

* Мощная СВЧ электроника

Д.ф.-м.н., профессор
Александр Иванович Слепков

План лекции

1. Введение. Диапазон СВЧ
2. Области применения электромагнитных волн диапазона СВЧ
3. Основные принципы генерации микроволн.
 - 1) Индивидуальное излучение заряженных частиц.
 - 2) Основные идеи электроники СВЧ
4. Релятивистская высокочастотная электроника.

* Диапазон СВЧ

Сверхвысокие частоты- электромагнитные волны с частотами
300 МГц-300 ГГц
(сантиметровый, дециметровый и миллиметровый диапазоны)

План лекции

1. Введение. Диапазон СВЧ
2. **Области применения электромагнитных волн диапазона СВЧ**
3. Основные принципы генерации микроволн.
 - 1) Индивидуальное излучение заряженных частиц.
 - 2) Основные идеи электроники СВЧ
4. Релятивистская высокочастотная электроника.

2. Применение электромагнитных волн диапазона СВЧ

* Применения

Передача информации (радио, телеграфная связь, телевидение, радиотелефоны)

Радиолокация.

Радиоспектроскопия.

Радиоастрономия.

Радиометеорология.

Энергетика.- Печи СВЧ, передача энергии.

Нетепловое воздействие

Электромагнитное оружие

2. Применение электромагнитных волн диапазона СВЧ

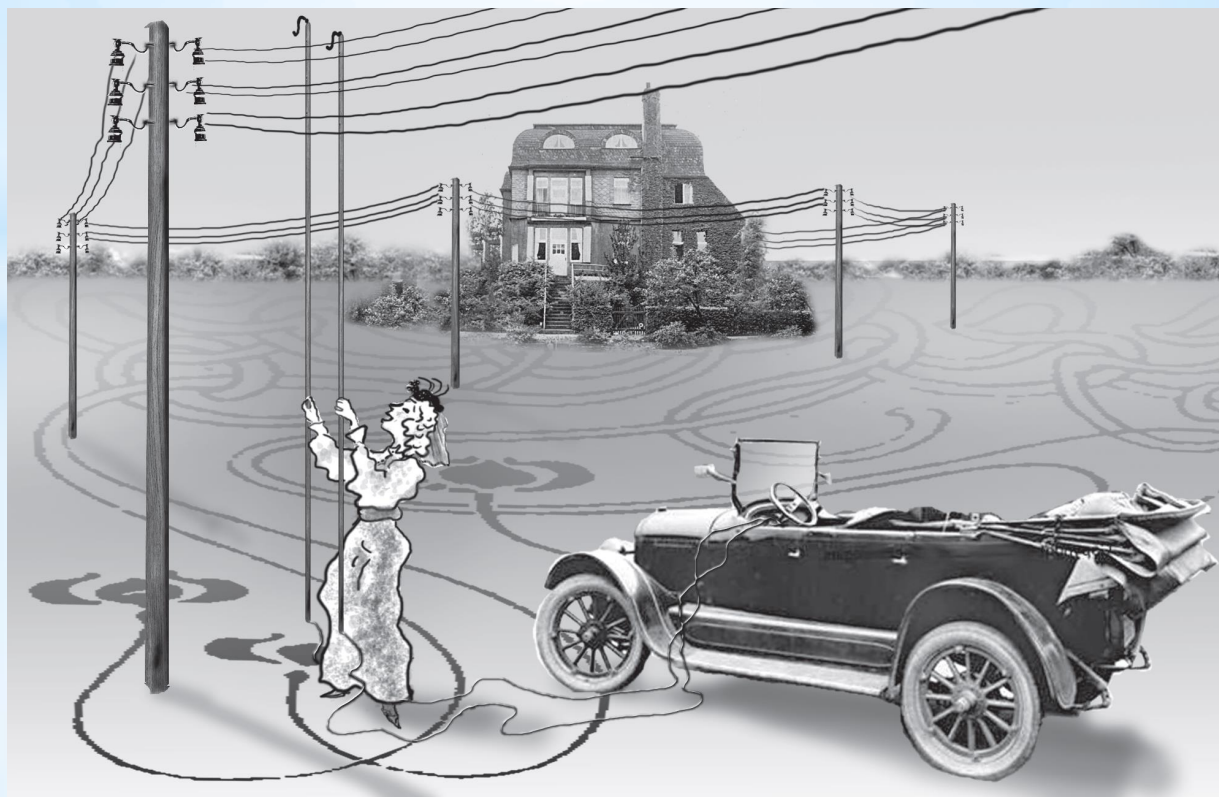
- * -Передача информации (радио, телеграфная связь, радиотелефоны), телевидение,



В 1957 году в СССР был запущен первый искусственный спутник Земли с радиоаппаратурой на борту.

* -Передача информации (радио, телеграфная связь, телевидение, радиотелефоны)

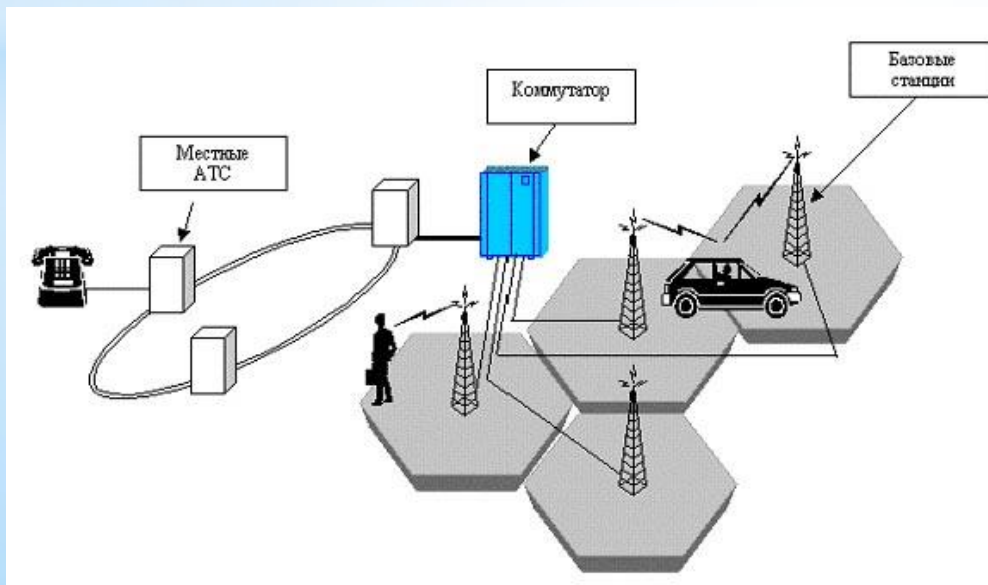
Первый мобильный телефон - 1910 год: Ларс Магнус Эрикссон (Lars Magnus Ericsson).



2. Применение электромагнитных волн диапазона СВЧ

* -Передача информации (радио, телеграфная связь, радиотелефоны, телевидение)

13 июня 1983 года компания Motorola выпустила первый в мире мобильный телефон DynaTAC 8000X,



2. Применение электромагнитных волн диапазона СВЧ

* радиолокация



- **3 января 1934 года в СССР был успешно проведён эксперимент по обнаружению самолёта радиолокационным методом. Самолёт, летящий на высоте 150 метров был обнаружен на дальности 600 метров от радарной установки.**

2. Применение электромагнитных волн диапазона СВЧ

* Радиоспектроскопия

Радиоспектроскопия — область физики, исследующая процессы поглощения и излучения образцом электромагнитных волн (Википедия)

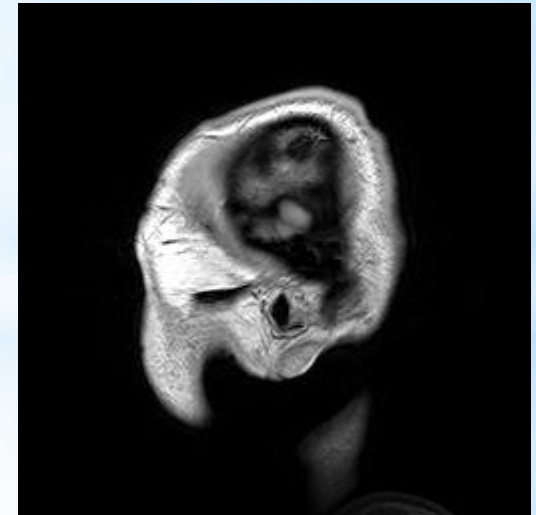
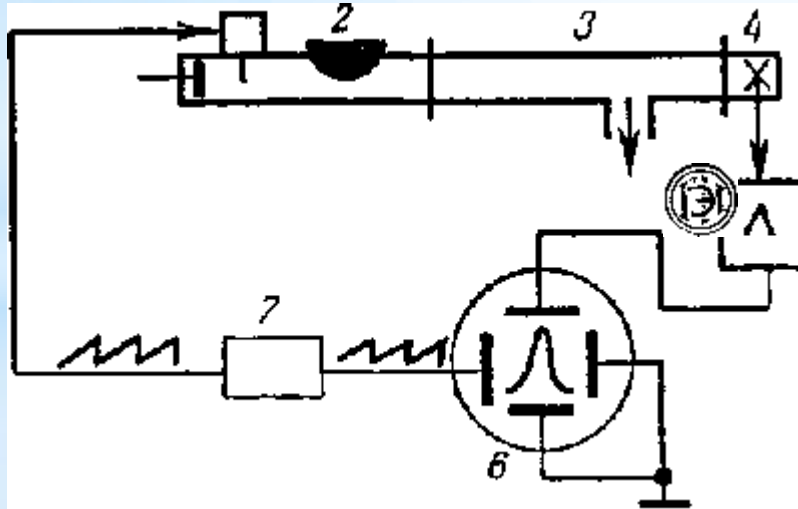


Схема простого радиоспектроскопа.

1 - источник излучения (клистрон), 2 - аттенюатор, 3 - поглощающая ячейка со слюдяными окошками, 4- детектор, 5 - усилитель, 6 - осциллограф, 7 - генератор напряжения развертки.

И.Л. Радунская, Массовая радиобиблиотека, вып. 319, Государственное энергетическое издательство, Москва, 1958

2. Применение электромагнитных волн диапазона СВЧ

* Радиоастрономия

* **Радиоастрономия** — раздел астрономии, изучающий космические объекты путём исследования их электромагнитного излучения в диапазоне радиоволн.



RATAN-600 Radio Telescope of Russian Academy of Sciences

2. Применение электромагнитных волн диапазона СВЧ

* Радиоастрономия

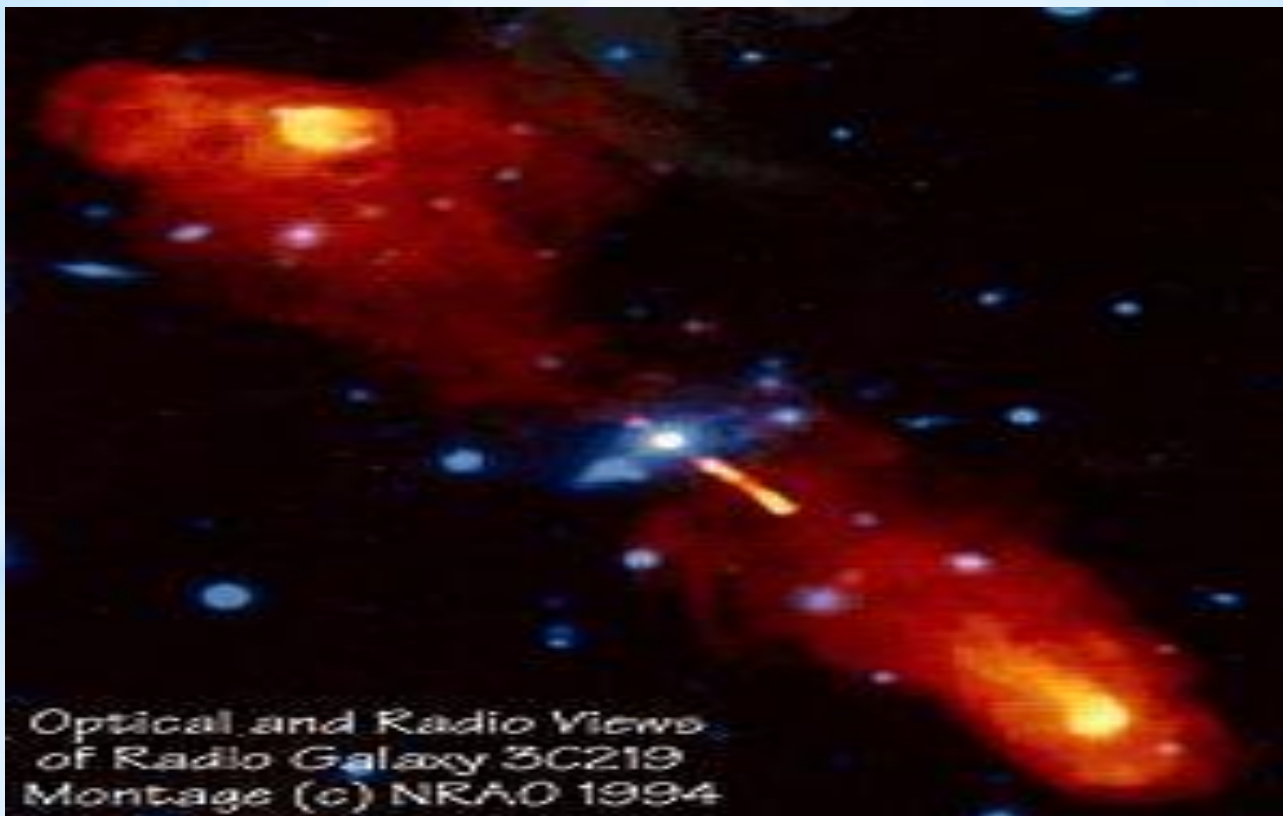


Рис. 2. Совмещённое изображение [радиогалактики 3C219](#) в оптике (синий) и радио (красный)

(Википедия- статья радиоастрономия)

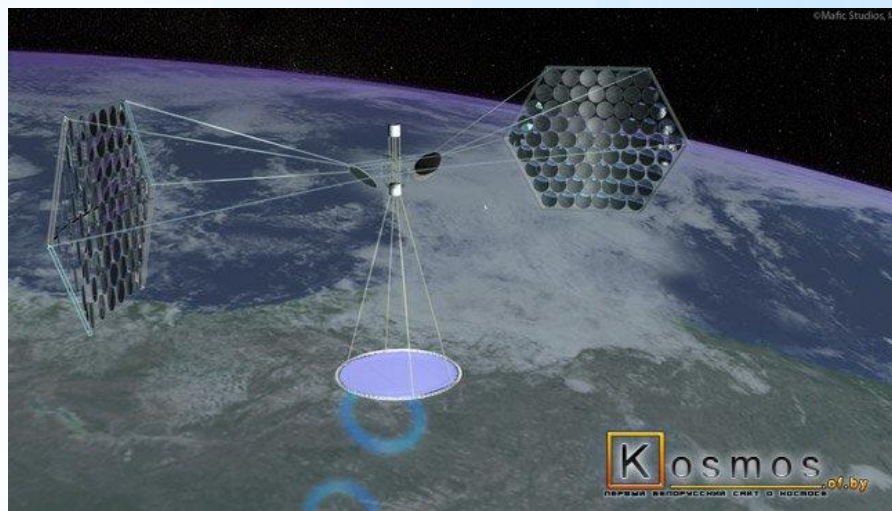
* Радиометеорология



Радиометеорология, наука, в которой изучается, с одной стороны, влияние метеорологических условий в тропосфере и стратосфере на распространение радиоволн (главным образом УКВ), с другой - метеорологические явления в тропосфере и стратосфере по характеристикам принимаемых радиосигналов, в том числе собственного излучения атмосферы, как теплового, так и обусловленного электрическим разрядами.

2. Применение электромагнитных волн диапазона СВЧ

* СВЧ энергетика

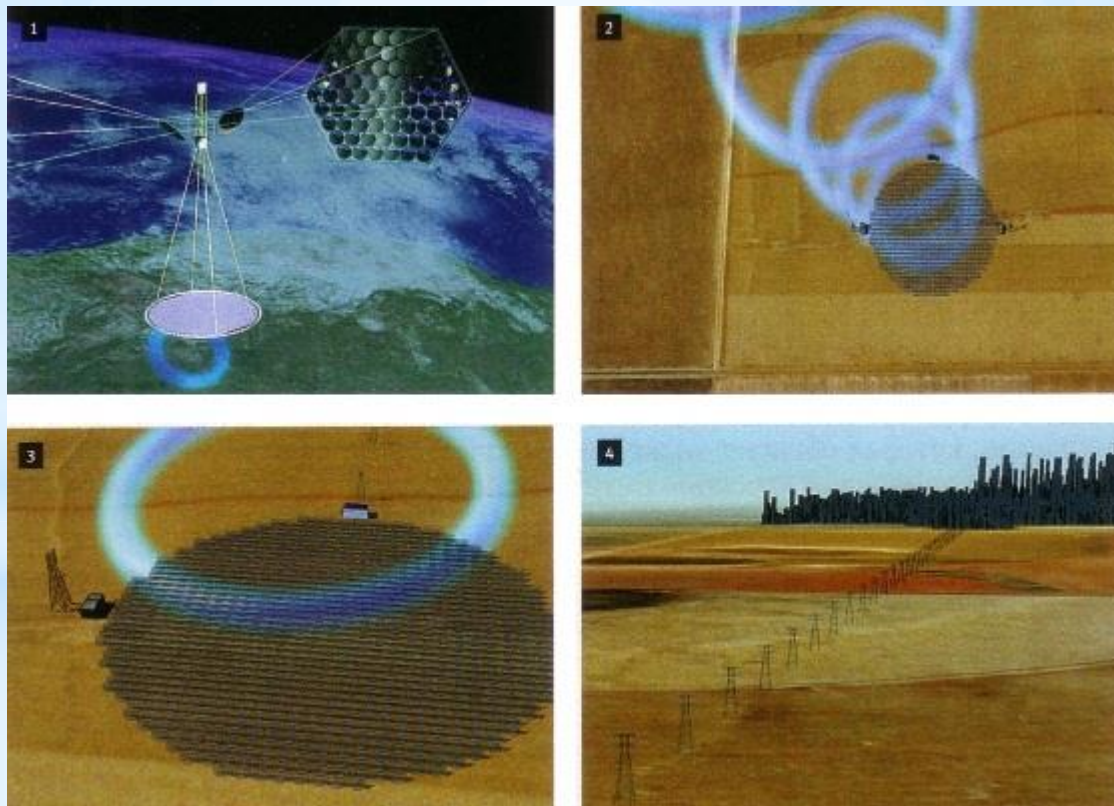


**Термообработка
материалов**

Передача энергии

2. Применение электромагнитных волн диапазона СВЧ

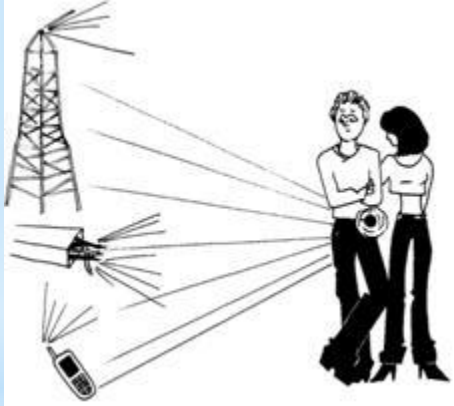
* СВЧ Энергетика



Проект космической электростанции компании Solaren включает солнечные батареи общей площадью почти квадратный километр и направленный СВЧ-передатчик (1). Голубые кольца — импульсы СВЧ-излучения, идущие с орбиты на Землю (2). Поле приемных ректенн поперечником несколько сотен метров (3). Потребителям энергия доставляется традиционно — по проводам (4).

2. Применение электромагнитных волн диапазона СВЧ

* Нетепловое воздействие



Эффекты **нетеплового воздействия** миллиметрового излучения на биологические объекты/ Под ред. Девяткова Н. Д. М. — ИРЭ АН СССР, 1983

Архангельский Ю.С., С.Г. Калганова Рабочая камера СВЧ электротехнологической установки для модификации полимерных волокон / // Вестник СГТУ. 2004. №1(2). С. 86-90.

НЕТЕПЛОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ МОЩНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩУЮ ГОРНУЮ ПОРОДУ

[Вдовин В.А.](#), [Гуляев Ю.В.](#), [Чантурия В.А.](#), [Черепенин В.А.](#) РиЭ 2005. Т. 50. [№ 9](#). С. 1044-1047.

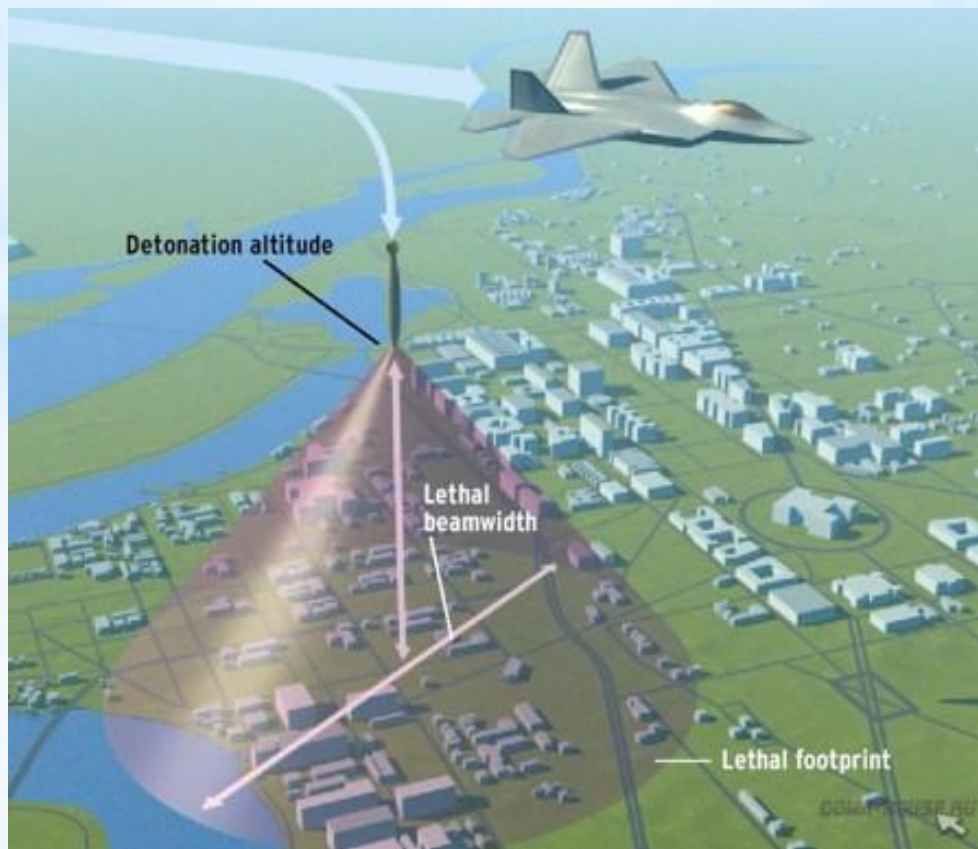
.....

2. Применение электромагнитных волн диапазона СВЧ



Электромагнитное оружие

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ОРУЖИЕ – ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ (МИКРОВОЛНОВОЕ) ОРУЖИЕ мощный электронный импульс, накрывающий площадь в радиусе 50 км от центра применения. Проникает внутрь строений через швы и трещины в отделке. Повреждает ключевые элементы электрических схем, приводя всю... .. Большой Энциклопедический словарь



2. Применение электромагнитных волн диапазона СВЧ

* Электромагнитное оружие

В качестве поражающего фактора используется высокочастотное электромагнитное излучение, который вызывает у жертвы непереносимые болевые ощущения, сообщает ["Интерфакс"](#). Заместитель начальника отдела 12 ЦНИИ Минобороны РФ подполковник Дмитрий Сосков рассказал агентству, что новое оружие будет наиболее эффективно в локальных конфликтах, когда нет сплошной линии фронта, а также при пресечении массовых беспорядков в городских условиях.

Оружием можно стрелять из-за угла с помощью отражателя, что незаменимо в городских условиях.

Направленный луч взаимодействует с влагой в верхних слоях кожи и не затрагивает внутренние органы. При этом жертва ощущает сильнейшее жжение, сравнимое с тепловым шоком, и пытается уйти из зоны огня.

Болевой эффект достигается за 2-3 секунды. При этом луч проходит через одежду, не зажигая ее, через любую дымовую или пылевую завесу. "Генератор позволяет стрелять лучом из-за угла с помощью отражателя, он незаменим в городе", - пояснил журналистам военный ученый.

Дальность действия луча составляет 200-300 м. Установку такой мощности можно разместить в автомобиле типа "Газель" или "Тигр". Для более мощного прибора понадобится больше пространства.

2. Применение электромагнитных волн диапазона СВЧ

* Электромагнитное оружие



Active Denial System
("Система активного отбрасывания", также известна как "луч боли")
США, 2007 г.

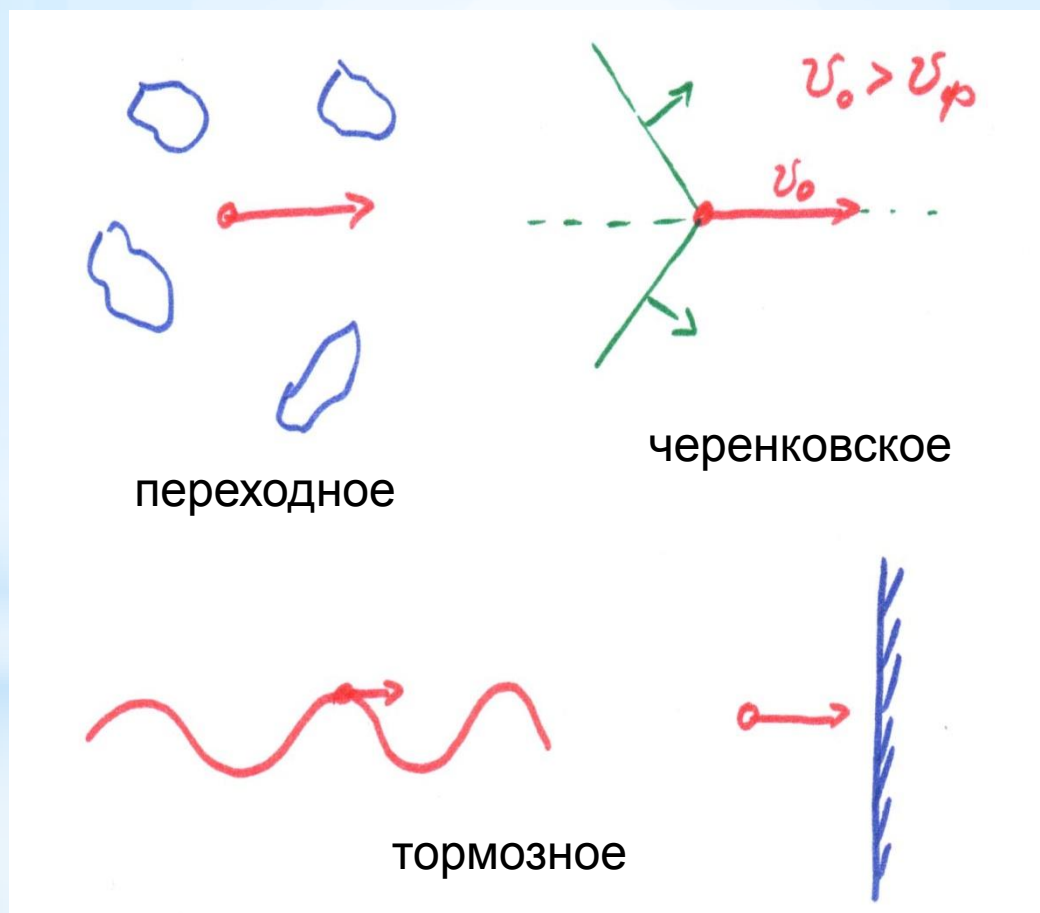
«Тепловая пушка является промежуточным решением между применением оружия и переговорами с толпой...»

План лекции

1. Введение. Диапазон СВЧ
2. Области применения электромагнитных волн диапазона СВЧ
3. Основные принципы генерации микроволн.
 - 1) Индивидуальное излучение заряженных частиц.
 - 2) Основные идеи электроники СВЧ
4. Релятивистская высокочастотная электроника.

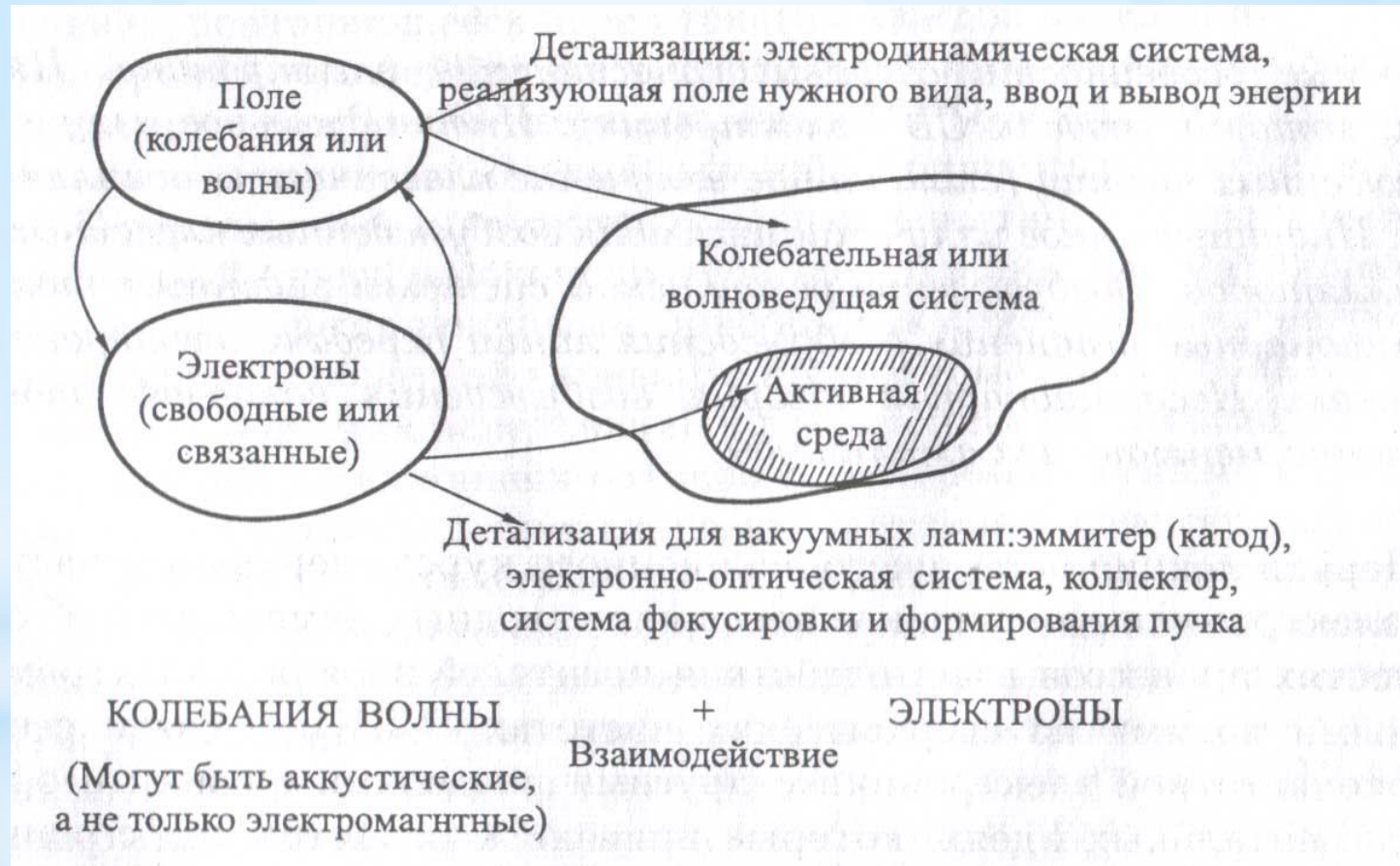
Основные принципы генерации микроволн.

* Индивидуальное излучение заряженных частиц.



Основные принципы генерации микроволн.

Общие принципы генерации.



Основные принципы генерации микроволн.

Основные идеи СВЧ электроники.

Идея первая – модуляция электронов по скорости и группирование электронов в пространстве дрейфа.- **клистрон**

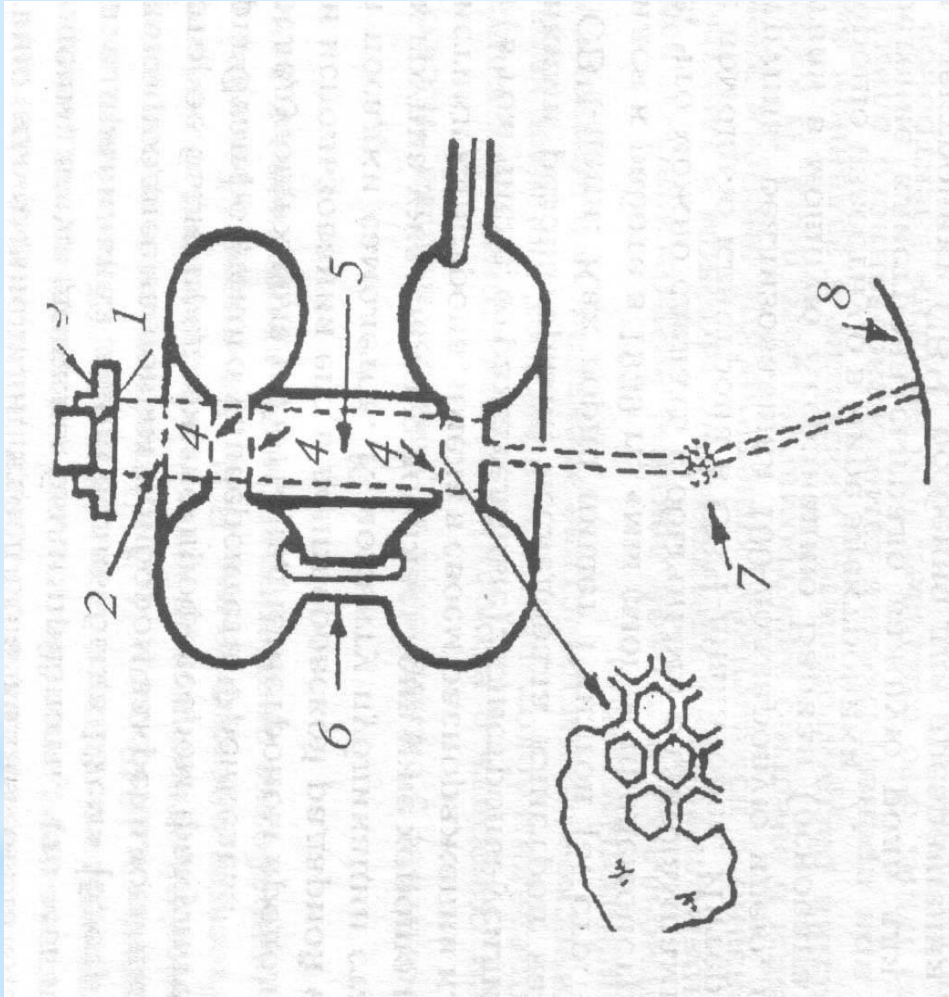
Идея вторая –Взаимодействие высокочастотных электромагнитных полей с электронами в скрещенных статических электрическом и магнитном полях – **магнетрон**.

Идея третья –Взаимодействие электронного потока с бегущей прямой волной электродинамической структуры. – **ЛБВ**.

Идея четвертая – Взаимодействие электронного потока с обратной электромагнитной волной – **ЛОВ. Карсинотрон** (пер. с греч. – рак, пятающийся назад).

Идея пятая – взаимодействие криволинейных электронных потоков с электромагнитными полями. – **МЦР**.

Основные принципы генерации микроволн.



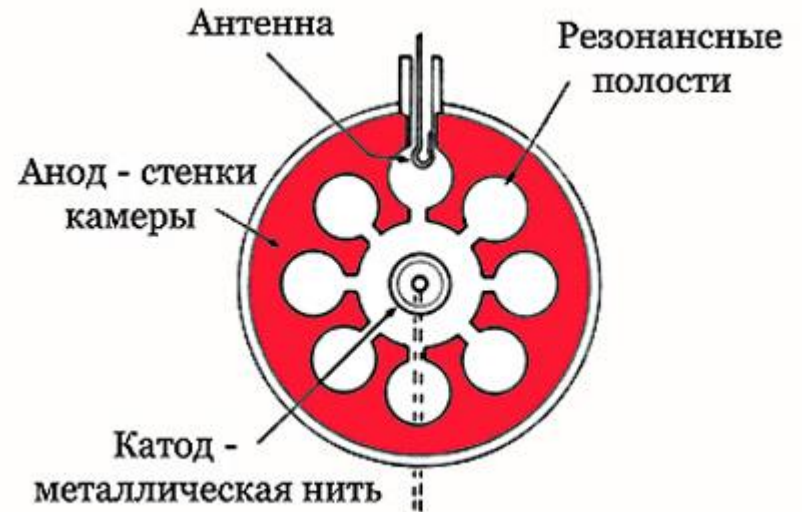
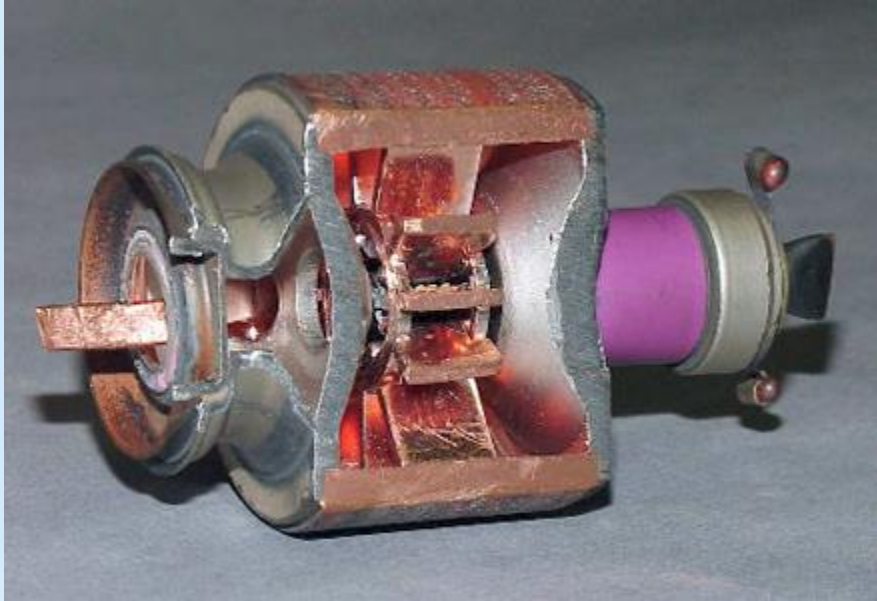
1938 год Рассел
Вариан, Сигурд
Вариан,
Уильям Хансен

* **КЛИСТРОН**

Идея первая – модуляция электронов по скорости и группирование электронов в пространстве дрейфа

Основные принципы генерации микроволн.

* Магнетрон



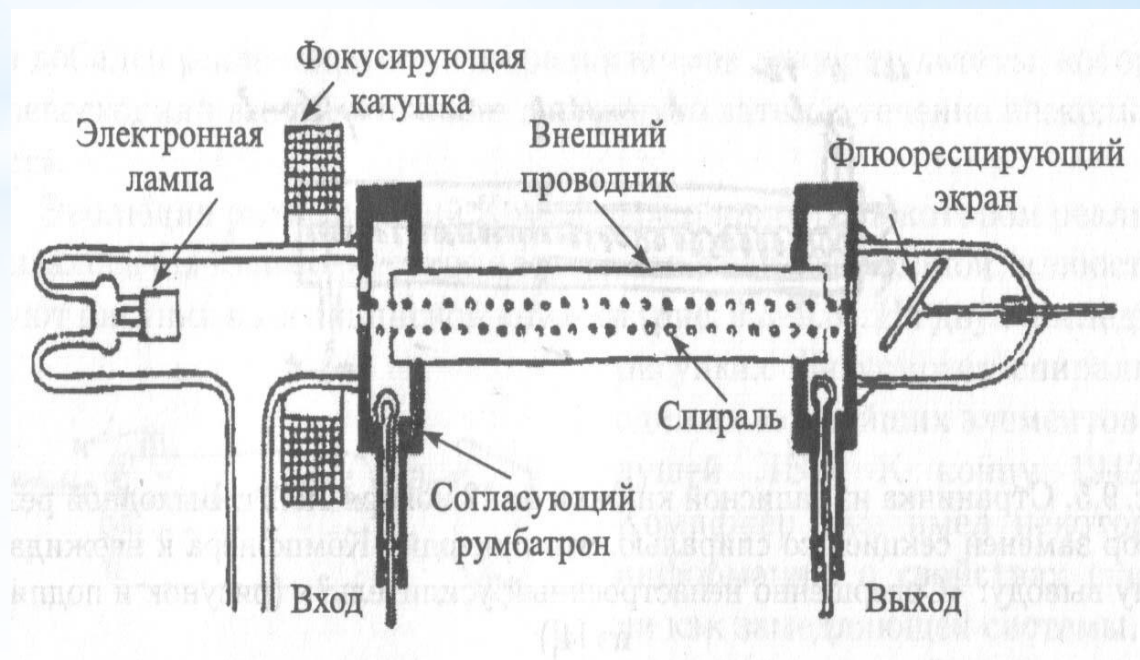
Чехословакия (Жачек, 1924 г.), СССР (А. А. Слуцкий и Д. С. Штейнберг, 1925 г.), Япония (Окабе и Яги, 1927 г.)

Идея вторая – Взаимодействие высокочастотных электромагнитных полей с электронами в скрещенных статических электрическом и магнитном полях

* Лампа с бегущей волной

Идея третья – Взаимодействие электронного потока с бегущей прямой волной электродинамической структуры. – ЛБВ.

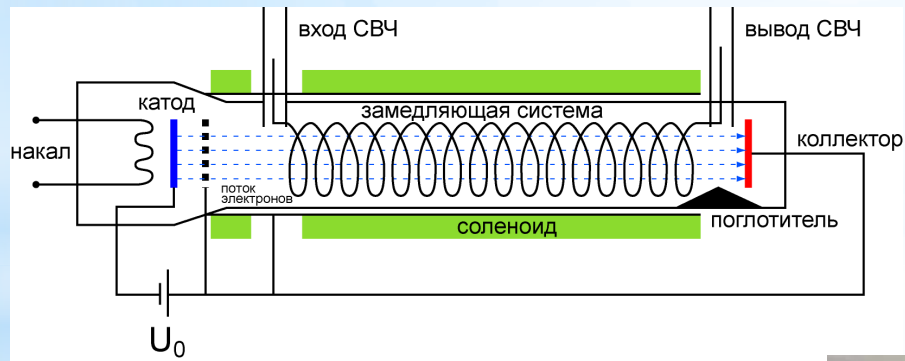
Рудольф
Компфнер, 1944 г.



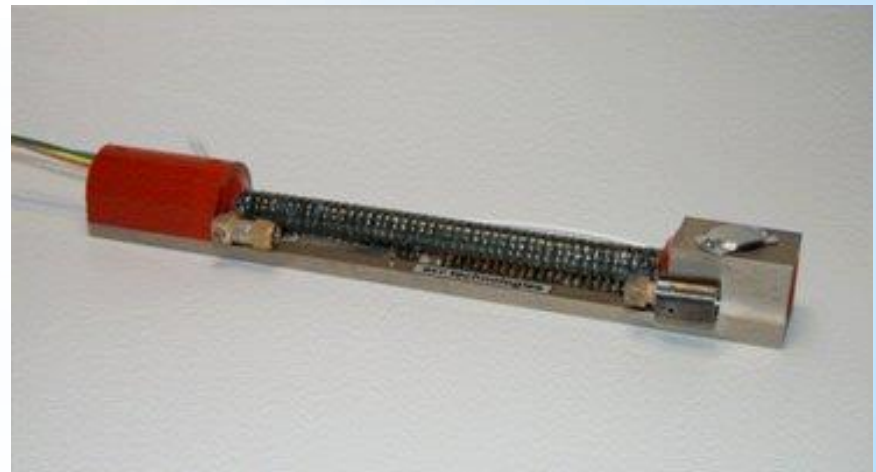
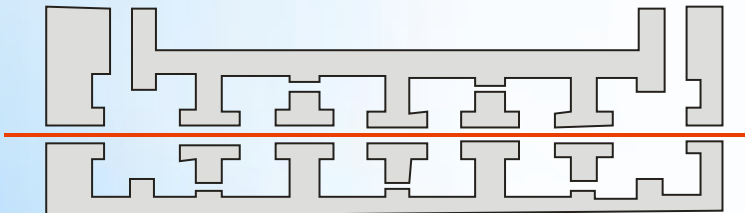
Основные принципы генерации микроволн.

* Лампа с бегущей волной

Идея третья – Взаимодействие электронного потока с бегущей прямой волной электродинамической структуры.

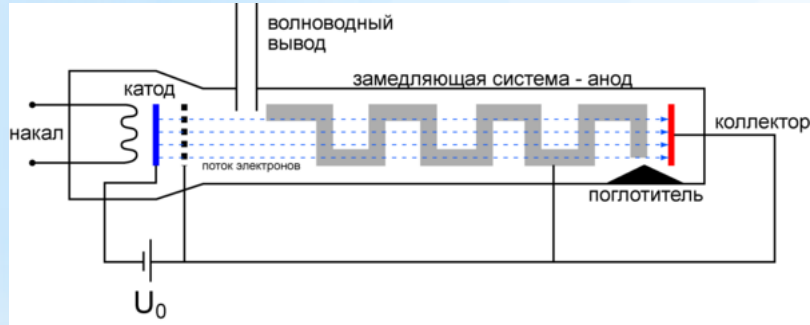


ЛБВ на ЦСР

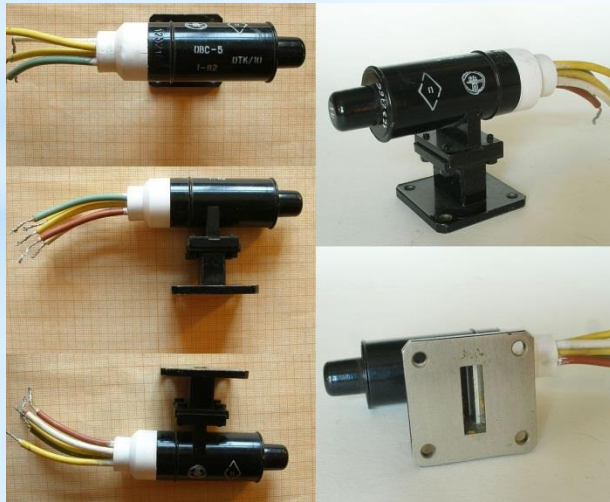


Основные принципы генерации микроволн.

* Лампа обратной волны



Рудольф
Компфнер, 1952 г.

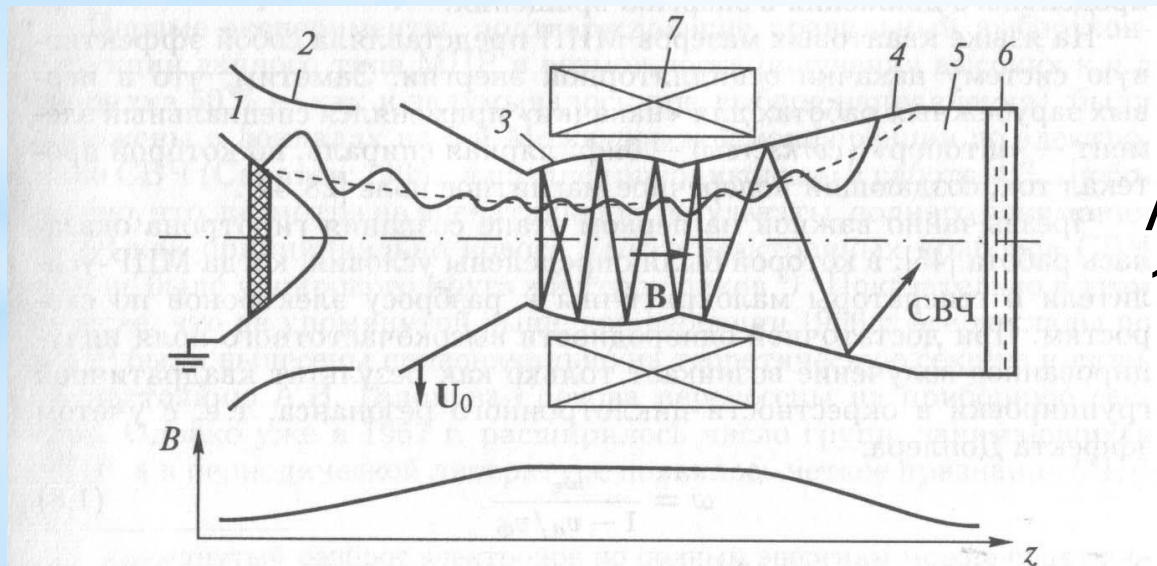


Идея четвертая – Взаимодействие электронного потока с обратной электромагнитной волной

Основные принципы генерации микроволн.

* Мазер на циклотронном резонансе

Идея пятая – взаимодействие криволинейных электронных потоков с электромагнитными полями.



А.В. Гапонов-Грехов
1967 г.

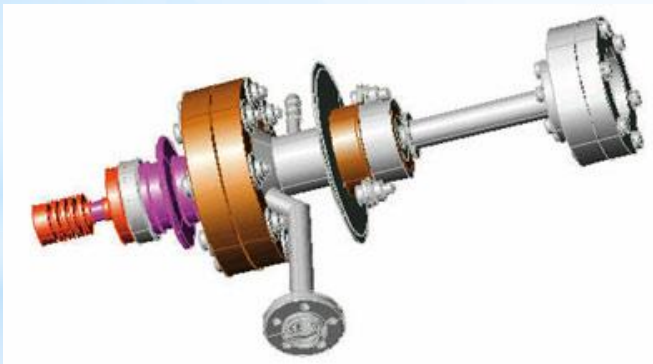
Рис. 1.5. Схема гиротрона: 1 — катод; 2 — анод; 3 — резонатор; 4 — коллектор; 5 — выходной волновод; 6 — выходное окно; 7 — соленоид. Штриховая линия — силовая линия магнитного поля, волнистая линия — траектория электрона, ломаная линия — траектория лучей, образующих рабочую моду. Внизу график распределения статического магнитного поля B вдоль продольной координаты z

Основные принципы генерации микроволн.



Мазер на циклотронном резонансе

Идея пятая – взаимодействие криволинейных электронных потоков с электромагнитными полями



Гиротрон с импульсным магнитным полем до 50 Тл и рекордными частотами до 1,3 ТГц



Гиротрон с частотой 0,67 ТГц и пиковой мощностью 200—300 кВт на базе импульсного соленоида

План лекции

1. Введение. Диапазон СВЧ
2. Области применения электромагнитных волн диапазона СВЧ
3. Основные принципы генерации микроволн.
 - 1) Индивидуальное излучение заряженных частиц.
 - 2) Основные идеи электроники СВЧ
4. **Релятивистская высокочастотная электроника.**

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

$$v = c \sqrt{1 - \frac{1}{\gamma^2}}$$

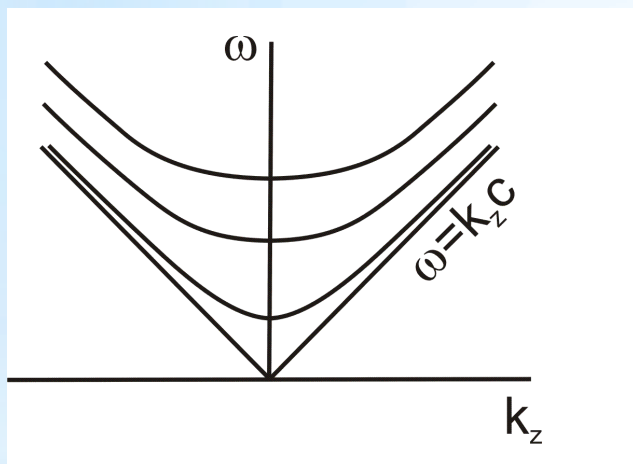
$$\gamma = 1 + \frac{U(\text{кВ})}{511}$$

- Для электронов

* Релятивистская
электроника

* Основные понятия

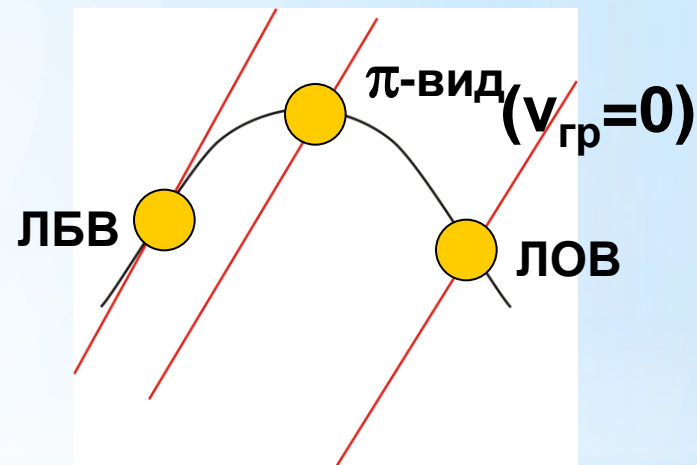
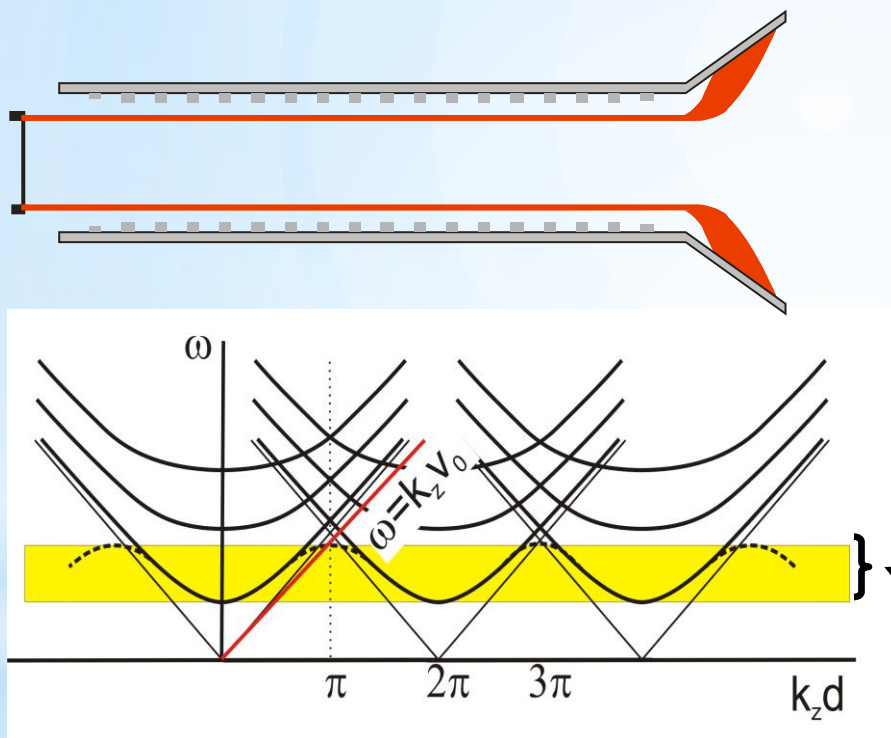
Гладкий волновод



Одномодовый,
Многомодовый
(сверхразмерный)

* Основные понятия

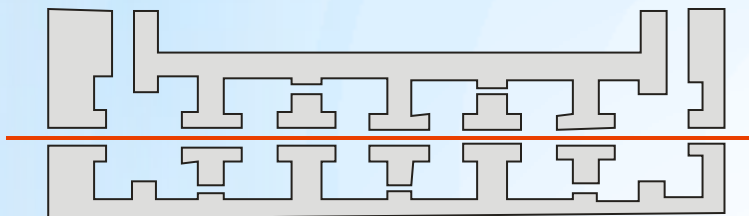
Периодический волновод



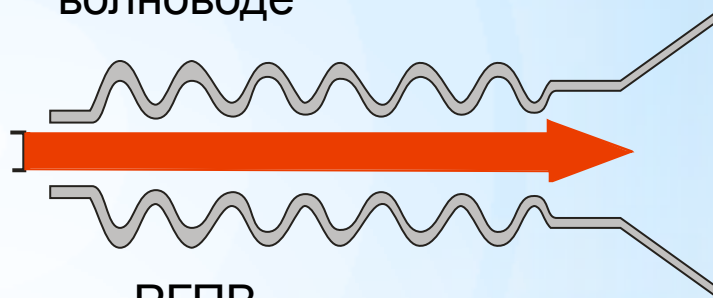
Полоса прозрачности

* Примеры периодических систем

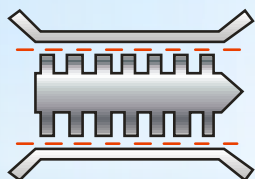
ЛБВ на ЦСР



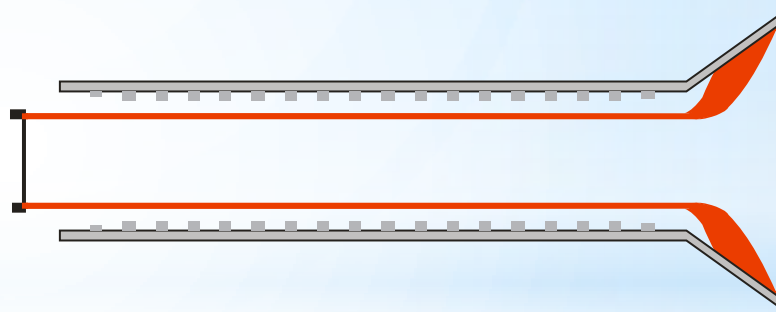
ЛБВ-ЛОВ на гофрированном волноводе



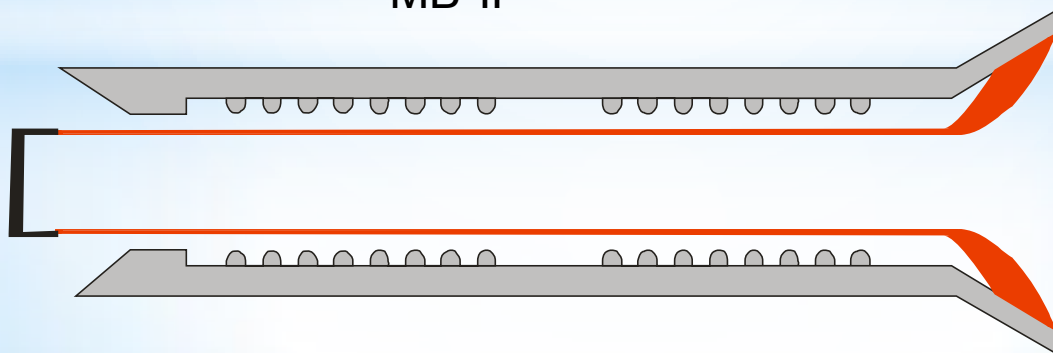
МЦРАД



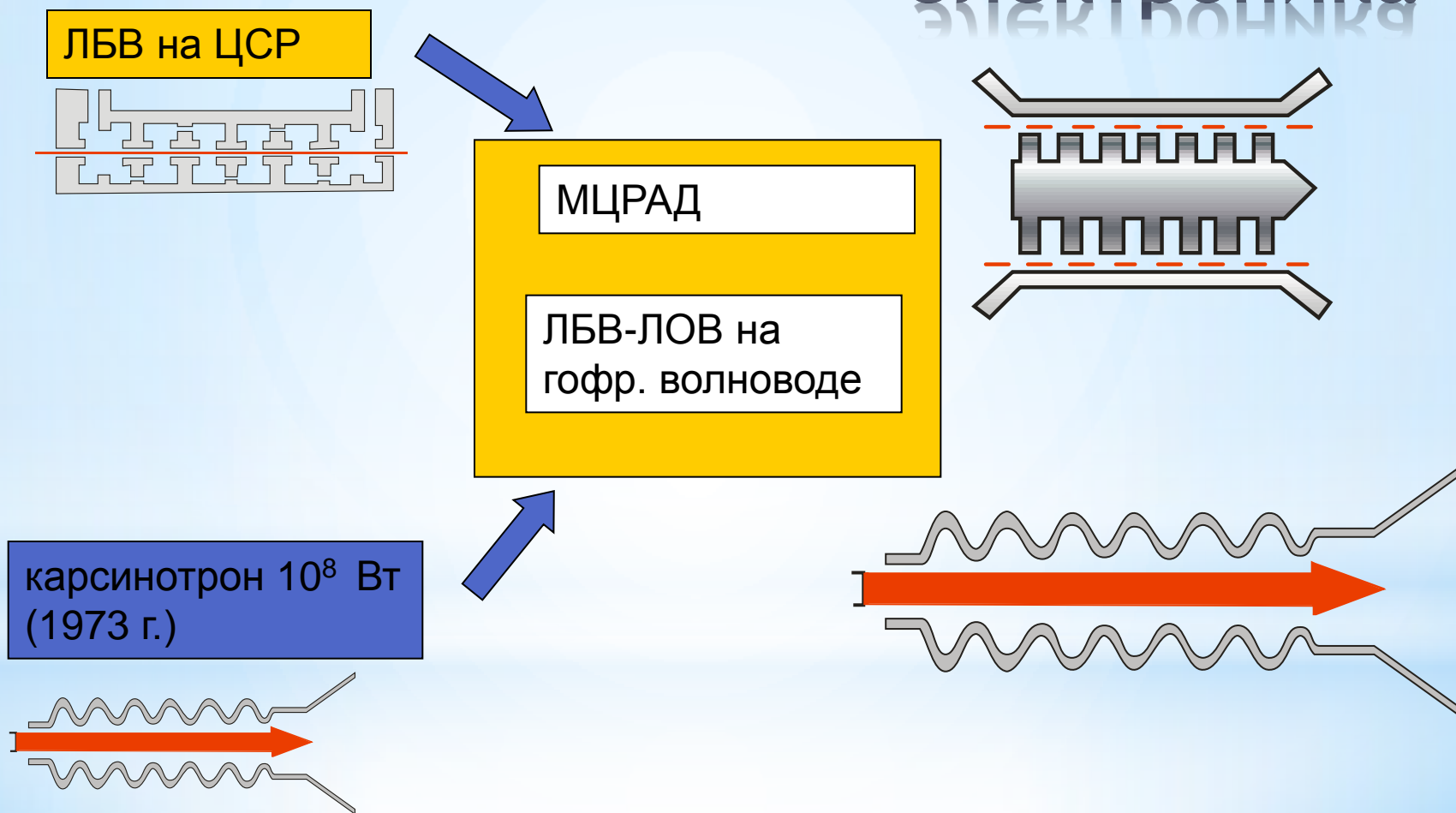
РГПВ



МВЧГ

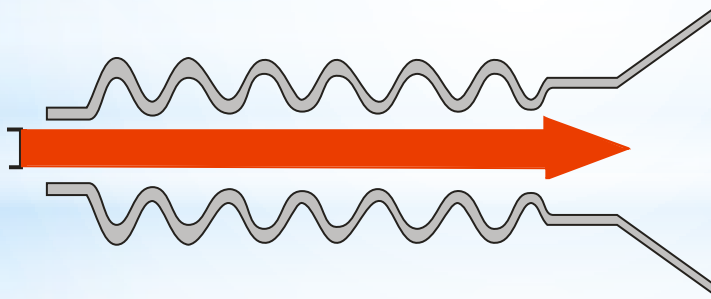


* Релятивистская высокочастотная электроника



* Релятивистские ЛОВ

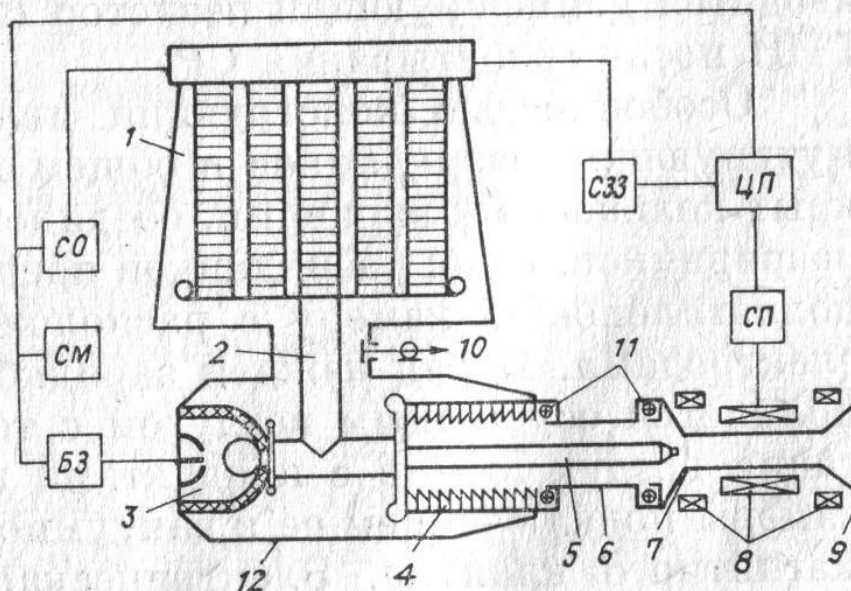
1 ГВт в 3-х см диапазоне длин волн
(КПД генерации 30%)
5 ГВт в 8-и см диапазоне



* Ускоритель «Гамма» (г. Томск)

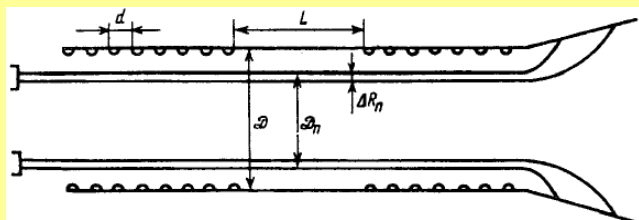
Рис. 1.10. Схема ускорителя «Гамма».

1 — ГИН; 2 — передающая линия; 3 — срезающий разрядник; 4 — вакуумный изолятор; 5 — катододержатель; 6 — вакуумная камера; 7 — труба дрейфа; 8 — соленоид с катушками коррекции; 9 — коллектор; 10 — емкостный делитель напряжения; 11 — пояса Роговского; 12 — корпус; СП — система питания соленоида; ЦП — центральный пульт управления; СЗЗ — система зарядки и запуска ГИН; СО — система осушки и смены газа в разрядниках ГИН; СМ — система наполнения и слива масла; БЗ — блок запуска срезающего разрядника.



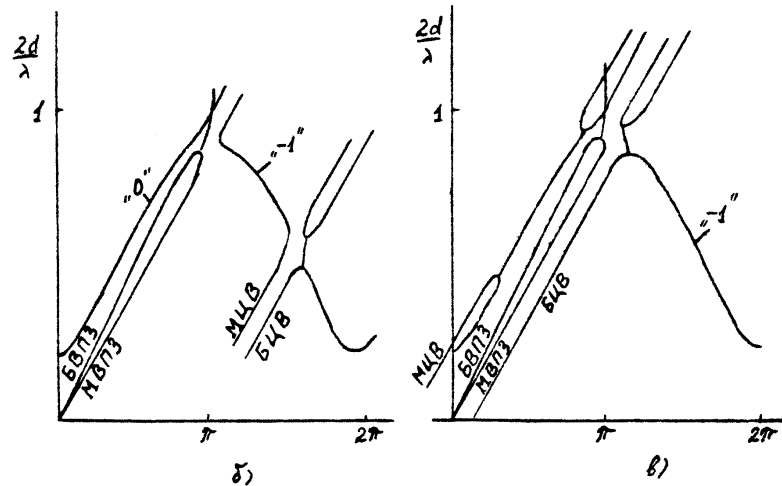
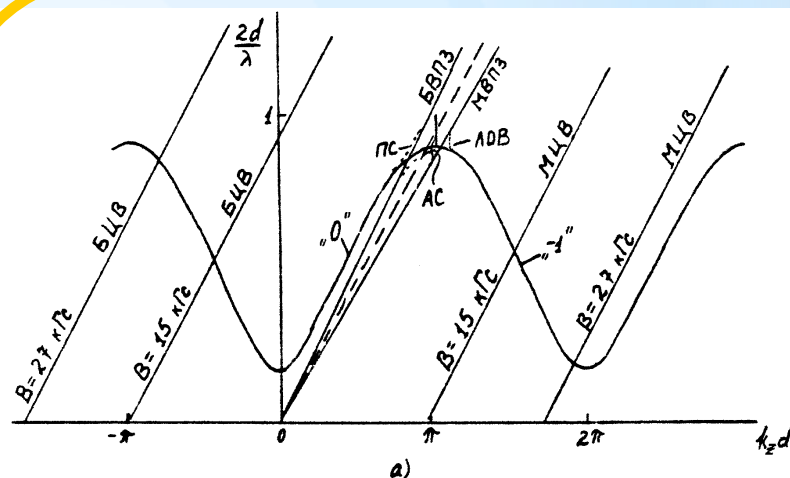
* Многоволновой черенковский генератор.

Эксперимент

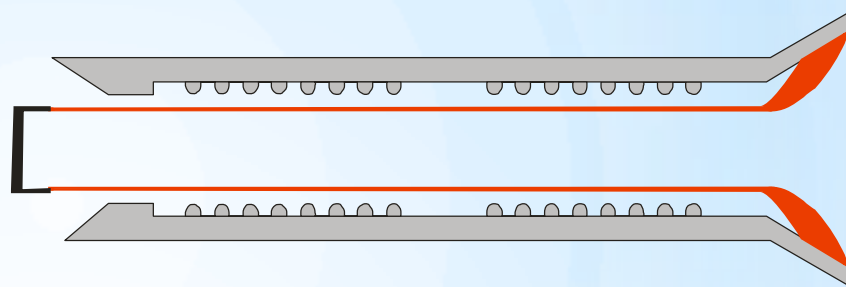
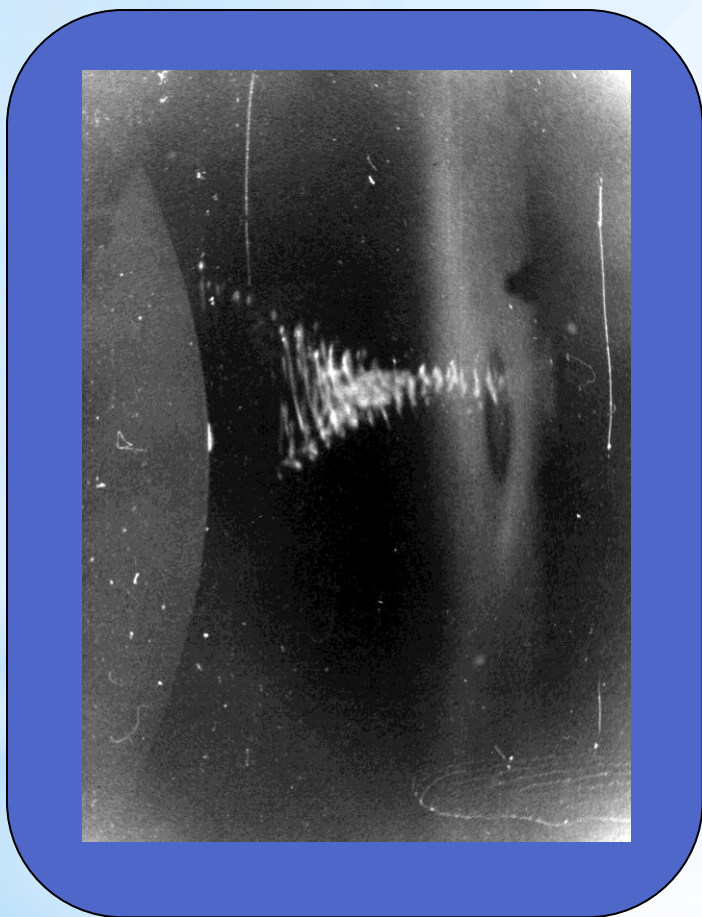


$D_B = 140$ мм, $D_{\Pi} = 110$ мм,
 $\Delta R_{\Pi} = 2-3$ мм. $d = 1,5$ см

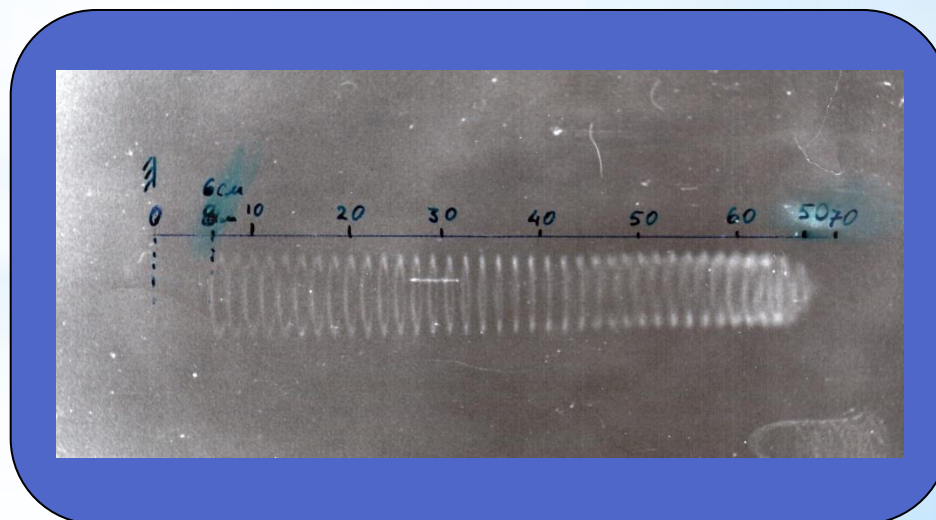
ускоритель «Гамма» ИСЭ
СО РАН
 $U = 1,5-2$ МэВ
мощность 15 ГВт при КПД
около 50%



* Высокочастотный пробой в воздухе



Многоволновой черенковский генератор



Спасибо за внимание!