Характеристики электромагнитного излучения

Основными характеристиками электромагнитного излучения принято считать [частоту](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B0), [длину волны](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B0_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%8B) и [поляризацию](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%8F%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D1%8B%D1%85_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD).

Длина волны прямо связана с частотой через (групповую) скорость распространения излучения. [Групповая скорость](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D1%83%D0%BF%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C)распространения электромагнитного излучения в вакууме равна [скорости света](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D1%81%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%B0), в других средах эта скорость меньше. [Фазовая скорость](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C) электромагнитного излучения в [вакууме](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B0%D0%BA%D1%83%D1%83%D0%BC) также равна скорости света, в различных средах она может быть как меньше, так и больше скорости света[[1]](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5#cite_note-1).

Описанием свойств и параметров электромагнитного излучения в целом занимается [электродинамика](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0), хотя свойствами излучения отдельных областей спектра занимаются определённые более специализированные разделы физики (отчасти так сложилось исторически, отчасти обусловлено существенной конкретной спецификой, особенно в отношении взаимодействия излучения разных диапазонов с [веществом](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D1%89%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE), отчасти также спецификой прикладных задач). К таким более специализированным разделам относятся [оптика](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BF%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0) (и её разделы) и [радиофизика](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0). Жёстким электромагнитным излучением коротковолнового конца спектра занимается[физика высоких энергий](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%B2%D1%8B%D1%81%D0%BE%D0%BA%D0%B8%D1%85_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D0%B9)[[2]](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5#cite_note-2); в соответствии с современными представлениями (см. [Стандартная модель](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C)), при высоких энергиях электродинамика перестаёт быть самостоятельной, объединяясь в одной теории со слабыми взаимодействиями, а затем — при ещё 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[[3]](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5#cite_note-3) из завершённых и проверенных теорий такого рода является [квантовая электродинамика](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0), из которой путём тех или иных упрощений можно в принципе получить все перечисленные ниже теории, имеющие широкое применение в своих областях. Для описания относительно низкочастотного электромагнитного излучения в макроскопической области используют, как правило, [классическую электродинамику](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0), основанную на [уравнениях Максвелла](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%9C%D0%B0%D0%BA%D1%81%D0%B2%D0%B5%D0%BB%D0%BB%D0%B0), причём существуют упрощения в прикладных применениях. Для оптического излучения (вплоть до рентгеновского диапазона) применяют [оптику](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BF%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0) (в частности, [волновую оптику](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BE%D0%BF%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0), когда размеры некоторых частей оптической системы близки к длинам волн; [квантовую оптику](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BE%D0%BF%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0), когда существенны процессы поглощения, излучения и рассеяния [фотонов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BD); [геометрическую оптику](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BE%D0%BF%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0) — предельный случай волновой оптики, когда длиной волны излучения можно пренебречь). [Гамма-излучение](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B0-%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) чаще всего является предметом [ядерной физики](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0), с других — медицинских и биологических — позиций изучается воздействие электромагнитного излучения в [радиологии](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F). Существует также ряд областей — фундаментальных и прикладных — таких, как [астрофизика](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0), [фотохимия](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%85%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%8F), биология [фотосинтеза](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%81%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B7) и зрительного восприятия, ряд областей [спектрального анализа](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7), 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 c точки зрения [теории колебаний](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%B1%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B9) и понятий [электродинамики](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0):

* наличие трёх взаимно перпендикулярных (в [вакууме](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B0%D0%BA%D1%83%D1%83%D0%BC)) векторов: [волнового вектора](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D0%B2%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80), [вектора напряжённости электрического поля](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B0%D0%BF%D1%80%D1%8F%D0%B6%D1%91%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8F) **E** и [вектора напряжённости магнитного поля](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B0%D0%BF%D1%80%D1%8F%D0%B6%D1%91%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8F) **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.

Диапазоны электромагнитного излучения

Электромагнитное излучение принято делить по [частотным](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B0) 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](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B0_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%8B) в вакууме.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Название диапазона** | | **Длины волн, *λ*** | **Частоты, *ν*** | **Источники** |
| [Радиоволны](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) | [Сверхдлинные](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%85%D0%B4%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%8B) | более 10 [км](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BC) | менее 30 к[Гц](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%86) | Атмосферные и[магнитосферные](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BE%D1%81%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B0)явления. Радиосвязь. |
| [Длинные](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%8B) | 10 км — 1 км | 30 кГц — 300 кГц |
| [Средние](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%8B) | 1 км — 100 [м](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D1%80) | 300 кГц — 3 [МГц](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D1%80%D1%86_(%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0_%D0%B8%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F)#.D0.9A.D1.80.D0.B0.D1.82.D0.BD.D1.8B.D0.B5_.D0.B8_.D0.B4.D0.BE.D0.BB.D1.8C.D0.BD.D1.8B.D0.B5_.D0.B5.D0.B4.D0.B8.D0.BD.D0.B8.D1.86.D1.8B) |
| [Короткие](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%B8%D0%B5_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%8B) | 100 м — 10 м | 3 МГц — 30 МГц |
| [Ультракороткие](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%B8%D0%B5_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%8B) | 10 м — 1 мм | 30 МГц — 300 ГГц[[4]](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5#cite_note-gost24375-4) |
| [Инфракрасное излучение](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%84%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) | | 1 мм — 780 [нм](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D1%80" \l ".D0.9A.D1.80.D0.B0.D1.82.D0.BD.D1.8B.D0.B5_.D0.B8_.D0.B4.D0.BE.D0.BB.D1.8C.D0.BD.D1.8B.D0.B5_.D0.B5.D0.B4.D0.B8.D0.BD.D0.B8.D1.86.D1.8B" \o "Метр) | 300 ГГц — 429 ТГц | Излучение молекул и атомов при тепловых и электрических воздействиях. |
| [Видимое излучение](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) | | 780—380 нм | 429 ТГц — 750 ТГц |
| [Ультрафиолетовое](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) | | 380 — 10 нм | 7,5·1014 Гц — 3·1016 Гц | Излучение атомов под воздействием ускоренных электронов. |
| [Рентгеновские](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) | | 10 нм — 5 пм | 3·1016 — 6·1019 Гц | Атомные процессы при воздействии ускоренных заряженных частиц. |
| [Гамма](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B0-%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) | | менее 5 пм | более 6·1019 Гц | Ядерные и космические процессы, радиоактивный распад. |

Радиоволны. Ультракороткие радиоволны принято разделять на [метровые](http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%9C%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%8B&action=edit&redlink=1), [дециметровые](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D1%86%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%8B), [сантиметровые](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%8B), [*миллиметровые*](http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%9C%D0%B8%D0%BB%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%8B&action=edit&redlink=1) и [*субмиллиметровые*](http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A1%D1%83%D0%B1%D0%BC%D0%B8%D0%BB%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%8B&action=edit&redlink=1) ([*микрометровые*](http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%8B&action=edit&redlink=1)). Волны с длиной λ < 1 м (ν > 300 МГц) принято также называть [*микроволнами*](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) или *волнами сверхвысоких частот* (СВЧ). Деление радиоволн на диапазоны см. в статьях[Радиоизлучение](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) и [Диапазон частот](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D0%B0%D0%BF%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%BD_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82).

[Ионизирующее электромагнитное излучение](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%80%D1%83%D1%8E%D1%89%D0%B5%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5). К этой группе традиционно относят рентгеновское и гамма-излучение, хотя, строго говоря, ионизировать атомы может и ультрафиолетовое излучение, и даже видимый свет. Границы областей рентгеновского и гамма-излучения могут быть определены лишь весьма условно. Для общей ориентировки можно принять, что энергия рентгеновских [квантов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82) лежит в пределах 20 эВ — 0,1 МэВ, а энергия [гамма-квантов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B0-%D0%BA%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82) — больше 0,1 МэВ. В узком смысле гамма-излучение испускается ядром, а рентгеновское — атомной электронной оболочкой при выбивании электрона с низколежащих орбит, хотя эта классификация неприменима к жёсткому излучению, генерируемому без участия атомов и ядер (например, [синхротронному](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%BD%D1%85%D1%80%D0%BE%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) или [тормозному излучению](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5)).

**Радиоволны**

*Основная статья:*[***Радиоизлучение***](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5)

Из-за больших значений λ распространение радиоволн можно рассматривать без учёта [атомистического](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%82%D0%BE%D0%BC) строения среды. Исключение составляют только самые короткие радиоволны, примыкающие к инфракрасному участку спектра. В радиодиапазоне слабо сказываются и квантовые свойства излучения, хотя их всё же приходится учитывать, в частности, при описании квантовых генераторов и усилителей сантиметрового и миллиметрового диапазонов, а также молекулярных стандартов частоты и времени, при охлаждении аппаратуры до температур в несколько кельвинов.

Радиоволны возникают при протекании по проводникам [переменного тока](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%82%D0%BE%D0%BA) соответствующей частоты. И наоборот, проходящая в пространстве электромагнитная волна возбуждает в проводнике соответствующий ей переменный ток. Это свойство используется в [радиотехнике](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BE) при конструировании [антенн](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B0).

Естественным источником волн этого диапазона являются [грозы](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B0). Считается, что они же являются источником [стоячих](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%BE%D1%8F%D1%87%D0%B0%D1%8F_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B0) электромагнитных [волн Шумана](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%B7%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D1%81_%D0%A8%D1%83%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B0).

**Микроволновое излучение**

*Основная статья:*[***Микроволновое излучение***](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5)

**Инфракрасное излучение (тепловое)**

*Основная статья:*[***Инфракрасное излучение***](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%84%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5)

*Основная статья:*[***Тепловое излучение***](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5)

**Видимое излучение (оптическое)**

*Основная статья:*[***Видимое излучение***](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5)

Прозрачная [призма](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%BC%D0%B0_(%D0%BE%D0%BF%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0)) разлагает луч белого цвета на составляющие его лучи[[5]](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5#cite_note-5).

Видимое, инфракрасное и ультрафиолетовое излучение составляет так называемую *оптическую область спектра* в широком смысле этого слова. Выделение такой области обусловлено не только близостью соответствующих участков [спектра](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80), но и сходством приборов, применяющихся для её исследования и разработанных исторически главным образом при изучении видимого [света](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%82) ([линзы](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D0%BD%D0%B7%D0%B0) и [зеркала](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D0%BE) для [фокусирования](http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A4%D0%BE%D0%BA%D1%83%D1%81%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BA%D0%B0&action=edit&redlink=1) излучения, [призмы](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%BC%D0%B0_(%D0%BE%D0%BF%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0)), [дифракционные решётки](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B5%D1%88%D1%91%D1%82%D0%BA%D0%B0), [интерференционные](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F_(%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0)) приборы для исследования спектрального состава излучения и пр.).

Частоты волн оптической области спектра уже сравнимы с собственными частотами [атомов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%82%D0%BE%D0%BC) и [молекул](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%83%D0%BB%D0%B0), а их длины — с молекулярными размерами и межмолекулярными расстояниями. Благодаря этому в этой области становятся существенными явления, обусловленные атомистическим строением вещества. По этой же причине, наряду с волновыми, проявляются и[квантовые](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82) свойства света.

Самым известным источником оптического излучения является [Солнце](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%86%D0%B5). Его поверхность (фотосфера) нагрета до температуры 6000 градусов по Кельвину и светит ярко-белым светом (максимум непрерывного спектра солнечного излучения расположен в «зелёной» области 550 нм, где находится и максимум чувствительности глаза). Именно потому, что мы родились возле такой [звезды](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B2%D0%B5%D0%B7%D0%B4%D0%B0), этот участок спектра электромагнитного излучения непосредственно воспринимается нашими [органами чувств](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%80%D0%B3%D0%B0%D0%BD_%D1%87%D1%83%D0%B2%D1%81%D1%82%D0%B2).

Излучение оптического диапазона возникает, в частности, при нагревании тел (инфракрасное излучение называют также тепловым) из-за [теплового движения](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) атомов и молекул. Чем сильнее нагрето тело, тем выше частота, на которой находится максимум спектра его излучения (см.: [Закон смещения Вина](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_%D1%81%D0%BC%D0%B5%D1%89%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%92%D0%B8%D0%BD%D0%B0)). При определённом нагревании тело начинает светиться в видимом диапазоне ([каление](http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%9A%D0%B0%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5&action=edit&redlink=1)), сначала красным цветом, потом жёлтым и так далее. И наоборот, излучение оптического спектра оказывает на тела тепловое воздействие (см.: [Болометрия](http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%91%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%8F&action=edit&redlink=1" \o "Болометрия (страница отсутствует))).

Оптическое излучение может создаваться и регистрироваться в [химических](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B5%D0%B0%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F) и биологических реакциях. Одна из известнейших химических реакций, являющихся приёмником оптического излучения, используется в [фотографии](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D1%8F). Источником энергии для большинства живых существ на Земле является [фотосинтез](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%81%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B7) — биологическая реакция, протекающая в растениях под действием оптического излучения Солнца.

**Ультрафиолетовое излучение**

*Основная статья:*[***Ультрафиолетовое излучение***](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5)

**Жёсткое излучение**

*Основная статья:*[***Рентгеновское излучение***](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5)

*Основная статья:*[***Гамма-излучение***](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B0-%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5)

В области рентгеновского и гамма-излучения на первый план выступают [квантовые свойства излучения](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0).

Рентгеновское излучение возникает при [торможении быстрых заряженных частиц](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) ([электронов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD), [протонов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BD) и пр.), а также в результате процессов, происходящих внутри[электронных оболочек](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BE%D1%80%D0%B1%D0%B8%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%8C) атомов. Гамма-излучение появляется в результате процессов, происходящих внутри [атомных ядер](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%8F%D0%B4%D1%80%D0%BE), а также в результате превращения[элементарных частиц](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D0%B0).

Особенности электромагнитного излучения разных диапазонов

Распространение электромагнитных волн, временны́е зависимости электрического \mathit E(t)\, и магнитного \mathit H(t)\, 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](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0); а вот для волн *оптического* диапазона и, тем более, *жёстких лучей* необходимо учитывать уже их квантовую природу.

Электромагнитная безопасность

*Основная статья:*[***Электромагнитная безопасность***](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C)

Излучения электромагнитного диапазона при определённых уровнях могут оказывать отрицательное воздействие на организм человека, животных и других живых существ, а также неблагоприятно влиять на работу электрических приборов. Различные виды неионизирующих излучений ([электромагнитных полей](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B5), ЭМП) оказывают разное физиологическое воздействие. На практике выделяют диапазоны магнитного поля (постоянного и квазипостоянного, импульсного), ВЧ- и [СВЧ](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5)-излучений, лазерного излучения, электрического и магнитного поля промышленной частоты от высоковольтного оборудования, СВЧ-излучения и др.

**Влияние на живые существа**

Существуют национальные и международные гигиенические нормативы уровней ЭМП, в зависимости от диапазона, для [селитебной зоны](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%B7%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D0%B8) и на рабочих местах.

**Оптический диапазон**

Существуют гигиенические нормы освещённости; также разработаны нормативы безопасности при работе с лазерным излучением.

**Радиоволны**

Допустимые уровни электромагнитного излучения (плотность потока электромагнитной энергии) отражаются в нормативах, которые устанавливают государственные компетентные органы, в зависимости от диапазона [ЭМП](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B5). Эти нормы могут быть существенно различны в разных странах.

Нахождение в зоне с повышенными уровнями ЭМП в течение определённого времени приводит к ряду неблагоприятных последствий: наблюдается усталость, тошнота, головная боль. При значительных превышениях нормативов возможны повреждение сердца, мозга, центральной нервной системы. Излучение может влиять на психику человека, появляется раздражительность, человеку трудно себя контролировать. Возможно развитие трудно поддающихся лечению заболеваний, вплоть до раковых. В частности, корреляционный анализ показал прямую средней силы корреляцию заболеваемости злокачественными заболеваниями головного мозга с максимальной нагрузкой от ЭМИ даже от использования такого маломощного источника, как мобильные радиотелефоны[[7]](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5#cite_note-7). Эти данные не должны быть причиной для[радиофобии](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D1%84%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D1%8F), однако очевидна необходимость в существенном углублении сведений о действии ЭМИ на живые организмы.

В России действует СанПиН 2.2.4.1191—03 «Электромагнитные поля в производственных условиях, на рабочих местах. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы»[[8]](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5#cite_note-8), отменивший ранее действовавшие гигиенические нормативы «Санитарно-гигиенические нормы допустимой напряжённости электростатического поля» № 1757-77; «Предельно допустимые уровни воздействия постоянных магнитных полей при работе с магнитными устройствами и магнитными материалами» № 1742-77; «Санитарные нормы и правила выполнения работ в условиях воздействия электрических полей промышленной частоты (50 Гц)» № 5802-91; «Переменные магнитные поля промышленной частоты (50 Гц) в производственных условиях. СанПиН 2.2.4.723-98»; «Предельно допустимые уровни магнитных полей частотой 50 Гц» № 3206-85; «Предельно допустимые уровни (ПДУ) воздействия электромагнитных полей (ЭМП) диапазона частот 10 - 60 кГц» № 5803-91.

* Допустимые уровни излучения базовых станций [мобильной связи](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B2%D1%8F%D0%B7%D1%8C) (900 и 1800 МГц, суммарный уровень от всех источников) в санитарно-селитебной зоне в некоторых странах заметно различаются:

Украина: 2,5 мкВт/см² (самая жёсткая санитарная норма в Европе);

Россия, Венгрия: 10 мкВт/см²;

США, Скандинавские страны: 100 мкВт/см².

Параллельное развитие гигиенической науки в [СССР](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%A1%D0%A1%D0%A0) и западных странах привело к формированию разных подходов к оценке действия ЭМИ. Для части стран постсоветского пространства сохраняется преимущественно нормирование в единицах плотности потока энергии (ППЭ), а для [США](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%A8%D0%90) и стран [ЕС](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%A1) типичным является оценка удельной мощности поглощения ([SAR](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D0%BE%D1%8D%D1%84%D1%84%D0%B8%D1%86%D0%B8%D0%B5%D0%BD%D1%82_%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BB%D0%BE%D1%89%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D0%B8)).

«Современные представления о биологическом действии ЭМИ от [мобильных радиотелефонов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D1%81%D0%B2%D1%8F%D0%B7%D1%8C) (МРТ) не позволяют прогнозировать все неблагоприятные последствия, многие аспекты проблемы не освещены в современной литературе и требуют дополнительных исследований. В связи с этим, согласно рекомендациям [ВОЗ](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%9E%D0%97), целесообразно придерживаться предупредительной политики, т. е. максимально уменьшить время использования сотовой связи».

**Ионизирующее излучение**

Допустимые нормативы регулируются нормами радиационной безопасности — [НРБ-99](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%A0%D0%91-99).

**Влияние на радиотехнические устройства**

Существуют административные и контролирующие органы — инспекция по радиосвязи (на Украине, например, Укрчастотнадзор, который регулирует распределение частотных диапазонов для различных пользователей, соблюдение выделенных диапазонов, отслеживает незаконное пользование радиоэфиром).

См. также

* [Волна](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B0)
* [Радиобиология неионизирующих излучений](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F_%D0%BD%D0%B5%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%80%D1%83%D1%8E%D1%89%D0%B8%D1%85_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B9)
* [Фотоэффект](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%8D%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82)
* [Электромагнитные колебания](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%B1%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F)
* [Эффект Комптона](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82_%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%B0)
* [Внутреннее отражение](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BD%D1%83%D1%82%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B5%D0%B5_%D0%BE%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5)

Примечания

1. [**↑**](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5#cite_ref-1) ([Принцип максимальности скорости света теории относительности](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8) при этом не нарушается, так как скорость переноса энергии и информации — связанная с групповой, а не фазовой скоростью — в любом случае не превышает световой скорости)
2. [**↑**](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5#cite_ref-2) Также вопросы, связанные с жесткими и сверхжесткими излучениями могут возникать в астрофизике; там иногда они имеют особую специфику, например, генерация излучения может происходить в областях огромного размера.
3. [**↑**](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5#cite_ref-3) Наиболее фундаментальной, не считая упомянутых выше теорий Стандартной модели, отличия которой от чистой квантовой электродинамики проявляются,