

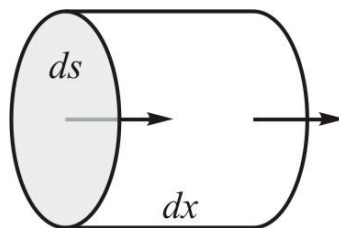
# Энергетические характеристики волн

$W$  – энергия

$w$  – объёмная плотность энергии

$S$  – плотность потока энергии

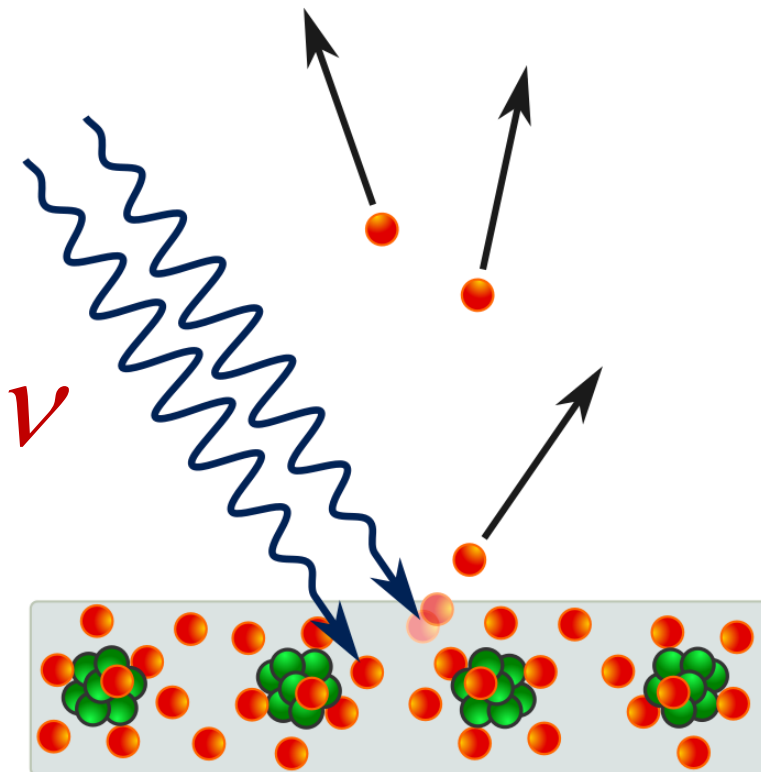
$I$  – интенсивность волны



$$w = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} + \frac{B^2}{2\mu_0 \mu}$$

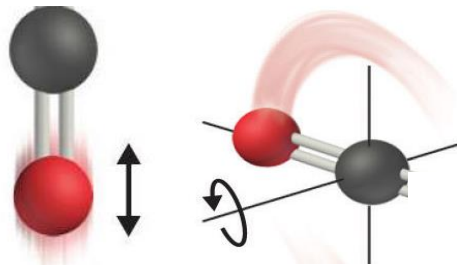
$$\vec{S} = \frac{dW}{ds dt} \vec{e} = w \vec{V}$$

$$I = \langle w \rangle V = \frac{\epsilon_0 \epsilon V E_0^2}{2}$$



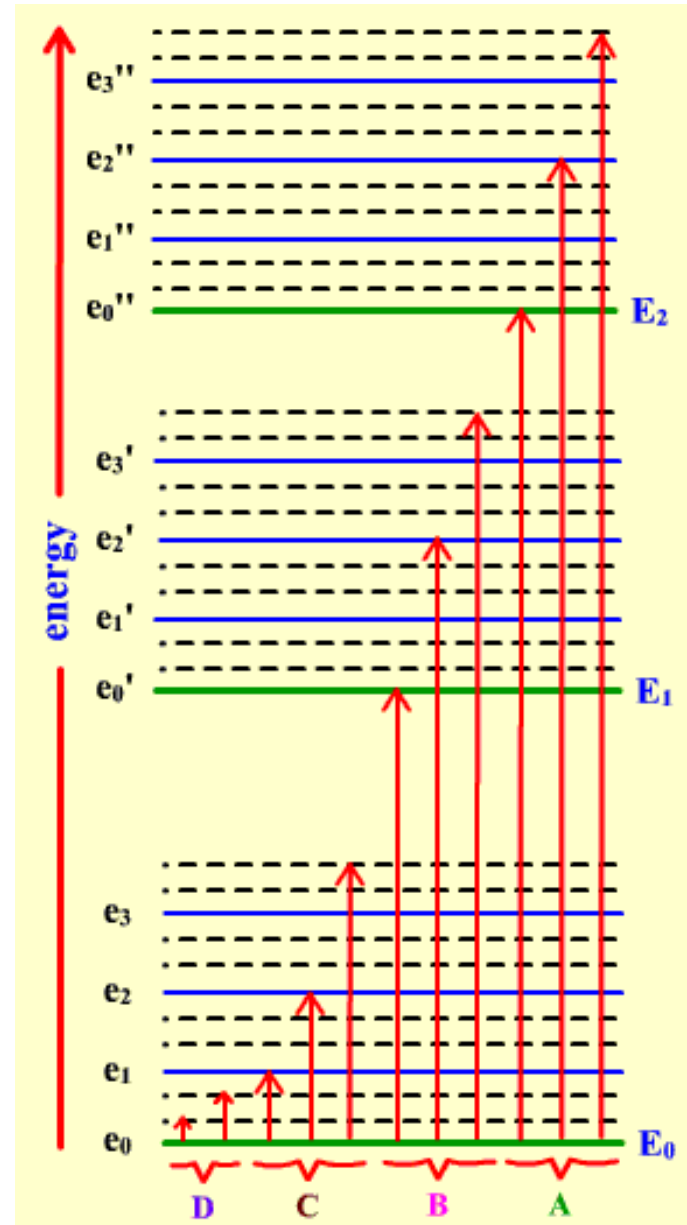
$$W_{\phi} = h\nu$$

# Энергетическая структура вещества

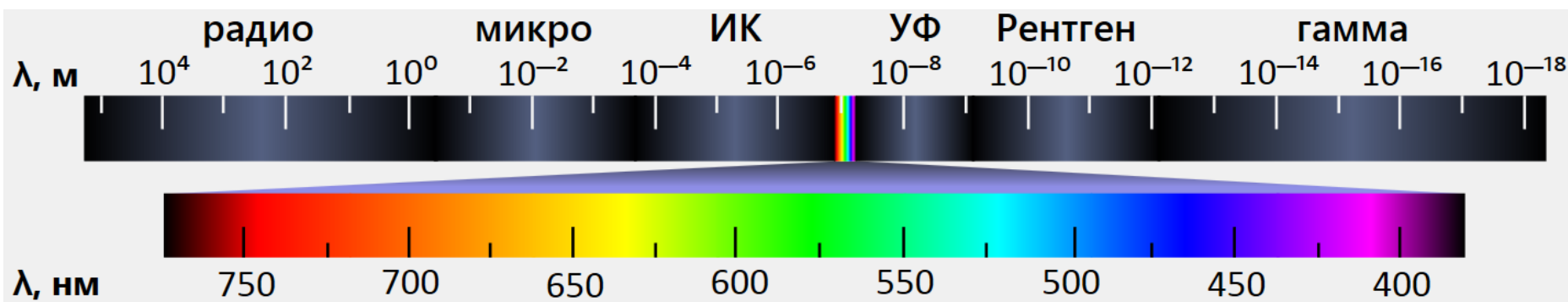


*Характеристики переходов (HCl)*

	$\nu$ , ТГц	$\lambda$
Электронный	2200	140 нм
Колебательный	87	3,5 мкм
Вращательный	0,6	0,5 мм



**Свет во всех рассмотренных диапазонах – электромагнитное поле.  
Различие только в частоте света!!!**

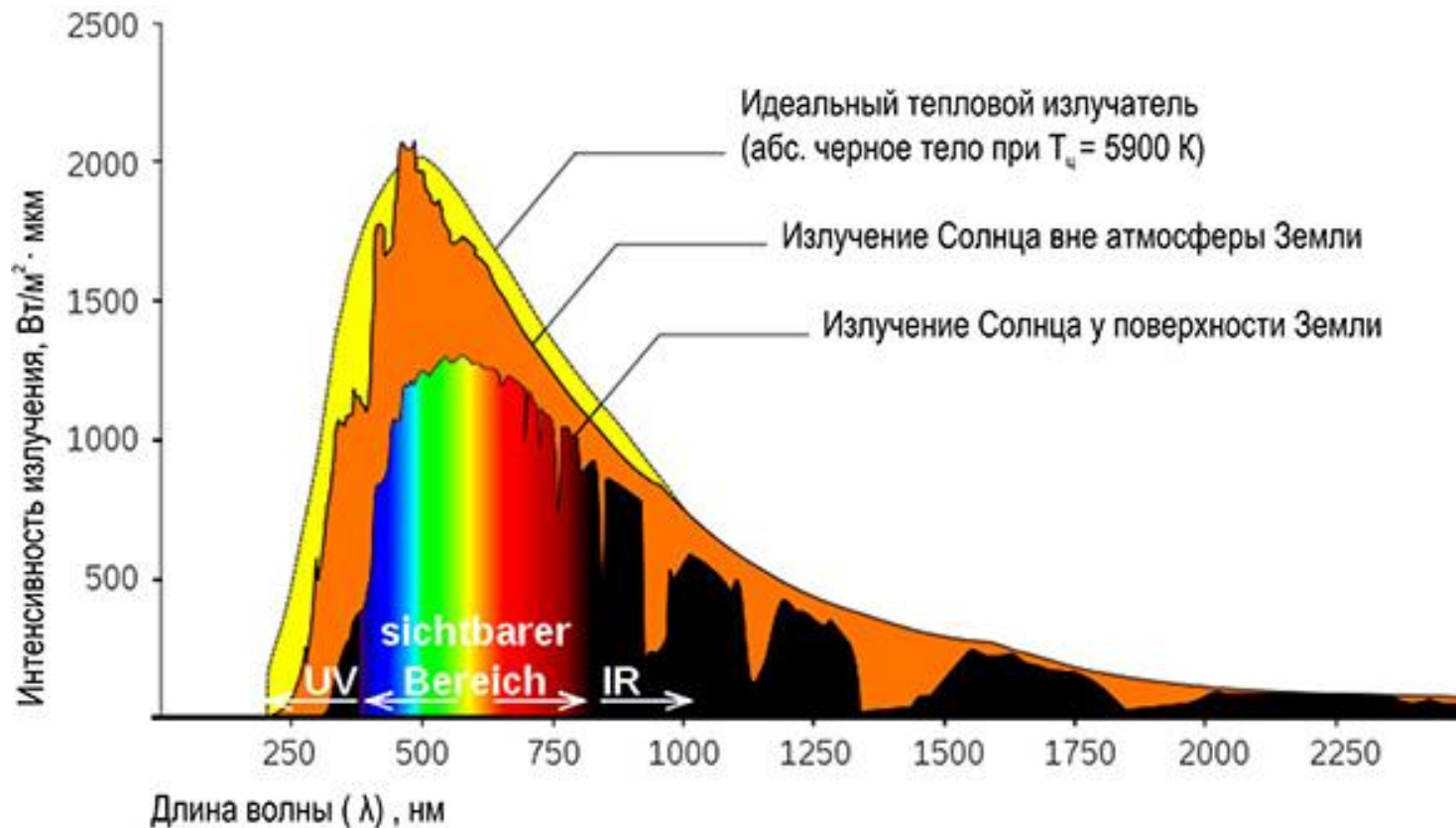


# Видимое излучение

$$h\nu = (2,7 - 5,2) \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = (1,7 - 3,2) \text{ эВ}$$

$$\nu = (410 - 790) \text{ ТГц}$$

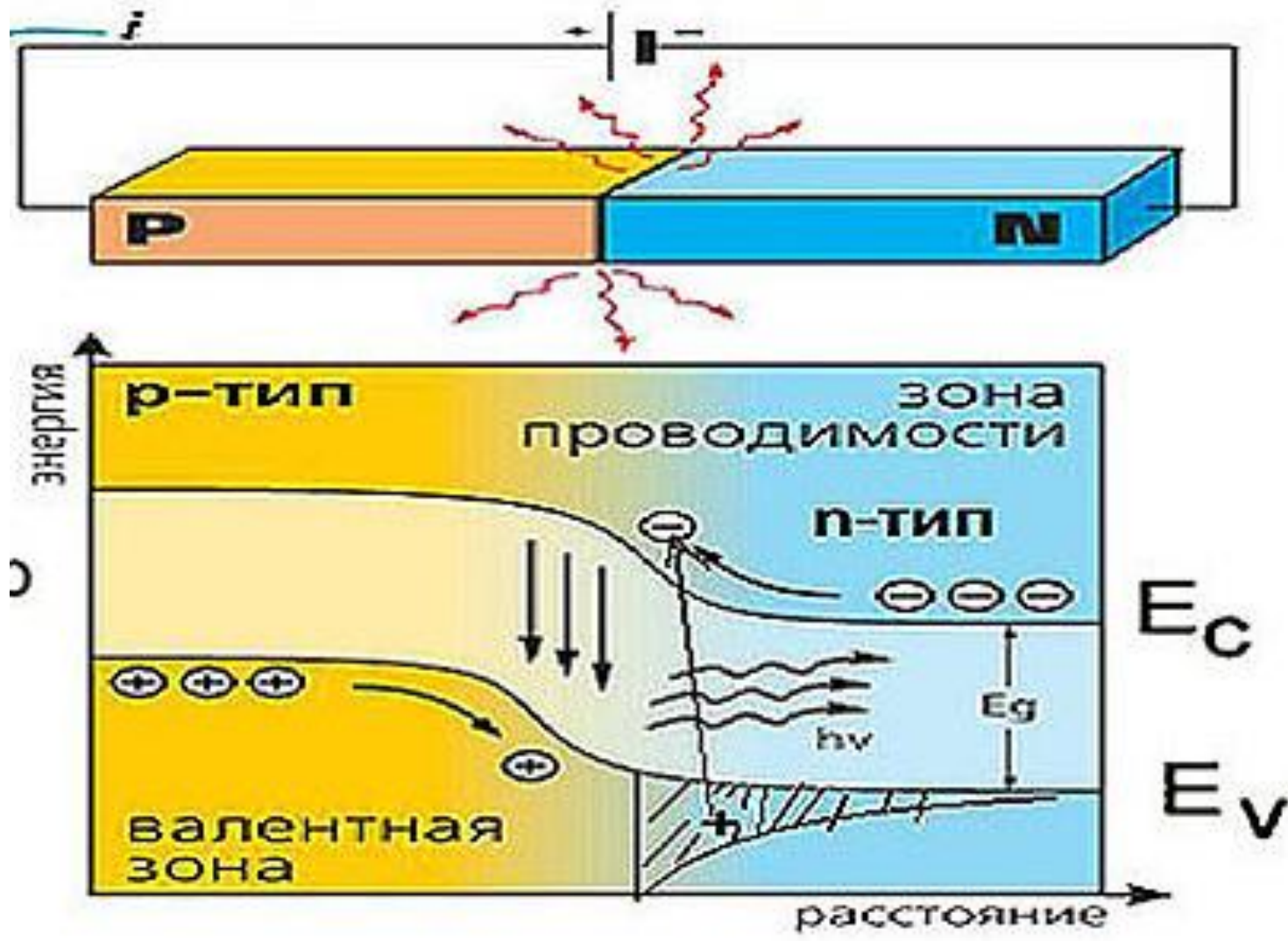
$$\lambda = (380 - 730) \text{ нм}$$



# Биологическое воздействие. Строение глаза. Зрение



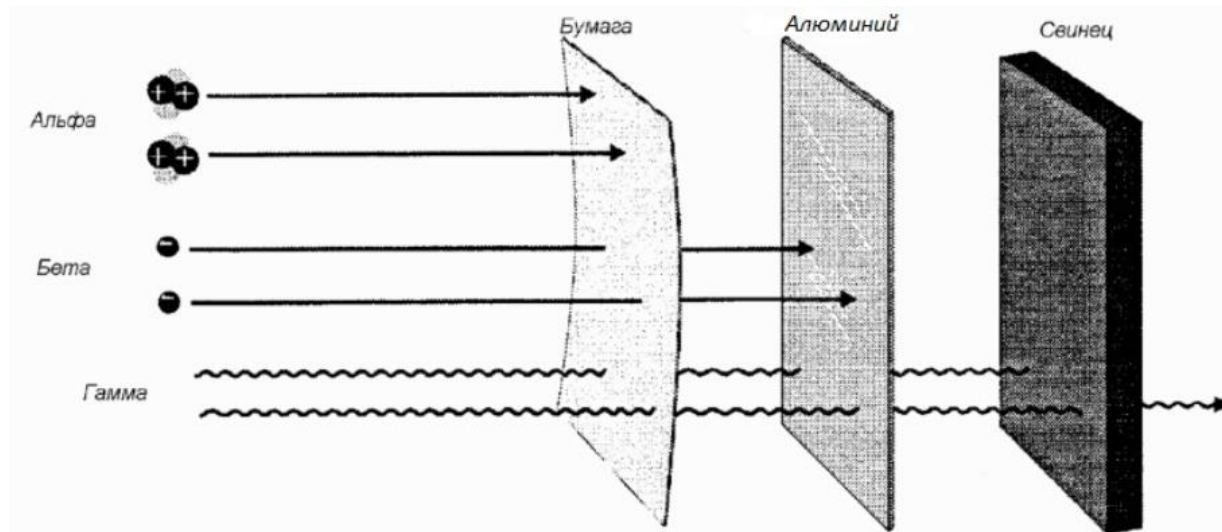
# Светодиоды, как источники видимого излучения



# Гамма-излучение. Поглощение

	Мягкое	Жёсткое	Сверхжёсткое	Ультражёсткое
$h\nu$	>100 кэВ	>10 МэВ	>100 ГэВ	>100 ТэВ
$\nu, \text{Гц}$	$>3 \cdot 10^{19}$	$>3 \cdot 10^{21}$	$>3 \cdot 10^{25}$	$>3 \cdot 10^{28}$
$\lambda, \text{м}$	$<10^{-11}$	$<10^{-13}$	$<10^{-17}$	$<10^{-20}$

Не укладывается в диаграмму Яблонского. Вещества в основном прозрачны для гамма-излучения в отношении резонансного взаимодействия, но за счёт многократного неупругого рассеяния происходит ионизация вещества.



$$W_{\text{погл.чел.}} = W_0 (1 - 10^{-\alpha l}) = W_0 (1 - 10^{-1/77}) \approx 0.6 W_0$$



# Рентгеновское излучение. Дозиметрия

**Мягкий рентген:**

**< 10 нм, > 30 ПГц,  $h\nu > 100$  эВ**

**Жёсткий рентген:**

**< 0,1 нм, > 3 ЭГц (экса),  $h\nu > 10$  кэВ**

Доза облучения	Единица измерения	Определение
Экспозиционная	Рентген [Р]	Величина ионизации сухого воздуха
Поглощённая	1 Грей [Гр] = 1 Дж/кг	Энергия, поглощённая единицей массы вещества
Эквивалентная	1 Зиверт [Зв] = =КК · 1 Грей [Гр]	мера биовоздействия, поглощённая доза умножить на коэффициент качества
Эффективная эквивалентная	Зиверт [Зв]	эквивалентная доза умножить на коэффициент радиационного риска

**Коэффициент качества (излучения) =1 для гамма, рентгеновского и бета-излучения.**



# Коэффициенты радиационного риска

Орган	k
Гонады	0,2
Костный мозг	0,12
Кишечник	0,12
Желудок	0,12
Лёгкие	0,12
Мочевой пузырь	0,05
Печень	0,05
Пищевод	0,05
Щитовидка	0,05
Кожа	0,01
Головной мозг	0,025
Остальные ткани	0,05



# Биологическое воздействие

## Разовое облучение (мЗв)

1000	смерть через ~10 часов (повреждение ЦНС)
100-500	смерть через неделю (внутренние кровоизлияния)
30-50	50% умирает через месяц (поражение костного мозга)
10	развитие лучевой болезни
8	кратковременные изменения состава крови
3	при рентгеноскопии желудка
2,5	аварийное облучение персонала
1	аварийное облучение населения

## Среднегодовое облучение (мЗв)

5	допустимо для населения
3,5	жителя России от всех источников
1	за счёт медицинских процедур

Царь – бомба (60 Мт):  $W_0 = 2 \cdot 10^{17}$  Дж

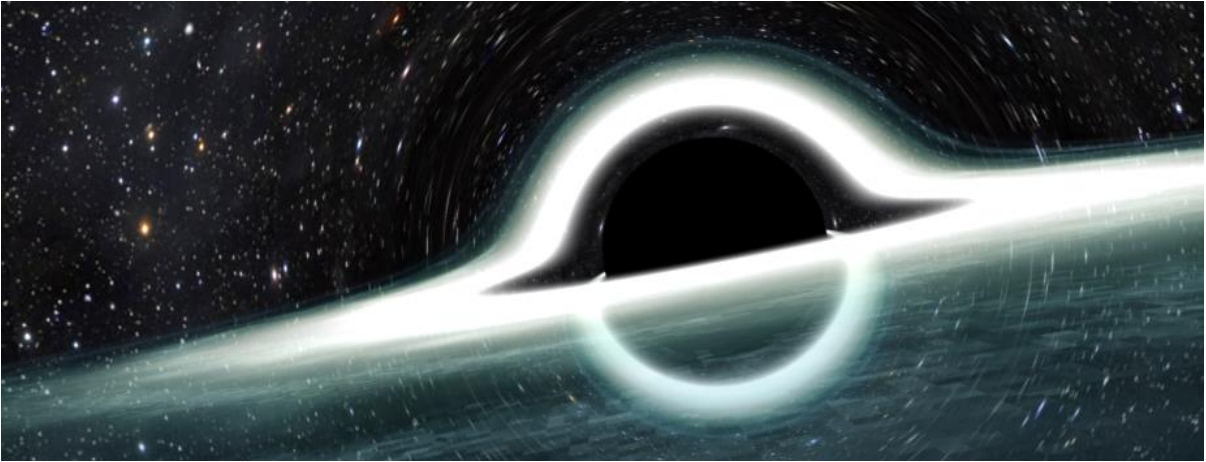
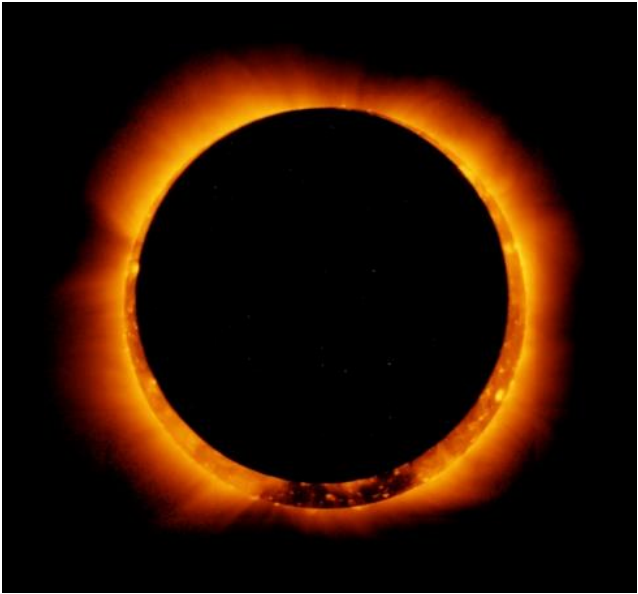
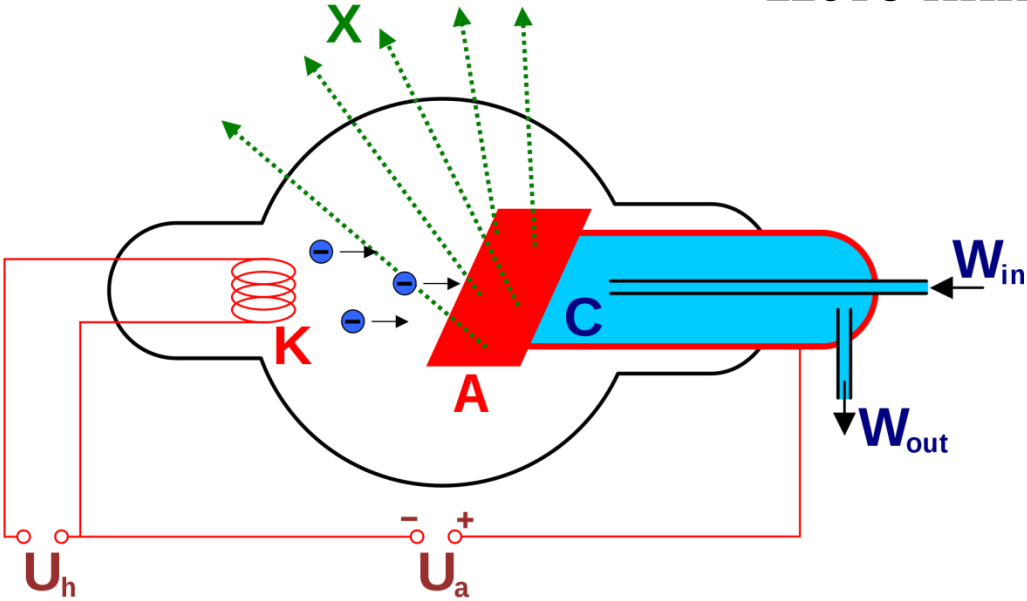
$$\text{Доза } (r = 10000 \text{ км}): D = \frac{W_{\text{погл.}}}{m_{\text{чел.}}} = 0.6 \cdot \frac{S_{\text{чел.}}}{4\pi r^2} \frac{W_0}{m_{\text{чел.}}} \approx 13 \text{ в}$$

# Биологическое воздействие

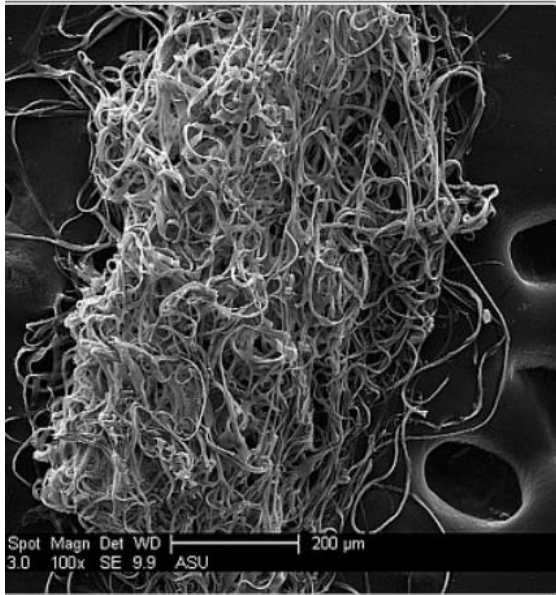


Средние значения ЭД		Органы грудной клетки		Таз и бедро		Челюстно-лицевая область, в т.ч. зубы	
		мЗв за процедуру	В % от годовой ЭД (1 мЗв)	мЗв за процедуру	В % от годовой ЭД (1 мЗв)	мЗв за процедуру	В % от годовой ЭД (1 мЗв)
Флюорограмма	плёночная	0,5	50%	2,5	250%	-	-
	цифровая	0,05	5%	0,3	30%	-	-
Рентгенограмма	плёночная	0,3	30%	0,9	90%	0,04	4%
	цифровая	0,03	3%	0,1	10%	0,02	2%

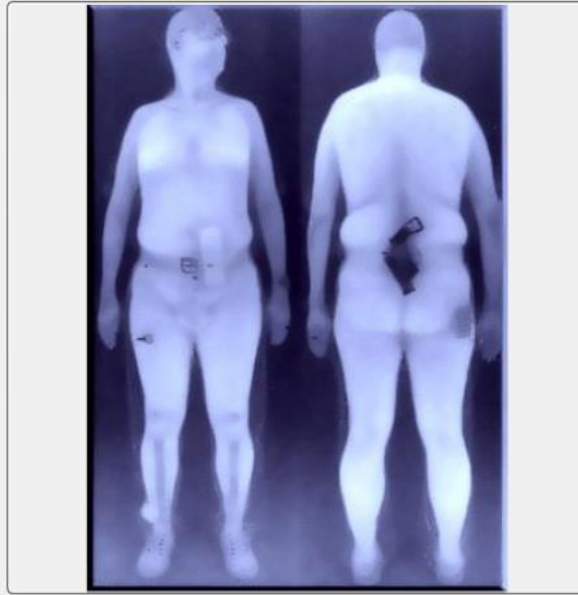
# Источники



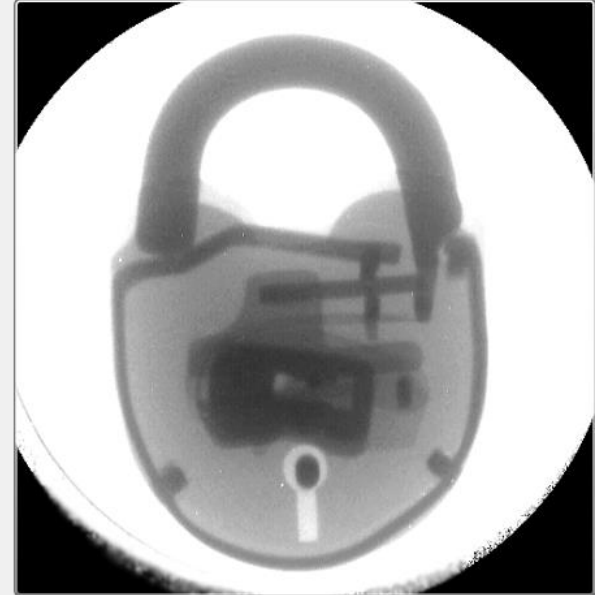
# Применение



**Анализ структуры веществ**



**Обеспечение безопасности**



**Выявление дефектов**

# УФ-излучение

	Ближнее	Вакуумное	UVA	UVB	UVC
$h\nu$	>3 эВ	>6 эВ			
$\nu, Гц$	> $8 \cdot 10^{14}$	> $1,5 \cdot 10^{15}$			
$\lambda, нм$	400-200	200-10	400-315	315-280	280-100

Мягкий УФ (315-400 нм) воспринимается глазом как фиолетовый, но почти полностью поглощается в хрусталике.

УФ среднего диапазона (280-315 нм) не видимо и поглощается эпителием роговицы, что приводит к её ожогу.

Жёсткий УФ проникает до сетчатки и вызывает её отслоение.





# Применение



Свечение ламп



Обеззараживание



Химический анализ



Проверка подлинности

Лазерная УФ-маркировка

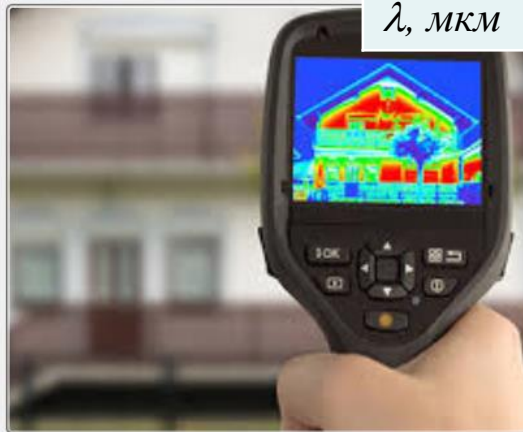


# ИК излучение. Применение

	Ближнее	Среднее	Дальнее
$h\nu$ , эВ	1,7-0,8	0,8-0,04	<0,04
$\nu$ , ТГц	400-200	200-10	<10
$\lambda$ , мкм	0,73-1,5	1,5-30	>30



Обогрев и освещение



Получение информации



Косметология и медицина



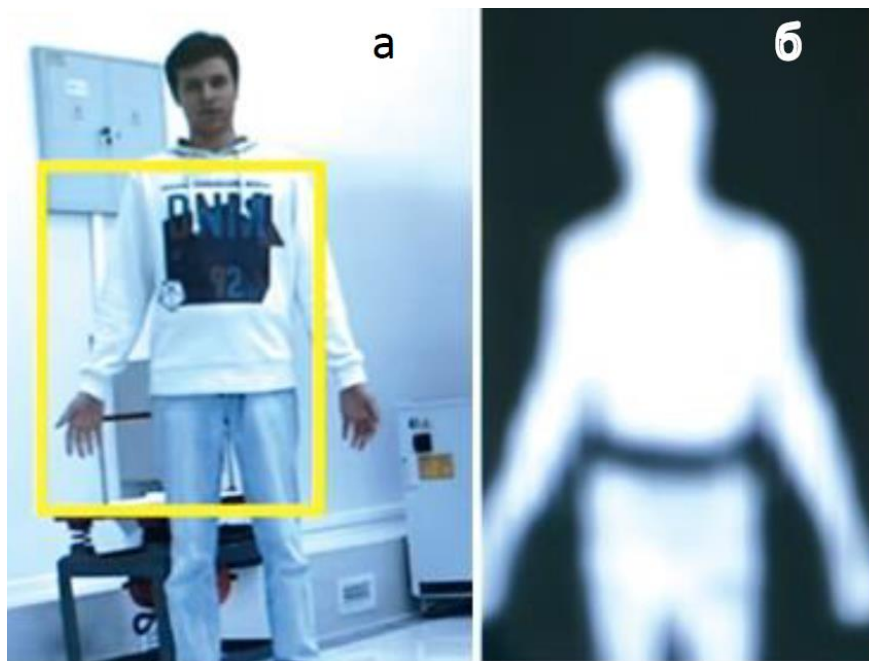
Космические исследования

# ТГц излучение

**ТГц-излучение – неионизирующее излучение в диапазоне 0,1 – 10 ТГц (3 мм – 30 мкм)**

**Поглощают:** органические молекулы, биологические ткани, вода, взрывчатые вещества.

**Прозрачны:** ткани, дерево, бумага, пластмассы.



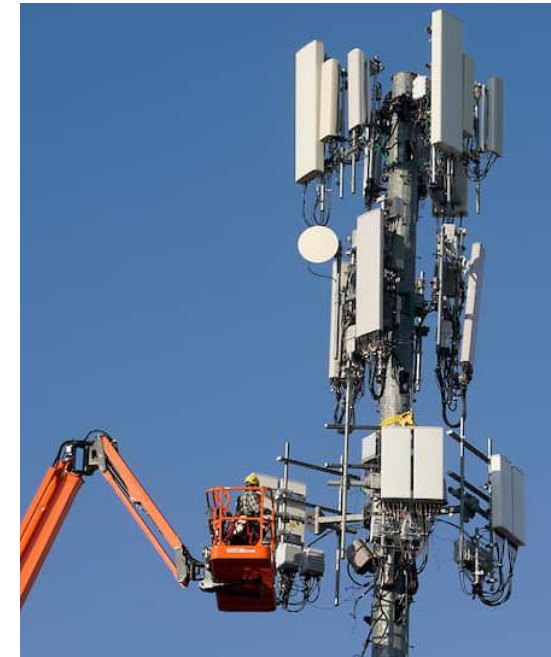
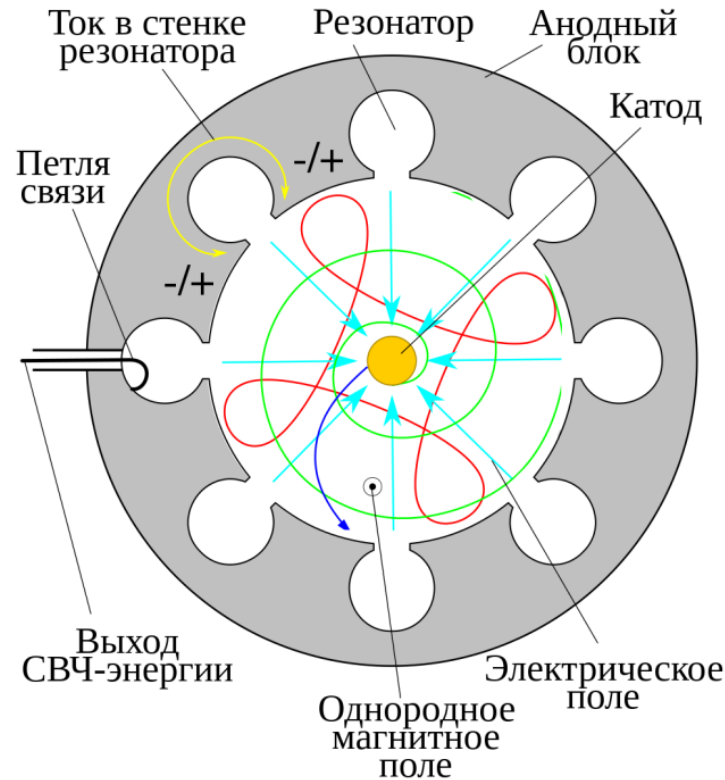
# Микроволны = СВЧ

	мм, см, дм
$h\nu$	<1 мэВ
$\nu$	<200 ГГц
$\lambda$	>1 мм

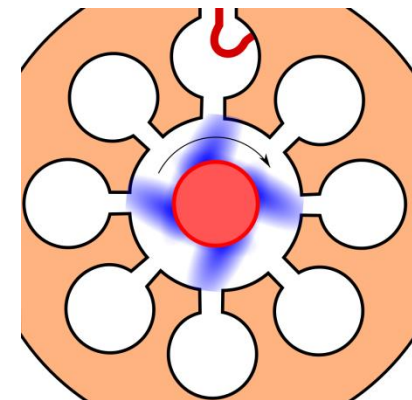
1920-е – задачи радиолокации.

Магнетрон создают почти одновременно в Чехословакии (1924, А. Жачек), СССР (1925, А.А. Слуцкий и Д.С. Штейнберг) и Японии (1927, К. Окабе и Х. Яги).

Огромный вклад в физику и технику магнетронов внесла группа М.А. Бонч-Бруевича.



**Электромагнитный смог**



# Биологическое действие и применение

СВЧ-печь (2,5 ГГц) = сотовый телефон (2,6 ГГц) =  
= Bluetooth (2,5 ГГц) = WiFi (2,5; 5-7 ГГц)  
Глубина проникновения в тело – сантиметры.

<b>I, мВт/см<sup>2</sup></b>	<b>Прибор/эффект</b>	<b>t</b>	<b>ПДУ, мВт/см<sup>2</sup></b>
1000	Ощутимый нагрев биотканей	5 ч	0,04
40	Вблизи мобильного	2 ч	0,1
5	Вблизи СВЧ печи	1 ч	0,2
0,1	Вблизи роутера	10 мин	1

Постоянное пребывание в СВЧ поле – раздражение ЦНС и мозга, головные боли, раздражительность, понижение иммунитета.

Локальное воздействие – приток крови и рост скоростей биохимических реакций.

## Применение:

Связь

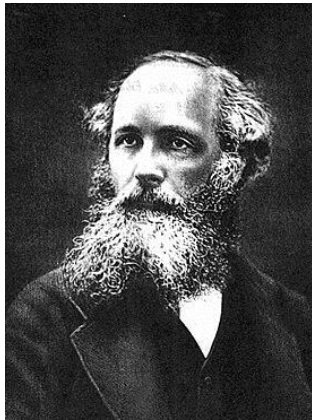
Разогрев

Радиолокация

Радиотелескопы

Фазированные антенные решётки (ФАР)

# Радиоизлучение



*James Clerk Maxwell*  
1831-1879

Математическое  
описание эл./м.  
поля (1865)



*Heinrich Rudolf Hertz*  
1857-1894

Впервые доказал  
существование  
эл./м. волн (1886)



*Александр Степанович Попов*  
1859-1906

Первая передача  
сообщения на 250 м:  
«Генрих Герц» (1896)

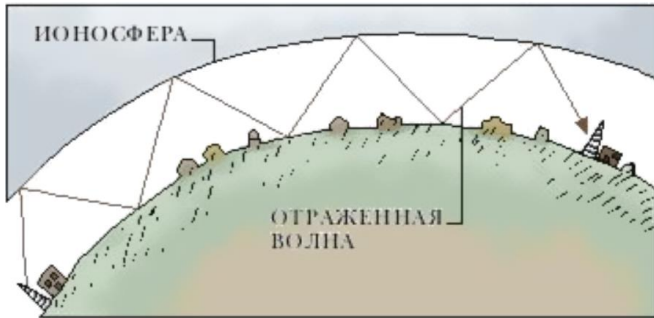
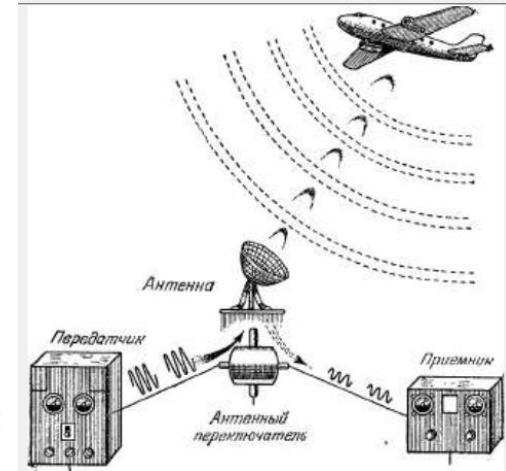
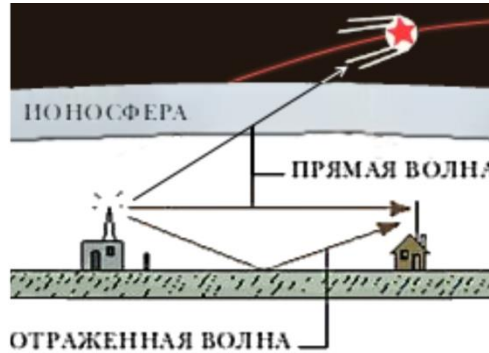
	УКВ	КВ, СВ, ДВ	СДВ
$h\nu$ , мкЭВ	4-0,1	0,1-400	<400
$\nu$ , МГц	1000-30	30-0,1	<0,1
$\lambda$ , м	0,3-10	10-3000	>3000

I	Прибор/эффект
~1 мкВт	Радиоволны от антенны
~10 Вт	Тепловой эффект (приток крови)
~ 100 Вт	Хирургический эффект (рана без грубых рубцов)



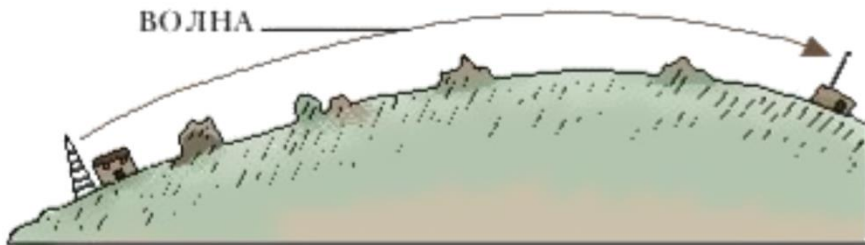
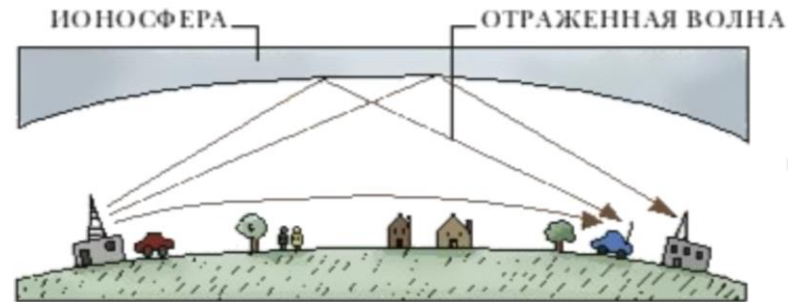
# Применение

УКВ (10 см – 10 м) – распространяются в пределах прямой видимости, в частности, уходят в космос. Используются для радиовещания (FM), эфирного и спутникового телевидения, связи с космическими объектами, радиолокации, спутниковой навигации.



КВ (10 м [33 МГц] – 100 м) – отражаются от ионосферы ( $n_{\text{ион}} < 1$ ), поэтому используются для дальних расстояний. Например, для связи дальнобойщиков или пилотов с диспетчерами, для дальнего радиовещания.

СВ (100 м – 1 км) – также отражаются от ионосферы, но ещё огибают земную поверхность. Используются для радиовещания (AM).



ДВ (1 км – 10 км) – распространяются на расстояния в тысячи км, огибая Землю за счёт дифракции. Используются для радиовещания (150-300 кГц), радионавигационных служб, для связи с подводными лодками (10-150 кГц).

ОНЧ, ИНЧ, СНЧ, КНЧ (10 км – 100 Мм) – связь с подводными лодками, геофизические исследования.

# Прозрачность атмосферы

