительность импульса тока	5 – 6 мкс				
Энергетический разброс	(1,5 – 0,7)%				
Длина сгустков (фазовая)	(20 – 36) град				
Длина волны ускоряющего поля	16,5 см				
Макс. мощность ВЧ усилителя	25 МВт				
Частота повторения	0,1 – 5 Гц				

# МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС



Устойчивый режим



Неустойчивый режим

# МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

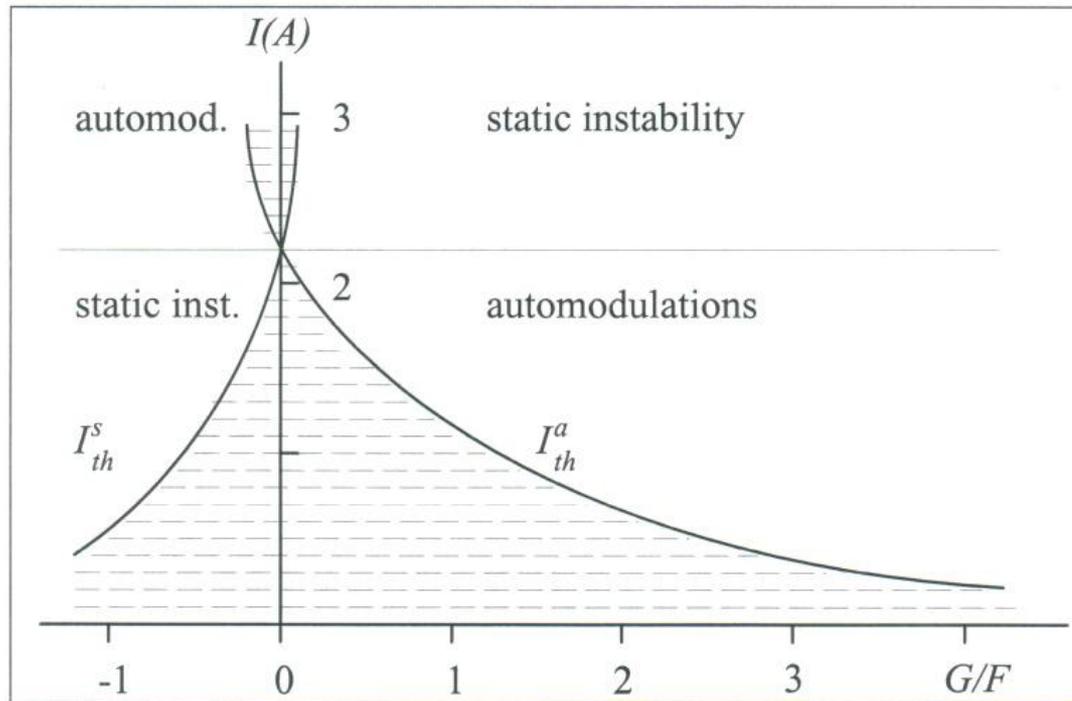


Fig. 2. Regions of electron beam stable acceleration (filled), calculated for racetrack microtron parameters  $\delta = 1$ ,  $R = 1.5 \text{ M}\Omega$ ,  $V_s = 7 \text{ MeV}$ ,  $\psi = -0.15$ ,  $N = 5$ ,  $T_{gr} = 0.2 \mu\text{s}$ ,  $T_0 = 0.023 \mu\text{s}$ .

Области устойчивого ускорения в разрезном микротроне

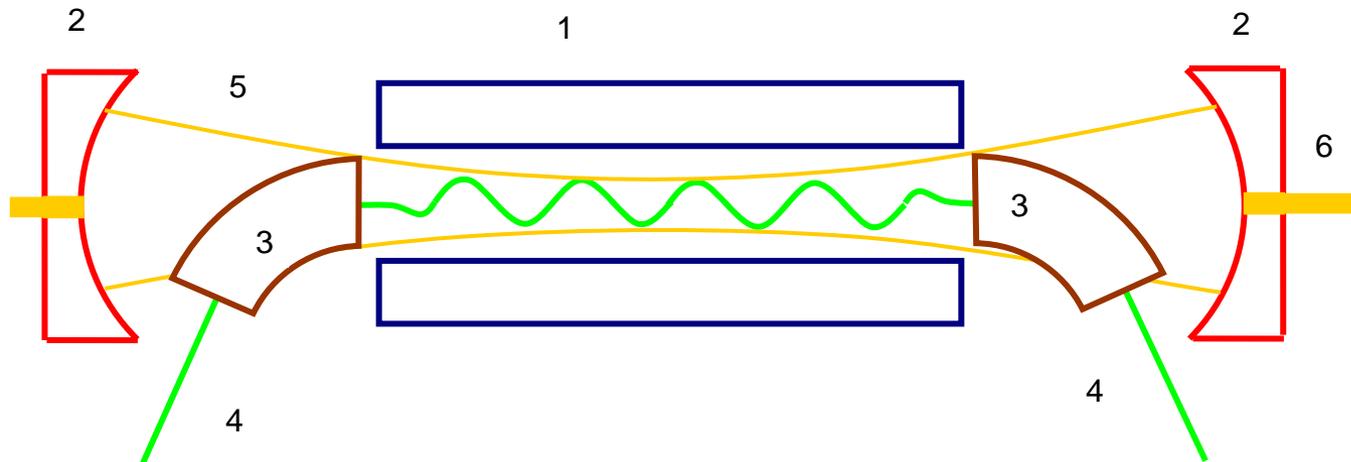
# МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС



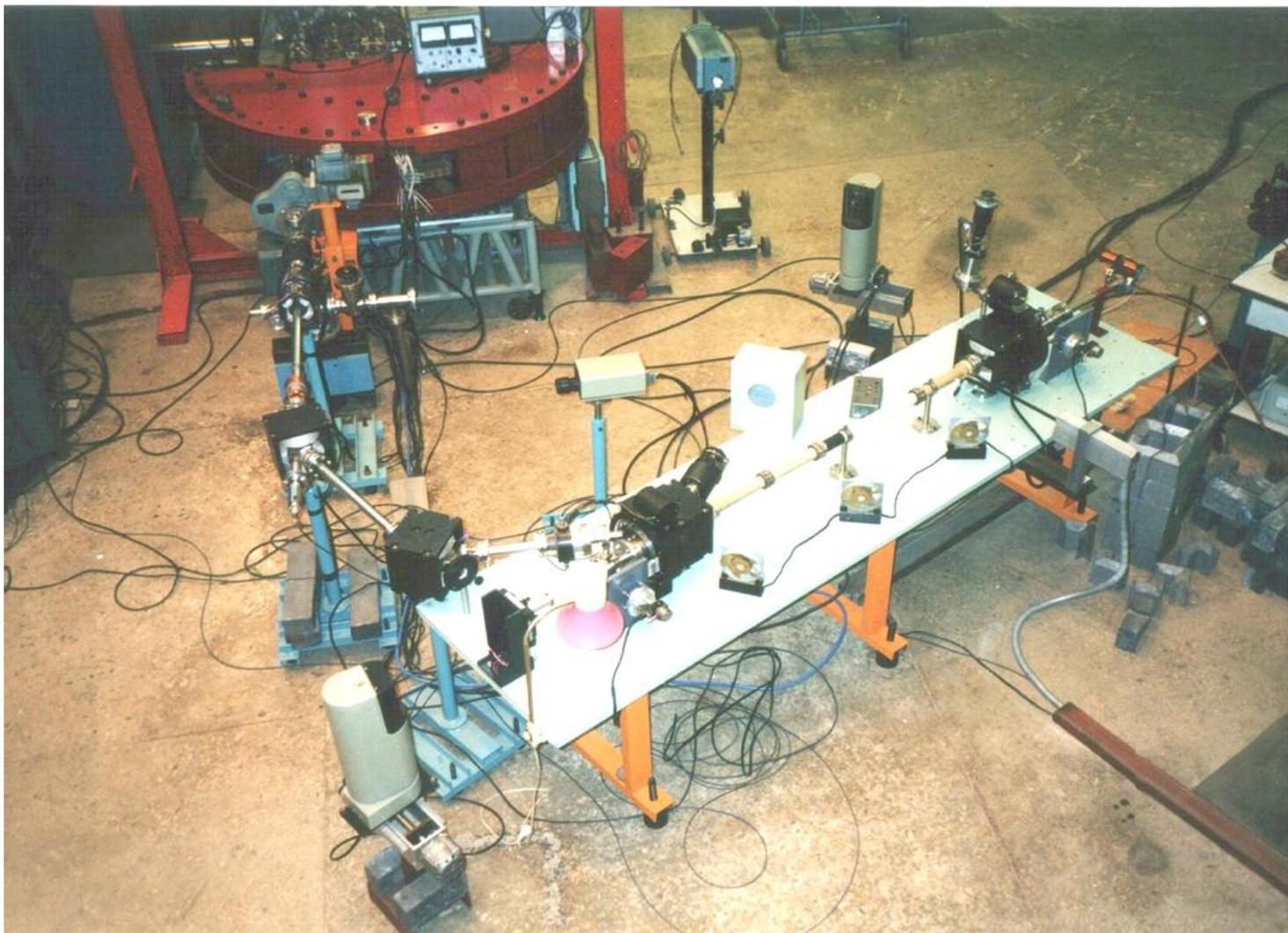
# МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

Схема, поясняющая принцип действия лазера на свободных электронах.

1 – ондулятор, 2 – зеркала, 3 – поворотный электромагнит, 4 – электронный пучок, 5 – огибающая оптической моды резонатора, 6 – выведенный пучок излучения.



## ПОЯВЯТСЯ ЛИ В ФИАНЕ НОВЫЕ УСКОРИТЕЛИ?



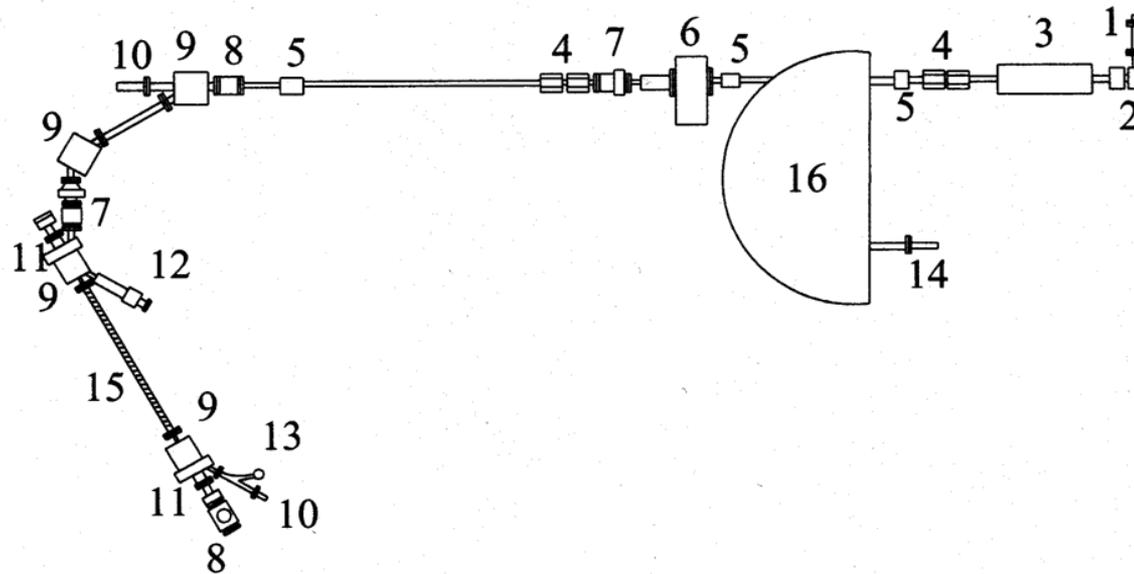
Лазер на свободных электронах терагерцового диапазона

# МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

## Основные параметры ЛСЭ-100

<b>Длина волны излучения</b>	<b>80 – 160 мкм</b>
<b>Длительность импульса</b>	<b>2-5 мкс</b>
<b>Длительность отдельного сгустка</b>	<b>30 псек</b>
<b>Коэффициент усиления за проход (при токе 10 А)</b>	<b>20 %</b>
<b>Период ондулятора</b>	<b>3,2 см</b>
<b>Число периодов</b>	<b>35</b>
<b>Максимальный ток в обмотке</b>	<b>45 кА</b>
<b>Апертура вакуумного канала</b>	<b>27 мм</b>
<b>Диаметр зеркал</b>	<b>28 мм</b>
<b>Частота повторения при макс. токе через обмотку</b>	<b>0,05 Гц</b>

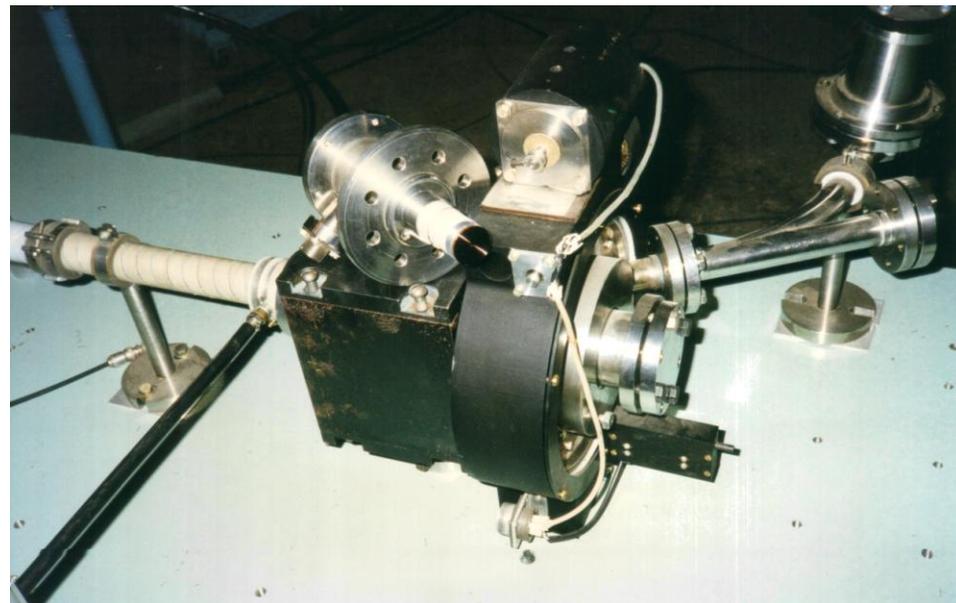
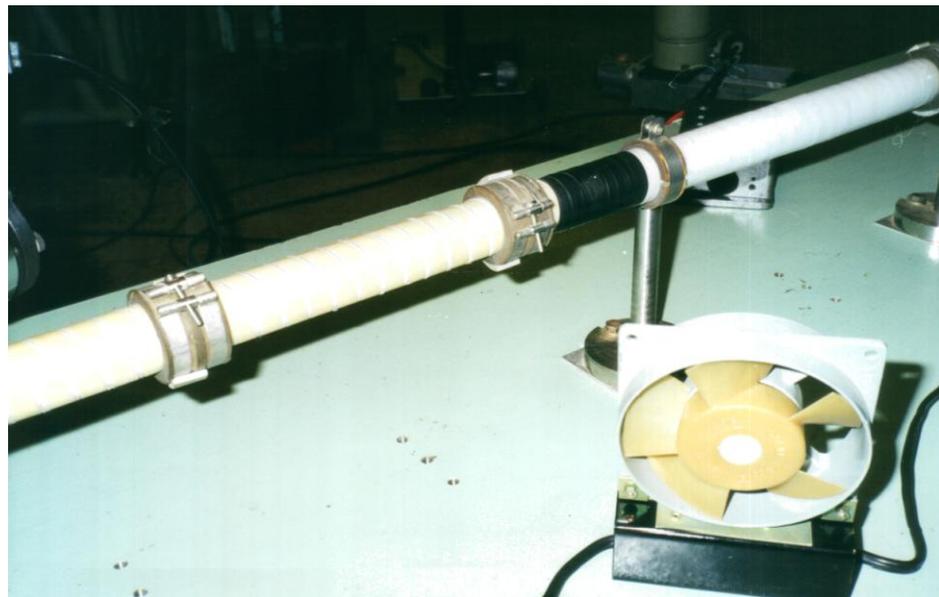
# МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС



## Компоновка первой очереди излучательного комплекса ФИАН.

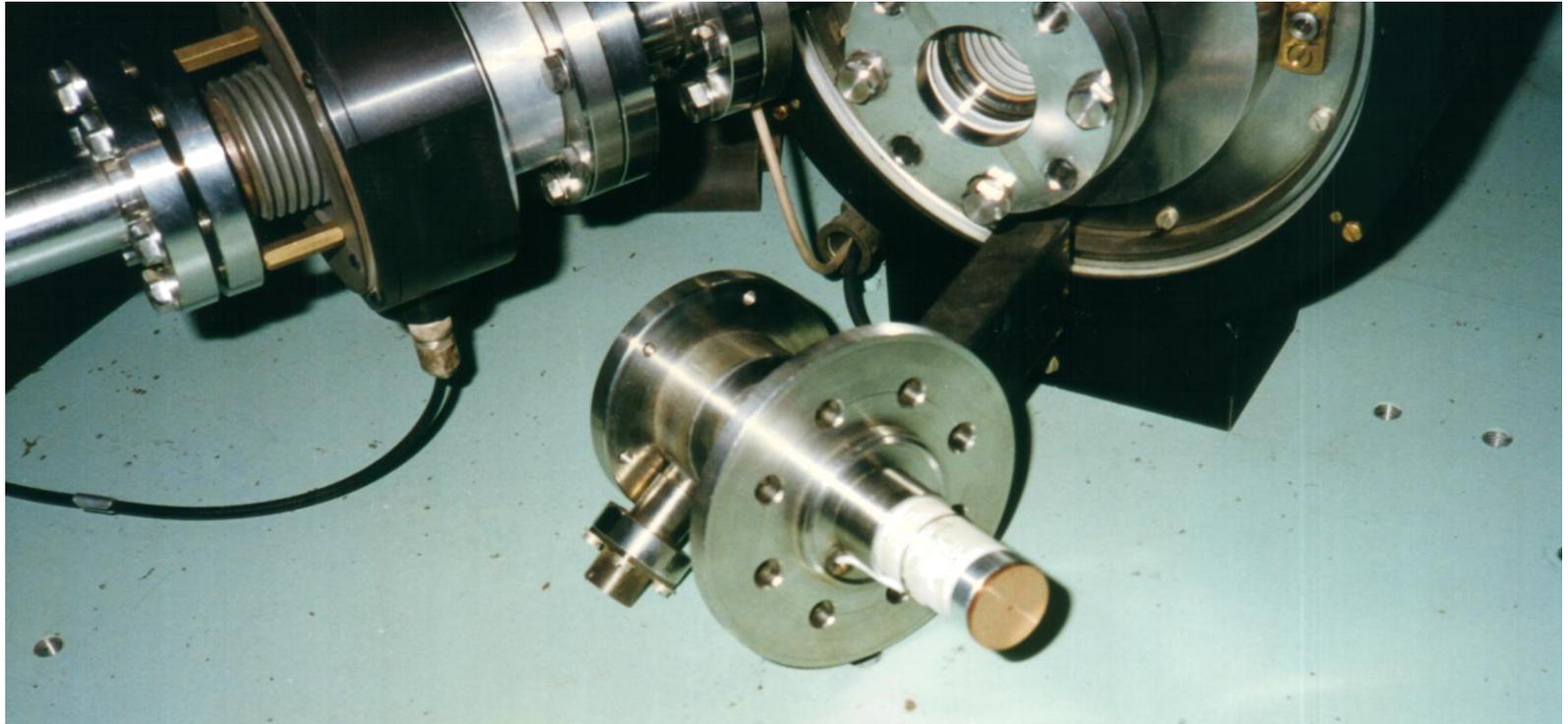
1 – электронная пушка, 2 – магнитный инфлектор, 3 – секция линейного ускорителя, 4 – квадрупольный дублет, 5 – электромагнитный корректор, 6 – вакуумный затвор, 7 – магнитоиндукционный датчик тока, 8 – люминесцентная вставка, 9 – поворотный электромагнит, 10 – цилиндр Фарадея, 11 – узел зеркала, 12 – привод системы перемещения зеркала для наблюдения, 13 – привод системы управления положением люминесцентного экрана в ондуляторе, 14 – монитор пучка магнитного спектрометра, 15 – спиральный ондулятор, 16 – поворотный электромагнит разрезного микротрона.

## МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС



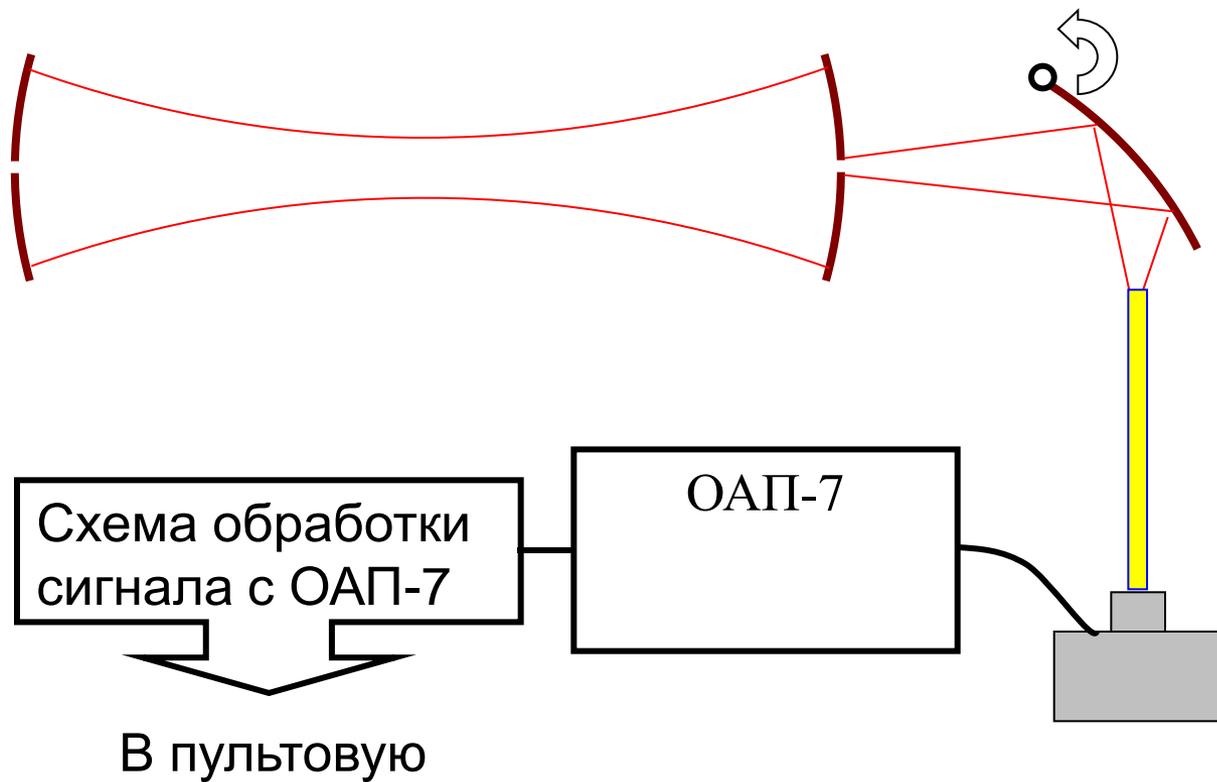
Импульсный спиральный ондулятор, узел зеркала и привод системы наблюдения за пучком

# МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС



# МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

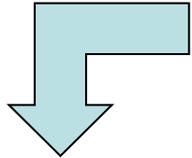
## Регистрация излучения ЛСЭ-100



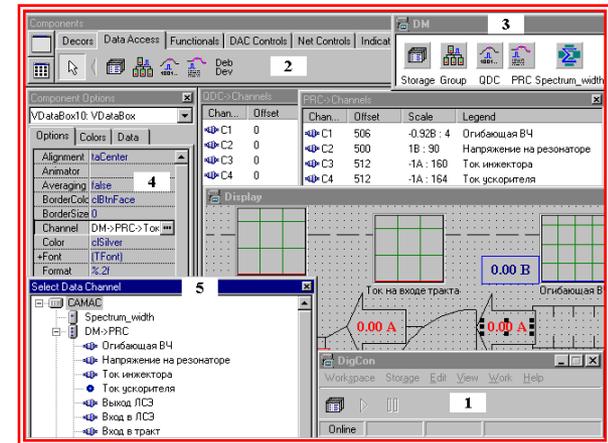
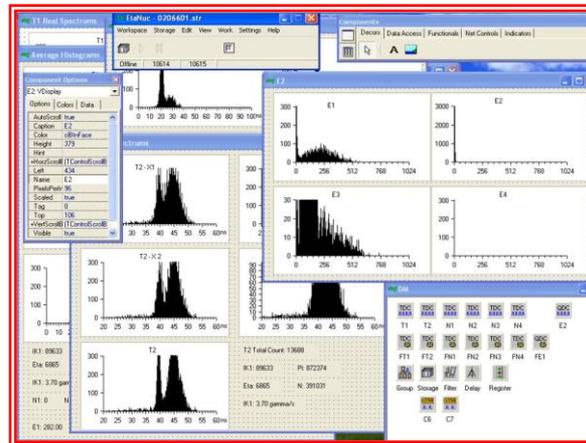
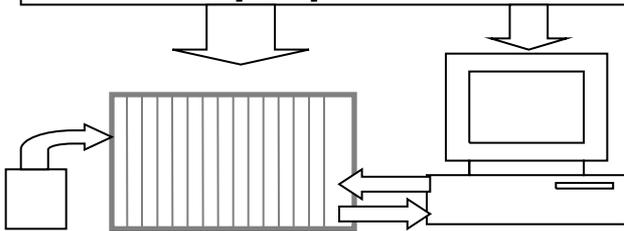
# МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

Инструментальные средства для развертывания АСУ  
экспериментальных и промышленных комплексов

© группа Измерительные Системы 1998-2009



Приборы, управляемые  
кодом + программный код



Модульность, расширяемость, масштабируемость, визуальное программирование, развертывание измерительной системы на пользовательском уровне, настройка консоли на этапе выполнения программы (program run time)

# МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

Что препятствует полной реализации комплекса?

- Полное разрушение инфраструктуры отдела

- отсутствие санпаспорта; в свое время мы пользовались разрешением на проведение пуско-наладочных работ; в принципе этого достаточно, но с тех пор конфигурация установки претерпела существенные изменения, и процесс получения разрешения нужно запускать заново;

- полное отсутствие со стороны администрации отдела какой-либо поддержки работ; скорее, дело обстоит наоборот

Заведующему ОФВЭ ФИАН,  
д.ф.м.н. Тамму Е.И.

Евгений Игоревич,

Как мне стало известно 25 августа 2000 г., руководство отдела сдало в аренду помещение ФИАН, расположенное рядом с экспериментальным залом №1 (угол территории ФИАН, граничащий с ИЯИ), расположенное фактически в санитарно-защитной зоне. Ранее здесь находился склад химической продукции ФИАН, и в помещении практически никогда не было людей. Уровень излучения от расположенного в экспериментальном зале разрезного микротрона и его систем высокочастотного питания (клизотрон) превышает естественный радиоактивный фон. Принято решение с хорошо прогнозируемыми последствиями:

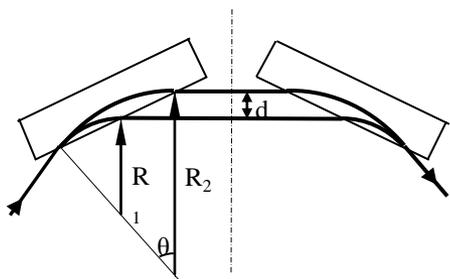
1. Помещение расположено в санитарно-защитной зоне, и соответствующими регламентируемыми документами здесь запрещено нахождение людей. При эксплуатации многоцелевого излучательного комплекса будет происходить их переоблучение.
2. В условиях ведущихся на территории России боевых действий и террористических действий сдача коммерческим организациям в аренду помещений, не контролируемых администрацией и охраной ФИАН, создает непосредственную угрозу безопасности людей отдела и его имущества. По-моему, здесь не требуется комментариев.
3. Решение было принято без консультаций с людьми, для которых п.п. 1 и 2 имеют ключевое значение и которые наиболее компетентны в данных вопросах. Не было проведено даже контрольных замеров радиационного фона от систем разрезного микротрона.

По-видимому, при принятии решения не принимались во внимание упомянутые выше п.п. 1 и 2. На мой взгляд, решение о сдаче в аренду бывшего склада хим. продукции должно быть отменено, поскольку его реализация ведет не только к серьезным последствиям для безопасности всех видов, но и осложняет весьма существенно выполнение научных планов отдела.

С уважением,

Куракин В.Г., с.н.с., 28.08.2000.

# МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС



Траектории электронов в поворотных магнитах

$$\Delta E(\text{MeV}) = 1.5B(T)g\lambda \frac{1}{\vartheta - \sin \vartheta}$$

$$d = \frac{g\lambda}{2} \frac{1 - \cos \vartheta}{\vartheta - \sin \vartheta}$$

**Новый ускоритель в существующей инфраструктуре**

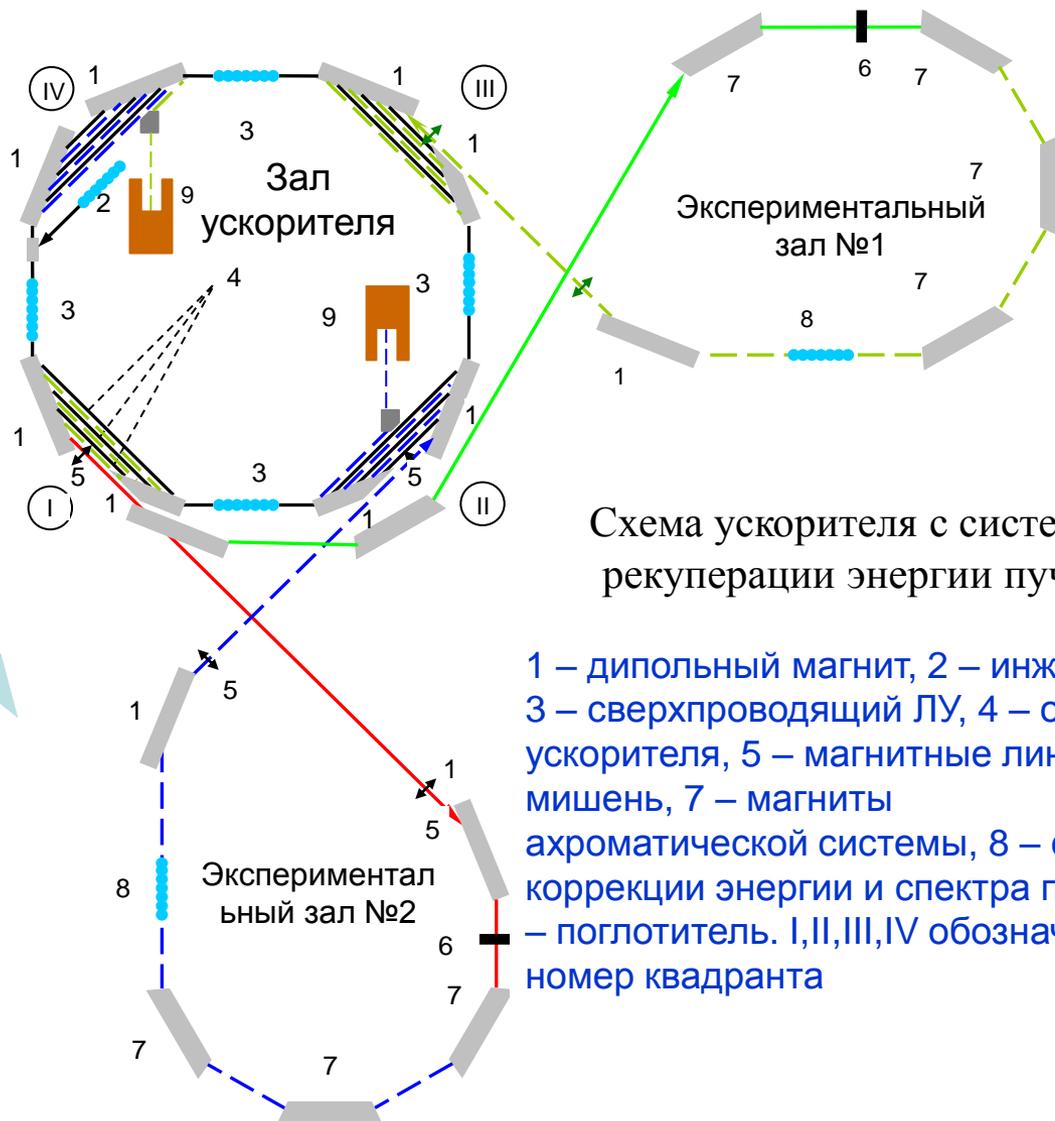


Схема ускорителя с системой рекуперации энергии пучка

1 – дипольный магнит, 2 – инжектор, 3 – сверхпроводящий ЛУ, 4 – орбиты ускорителя, 5 – магнитные линзы, 6 – мишень, 7 – магниты ахроматической системы, 8 – секция коррекции энергии и спектра пучка, 9 – поглотитель. I, II, III, IV обозначают номер квадранта

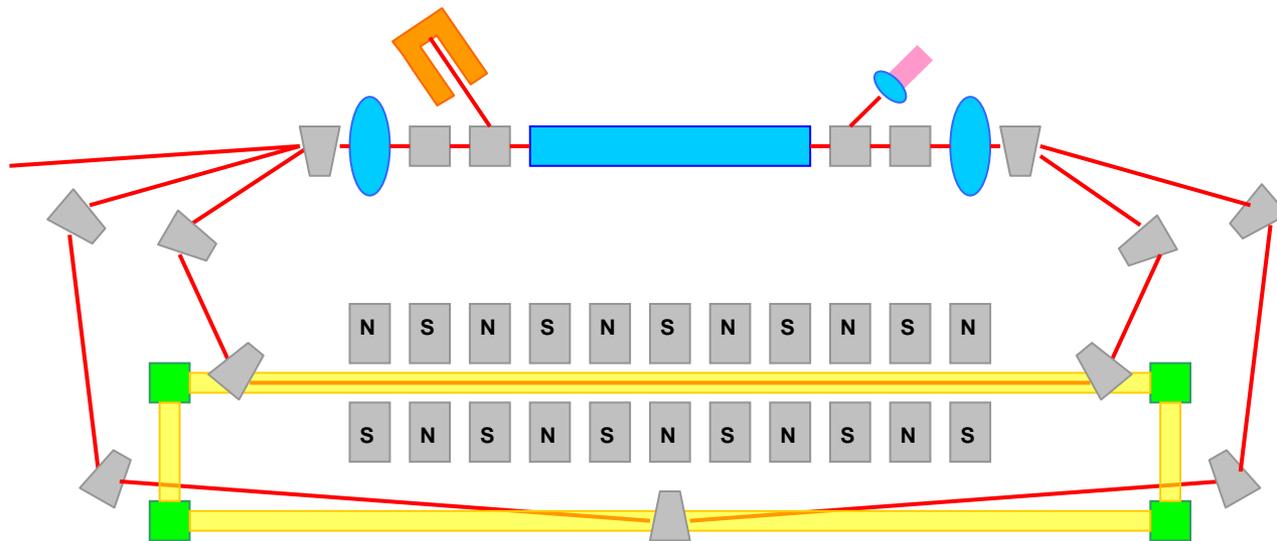
# МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС



Экспериментальный комплекс ФИАН

1 – дипольный магнит, 2 – инжектор, 3 – сверхпроводящий ЛУ, 4 – орбиты ускорителя, 5 – магнитные линзы, 6 – мишень, 7 – магниты ахроматической системы, 8 – секция коррекции энергии и спектра пучка, 9 – поглотитель, 10 – квадрант накопителя, 11 – вигглер, 12 – кикер

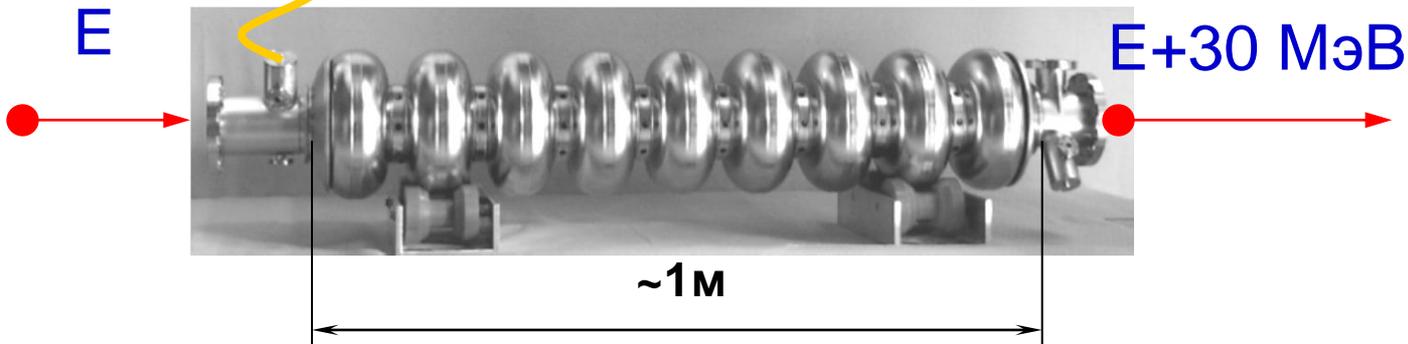
# МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС



# МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

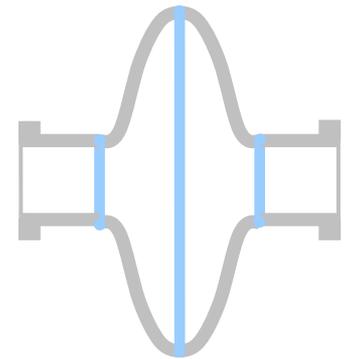
~100Вт при 1,3 ГГц T=2K

Резонатор  
TESLA

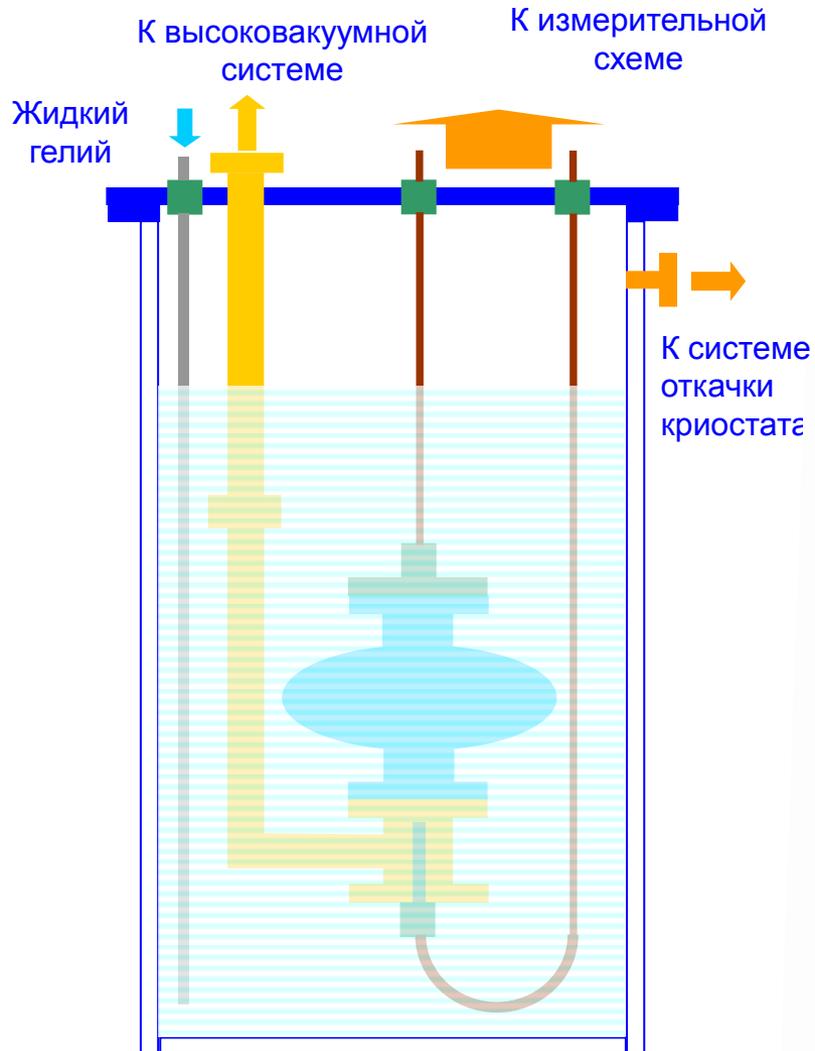


*С чего начать?*

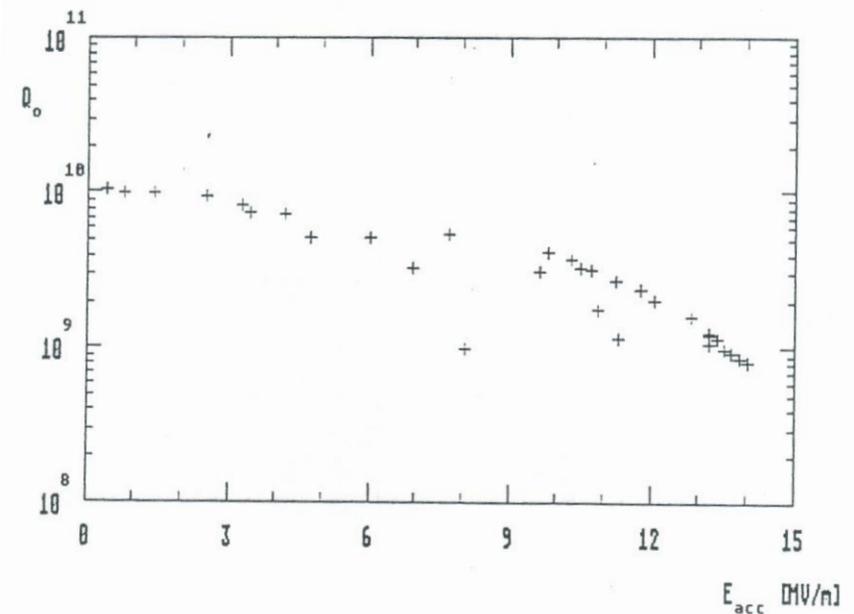
*Измерительный  
стенд с  
соответствующей  
инфраструктурой*



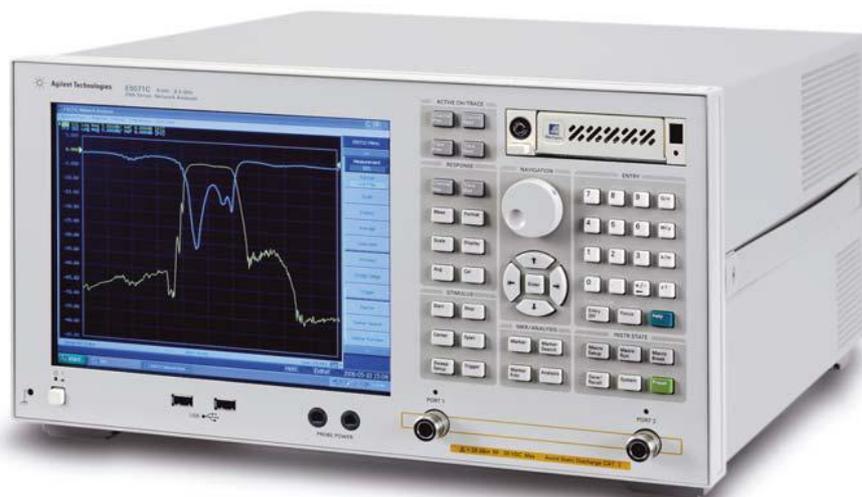
# МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС



Криогенный измерительный  
стенд для тестирования  
сверхпроводящих резонаторов



## МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС



Основные приборы для комплектации измерительного стенда – измеритель параметров СВЧ цепей E5071C-280 и измеритель мощности HP-Agilent EPM442A фирмы Agilent Technologies

# МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

Ускорители для  
ядерной физики

Электрон-позитронные  
коллайдеры

Нейтронные  
генераторы (SNS)



Подкритические  
ядерные реакторы  
(ADS)

Лазеры на свободных  
электронах (FEL, XFEL)

Источники света  
высокой яркости  
(ERL)

# МНОГОЦЕЛЕВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

НАША ЦЕЛЬ -

???!!!