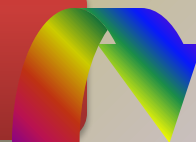


# Электромагнитное излучение

Характеристики, виды излучений

# Электромагнитное излучение

Основные сведения



Характеристики излучения



Виды излучения



# Виды электромагнитного излучения

Радиоволны

Инфракрасное излучение

Оптическое (видимое)

Ультрафиолетовое излучение

Рентгеновское излучение

Гамма - излучение

CLASS	FREQUENCY	WAVELENGTH	ENERGY
Y	300 EHz	1 pm	1.24 MeV
HX	30 EHz	10 pm	124 keV
SX	3 EHz	100 pm	12.4 keV
EUV	300 PHz	1 nm	1.24 keV
NUV	30 PHz	10 nm	124 eV
NIR	3 PHz	100 nm	12.4 eV
MIR	300 THz	1 μm	1.24 eV
FIR	30 THz	10 μm	124 meV
EHF	3 THz	100 μm	12.4 meV
SHF	300 GHz	1 mm	1.24 meV
UHF	30 GHz	1 cm	124 μeV
VHF	3 GHz	1 dm	12.4 μeV
HF	300 MHz	1 m	1.24 μeV
MF	30 MHz	10 m	124 neV
LF	3 MHz	100 m	12.4 neV
VLF	300 kHz	1 km	1.24 neV
VF/ULF	30 kHz	10 km	124 peV
SLF	3 kHz	100 km	12.4 peV
ELF	300 Hz	1 Mm	1.24 peV
	30 Hz	10 Mm	124 feV
	3 Hz	100 Mm	12.4 feV

Меню

# Радиоволны

**Радиоизлучение (радиоволны, радиочастоты)** — электромагнитное излучение с длинами волн  $5 \times 10^{-5} — 10^{10}$  метров и частотами, соответственно, от  $6 \times 10^{12}$  Гц и до нескольких Гц. Радиоволны используются при передаче данных в радиосетях.

## История исследования

В 1888 году Г.Р. Герц впервые смог получить электромагнитные волны с длиной волны в несколько десятков сантиметров.

## Диапазоны радиочастот и длин радиоволн

Радиочастоты — частоты или полосы частот в диапазоне 3 кГц — 3000 ГГц, которым присвоены условные наименования. Этот диапазон соответствует частоте переменного тока электрических сигналов для вырабатывания и обнаружения радиоволн. Так как большая часть диапазона лежит за границами волн, которые могут быть получены при механической вибрации, радиочастоты обычно относятся к электромагнитным колебаниям.

Закон РФ «О связи» устанавливает следующие понятия, относящиеся к радиочастотам:

радиочастота — частота электромагнитных колебаний, устанавливаемая для обозначения единичной составляющей радиочастотного спектра;

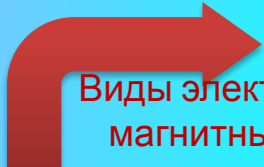
радиочастотный спектр — совокупность радиочастот в установленных Международным союзом электросвязи пределах, которые могут быть использованы для функционирования радиоэлектронных средств или высокочастотных устройств;

распределение полос радиочастот — определение предназначения полос радиочастот посредством записей в Таблице распределения полос радиочастот между радиослужбами Российской Федерации, на основании которых выдается разрешение на использование конкретной полосы радиочастот, а также устанавливаются условия такого использования

Использование диапазонов по радиослужбам регламентируется Регламентом радиосвязи Российской Федерации и международными соглашениями.



Меню



Виды электро-  
магнитных



Далее

ГОСТ 24375 даёт следующую обобщённую разбивку радиочастотного диапазона, основанную на международных стандартах:

- 1) Очень низкие частоты — 3—30 кГц, соответствует сверхдлинным волнам
- 2) Низкие частоты — 30—300 кГц, соответствует длинным волнам
- 3) Средние частоты — 300—3000 кГц, соответствует средним волнам
- 4) Высокие частоты — 3—30 МГц, соответствует коротким волнам
- 5) Очень высокие частоты — 30—300 МГц, соответствует ультракоротким (или метровым волнам)
- 6) Ультравысокие частоты — 300—3000 МГц, соответствует дециметровым волнам
- 7) Сверхвысокие частоты — 3—30 ГГц, соответствует сантиметровым волнам
- 8) Крайне высокие частоты — 30—300 ГГц, соответствует миллиметровым волнам
- 9) Гипервысокие частоты — 300—3000 ГГц, соответствует субмиллиметровым волнам



Вышеприведённая классификация не получила широкого распространения и в ряде случаев вступает в противоречие с национальными стандартами (ГОСТ) в области радиоэлектроники. На практике под низкочастотным диапазоном подразумевается звуковой диапазон, а под высокочастотным — весь радиодиапазон, выше 30 кГц, в том числе сверхвысокочастотный (свыше 300 МГц).

Традиционные обозначения радиочастотных диапазонов на Западе сложились в ходе Второй мировой войны. В настоящее время они закреплены в США стандартом IEEE, а также международным стандартом ITU.

### Примеры выделенных радиодиапазонов

\* Диапазон средних волн с амплитудной модуляцией (АМ волны) — 530—1610 кГц

разные диапазоны коротких волн — 5,9—26,1 МГц

\* Гражданский диапазон — 26,965—27,405 МГц

\* Телевизионные каналы: 1—5 размещаются в диапазоне от 48 до 100 МГц, 6—12 — от 174 до 230 МГц, 21—39 — от 470 до 622 МГц

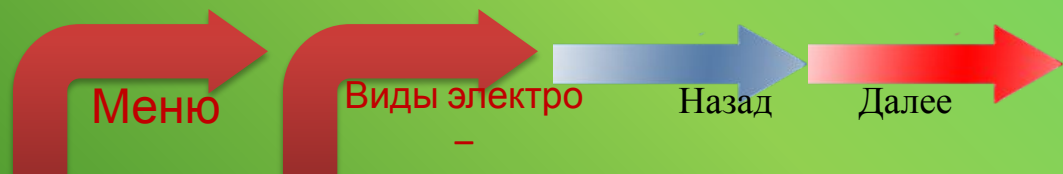
\* Диапазон ультракоротких волн с частотной модуляцией (FM волны) — 88—108 МГц, кроме 76—90 МГц в Японии)

\* ISM-диапазон

\* Диапазоны военных частот

\* Диапазоны частот гражданской авиации

\* Морские и речные диапазоны



## Диапазоны радиочастот в гражданской радиосвязи

В России для гражданской радиосвязи выделены три диапазона частот:

27 МГц (Си-Би, Citizens' Band — гражданский диапазон), с разрешённой выходной мощностью передатчика до 10 Вт;

433 МГц (LPD, Low Power Device), выделено 69 каналов для носимых радиостанций с выходной мощностью передатчика не более 0,01 Вт;

446 МГц (PMR, Personal Mobile Radio), выделено 8 каналов для носимых радиостанций с выходной мощностью передатчика не более 0,5 Вт.

## Некоторые частоты, используемые в гражданской авиации

74,8—75,2 МГц — маркерные радиомаяки

108—117,975 МГц — радиосистемы навигации и посадки

118—135,975 МГц — УКВ-радиосвязь (командная связь)

328,6—335,4 МГц — радиосистемы посадки (глиссадный канал)

960—1215 МГц — радионавигационные системы



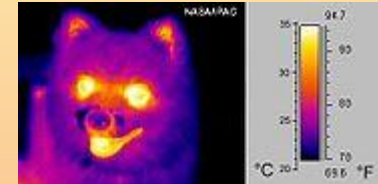
# Инфракрасное излучение

**Инфракрасное излучение** — электромагнитное излучение, занимающее спектральную область между красным концом видимого света (с длиной волны  $\lambda = 0,74$  мкм) и микроволновым излучением ( $\lambda \sim 1—2$  мм).

Инфракрасное излучение было открыто в 1800 г. английским учёным У. Гершелем.

Сейчас весь диапазон инфракрасного излучения делят на три составляющих:

- коротковолновая область:  $\lambda = 0,74—2,5$  мкм;
- средневолновая область:  $\lambda = 2,5—50$  мкм;
- длинноволновая область:  $\lambda = 50—2000$  мкм;



Последнее время длинноволновую окраину этого диапазона выделяют в отдельный, независимый диапазон электромагнитных волн — **терагерцовое излучение** (субмиллиметровое излучение).

Инфракрасное излучение также называют «тепловым» излучением, так как инфракрасное излучение от нагретых предметов воспринимается кожей человека как ощущение тепла. При этом длины волн, излучаемые телом, зависят от температуры нагревания: чем выше температура, тем короче длина волны и выше интенсивность излучения. Спектр излучения абсолютно чёрного тела при относительно невысоких (до нескольких тысяч Кельвинов) температурах лежит в основном именно в этом диапазоне.

## Использование

ИК (инфракрасные) диоды и фотодиоды повсеместно применяются в пультах дистанционного управления, системах автоматики, охранных системах и т. п. Они не отвлекают внимание человека в силу своей невидимости. Инфракрасные излучатели применяют в промышленности для сушки лакокрасочных поверхностей. Инфракрасный метод сушки имеет существенные преимущества перед традиционным, конвекционным методом. В первую очередь это, безусловно, экономический эффект. Скорость и затрачиваемая энергия при инфракрасной сушке меньше тех же показателей при традиционных методах.

Меню

Виды электро

Далее

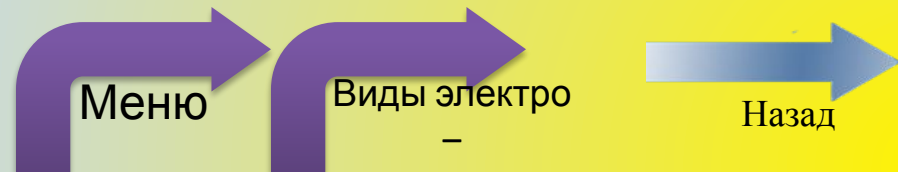
Положительным побочным эффектом так же является стерилизация пищевых продуктов, увеличение стойкости к коррозии покрываемых красками поверхностей. Недостатком же является существенно большая неравномерность нагрева, что в ряде технологических процессов совершенно неприемлемо.

Особенностью применения ИК-излучения в пищевой промышленности является возможность проникновения электромагнитной волны в такие капиллярно-пористые продукты, как зерно, крупа, мука и т. п. на глубину до 7 мм. Эта величина зависит от характера поверхности, структуры, свойств материала и частотной характеристики излучения. Электромагнитная волна определённого частотного диапазона оказывает не только термическое, но и биологическое воздействие на продукт, способствует ускорению биохимических превращений в биологических полимерах (крахмал, белок, липиды). Конвейерные сушильные транспортёры с успехом могут использоваться при закладке зерна в зернохранилища и в мукомольной промышленности.

Кроме того, инфракрасное излучение повсеместно применяют для обогрева помещений и уличных пространств. Инфракрасные обогреватели используются для организации дополнительного или основного отопления в помещениях (домах, квартирах, офисах и т.п.), а так же для локального обогрева уличного пространства (уличные кафе, беседки, веранды).

### **Опасность здоровью**

Сильное инфракрасное излучение в местах высокого нагрева может вызывать опасность для глаз. Наиболее опасно, когда излучение не сопровождается видимым светом. В таких местах необходимо надевать специальные защитные очки для глаз.





# Оптическое (видимое) излучение (свет)

**Свет** — электромагнитное излучение, испускаемое нагретым или находящимся в возбуждённом состоянии веществом, воспринимаемое человеческим глазом. Под светом понимают не только видимый свет, но и примыкающие к нему широкие области спектра.

В физике свет изучается в разделе Оптика, может рассматриваться либо как электромагнитная волна, скорость распространения в вакууме которой постоянна, либо как поток фотонов: частиц, обладающих определённой энергией и нулевой массой.

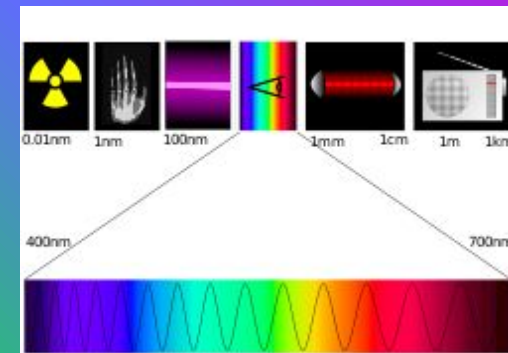
## Характеристики света

Одной из характеристик света является его цвет, который определяется длиной волны для монохроматического излучения, или суммарным спектром сложного излучения. Свет может распространяться там, где звук уже не существует (если смотреть через прозрачный колпак, из-под которого выкачали воздух, то видно, как бьётся молоточек колокольчика под колпаком, а звука не слышно). Значит, световые колебания распространяются в особой среде, эту среду Гюйгенс назвал эфиром (современная наука отрицает существование эфира).

Скорость света в вакууме  $c \approx 299\,792\,458$  м/с

Физические величины, связанные со светом: яркость, освещённость, световой поток, световая отдача.

*Видимый свет* — электромагнитное излучение с длинами волн  $\approx 380$ — $760$  нм (от фиолетового до красного).



Меню

Виды электро

Далее

## Источники света

В прикладных науках важна точная характеристика источника света. Особенно важны следующие типы источников:

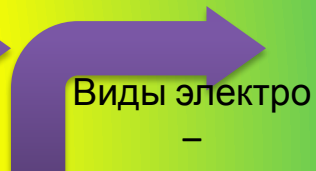
- Абсолютно чёрное тело
- Источник А
- Источник В
- Источник С
- Источник  $D_{65}$

Указанные источники имеют разную цветовую температуру.

**Лампы дневного света** выпускают на разные световые диапазоны, в том числе:

Лампы белого света (цветовая температура 3500 К),

Лампы холодного белого света (цветовая температура 4300 К)



# Ультрафиолетовое излучение

**Ультрафиолетовое излучение** (ультрафиолет, УФ, UV) — электромагнитное излучение, занимающее диапазон между фиолетовым концом видимого излучения и рентгеновским излучением (380 — 10 нм,  $7,9 \times 10^{14}$  —  $3 \times 10^{16}$  Гц). Диапазон условно делят на **ближний** (380—200 нм) и **дальний**, или вакуумный (200—10 нм) ультрафиолет, последний так назван, поскольку интенсивно поглощается атмосферой и исследуется только вакуумными приборами.

## История открытия

Понятие об ультрафиолетовых лучах впервые встречается у индийского философа 13-го века *Shri Madhvacharya* в его труде *Anuvyakhyana*. Атмосфера описанной им местности *Bhootakasha* содержала фиолетовые лучи, которые невозможно увидеть обычным глазом.

Вскоре после того, как было обнаружено инфракрасное излучение, немецкий физик Иоганн Вильгельм Риттер начал поиски излучения и в противоположном конце спектра, с длиной волны короче, чем у фиолетового цвета. В 1801 году он обнаружил, что хлорид серебра, разлагающийся под действием света, быстрее разлагается под действием невидимого излучения за пределами фиолетовой области спектра. Тогда, многие ученые, включая Риттера, пришли к соглашению, что свет состоит из трех отдельных компонентов: окислительного или теплового (инфракрасного) компонента, осветительного компонента (видимого света), и восстановительного (ультрафиолетового) компонента. В то время ультрафиолетовое излучение называли также «актиническим излучением».

Идеи о единстве трёх различных частей спектра были впервые озвучены лишь в 1842 году в трудах Александра Беккереля, Македонио Меллони и др.

## Воздействие на здоровье человека

Биологические эффекты ультрафиолетового излучения в трёх спектральных участках существенно различны, поэтому биологи иногда выделяют, как наиболее важные в их работе, следующие диапазоны:

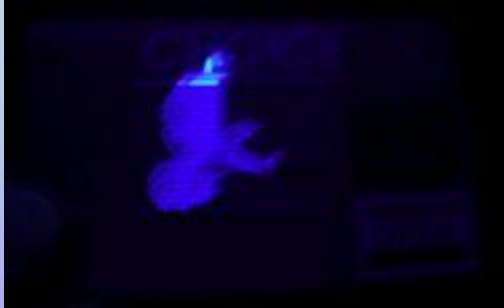
- Ближний ультрафиолет, УФ-А лучи (UVA, 315—400 нм)
- УФ-В лучи (UVB, 280—315 нм)
- Дальний ультрафиолет, УФ-С лучи (UVC, 100—280 нм)



Меню

Виды электро

Далее

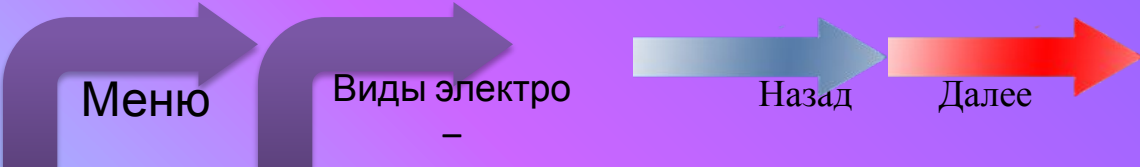


Практически весь UVC и приблизительно 90 % UVB поглощаются озоном, а также водным паром, кислородом и углекислым газом при прохождении солнечного света через земную атмосферу. Излучение из диапазона UVA достаточно слабо поглощается атмосферой. Поэтому радиация, достигающая поверхности Земли, в значительной степени содержит ближний ультрафиолет UVA, и, в небольшой доле — UVB.

**Положительные эффекты**

В XX веке было впервые показано, почему УФ-излучение оказывает благотворное воздействие на человека. Физиологическое действие Уф-лучей было исследовано отечественными и зарубежными исследователями в середине прошлого столетия. Было убедительно доказано в сотнях экспериментов, что излучение в УФ области спектра (290—400 нм) повышает тонус симпатико-адреналиновой системы, активирует защитные механизмы, повышает уровень неспецифического иммунитета, а также увеличивает секрецию ряда гормонов. Под воздействием УФ излучения (УФИ) образуются гистамин и подобные ему вещества, которые обладают сосудорасширяющим действием, повышают проницаемость кожных сосудов. Изменяется углеводный и белковый обмен веществ в организме. Действие оптического излучения изменяет легочную вентиляцию — частоту и ритм дыхания; повышается газообмен, потребление кислорода, активизируется деятельность эндокринной системы. Особенно значительна роль УФ излучения в образовании в организме витамина Д, укрепляющего костно-мышечную систему и обладающего антирахитным действием. Особо следует отметить, что длительная недостаточность УФИ может иметь неблагоприятные последствия для человеческого организма, называемые «световым голоданием». Наиболее частым проявлением этого заболевания является нарушение минерального обмена веществ, снижение иммунитета, быстрая утомляемость и т. п.

Несколько позже в работах (О. Г. Газенко, Ю. Е. Нефедов, Е. А. Шепелев, С. Н. Залогуев, Н. Е. Панферова, И. В. Анисимова) указанное специфическое действие излучения было подтверждено в космической медицине . Профилактическое УФ облучение было введено в практику космических полетов наряду с Методическими указаниями (МУ) 1989 г. «Профилактическое ультрафиолетовое облучение людей (с применением искусственных источников УФ излучения)» . Оба документа являются надежной базой дальнейшего совершенствования УФ профилактики.



# Источники ультрафиолета

## Природные источники

Основной источник ультрафиолетового излучения на Земле — Солнце. Соотношение интенсивности излучения УФ-А и УФ-Б, общее количество ультрафиолетовых лучей, достигающих поверхности Земли, зависит от следующих факторов:

- от концентрации атмосферного озона над земной поверхностью
- от возвышения Солнца
- от высоты над уровнем моря
- от атмосферного рассеивания
- от состояния облачного покрова
- от степени отражения УФ-лучей от поверхности (воды, почвы)



## Сфера применения

### Стерилизация

#### Стерилизация воздуха и твёрдых поверхностей

Ультрафиолетовые лампы используются для стерилизации (обеззараживания) воды, воздуха и различных поверхностей во всех сферах жизнедеятельности человека. В наиболее распространённых лампах низкого давления 86 % излучения приходится на длину волны 254 нм, что хорошо согласуется с пиком кривой бактерицидной эффективности (то есть эффективности поглощения ультрафиолета молекулами ДНК). Этот пик находится в районе длины волны излучения равной 254 нм, которое оказывает наибольшее влияние на ДНК, однако кварцевое стекло, ранее используемое для изготовления колбы лампы, также как и другие природные вещества (например, вода) задерживают проникновение УФ. Степень дезинфекции зависит от дозы, которая равна произведению интенсивности на время. Излучение «ненужных» для дезинфекции длин волн приводит к тому, что для облучения объекта необходимой дозой УФ лампе требуется большее количество времени, а следовательно снижается КПД устройства.

Меню

Виды электро

Назад

Далее

Вот почему в настоящее время на замену морально устаревших кварцевых бактерицидных ламп, которые имели сравнительно низкий КПД по причине низкой пропускной способности, а также из-за того, что излучали весь спектр УФ при необходимой длине волны равной исключительно 254 нм, приходят УФ лампы нового поколения, в которых с внутренней стороны стекла нанесено покрытие, разработанное с применением нано-технологий, позволяющее увеличить пропускную способность стекла только для УФ волн с длиной равной 254 нм. Это позволяет в разы уменьшить энергопотребление УФ лампами и увеличить их эффективность.

### Дезинфекция питьевой воды

Метод дезинфекции с использованием УФ-излучения доказал свою эффективность при дезактивации переносимых водой болезнетворных микроорганизмов и вирусов без ухудшения вкуса и запаха воды и без внесения в воду нежелательных побочных продуктов. Такой метод дезинфекции завоёвывает популярность в качестве альтернативы или дополнения к традиционным средствам дезинфекции, таким как хлор, из-за своей безопасности, экономичности и эффективности.



Меню

Виды электро

Назад

# Рентгеновское излучение

**Рентгеновское излучение** — электромагнитные волны, энергия фотонов которых лежит на энергетической шкале между ультрафиолетовым излучением и гамма-излучением, что соответствует длинам волн от  $10^{-4}$  до  $10^2$  Å (от  $10^{-14}$  до  $10^{-8}$  м).

## Положение на шкале электромагнитных волн

Энергетические диапазоны рентгеновского излучения и гамма-излучения перекрываются в широкой области энергий. Оба типа излучения являются электромагнитным излучением и при одинаковой энергии фотонов — эквивалентны. Терминологическое различие лежит в способе возникновения — рентгеновские лучи испускаются при участии электронов (либо в атомах, либо свободных) в то время как гамма-излучение испускается в процессах девозбуждения атомных ядер. Фотоны рентгеновского излучения имеют энергию от 100 эВ до 250 кэВ, что соответствует излучению с частотой от  $3 \cdot 10^{16}$  Гц до  $6 \cdot 10^{19}$  Гц и длиной волны 0,005 — 10 нм (общепризнанного определения нижней границы диапазона рентгеновских лучей в шкале длин волн не существует). **Мягкий рентген** характеризуется наименьшей энергией фотона и частотой излучения (и наибольшей длиной волны), а **жёсткий рентген** обладает наибольшей энергией фотона и частотой излучения (и наименьшей длиной волны). Жёсткий рентген используется преимущественно в промышленных целях.

## Получение

Рентгеновские лучи возникают при сильном ускорении заряженных частиц (тормозное излучение), либо при высокоэнергетичных переходах в электронных оболочках атомов или молекул. Оба эффекта используются в рентгеновских трубках, в которых электроны, испущенные катодом, ускоряются под действием разности электрических потенциалов между анодом и катодом (при этом рентгеновские лучи не испускаются, так как ускорение слишком мало) и ударяются об анод, где происходит их резкое торможение. При этом испускаются рентгеновские лучи, то есть тормозное излучение, и в то же время выбиваются электроны из внутренних электронных оболочек атомов анода. Пустые места в оболочках занимают другими электронами атома. При этом испускается рентгеновское излучение с характерным для материала анода спектром энергий.



Меню

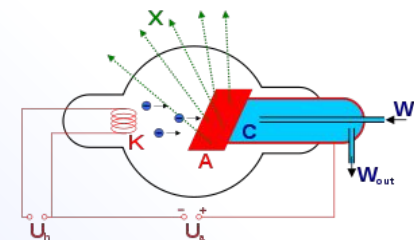


Виды электро  
—



Далее

Рентгеновское излучение можно получать также и на ускорителях заряженных частиц. Так называемое синхротронное излучение возникает при отклонении пучка частиц в магнитном поле, в результате чего они испытывают ускорение в направлении, перпендикулярном их движению. Синхротронное излучение имеет сплошной спектр с верхней границей. При соответствующим образом выбранных параметрах (величина магнитного поля и энергия частиц) в спектре синхротронного излучения можно получить и рентгеновские лучи.



## Взаимодействие с веществом

Длина волны рентгеновских лучей сравнима с размерами атомов, поэтому не существует материала, из которого можно было бы изготовить линзу для рентгеновских лучей. Кроме того, при перпендикулярном падении на поверхность рентгеновские лучи почти не отражаются. Несмотря на это, в рентгеновской оптике были найдены способы построения оптических элементов для рентгеновских лучей.

Рентгеновские лучи могут проникать сквозь вещество, причём различные вещества по-разному их поглощают. Поглощение рентгеновских лучей является важнейшим их свойством в рентгеновской съёмке. Интенсивность рентгеновских лучей экспоненциально убывает в зависимости от пройденного пути в поглощающем слое ( $I = I_0 e^{-kd}$ , где  $d$  — толщина слоя, коэффициент  $k$  пропорционален  $Z^3 \lambda^3$ ,  $Z$  — атомный номер элемента,  $\lambda$  — длина волны). Поглощение происходит в результате фотопоглощения (фотоэффекта) и комптоновского рассеяния:

Под **фотопоглощением** понимается процесс выбивания фотоном электрона из оболочки атома, для чего требуется, чтобы энергия фотона была больше некоторого минимального значения. Если рассматривать вероятность акта поглощения в зависимости от энергии фотона, то при достижении определённой энергии она (вероятность) резко возрастает до своего максимального значения. Для более высоких значений энергии вероятность непрерывно уменьшается. По причине такой зависимости говорят, что существует *граница поглощения*. Место выбитого при акте поглощения электрона занимает другой электрон, при этом испускается излучение с меньшей энергией фотона, происходит т. н. процесс флюоресценции.

Меню

Виды электро

Назад

Далее



## Биологическое воздействие

Рентгеновское излучение является ионизирующим. Оно воздействует на ткани живых организмов и может быть причиной лучевой болезни, лучевых ожогов и злокачественных опухолей. По причине этого при работе с рентгеновским излучением необходимо соблюдать меры защиты. Считается, что поражение прямо пропорционально поглощённой дозе излучения. Рентгеновское излучение является мутагенным фактором.

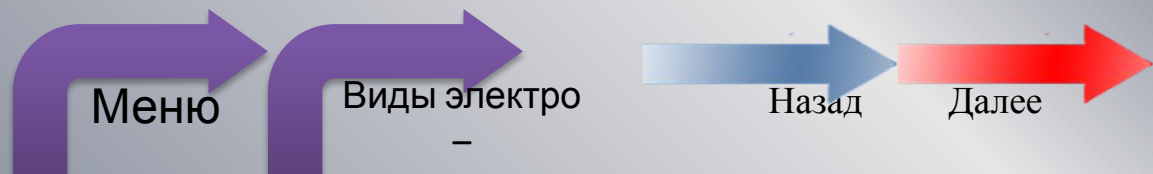
## Применение

При помощи рентгеновских лучей можно «просветить» человеческое тело, в результате чего можно получить изображение костей, а в современных приборах и внутренних органов (см. также рентген). При этом используется тот факт, что у содержащегося преимущественно в костях элемента кальция ( $Z=20$ ) атомный номер гораздо больше, чем атомные номера элементов, из которых состоят мягкие ткани, а именно водорода ( $Z=1$ ), углерода ( $Z=6$ ), азота ( $Z=7$ ), кислорода ( $Z=8$ ). Кроме обычных приборов, которые дают двумерную проекцию исследуемого объекта, существуют компьютерные томографы, которые позволяют получать объёмное изображение внутренних органов.

В настоящее время аноды изготавливаются главным образом из керамики, причём та их часть, куда ударяют электроны, — из молибдена.

В процессе ускорения-торможения лишь около 1% кинетической энергии электрона идёт на рентгеновское излучение, 99% энергии превращается в тепло.

Рентгеновское излучение можно получать также и на ускорителях заряженных частиц. Так называемое синхротронное излучение возникает при отклонении пучка частиц в магнитном поле, в результате чего они испытывают ускорение в направлении, перпендикулярном их движению. Синхротронное излучение имеет сплошной спектр с верхней границей. При соответствующим образом выбранных параметрах (величина магнитного поля и энергия частиц) в спектре синхротронного излучения можно получить и рентгеновские лучи.

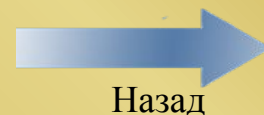
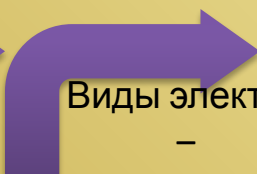
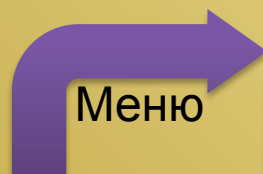


## История открытия

Открытие рентгеновского излучения приписывается Вильгельму Конраду Рёнтгену. Он был первым, кто опубликовал статью о рентгеновских лучах, которые он назвал икс-лучами (*x-ray*). Статья Рентгена под названием «О новом типе лучей» была опубликована 28-го декабря 1895 года в журнале Вюрцбургского физико-медицинского общества.

Считается, однако, доказанным, что рентгеновские лучи были уже получены до этого. Катодолучевая трубка, которую Рентген использовал в своих экспериментах, была разработана Й. Хитторфом и В. Круксом. При работе этой трубки возникают рентгеновские лучи. Это было показано в экспериментах Крукса и с 1892 года в экспериментах Генриха Герца и его ученика Филиппа Ленарда через почернение фотопластинок. Однако никто из них не осознал значения сделанного ими открытия и не опубликовал своих результатов.

По этой причине Рентген не знал о сделанных до него открытиях и открыл лучи независимо — при наблюдении флюоресценции, возникающей при работе катодолучевой трубки. На некоторых языках (включая русский и немецкий) эти лучи были названы его именем, несмотря на его сильные возражения. Рентген занимался X-лучами немногим более года (с 8 ноября 1895 года по март 1897 года) и опубликовал о них три статьи, в которых было исчерпывающее описание новых лучей, впоследствии сотни работ его последователей, опубликованных затем на протяжении 12 лет, не могли ни прибавить, ни изменить ничего существенного. Рентген, потерявший интерес к X-лучам, говорил своим коллегам: «Я уже всё написал, не тратьте зря время». Свой вклад в известность Рентгена внесла также знаменитая фотография руки его жены, которую он опубликовал в своей статье (см. изображение справа). За открытие рентгеновских лучей Рентгену в 1901 году была присуждена первая Нобелевская премия по физике, причём нобелевский комитет подчёркивал практическую важность его открытия. В 1896 году, в России, впервые было употреблено название «рентгеновские лучи». В других странах используется предпочитаемое Рентгеном название — X-лучи. В России лучи стали называть «рентгеновскими» по инициативе ученика В. К. Рентгена — Абрама Фёдоровича Иоффе.



# Гамма - излучение

**Гамма - излучение**, гамма-лучи ( $\gamma$  - лучи) — вид электромагнитного излучения с чрезвычайно маленькой длиной волны —  $< 5 \times 10^{-3}$  нм и, вследствие этого, ярко выраженными корпускулярными и слабо выраженными волновыми свойствами. Гамма-квантами являются фотоны высокой энергии. Обычно считается, что энергии квантов гамма-излучения превышают  $10^5$  эВ, хотя резкая граница между гамма- и рентгеновским излучением не определена. На шкале электромагнитных волн гамма-излучение граничит с рентгеновским излучением, занимая диапазон более высоких частот и энергий. В области 1-100 кэВ гамма-излучение и рентгеновское излучение различаются только по источнику: если квант излучается в ядерном переходе, то его принято относить к гамма-излучению; если при взаимодействиях электронов или при переходах в атомной электронной оболочке — к рентгеновскому излучению. Очевидно, физически кванты электромагнитного излучения с одинаковой энергией не отличаются, поэтому такое разделение условно.

Гамма-излучение испускается при переходах между возбуждёнными состояниями атомных ядер (энергии таких гамма-квантов лежат в диапазоне от  $\sim 1$  кэВ до десятков МэВ), при ядерных реакциях (например, при аннигиляции электрона и позитрона, распаде нейтрального пиона и т.д.), а также при отклонении энергичных заряженных частиц в магнитных и электрических полях (см. Синхротронное излучение).

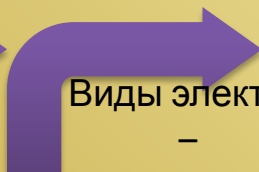
Открыто Полем Виллардом в 1900 году при изучении излучения радия.

## Физические свойства

Гамма-лучи, в отличие от  $\alpha$ -лучей и  $\beta$ -лучей, не отклоняются электрическими и магнитными полями, характеризуются большей проникающей способностью при равных энергиях и прочих равных условиях. Гамма-кванты вызывают ионизацию атомов вещества. Основные процессы, возникающие при прохождении гамма-излучения через вещество:

Фотоэффект (гамма-квант поглощается электроном атомной оболочки, передавая ему всю энергию и ионизируя атом).

Комптоновское рассеяние (гамма-квант рассеивается на электроне, передавая ему часть своей энергии).



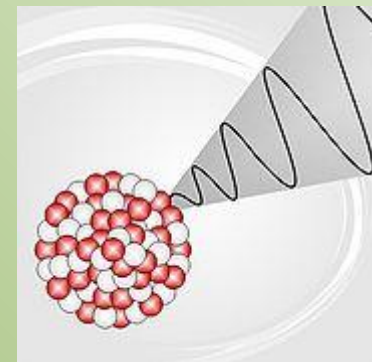
Рождение электрон-позитронных пар (в поле ядра гамма-квант с энергией не ниже  $2m_e c^2 = 1,022$  МэВ превращается в электрон и позитрон).

Фотоядерные процессы (при энергиях выше нескольких десятков МэВ гамма-квант способен выбивать нуклоны из ядра).

### Использование

Области применения гамма-излучения:

- \* гамма-дефектоскопия, контроль изделий просвечиванием  $\gamma$ -лучами.
- \* Консервирование пищевых продуктов.
- \* Стерилизация медицинских материалов и оборудования.
- \* Лучевая терапия.
- \* Уровнемеры.
- \* Гамма-каротаж в геологии.



### Детектирование

Зарегистрировать гамма-кванты можно с помощью ряда ядерно-физических детекторов ионизирующего излучения (сцинтилляционных, газовых, полупроводниковых и т. д.).

### Биологические эффекты

Облучение гамма-квантами, в зависимости от дозы и продолжительности, может вызвать хроническую и острую лучевые болезни. Стохастические эффекты облучения включают различные виды онкологических заболеваний. В то же время гамма-облучение подавляет рост раковых и других быстро делящихся клеток. Гамма-излучение является мутагенным и тератогенным фактором.

### Защита

Защитой от гамма-излучения может служить слой вещества. Эффективность защиты (то есть вероятность поглощения гамма-кванта при прохождении через неё) увеличивается при увеличении толщины слоя, плотности вещества и содержания в нём тяжёлых ядер (свинца, вольфрама, обеднённого урана и пр.).

Меню

Виды электро

Назад

# Основные сведения про электромагнитные волны

**Электромагнитное излучение** (электромагнитные волны) — распространяющееся в пространстве возмущение электромагнитного поля (т.е. иначе говоря - взаимодействующих друг с другом электрического и магнитного полей). Среди электромагнитных полей вообще, порожденных электрическими зарядами и их движением, принято относить собственно к излучению ту часть переменных электромагнитных полей, которая способна распространяться наиболее далеко от своих источников - движущихся зарядов, затухая наиболее медленно с расстоянием. К электромагнитному излучению относятся радиоволны (начиная со сверхдлинных), инфракрасное излучение, видимый свет, ультрафиолетовое, рентгеновское и жесткое (гамма-)излучение (см. ниже, см. также рисунок). Электромагнитное излучение способно распространяться в вакууме (пространстве, свободном от вещества), но в ряде случаев достаточно хорошо распространяется и в пространстве, заполненном веществом (несколько изменяя при этом свое поведение).

## История исследований

- Первые волновые теории света (их можно считать старейшими вариантами теорий электромагнитного излучения) восходят по меньшей мере к временам Гюйгенса, когда они получили уже и заметное количественное развитие. В 1678 году Гюйгенс выпустил «Трактат о свете» — набросок волновой теории света. Другое замечательное сочинение он издал в 1690 году; там он изложил качественную теорию отражения, преломления и двойного лучепреломления в исландском шпате в том самом виде, как она излагается теперь в учебниках физики. Сформулировал так называемый принцип Гюйгенса, позволяющий исследовать движение волнового фронта, впоследствии развитый Френелем (принцип Гюйгенса — Френеля) и сыгравший важную роль в волновой теории света, и теории дифракции. В 1660-1670-е годы существенный теоретический и экспериментальный вклад в физическую теорию света внесли также Ньютон и Гук.
- Многие положения корпускулярно-кинетической теории М. В. Ломоносова (1740-е—1750-е годы) предвосхищают постулаты электромагнитной теории: вращательное («коловратное») движение частиц как прообраз электронного облака, волновая («зыблющаяся») природа света, общность её с природой электричества, отличие от теплового излучения и т. д.

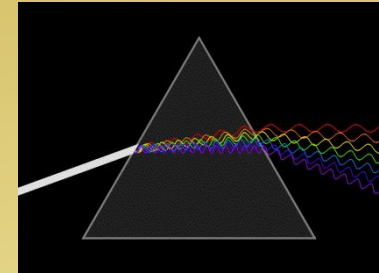


Меню



Далее

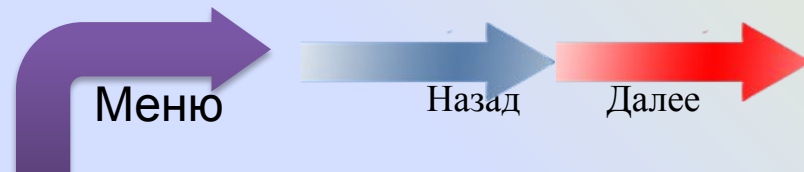
- В 1800 году английский учёный У. Гершель открыл инфракрасное излучение.
- В 1801 году Риттер открыл ультрафиолетовое излучение.
- Существование электромагнитного излучения теоретически предсказал английский физик Фарадей в 1832 году.
- В 1865 году английский физик Дж. Максвелл завершил построение теории электромагнитного поля классической (неквантовой) физики, строго оформив её математически, а также предсказав существование электромагнитных волн.
- В 1888 году немецкий физик Герц подтвердил теорию Максвелла опытным путём. Интересно, что Герц не верил в существование этих волн и проводил свой опыт с целью опровергнуть выводы Максвелла.
- 8 ноября 1895 года Рентген открыл электромагнитное излучение (получившее впоследствии название рентгеновского) более коротковолнового диапазона, чем ультрафиолетовое.
- В 1900 году Поль Виллард при изучении излучения радия открыл гамма-излучение.
- В 1900 году Планк при теоретическом исследовании проблемы излучения абсолютно черного тела открывает квантованность процесса электромагнитного излучения. Эта работа стала началом квантовой физики.
- Начиная с 1905 года Эйнштейн, а затем и Планк публикуют ряд работ, приведших к формированию понятия фотона, что стало началом создания квантовой теории электромагнитного излучения.
- Дальнейшие работы по квантовой теории излучения и его взаимодействия с веществом, приведшие в итоге к формированию квантовой электродинамики в ее современном виде, принадлежат ряду ведущих физиков середины XX века, среди которых можно выделить, применительно именно к вопросу квантования электромагнитного излучения и его взаимодействия с веществом, к кроме Планка и Эйнштейна, Бозе, Бора, Гейзенберга, де Бройля, Дирака, Фейнмана, Швингера, Томонагу.



# Диапазоны электромагнитного излучения

Электромагнитное излучение принято делить по частотным диапазонам (см. таблицу). Между диапазонами нет резких переходов, они иногда перекрываются, а границы между ними условны. Поскольку скорость распространения излучения (в вакууме) постоянна, то частота его колебаний жёстко связана с длиной волны в вакууме.

Название диапазона		Длины волн, $\lambda$	Частоты, $\nu$	Источники
Радиоволны	Сверхдлинные	более 10 км	менее 30 кГц	Атмосферные явления. Переменные токи в проводниках и электронных потоках (колебательные контуры).
	Длинные	10 км — 1 км	30 кГц — 300 кГц	
	Средние	1 км — 100 м	300 кГц — 3 МГц	
	Короткие	100 м — 10 м	3 МГц — 30 МГц	
	Ультракороткие	10 м — 1 мм	30 МГц — 300 ГГц	
Инфракрасное излучение		1 мм — 780 нм	300 ГГц — 429 ТГц	Излучение молекул и атомов при тепловых и электрических воздействиях.
Видимое (оптическое) излучение		780—380 нм	429 ТГц — 750 ПГц	
Ультрафиолетовое		380 — 10 нм	$7,5 \times 10^{14}$ Гц — $3 \times 10^{16}$ Гц	Излучение атомов под воздействием ускоренных электронов.
Рентгеновские		10 — $5 \times 10^{-3}$ нм	$3 \times 10^{16}$ — $6 \times 10^{19}$ Гц	Атомные процессы при воздействии ускоренных заряженных частиц.
Гамма		менее $5 \times 10^{-3}$ нм	более $6 \times 10^{19}$ Гц	Ядерные и космические процессы, радиоактивный распад.



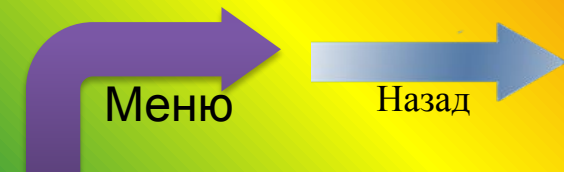
# Жёсткое излучение

В области рентгеновского и гамма-излучения на первый план выступают квантовые свойства излучения. Рентгеновское излучение возникает при торможении быстрых заряженных частиц (электронов, протонов и пр.), а также в результате процессов, происходящих внутри электронных оболочек атомов. Гамма-излучение появляется в результате процессов, происходящих внутри атомных ядер, а также в результате превращения элементарных частиц. Оно появляется и при торможении быстрых заряженных частиц.

## Особенности электромагнитного излучения разных диапазонов

Распространение электромагнитных волн, временные зависимости электрического и магнитного полей, определяющий тип волн (плоские, сферические и др.), вид поляризации и прочие особенности зависят от источника излучения и свойств среды.

Электромагнитные излучения различных частот взаимодействуют с веществом также по-разному. Процессы излучения и поглощения *радиоволн* обычно можно описать с помощью соотношений классической электродинамики; а вот для волн *оптического* диапазона и, тем более, *жёстких лучей* необходимо учитывать уже их квантовую природу.





# Характеристики электромагнитного излучения

Основные характеристики

Продольные электромагнитные волны

Внутреннее отражение

Электромагнитный спектр



Меню

# Продольные электромагнитные волны

**Продольные электромагнитные волны** — распространяющееся в пространстве гипотетическое переменное спин-спиновое взаимодействие элементарных частиц. Скорость продольных электромагнитных волн в вакууме равна скорости света, а в других средах неизвестна, так как экспериментально они не излучались и не исследовались. Теоретические исследования обобщённых уравнений Максвелла, описывающих и поперечные, и продольные электромагнитные волны, позволили выяснить некоторые ожидаемые их особенности:

- Наличие волнового вектора напряжённости магнитного поля и напряжённости дополнительного скалярного поля, порождаемого аксиальным током спинирующих частиц.
- Вектор магнитного поля направлен вдоль вектора потока энергии волны.
- Спин-спиновое взаимодействие быстро, но пока в неизвестной степени, убывает с увеличением расстояния между элементарными частицами, и излучение продольных электромагнитных волн относится к нерешённым научно-технологическим проблемам.
- Естественный фон продольных электромагнитных излучений в материальной природе по своим энергетическим характеристикам на много порядков слабее других естественных излучений.



Меню



Характеристик

и

# Внутреннее отражение

**Внутреннее отражение** — явление отражения электромагнитных волн от границы раздела двух прозрачных сред при условии, что волна падает из среды с большим показателем преломления.

**Неполное внутреннее отражение** — внутреннее отражение, при условии, что угол падения меньше критического угла. В этом случае луч раздваивается на преломлённый и отражённый.

**Полное внутреннее отражение** — внутреннее отражение, при условии, что угол падения превосходит некоторый критический угол. При этом падающая волна отражается полностью, и значение коэффициента отражения превосходит его самые большие значения для полированных поверхностей. К тому же, коэффициент отражения при полном внутреннем отражении не зависит от длины волны.

Этот оптический феномен наблюдается для широкого спектра электромагнитного излучения включая и рентгеновский диапазон.

В рамках геометрической оптики объяснение явления тривиально: опираясь на закон Снелла и учитывая, что угол преломления не может превышать  $90^\circ$ , получаем, что при угле падения, синус которого больше отношения меньшего коэффициента преломления к большему коэффициенту, электромагнитная волна должна полностью отражаться в первую среду.

В соответствии с волновой теорией явления, электромагнитная волна всё же проникает во вторую среду — там распространяется так называемая «неоднородная волна», которая экспоненциально затухает и энергию с собой не уносит. Характерная глубина проникновения неоднородной волны во вторую среду порядка длины волны.

## **Полное внутреннее отражение в природе и технике**

Фата-моргана, эффекты миража, например иллюзия мокрой дороги при летней жаре. Здесь отражения возникают из-за полного отражения между слоями воздуха с разной температурой.

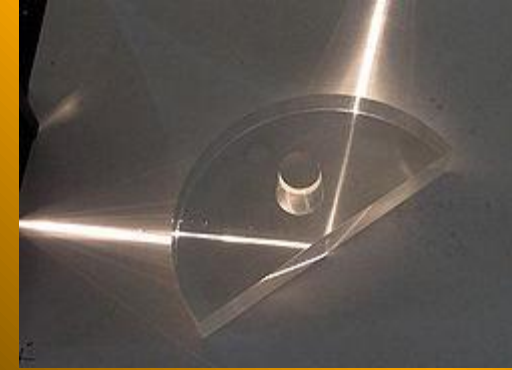
Яркий блеск многих природных кристаллов, а в особенности — огранённых драгоценных и полудрагоценных камней объясняется полным внутренним отражением, в результате которого каждый вошедший в кристалл луч образует большое количество достаточно ярких вышедших лучей, окрашенных в результате дисперсии.

Блеск алмазов, выделяющий их из прочих драгоценных камней, также определяется этим феноменом.



Из-за высокого коэффициента преломления ( $n \approx 2$ ) алмаза оказывается большим и число внутренних отражений, которые претерпевает луч света с меньшими потерями энергии, по сравнению со стеклом и другими материалами с меньшим показателем преломления.

Полное внутреннее отражение можно наблюдать, если смотреть из-под воды на поверхность: при определенных углах на границе раздела наблюдается не внешняя часть (то, что в воздухе), а видно зеркальное отражение объектов, которые находятся в воде.



### Световод

Эффект полного внутреннего отражения используется в световодах. Осевая часть волокна создаётся из стекла с высоким показателем преломления и погружается в оптически менее плотную среду (пластиковая оболочка волокна, специальная жидкость, воздух). Такие световоды используются для построения Волоконно-оптических кабелей



### Отражение рентгеновских лучей

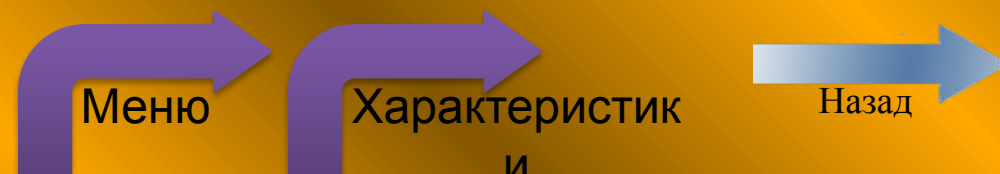
При рентгеновском излучении согласно общей формуле значений коэффициента преломления:

$$n = 1 - \delta - i\beta$$

вытекает, что вакуум — оптически более плотная среда, чем любое вещество. Значения коэффициента  $\delta$  при прохождении рентгеновских лучей лежат в области между  $< / 10^{-6}$  и  $< / 10^{-5}$  и зависят от квантовой энергии излучения, констант кристаллической решётки и плотности вещества.

При небольших углах падения, наблюдается эффект скольжения, преломления рентгеновских лучей с отражением под углом, равным углу падения ( $\theta$ ). Углы скольжения для «жёстких» рентгеновских лучей составляют доли градуса, для «мягких» — примерно 10-20 градусов.

Преломление рентгеновских лучей при скользящем падении было впервые сформулировано М. А. Кумаховым, разработавшим рентгеновское зеркало, и теоретически обосновано Артуром Комптоном в 1923 году.



# Электромагнитный спектр

**Электромагнитный спектр** — спектр электромагнитного излучения.

## **Длина волны — Частота — Энергия фотона**

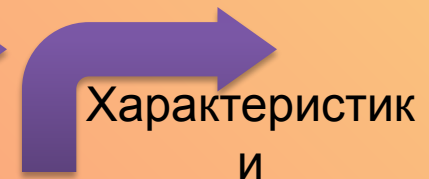
В качестве спектральной характеристики электромагнитного излучения используют следующие величины:

- Длину волны;
- Частоту колебаний — шкала частот приведена в отдельной статье;
- Энергию фотона (кванта электромагнитного поля).

Энергия фотона, согласно квантовой механике, пропорциональна частоте:  $E = h\nu$ , где  $h$  — постоянная Планка,  $E$  — энергия,  $\nu$  — частота. Длина электромагнитной волны *в вакууме* обратно пропорциональна частоте и выражается через скорость света:  $\nu\lambda = c$

Говоря о длине электромагнитных волн в среде, обычно подразумевают эквивалентную величину длины волны в вакууме, которая отличается на коэффициент преломления, поскольку частота волны при переходе из одной среды в другую сохраняется, а длина волны — изменяется. В верхней части шкалы приводятся значения энергии (в электронвольтах). Частоты, указанные в нижней части шкалы, выражены в герцах, а также в кратных единицах: кГц = 1000 Гц, МГц = 1000 кГц = 1000000 Гц, ГГц = 1000 МГц =  $10^9$  Гц, ТГц = 1000 ГГц =  $10^{12}$  Гц.

Шкала частот (длин волн, энергий) является непрерывной, но традиционно разбита на ряд диапазонов. Соседние диапазоны могут немного перекрываться.



# Основные характеристики электромагнитного излучения

Основными характеристиками электромагнитного излучения принято считать частоту, длину волны и поляризацию. Длина волны прямо связана с частотой через (групповую) скорость распространения излучения. Групповая скорость распространения электромагнитного излучения в вакууме равна скорости света, в других средах эта скорость меньше. Фазовая скорость электромагнитного излучения в вакууме также равна скорости света, в различных средах она может быть как меньше, так и больше скорости света. В большинстве случаев (обычно) скорость — и групповая, и фазовая — распространения электромагнитного излучения в веществе отличается от таковых в вакууме очень незначительно (на доли процента). Описанием свойств и параметров электромагнитного излучения в целом занимается электродинамика, хотя свойствами излучения отдельных областей спектра занимаются определенные более специализированные разделы физики (отчасти так сложилось исторически, отчасти обусловлено существенной конкретной спецификой, особенно в отношении взаимодействия излучения разных диапазонов с веществом, отчасти также спецификой прикладных задач). К таким более специализированным разделам относятся оптика (и ее разделы) и радиофизика. Жестким электромагнитным излучением коротковолнового конца спектра занимается физика высоких энергий; в соответствии с современными представлениями (Стандартная модель) при высоких энергиях электродинамика перестает быть самостоятельной, объединяясь в одной теории со слабыми взаимодействиями, а затем — при еще более высоких энергиях — как ожидается — со всеми остальными калибровочными полями. Существуют различающиеся в деталях и степени общности теории, позволяющие смоделировать и исследовать свойства и проявления электромагнитного излучения. Наиболее фундаментальной из завершенных и проверенных теорий такого рода является квантовая электродинамика, из которой путём тех или иных упрощений можно в принципе получить все перечисленные ниже теории, имеющие широкое применение в своих областях.

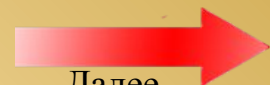


Меню



Характеристик

и



Далее

Для описания относительно низкочастотного электромагнитного излучения в макроскопической области используют, как правило, классическую электродинамику, основанную на уравнениях Максвелла, причём существуют упрощения в прикладных применениях. Для оптического излучения (вплоть до рентгеновского диапазона) применяют оптику (в частности, волновую оптику, когда размеры некоторых частей оптической системы близки к длинам волн; квантовую оптику, когда существенны процессы поглощения, излучения и рассеяния фотонов; геометрическую оптику — предельный случай волновой оптики, когда длиной волны излучения можно пренебречь). Гамма-излучение чаще всего является предметом ядерной физики, с других — медицинских и биологических — позиций изучается воздействие электромагнитного излучения в радиологии. Существует также ряд областей — фундаментальных и прикладных — таких, как астрофизика, фотохимия, биология фотосинтеза и зрительного восприятия, ряд областей спектрального анализа, для которых электромагнитное излучение (чаще всего — определенного диапазона) и его взаимодействие с веществом играют ключевую роль. Все эти области граничат и даже пересекаются с описанными выше разделами физики. Некоторые особенности электромагнитных волн с точки зрения теории колебаний и понятий электродинамики:

- наличие трёх взаимно перпендикулярных (в вакууме) векторов: волнового вектора, вектора напряжённости электрического поля  $E$  и вектора напряжённости магнитного поля  $H$ .
- Электромагнитные волны — это поперечные волны, в которых вектора напряжённостей электрического и магнитного полей колеблются *перпендикулярно* направлению распространения волны, но они существенно отличаются от волн на воде и от звука тем, что их можно передать от источника к приёмнику в том числе и через вакуум.

