

**ПОЛНОЕ ВНУТРЕННЕЕ ОТРАЖЕНИЕ И ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ****САТТОРОВ САРВАР НУГМОНОВИЧ**

**Аннотация:** В статье рассматривается явление полного внутреннего отражения как основополагающий физический механизм, лежащий в основе волоконно-оптических технологий. Раскрываются условия возникновения полного отражения на границе двух сред, отличающихся показателями преломления, и его практическое применение в передаче световых сигналов на большие расстояния. Приведены принципы устройства оптоволокна, типы волокон, а также их роль в современной телекоммуникации, медицине и сенсорике. Представлены экспериментальные и теоретические аспекты изучения эффекта в учебной и исследовательской практике.

**Ключевые слова:** полное внутреннее отражение, критический угол, показатель преломления, волоконно-оптические технологии, оптоволокно, одномодовое волокно, многомодовое волокно,

**Введение**

В современном мире оптические технологии играют ключевую роль в передаче информации, медицинской диагностике и научных исследованиях. Одним из фундаментальных явлений, лежащих в основе таких технологий, является полное внутреннее отражение. Это явление возникает, когда свет переходит из среды с большим показателем преломления в среду с меньшим под углом, превышающим критический. В этом случае свет не выходит за пределы первой среды, а полностью отражается обратно внутрь.

Полное внутреннее отражение имеет огромное прикладное значение, особенно в технологии волоконно-оптической связи, где оно используется для направленного распространения световых сигналов по тонким прозрачным волокнам. Благодаря этому стало возможным создание высокоскоростных телекоммуникационных линий, медицинских эндоскопов, высокочувствительных сенсоров и систем лазерной передачи данных.

Понимание условий, при которых возникает полное внутреннее отражение, и принципов работы оптоволоконных систем важно как с точки зрения физики, так и инженерии. Настоящая статья посвящена анализу физической природы полного внутреннего отражения и его практической реализации в волоконно-оптических технологиях.

*Явление полного внутреннего отражения*

Как уже отмечалось, полное внутреннее отражение происходит при углах падения, превышающих критический угол. Это явление можно объяснить не только геометрически, но и волновой теорией света, согласно которой на границе сред возникает **переходное (туннельное) волновое поле**, не передающее энергию за границу, но способное взаимодействовать с другой средой при определённых условиях — основа для эффекта **оптического туннелирования**.

$$\theta_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right),$$

где:

$n_1$  — показатель преломления первой среды,

$n_2$  — показатель преломления второй среды,  $n_1 > n_2$

Если  $\theta > \theta_c$ , свет полностью отражается обратно в первую среду. Это отражение не сопровождается потерями энергии в виде преломлённого луча, и именно этот эффект лежит в основе работы оптоволоконна.[1]

Задача: Определите критический угол полного внутреннего отражения для света, распространяющегося из стекла ( $n_1 = 1,5$ ) в воздух ( $n_2 = 1$ ).

Решение:

$$\theta_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) = \arcsin\left(\frac{1}{1,5}\right) \approx (0,6667) \approx 41,8^\circ,$$

Значит, при угле падения больше  $41,8^\circ$ , свет полностью отразится внутри стекла.[2]

### Структура оптоволоконна

Помимо классического строения (сердечник + оболочка), современные волокна могут иметь дополнительные элементы:

защитное покрытие (для механической прочности),

усилители сигнала (в активных волокнах),

градиентные профили преломления (для снижения искажений).

**Математически**, путь света в волокне описывается законами геометрической оптики, но в реальности учитываются также **моды волновода** и **дисперсия сигнала**, особенно на больших расстояниях.

### Сравнение типов волокон

Параметр	Одномодовое волокно	Многомодовое волокно
Диаметр сердечника	~8–10 мкм	~50–100 мкм

Расстояние передачи	до 100 км и более	до 2–5 км
Цена	выше	ниже
Область применения	междугородняя связь, интернет	локальные сети, ССТV

### Современные применения

**Лазерная хирургия** — свет по оптоволокну доставляется в труднодоступные ткани.

**Гидроакустика** — подводные волоконно-оптические кабели передают сигналы с минимальными помехами.

**Оптоволоконные гироскопы** — точные навигационные приборы, не имеющие подвижных частей.

### Лабораторные и школьные опыты

Направьте лазерный луч в аквариум с водой под углом: при увеличении угла можно наблюдать полное внутреннее отражение на границе вода–воздух.[3]

**Вывод:** Полное внутреннее отражение является важнейшим физическим явлением, подтверждающим законы геометрической и волновой оптики. Оно не только объясняет поведение света на границе сред с разными показателями преломления, но и лежит в основе широкого спектра современных технологий. Применение этого эффекта в волоконно-оптических системах позволило совершить революцию в области связи, медицины, приборостроения и навигации.

Изучение условий, при которых возникает полное внутреннее отражение, помогает глубже понять взаимодействие света с веществом, а также освоить принципы построения высокотехнологичных оптических устройств. Проведение демонстрационных и лабораторных экспериментов делает физику более наглядной и приближает учащихся к практическому пониманию процессов, происходящих в окружающем мире. Таким образом, рассмотрение данного явления имеет как теоретическую, так и прикладную значимость в современной науке и технике.

### Использованные литературы:

1. Савельев И. В. *Курс общей физики. Том 3: Оптика.* — М.: Наука, 1982.
2. Гришин А. И., Лисицын Ю. П. *Оптика: Учебник для вузов.* — М.: Физматлит, 2010.
3. Кирик Л. А. *Физика. 11 класс: учебник для общеобразовательных учреждений.* — М.: Дрофа, 2020.