

одной стороны, – это волна (Гюйгенс), а с другой – поток «корпускул» (Ньютона). ЭМ излучение обладает дуализмом, то есть одновременно и свойствами волны (11. 1), и свойствами потока частиц(11.6). Корпускулярно-волновой дуализм присущ и другим микрочастицам, например электронам,нейtronам.

Один вид материи может превращаться в другой и обратно. Так известна реакция аннигиляции (уничтожения) двух античастиц: электрона и позитрона:



В данной реакции вещество – электрон  $e^-$  и позитрон  $e^+$  – превращаются в два кванта электромагнитного поля. В результате этой реакции могут образовываться два гамма-кванта, имеющие энергию не менее 0,51 МэВ каждый.

Известно и обратное превращение – реакция рождения пары:



При этой реакции гамма-фотон высокой энергии (более 1,2 МэВ) при взаимодействии с электрическим полем ядра атома превращается в две частицы: электрон и позитрон. Таким образом, кванты электромагнитного поля превращаются в вещество. Реакции аннигиляции и рождения пар являются примером перехода одного вида материи в другой и обратно.

## ГЛАВА 11. ЧЕЛОВЕК И ФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ ОКРУЖАЮЩЕГО МИРА

Понятие «физические поля окружающего мира», очевидно, является широким и может включать в себя многие явления в зависимости от целей и контекста рассмотрения. Если употреблять его в строго физическом смысле, то есть как вид материи, то следует иметь в виду прежде всего электрическое, магнитное, электромагнитное, гравитационное поля и поле внутриядерных сил. В экологическом контексте в это понятие могут быть включены потоки ионизирующих частиц, акустические и вибрационные поля, атмосферные изменения и ряд других.

Задача данной главы сознательно сужена, и в ней рассматриваются лишь вопросы воздействия на человека электромагнитных полей и потоков ионизирующих излучений.

Вся биосфера Земли: простейшие, обширные царства растений и животных и человек – находится в окружении единого материального мира, составляющего ее среду обитания. Сфера обитания является неотъемлемым условием развития жизни и одновременно суммой факторов, влияющих на живые организмы и определяющих эволюцию живой природы. Одним из существенных факторов сферы обитания являются потоки излучений, действию которых подвергается все живое на Земле. Это электромагнитные волны, в безбрежном океане которых находится Земля, межзвездное и галактическое пространство, и ионизирующие излучения.

#### § 43. Естественные источники электромагнитных излучений

Совокупность ЭМ волн различных длин от тысяч метров до  $10^{-12}$  м и короче, распространяющихся во Вселенной (в том числе и в условиях Земли), можно представить в виде шкалы ЭМ волн. Самый длинноволновый диапазон составляют радиоволны, затем по мере укорочения длины волны следуют: инфракрасное, видимое, ультрафиолетовое, рентгеновское и гамма-излучения.

Необходимо иметь в виду, что границы диапазонов указанные по длинам волн, частотам или энергиям фотонов, приняты условно. Указанные диапазоны перекрываются друг с другом и в природе не имеют четких границ. Физическая природа всех излучений, составляющих шкалу, едина: все эти излучения – электромагнитные волны. В зависимости от частоты  $v$ , а следовательно, и энергии фотона  $h\nu$ , существенно меняются свойства распространения и характер взаимодействия ЭМ волн с биологическими объектами.



Рис. 11.1. Шкала электромагнитных волн

В табл. 11.1 представлены основные характеристики, механизмы излучения, виды взаимодействия с биологическими объектами и применение в медицине ЭМ волн указанных диапазонов.

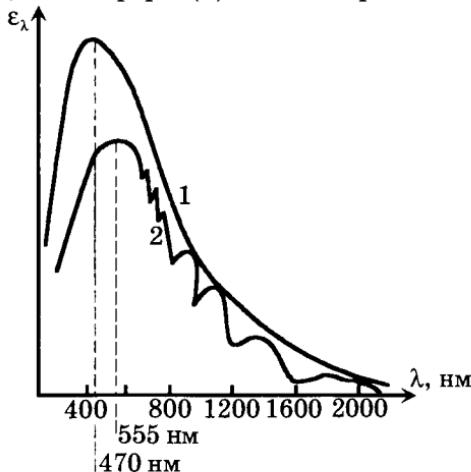
Основным источником естественного (природного) фона радиоволн на Земле являются атмосферные электрические явления (грозы, зарницы, шаровые молнии), радиоизлучение Солнца и звезд. Интенсивность фона составляет в среднем примерно  $10^{-7}$  Вт/м<sup>2</sup>.

Основным естественным источником излучения в ИК, видимом и УФ-диапазонах является Солнце, а в рентгеновском и гамма-диапазонах также межзвездные и галактические события (образование сверхновых звезд, квазары, пульсары и др.). Фоновая интенсивность в этих диапазонах зависит от многих факторов, в частности от состояния атмосферы и ионосфера, магнитного поля Земли, солнечной активности и др. и может изменяться в довольно широких пределах.

ЭМ волны, идущие от Солнца, человек ощущает в виде солнечного тепла (ИК-диапазон), дневного света (видимый диапазон). УФ-диапазон солнечного излучения проявляется в виде пигментации кожного покрова (загар). Рентгеновское и гамма-излучения человек непосредственно не ощущает.

Плотность потока энергии ЭМ излучения от Солнца на границе атмосферы составляет 1350 Вт/м<sup>2</sup>. Этую величину называют солнечной постоянной. Атмосфера поглощает солнечную энергию, поэтому у поверхности Земли на широте Москвы интенсивность падает до 930 Вт/м<sup>2</sup>.

На рис. 11.2 представлен спектр солнечного излучения на верхней границе атмосферы (1) и на поверхности Земли (2).



**Рис. 11.2.** Спектр солнечного излучения (1 – спектр на верхней границе атмосферы, 2 – на поверхности Земли,  $\varepsilon_\lambda$  – спектральная плотность энергетической светимости)

Таблица 11.1 Электромагнитные волны

	Радиоволны длинные, средние, короткие, УВЧ, СВЧ	Инфракрас- ное излучение	Видимый свет	Ультрафиолетовое излучение	Рентгеновское излучение	Гамма- излучение
<b>Ионизирующее излучение</b>						
<b>Длина волны</b>	$10^3$ м – 1 мм	1мм – 0,76 мкм	760 – 380 нм	380 – 10 нм	$80 - 10^{-4}$ нм	0,1 нм и менее
<b>Энергия кванта [эВ]</b>	$1,2 \cdot 10^{-9} - 1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4} - 1,6$	1,6 – 3,3	3,3 – 120	$10 - 0,5 \cdot 10^6$	$0,2 \cdot 10^6$ и более
<b>Источники излучений</b>	Движение зарядов с ускорением	излучение молекул и атомов		излучение атомов		излучение возбужденного ядра
<b>Действие на вещество</b>	Поляризация диэлектриков, возникновение токов проводимости в биологических жидкостях	<b>Фотобиологические процессы</b>			Когерентное рассеяние	<b>ИОНИЗАЦИЯ</b> Фото- и комптон-эффекты образование пары
		активация терморецепторов	активация зрительных рецепторов	Фотохимические реакции на поверхности кожи		
<b>Применение в медицине</b>	УВЧ-терапия СВЧ-терапия Эндорадионоды	тепловое лечение	светолечение лазерная терапия	Светолечение УФ-терапия Синтез витамина Д	Рентгено-терапия	Гамма-терапия
	Диагностика с помощью картирования тепловых полей организма		Люминесцентные методы диагностики		Рентгено-диагностика	Радионуклиидная диагностика

Как следует из рисунка, максимум энергии излучения приходится на  $\lambda = 470$  нм, а на поверхности Земли – на длину волн около 555 нм. УФ-излучение короче 290 нм поглощается озоновым слоем около верхней границы атмосферы, а часть длинноволнового ИК-излучения – водяным паром.

Биосфера Земли, в том числе и человек, развивались в условиях относительного постоянства солнечной радиации, поэтому изменение энергии, падающей на Землю в диапазонах ИК, видимом и УФ, определяемое состоянием атмосферы и ионосферы (например, появлением озоновых дыр), может отрицательно влиять на существование жизни.

Наряду с указанными естественными объектами, излучающими ЭМ волны, существуют и другие природные источники. В частности, источником ЭМ излучения является организм человека. Понимание физических механизмов возникновения ЭМ волн открывает возможности изучать процессы рецепции, электрогенеза, распространение нервных импульсов в активных средах и целый ряд других жизненно важных функций.

Современная наука рассматривает два подхода к объяснению механизмов ЭМ излучения. Первый базируется на законах классической электродинамики в основе которой лежит теория Максвелла. Второй использует законы *квантовой механики*. Оба подхода объясняют возникновение ЭМ волн в различных диапазонах и взаимно дополняют друг друга.

#### § 44. Взаимодействие электромагнитных излучений с веществом

При прохождении ЭМ волны через слой вещества толщиной  $x$  интенсивность волны  $I$  уменьшается вследствие взаимодействия ЭМ поля с атомами и молекулами вещества. Эффекты взаимодействия могут быть различными в разных веществах и для разных длин волн. Но общий закон ослабления интенсивности волны будет одинаковым:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x}, \quad (11.9)$$

где  $I_0$  – интенсивность падающего излучения.

Это выражение носит название закон Бугера,  $\mu$  называется коэффициентом ослабления. В общем виде ослабление определяется поглощением и рассеянием энергии ЭМ волны веществом. Величина  $\mu$  зависит от природы вещества и длины волны.