

В конструкцию подвесного кабеля в общую полиэтиленовую оболочку вмонтирован стальной трос (5) из 49 оцинкованных стальных проволок диаметром 0,34 мм. В поперечном сечении подвесной кабель имеет форму восьмерки.

Оптические кабели

Особая актуальность развития волоконно-оптической связи состоит в том, что ресурсы меди и свинца крайне ограничены, а кабельная промышленность потребляет до 50% меди и 25% свинца от общих мировых ресурсов.

Оптические кабели в отличие от электрических с медными проводниками не требуют дефицитных материалов и изготавливаются из стекла и пластмассы.

Основные достоинства оптических кабелей (ОК):

- широкополосность – передача большого потока информации;
- малое затухание и независимость его от частоты в широком диапазоне;
- высокая защищенность от внешних электромагнитных помех;
- малогабаритность и легкость (масса ОК в 10...12 раз меньше);
- надежная техника безопасности (невоспламеняемость, отсутствие КЗ).

Оптические линии передачи:

- *открытые* (атмосферные) – подвержены влиянию метеорологических условий и не обеспечивают необходимой надежности связи;
- *линзовые световоды* – с периодической коррекцией расходимости и направления луча с помощью системы линз и зеркал – весьма дорогостоящие, требуют тщательной юстировки и сложных устройств управления лучом;
- *волоконные световоды* – высоконадежные оптические системы связи на основе оптических волокон с малыми потерями.

Основные области применения:

- магистральные и зонные сети связи;
- городские и сельские сети связи – межстанционные соединения;
- передача широкополосной информации – телевидение, передача данных, видеотелефон;
- объектовые – вычислительные сети, летательные аппараты, корабли.

Источники оптического излучения

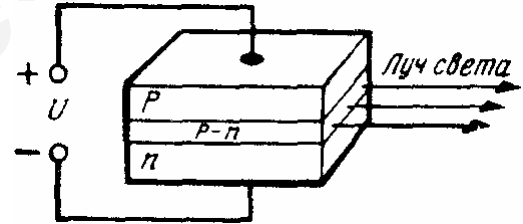
Важнейшим фактором в развитии оптических систем и кабелей связи явилось появление оптического квантового генератора – лазера.

Лазерные системы работают в оптическом диапазоне волн. Если при передаче по кабелям используются частоты порядка мегагерц, а по волноводам – гигагерц, то для лазерных систем используются видимый и инфракрасный спектры оптического диапазона волн ($10^{13} \dots 10^{14}$ Гц).

Существуют различные типы лазеров: полупроводниковые, твердотельные, газовые. Наибольшее распространение при создании оптоволоконных линий связи получили полупроводниковые лазеры.

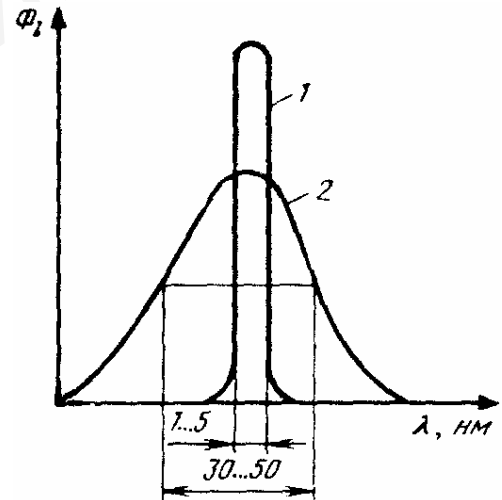
Под действием приложенного напряжения в полупроводнике происходит возбуждение носителей, в силу чего возникает излучение световой энергии и появляется поток фотонов. Этот поток, многократно отражаясь от зеркал, образующих резонансную систему, усиливается, что приводит к появлению лазерного луча с остронаправленной диаграммой излучения.

Объем полупроводника примерно 1 мм^3 . К. нему подведены металлические электроды для подачи электрического напряжения. Роль отражающих зеркал выполняют плоскопараллельные отполированные торцевые грани полупроводника. Излучение происходит в слое р-п-перехода толщиной $0,15 \dots 0,2 \text{ мкм}$.



Наряду с лазерами в качестве источников излучения широко применяются полупроводниковые светодиоды.

В отличие от лазера, обладающего остронаправленным когерентным лучом (1) за счет стимулированного резонансного излучения, в светодиоде, не имеющем резонансного усиления, излучение происходит спонтанно (самопроизвольно) и луч имеет меньшую мощность и широкую направленность излучения (2).



Обычное излучение	Лазерное излучение
природа возникновения	
тепловая	электромагнитная
спектр частот	
широкий непрерывный	монохроматический
излучение	
некогерентное	когерентное – согласованное во времени и пространстве

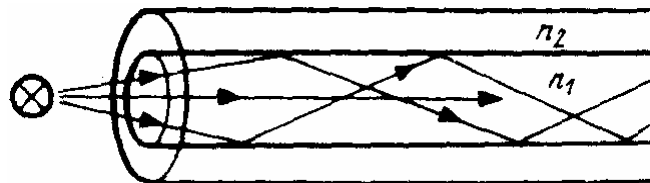
Свойства лазерного излучения:

- распространяется на большие расстояния строго прямолинейно;
- движется очень узким пучком с малой степенью расходимости;
- выделяет много тепла и может пробивать отверстие в любом материале.

Физические процессы в волоконных световодах

Основным отличием ОК от электрических кабелей является полное отсутствие в нем токов проводимости $I_{пр}$. В

ОК, как и при радиопередаче, имеют место только токи смещения $I_{см}$, однако волна распространяется не в свободном пространстве, а концентрируется в самом объеме световода и передается по нему в заданном направлении.



Передача волны по световоду осуществляется за счет отражений ее от границы сердечника и оболочки, имеющих разные показатели преломления (n_1 и n_2).

В обычных кабелях носителем передаваемой информации являясь электрический ток, а в ОК – лазерный луч.

Свет имеет двойственную природу: *волновую и квантовую*.

Волновая теория света обосновывает, что свет является разновидностью электромагнитных колебаний очень высоких частот ($10^{14} \dots 10^{15}$ Гц) и очень коротких волн (микроны).

Различие в цвете объясняется различием длин волн. Так, красный цвет соответствует $\lambda = 0,7$ мкм, зеленый – $0,55$ мкм, фиолетовый – $0,4$ мкм. В этом случае применяется волновая теория электродинамики и уравнения Максвелла.

По *корпускулярной теории* свет – это поток быстро движущихся мелких частиц (корпускул), которые излучаются светящимся телом. Корпускулы излучаются отдельными порциями (квантами). Здесь пригодна *лучевая теория*.

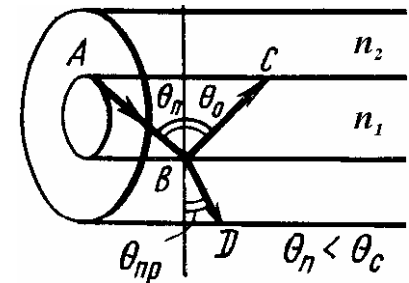
Лучи света распространяются по законам геометрической оптики. Таким образом, теория света является синтезом волновых и квантовых его свойств.

Для связи по световодам используются видимые лучи (0,4...0,75 мкм) и ближний диапазон инфракрасных лучей (0,85...1,3...1,55, до 4...6 мкм).

Сравнивая волновую и лучевую теории световодов, можно отметить, что лучевые методы менее громоздки и дают более наглядное объяснение физическим процессам, происходящим в световодах.

Лучевая теория передачи по световодам

Лучи света распространяются зигзагообразно по сердечнику световода, многократно отражаясь от границы сердцевина-оболочка. Однако, поскольку этой границей являются прозрачные стекла, возможно не только отражение луча, но и проникновение его в оболочку.



По законам геометрической оптики в общем виде на границе сердечник-оболочка будут падающий (AB), отраженный (BC) и преломленный лучи (BD).

Для предотвращения перехода энергии в оболочку и ее излучения необходимо соблюдать условие полного внутреннего отражения.

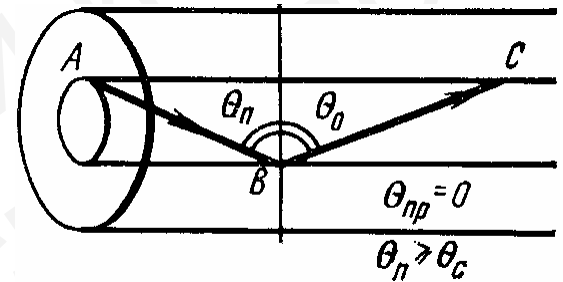
При переходе из среды с большей плотностью в среду с меньшей, т.е. при $n_1 > n_2$, ($n = \sqrt{\mu\varepsilon}$) волна при определенном угле падения $\theta_{п}$ полностью отражается и не переходит в другую среду.

Угол падения θ_c , начиная с которого вся энергия отражается от границы раздела сред, т.е. при $\theta_{п} = \theta_c$, называется *углом полного внутреннего отражения* и определяется из соотношения:

$$\sin \theta_c = n_2/n_1 = \sqrt{\mu_2\varepsilon_2/\mu_1\varepsilon_1} = \sqrt{\varepsilon_2/\varepsilon_1}, \text{ т.к. } \mu_1 = \mu_2,$$

где μ и ε – магнитная и диэлектрическая проницаемость сердечника (μ_1 и ε_1) и оболочки (μ_2 и ε_2).

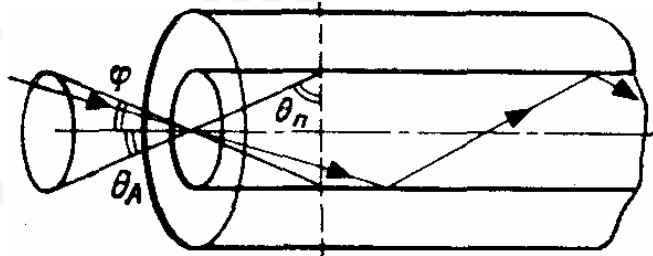
При $\theta_{п} = \theta_c$ энергия, поступившая в сердцевину, полностью отражается и зигзагообразно распространяется по световоду.



Чем больше угол падения луча, т.е. $\theta_{п} > \theta_{с}$ в пределах от $\theta_{с}$ до 90° , тем лучше условия распространения и быстрее энергия достигает приемного конца. В этом случае вся энергия концентрируется в сердцевине световода и практически не излучается во вне.

При угле $\theta_{п} < \theta_{с}$ энергия проникает в оболочку, излучается во внешнее пространство, и передача по световоду неэффективна.

Режим полного внутреннего отражения предопределяет условие подачи света на входной торец волоконного световода – он будет пропускать лишь свет, заключенный в пределах телесного угла ($\theta_{А}$), характеризуемого *апертурой* – углом между оптической осью и одной из образующих светового конуса, попадающего в торец волоконного световода.



Обычно пользуются понятием *числовой апертуры*:

$$NA = n_0 \sin \theta_A = n_0 \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2},$$

где n_0 – показатель преломления воздуха; $n_0 = 1$.

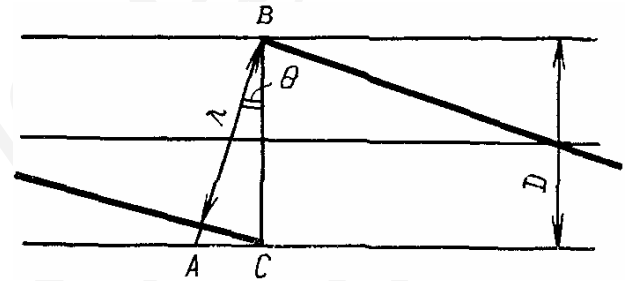
Числовая апертура характеризует все компоненты оптического канала – световоды, источники и приемники излучения. Для минимизации потерь энергии апертуры соединяемых элементов должны быть *согласованными*.

Между углом полного внутреннего отражения θ_c и апертурным углом θ_A существует взаимосвязь – чем больше угол θ_c , тем меньше апертура волокна θ_A .

Следует стремиться к тому, чтобы угол ввода луча в световод φ укладывался в апертурный угол ($\varphi \leq \theta_A$), а угол падения луча на границу сердцевина-оболочка был больше угла полного внутреннего отражения θ_c ($\theta_c \leq \theta_{\text{п}} \leq 90^\circ$).

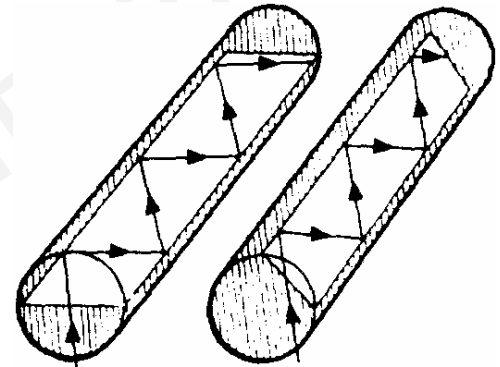
Представим реальную волну в световоде в виде серии плоских волн и рассмотрим геометрию электромагнитного поля одной из составляющих волн.

Расстояние между линиями равных фаз поля равно длине волны λ . Волна движется в направлении А–В перпендикулярно линиям равных фаз и образует с поперечным сечением волновода угол θ .



Из треугольника А В С может быть получено соотношение $\cos \theta = \lambda/D$, где D – диаметр световода. С увеличением угла θ длина волны уменьшается, изменяясь от $\lambda=D$ (при $\theta = 0^\circ$) до $\lambda = 0$ (при $\theta = 90^\circ$).

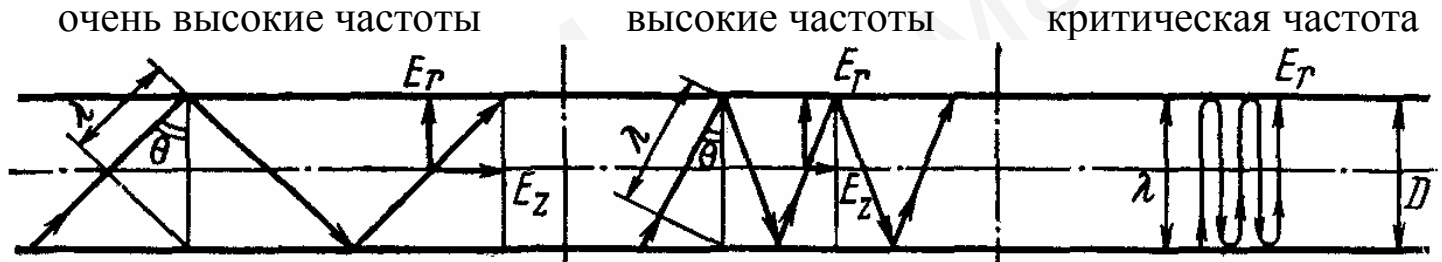
Волны в световоде распространяются зигзагообразно, многократно отражаясь под углом 2θ от стенок.



В общем виде по световодам возможна передача лучей двух видов:

- *меридиональных* – расположенных в плоскости, проходящей через ось световода;
- *косых* – не пересекающих ось световода и проходящих по весьма сложным траекториям.

Процесс распространения зависит от частоты:



$f \rightarrow \infty; \lambda \rightarrow 0; \theta \rightarrow 90^\circ; E_z \rightarrow \max; \quad f > f_0; \lambda < D; \theta \rightarrow 0^\circ; E_z \rightarrow 0; \quad f = f_0; \lambda = D; \theta = 0^\circ; E_z = 0.$

При $f \rightarrow \infty$ ($\lambda \rightarrow 0$) угол $\theta \rightarrow 90^\circ$, отражений мало, вся энергия поля концентрируется внутри сердечника световода и эффективно распространяется вдоль него. Продольная составляющая поля E_z (или H_z) максимальна.

При $f > f_0$ ($\lambda < D$) угол $\theta \rightarrow 0^\circ$, волна испытывает большое число отражений и ее поступательное движение мало. Составляющая поля E_z (или H_z) минимальная и вдоль световода передается незначительная доля энергии.

При определенной, сравнительно низкой, частоте $f = f_0$ наступает режим, когда $\lambda = D$, и волна, падая на стенку, отражается перпендикулярно. В волноводе устанавливается режим стоячей волны, и энергия вдоль него не передается.

Ниже критической частоты энергия рассеивается в окружающем пространстве и не передается по световоду.

Частота f_0 , при которой наступает режим стоячей волны, носит название *критической* и выражает собой нижний предел частот, которые могут распространяться по данному световоду. Таким образом, световод действует как фильтр верхних частот с частотой среза, равной критической частоте.

Учитывая, что $\cos \theta = \sqrt{1 - \sin^2 \theta}$, и используя условие полного внутреннего отражения $\sin \theta = n_2/n_1$, получаем $\cos \theta = \sqrt{1 - (n_2/n_1)^2}$. Приравняв правые части выражений косинусов, получаем из них λ_0 :

$$\lambda_0 = D\sqrt{1 - (n_2/n_1)^2} = D/n_1\sqrt{n_1^2 - n_2^2}.$$

Выражение для критической частоты может быть получено как:

$$f_0 = \frac{v_1}{\lambda_0} = v_1 / \left[D\sqrt{1 - (n_2/n_1)^2} \right] = c / \left[D\sqrt{n_1^2 - n_2^2} \right],$$

где v_1 – скорость распространения волны в сердечнике.

Чем больше диаметр сердцевинки D и чем больше отличаются показатели преломления сердцевинки n_1 и оболочки n_2 , тем больше λ_0 и ниже f_0 .