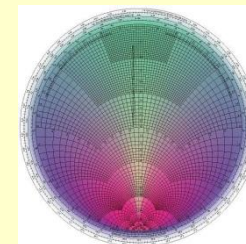


СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Кафедра радиотехнической электроники



«Микроволновая Электроника»

доцент

Иванов Вячеслав Александрович

me2014iva@ya.ru

План лекции №1

1. Организация учебного процесса по дисциплине
2. Содержание дисциплины «Микроволновая электроника»
3. Особенности микроволнового диапазона
4. Области применения
5. История развития
6. Перспективные направления

1. Организация учебного процесса по дисциплине

Микроволновая Электроника

1.1. ПРОГРАММА

Курс	3
Семестр	6
Общая трудоемкость	4 ЗЕТ

Лекции	36 ч.	Экзамен	6 сем.
Практические занятия	18 ч.	Дифференцированный зачет	0 сем.
Лабораторные занятия	36 ч.	Курсовая работа	0 сем.
Аудиторные занятия (в т.ч. интерактивных - 10 ч.)	90 ч.	Курсовой проект	0 сем.
Самостоятельная работа	46 ч.		
Всего	136 ч.		

1.2. Публичная ссылка

<https://yadi.sk/d/woHgK4DC3CYuUG>

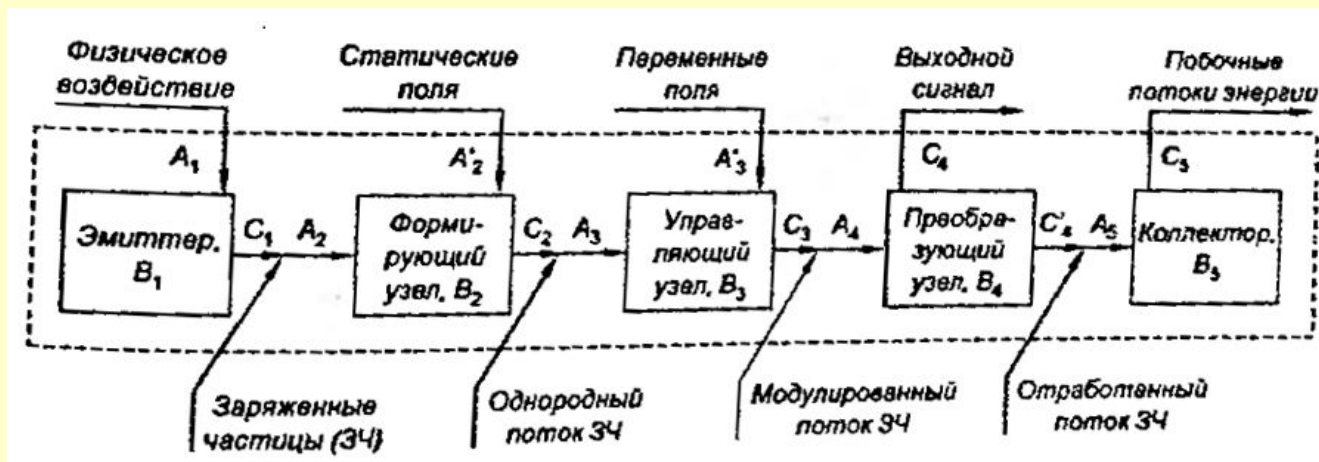
1.3. Самостоятельная работа:

ответы посылать на

me2014iva@ya.ru

2. Содержание дисциплины «Микроволновая электроника»

Микроволновая электроника – область науки и техники, изучающая взаимодействие высокочастотного электромагнитного поля с потоками заряженных частиц и применяющая эти знания для создания эффективных приборов для генерации, усиления и преобразования микроволновых электромагнитных колебаний



Поток заряженных (электроны, дырки, ионы)

Высокочастотное электромагнитное поле

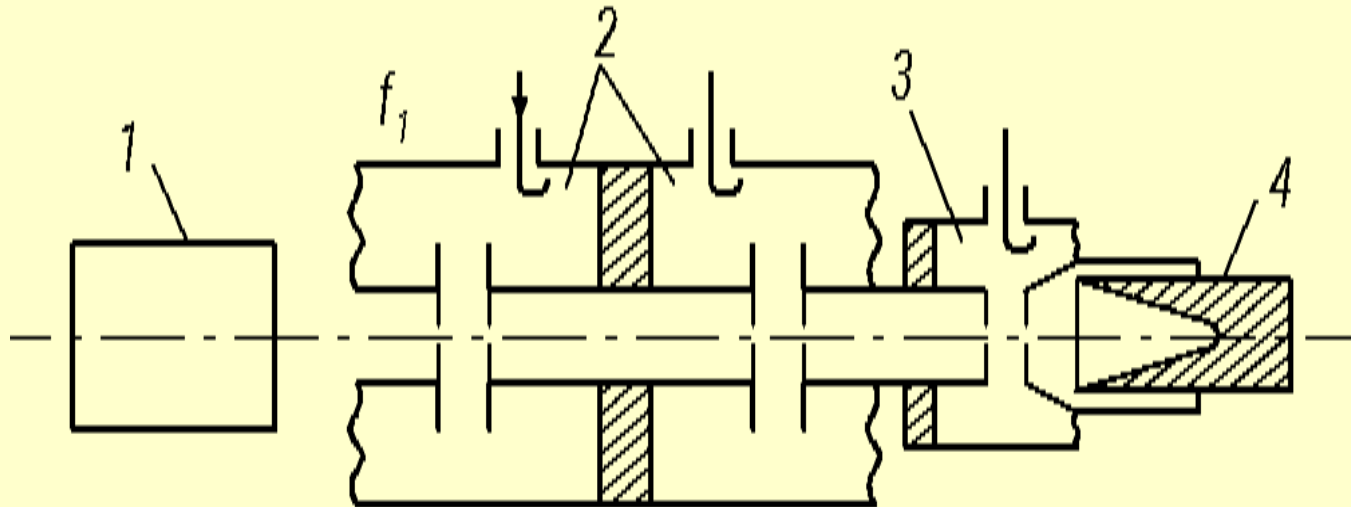


ETU

Frequency Multiplying Klystron KUM-1
Radio Electronics Department

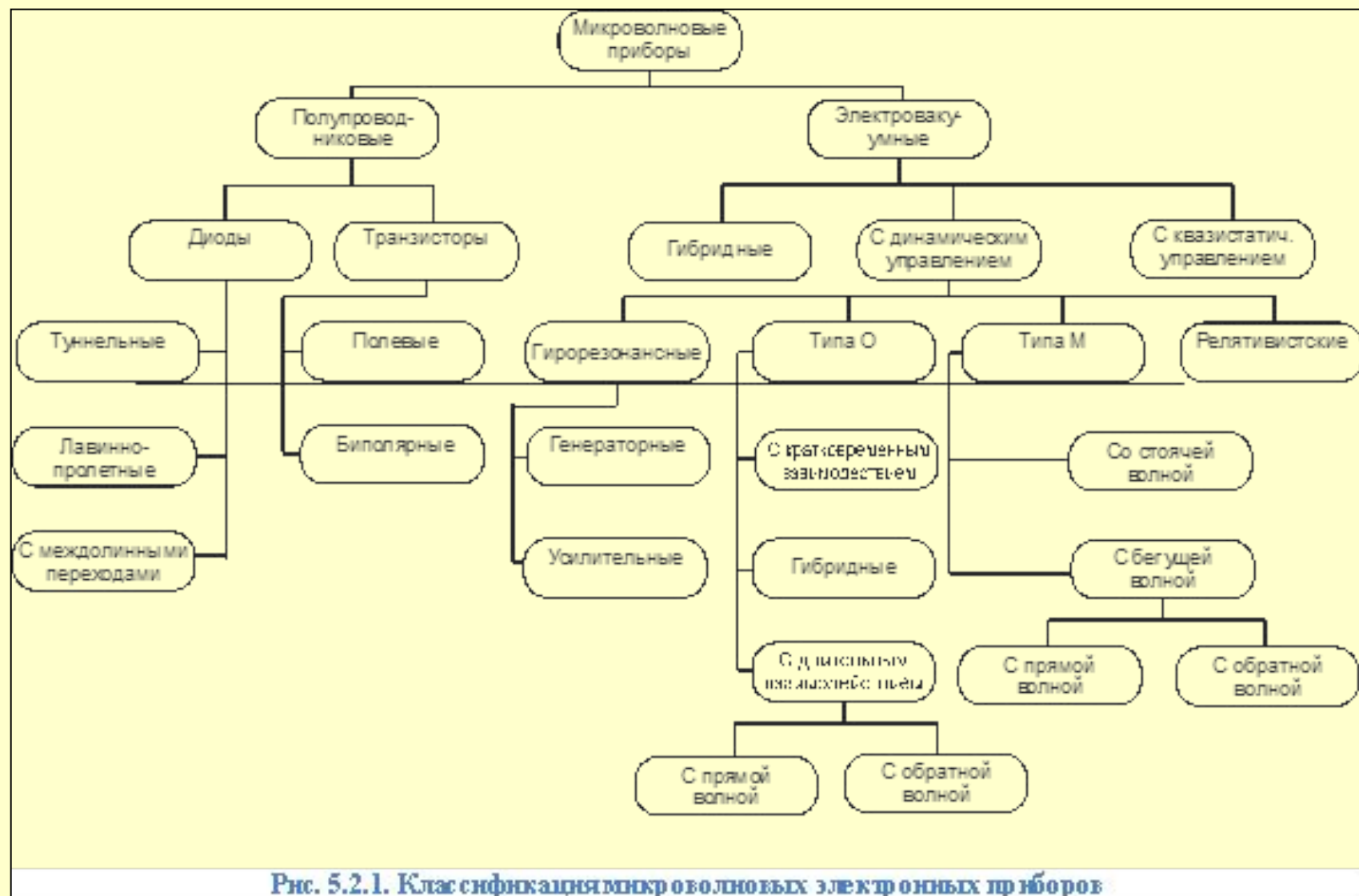
St. Petersburg Electrotechnical University “LETI”

Device scheme



- 1. Electron gun
- 2. Input frequency cavities

- 3. Output frequency cavity
- 4. Collector

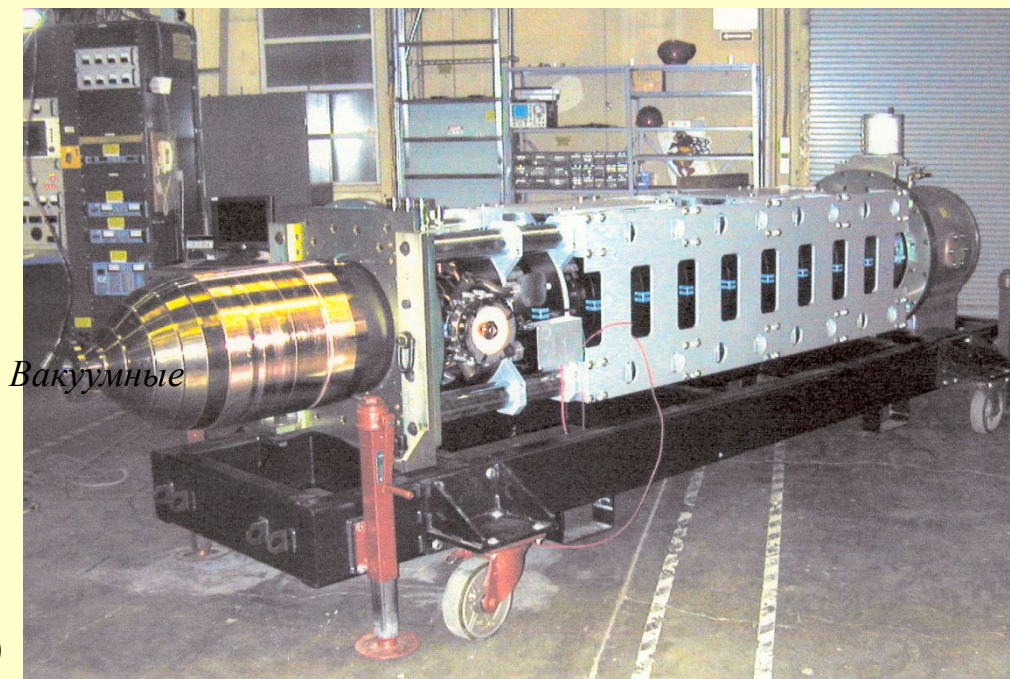


Примеры конструкций микроволновых приборов

Вакуумные



Генераторные лампы (триоды, тетроды)



Вакуумные

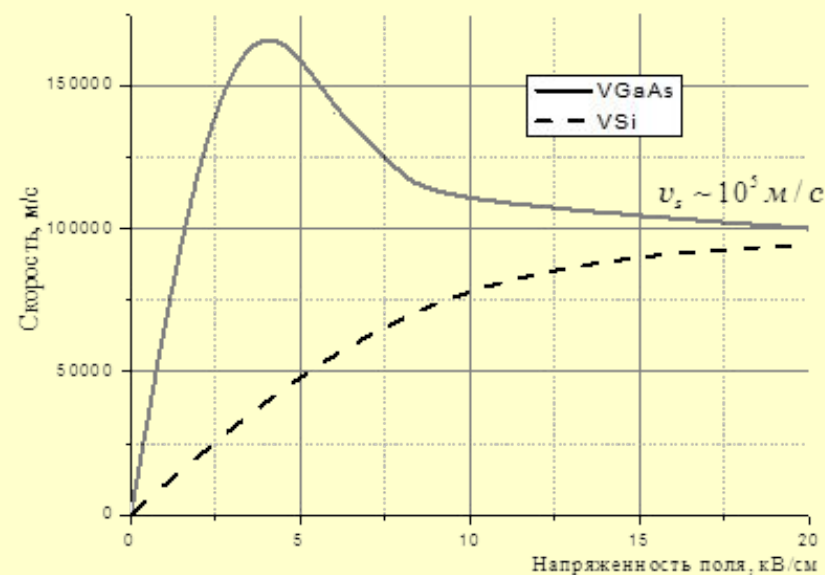
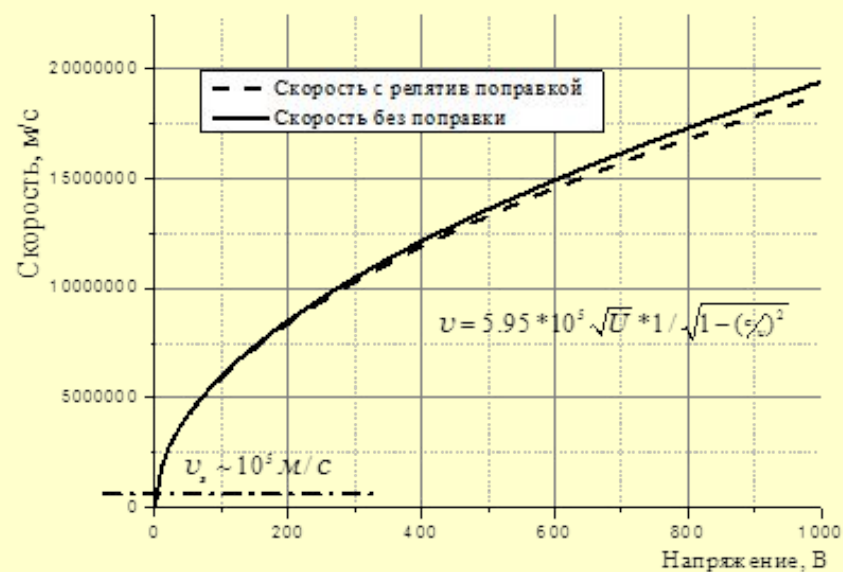
Клистрон для ЛУЭ

Полупроводниковые



Транзисторы и МИС

Скорость движения в вакуумных и полупроводниковых приборах

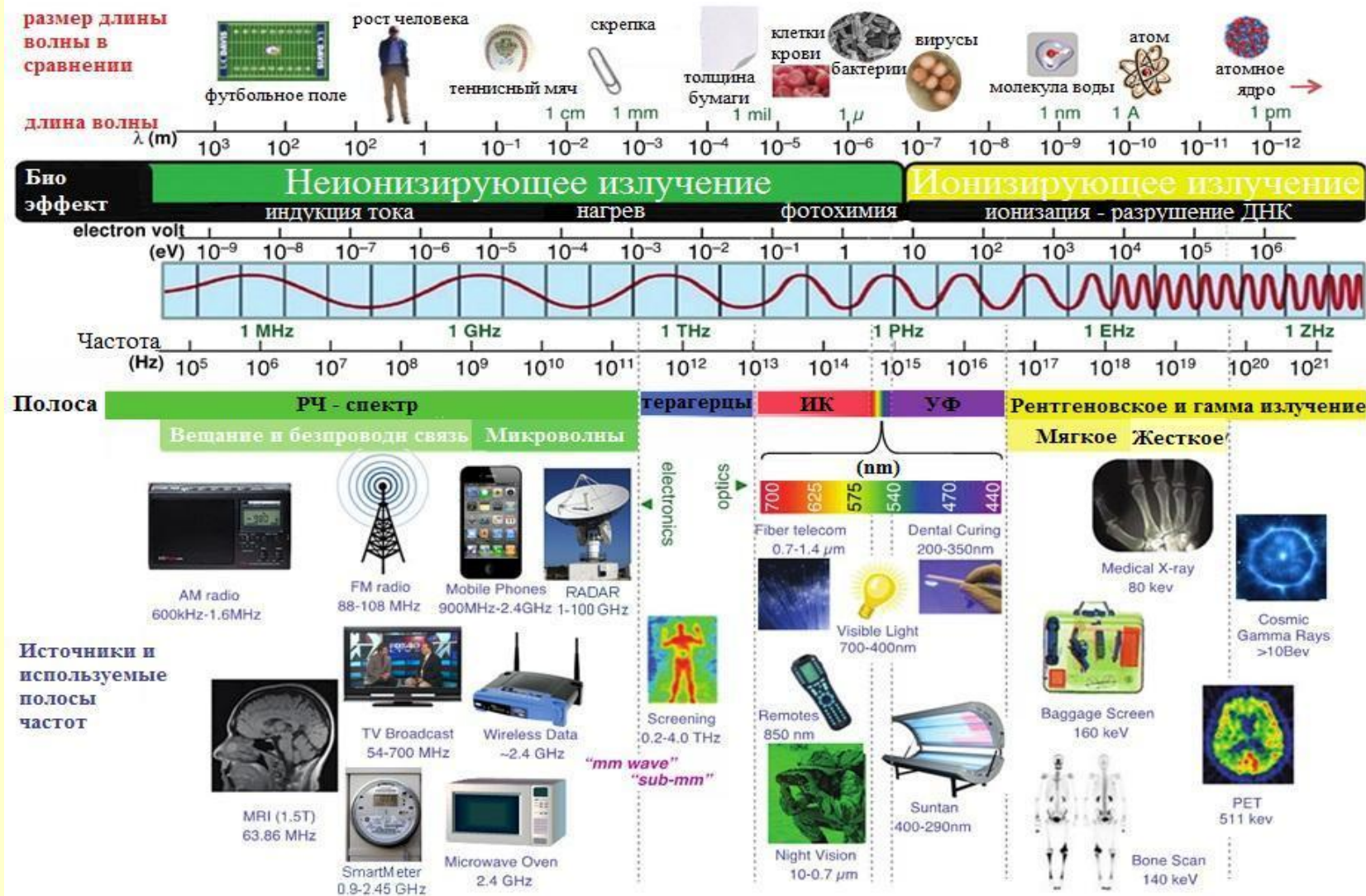


3. Особенности микроволнового диапазона



- Соизмеримость длины волны и размеров устройств;
 - Соизмеримость периода колебаний и времени пролета носителей заряда;
 - Прямолинейное распространение радиолуча;
 - Прозрачность земной атмосферы для микроволнового излучения;
 - Малая по сравнению с тепловыми колебаниями энергия кванта.
 - Большая информационная емкость каналов связи.
- Глубина проникновения (возможность «внутреннего нагрева»)
 - Диссипация энергии в материале за счет диэлектрической, магнитной релаксаций и проводимости. Результат – нагрев материала)

СПЕКТР ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ



<http://elementy.ru/>

Природа излучения, естественные источники

Излучение абсолютно черного тела

$$r(\lambda, T) = \frac{2\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

$$\lambda_{\max} \cdot T = 0.2898 [cm \cdot K]$$

$$k = 1.38 \cdot 10^{-23} [W \cdot c \cdot K^{-1}]$$

$$T [K] = 0.2898 / \lambda [cm]$$

$$h = 6.626 \cdot 10^{-34} [W \cdot c^2]$$

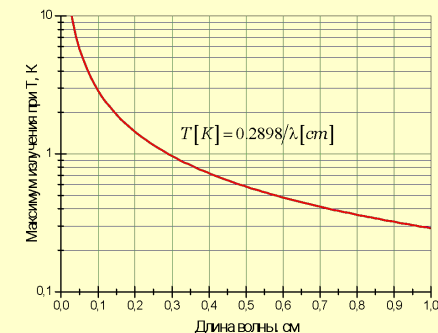
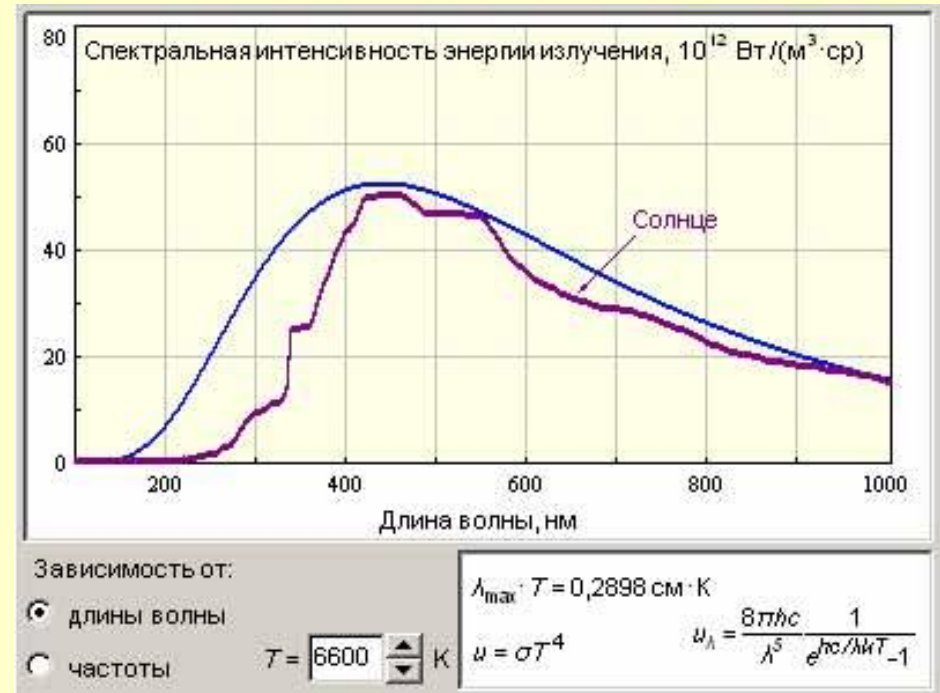
$$N = 6.022 \cdot 10^{26} [kmol^{-1}]$$

$$h\nu = kT$$

$$c = 2.997925 \cdot 10^8 [m \cdot c^{-1}]$$

Реликтовое излучение

Рели́ктовое излу́чение (или космическое микроволновое фоновое излучение от англ. *cosmic microwave background radiation*)— космическое электромагнитное излучение с высокой степенью изотропности и со спектром, характерным для абсолютно черного тела с температурой 2,725 К.



4. Области применения

«ИНФОРМАЦИЯ»

Радиолокация; Мобильная связь

Космическая связь и телеметрия

Радиоастрономия

Радиоспектроскопия

«ЭНЕРГИЯ»

Физика плазмы

Управляемый термоядерный синтез

*Технология (нагрев, сушка,
стерилизация и т.п.)*

Биология и медицина.

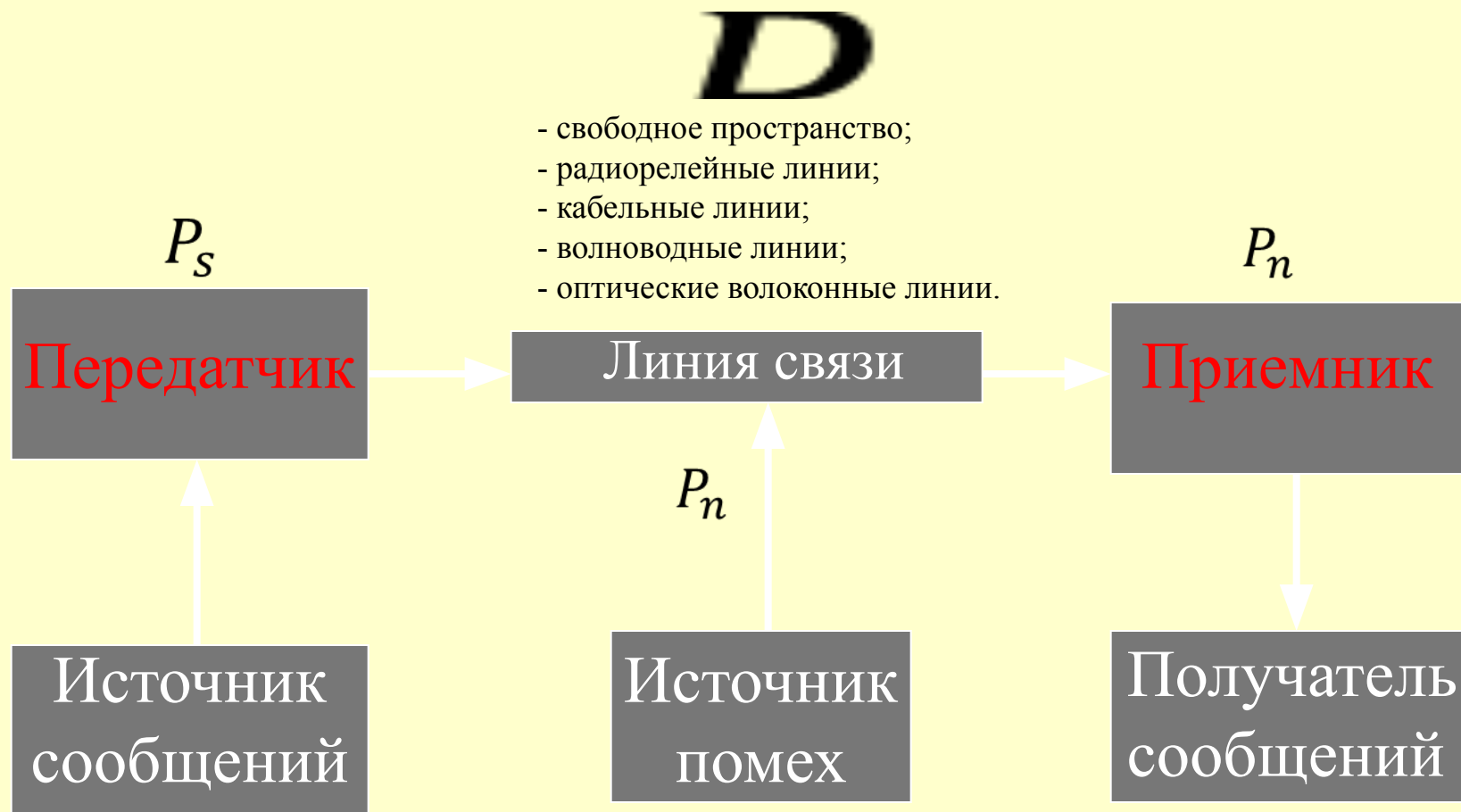
Микроволновая химия



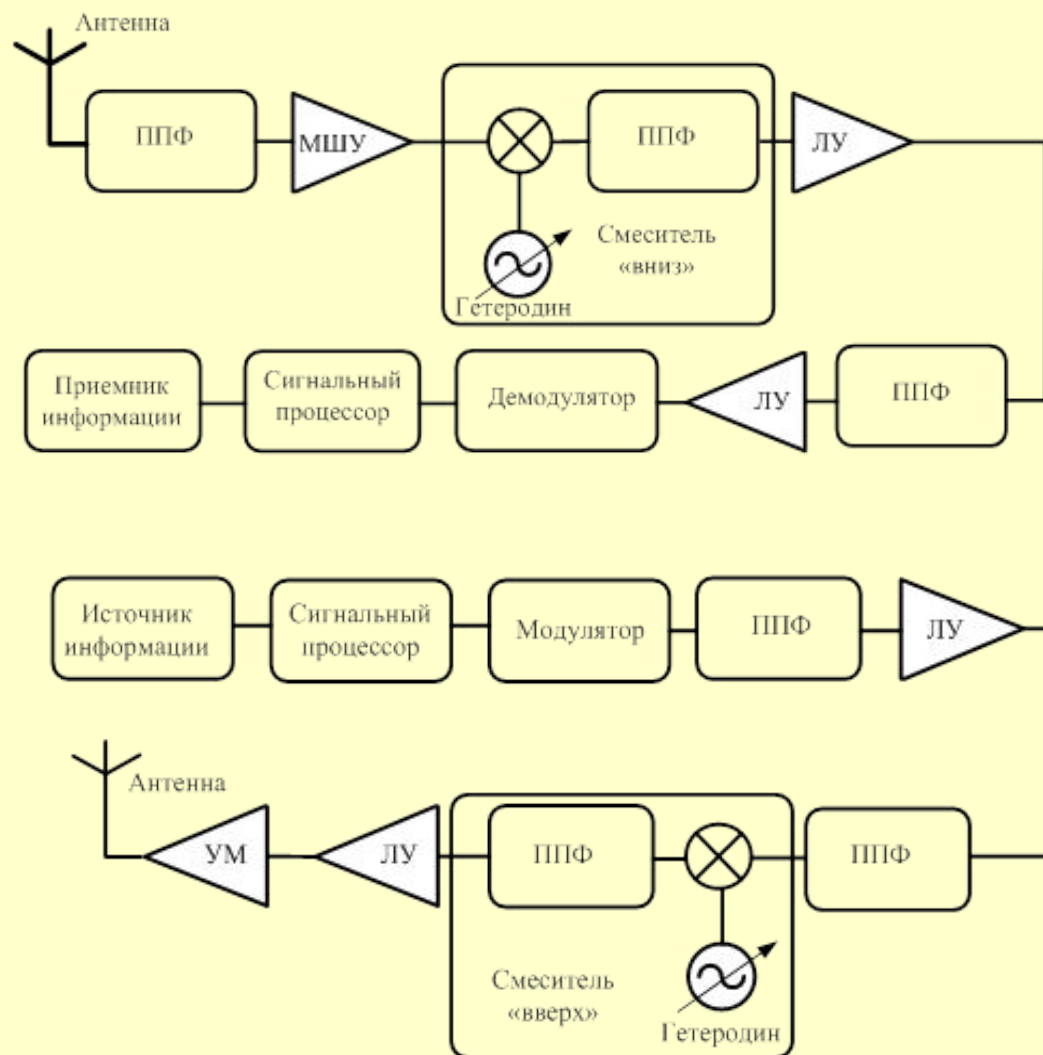
<http://hubblesite.org/gallery/album/entire>



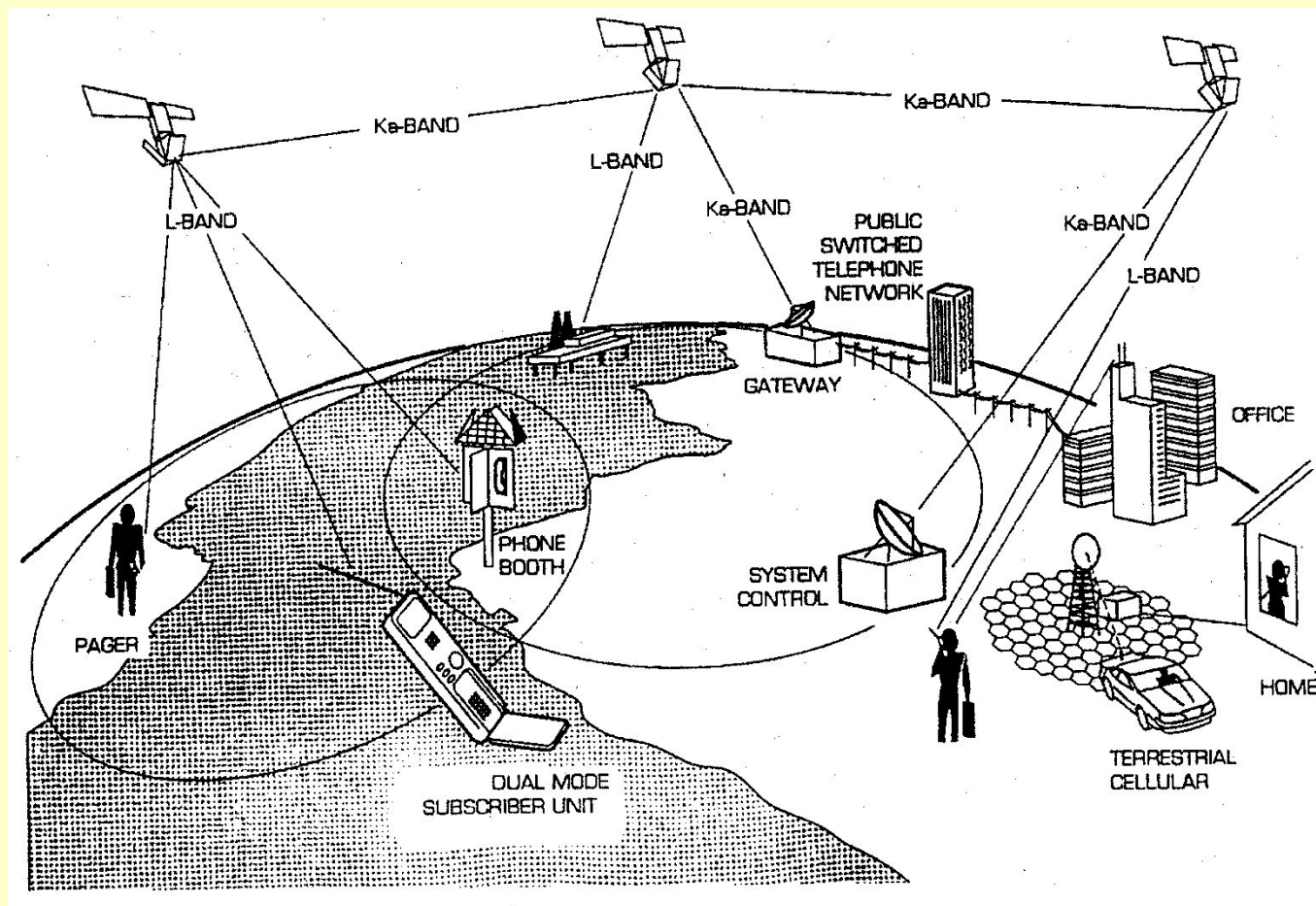
Информация



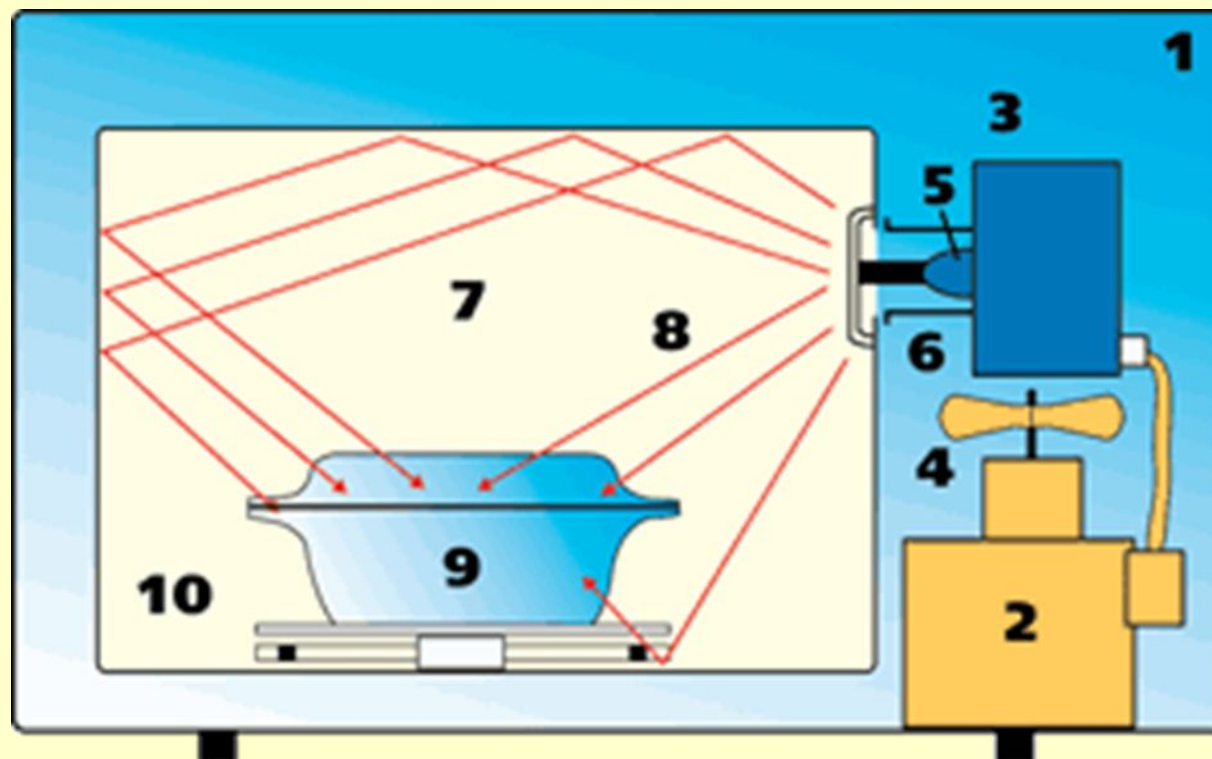
Структурные схемы приемника и передатчика



Глобальная система мобильной связи



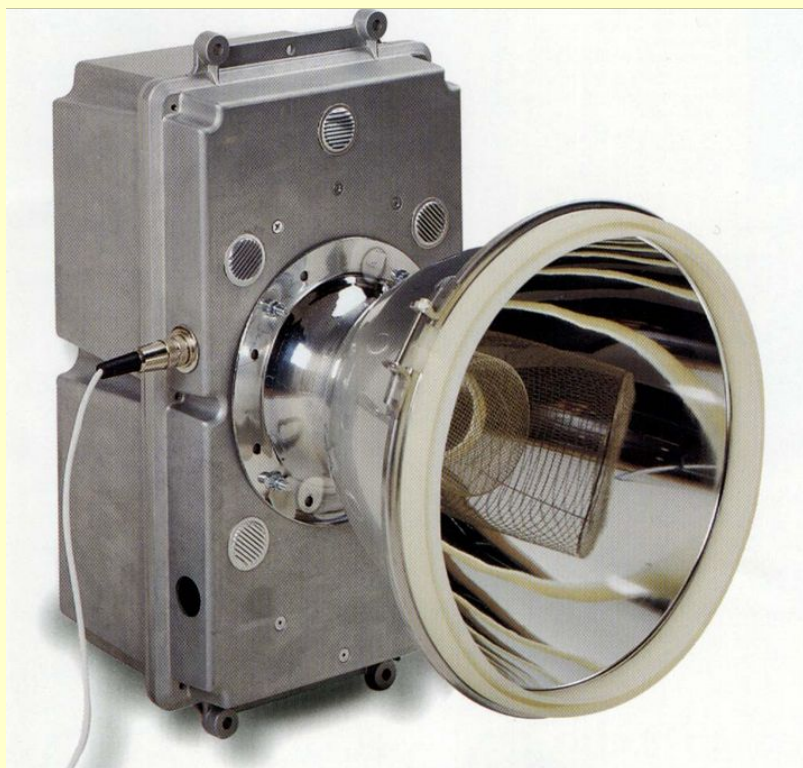
Энергетика



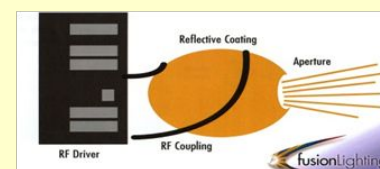
- . Микроволновая печь: 1 — корпус, 2 — высоковольтный трансформатор, 3 — магнетрон, 4 — вентилятор, 5 — антенна, 6 — волновод, 7 — полость печи, 8 — микроволны, 9 — посуда, 10 — вращающийся стол

Энергетика

Electrodeless HID lamps driven by microwaves



1400w magnetron driven HID
lamps,



200w aperture HID lamps (7mm)
driven by solid state microwave
devices

Энергетика



<http://www.enwave.net/media/images/mivap-commercial.jpg>



www.senergys.ru

5. История развития

1934 г. – кристаллический детектор.

1957 г. – туннельный диод (Есаки, Япония).

1961 г. – лавинно-пролетный диод (Тагер, СССР)

1963 г. – диод Ганна (Ганн, США).

1970-е годы – полевые транзисторы с барьером Шоттки, гетерополярные транзисторы.

1990-е годы – транзисторы с высокой подвижностью электронов (HEMT).

2000-е годы – GaN полевые транзисторы на SiC подложке (100 Вт в С-диапазоне, КПД ~ 50 %).

Подробнее в презентации проф. А.Д. Григорьева «Краткая История ..» «Кафедра на Межд. выставке 50 лет микр эл-ке»

6. Перспективные направления развития

Вакуумные приборы:

- Повышение мощности и КПД в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах.
- Улучшение качества сигнала.
- Уменьшение стоимости производства и обслуживания.

•Полупроводниковые приборы

- Повышение мощности и КПД.
- Продвижение в миллиметровый и субмиллиметровый диапазоны.
- Повышение надежности.

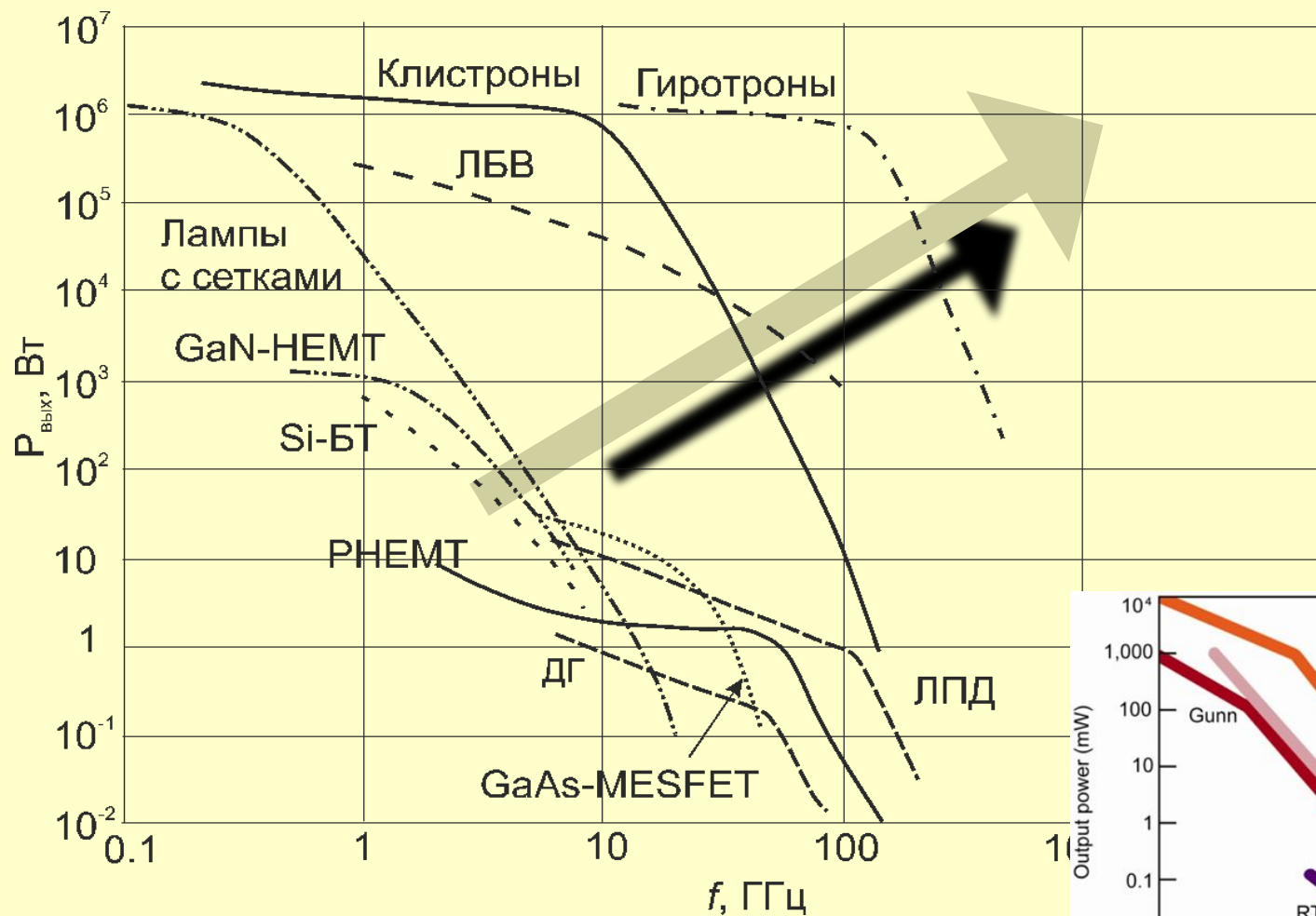
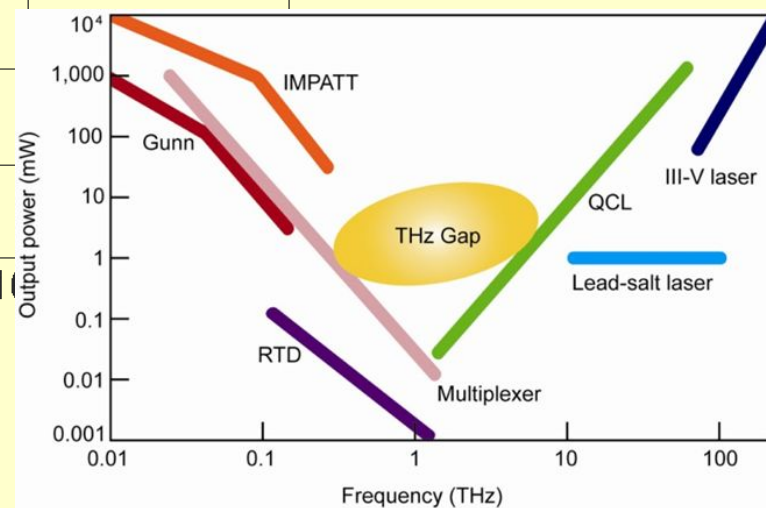
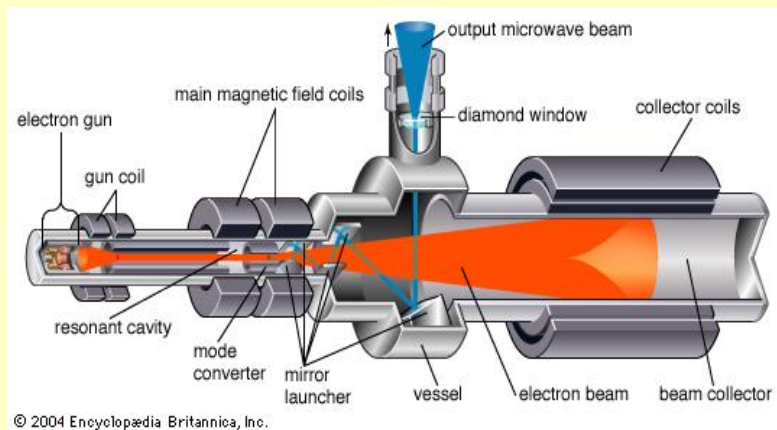
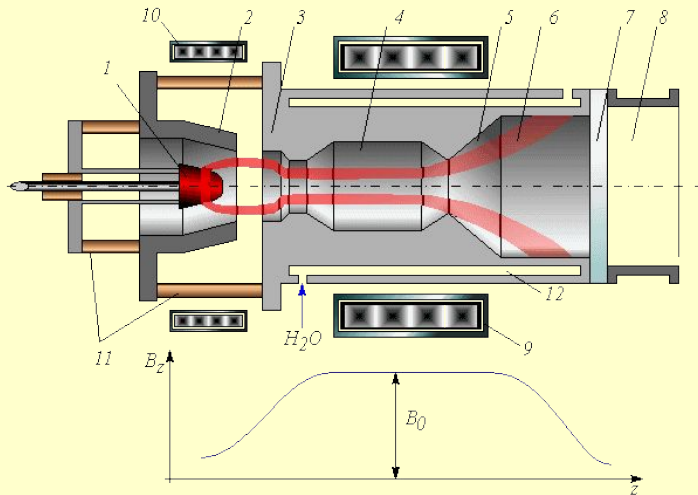


Рис. 1.4.1. Достигнутый уровень мощности различных классов микроволновых приборов



ГИРОТРОН

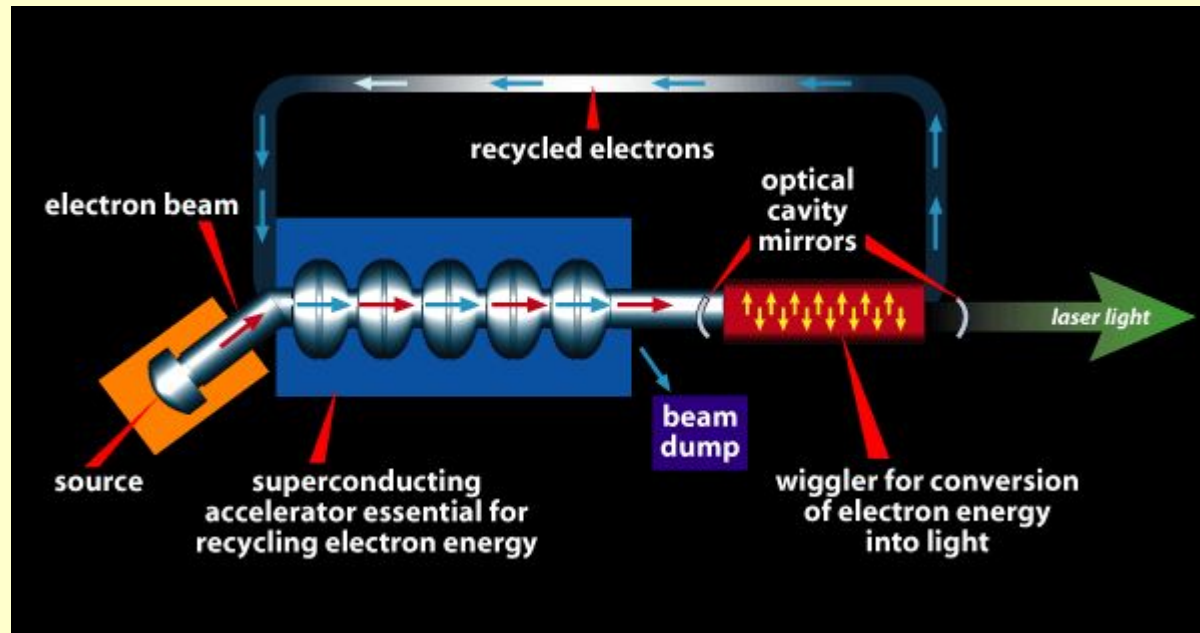


(Подробнее в презентации проф. С.И Молоковского)

СХЕМА ЛАЗЕРА НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ

Лазеры на свободных электронах позволяют генерировать когерентное рентгеновское излучение

$$\lambda = 40 - 6$$



Hard work, big results



"Think big, act big, believe big and the results will be big".