

НАРУШЕННОЕ ПОЛНОЕ ВНУТРЕННЕЕ ОТРАЖЕНИЕ

Авторы: А. Б. Шварцбург

НАРУШЕННОЕ ПОЛНОЕ ВНУТРЕННЕЕ ОТРАЖЕНИЕ (НПВО), частичное проникновение электромагнитного излучения (в частности, света или радиоволн) из оптически плотной среды 1 с показателем преломления n_1 в слой конечной толщины D граничащей с ней менее плотной среды 2 с показателем преломления n_2 в условиях [полного внутреннего отражения](#) (ПВО) на границе сред ($n_1 > n_2$). Если показатели преломления сред не зависят от длины волны излучения, то необходимое условие ПВО выполняется при наклонном падении излучения под достаточно большим углом γ к нормали к границе сред: $\gamma > \gamma_{\text{кр}}$ (критич. угол $\gamma_{\text{кр}}$ определяется из условия $\sin \gamma_{\text{кр}} = n_2/n_1$).

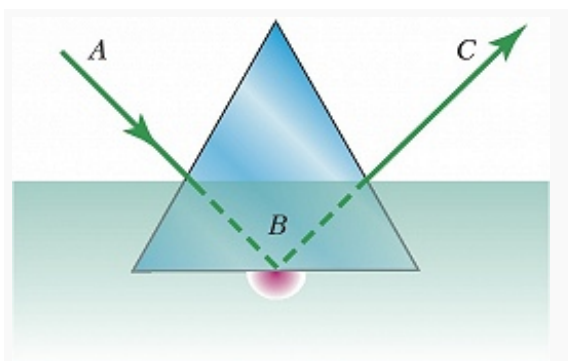


Рис. 1. Опыт Мандельштама – Селени.

В 1908 рос. физик А. А. Эйхенвальд впервые теоретически показал, что даже при выполнении этого условия падающая волна не обрывается на границе сред, а частично проникает в прозрачную среду 2; при этом её амплитуда ослабевает экспоненциально внутри среды 2 на глубине d , равной нескольким длинам волн. Это затухание, никак не связанное с поглощением

волны, имеет волновую природу и не может быть описано как «отражение лучей» в геометрич. оптике. Этот вывод вскоре был подтверждён опытом Л. И. Мандельштама

и П. Селени (рис. 1). Свет падает через боковую стенку призмы в направлении AB на её нижнюю грань, погружённую во флуоресцирующую жидкость, под углом, большим, чем угол ПВО

$\gamma_{кр}$. Отражённый свет распространяется в направлении BC . В тонком слое жидкости, прилегающем к нижней грани призмы, видно свечение флуоресценции, ослабевающее в глубине жидкости.

Эффект НПВО наблюдается, если толщина

D соизмерима с глубиной затухания

d ; при этом внутр. отражение волны становится неполным, часть энергии волны проходит через слой, нарушая ПВО. Нарушения ПВО не видно, если

$D \gg d$.

НПВО может наблюдаться и при нормальном падении, если

n_2 зависит от частоты волны ([дисперсия света](#)). Так, при нормальном падении волны с частотой

ω на плоский слой газовой плазмы толщиной

d , показатель преломления которой

$$n = (1 - \omega_{пл}^2/\omega^2)^{1/2} ($$

$\omega_{пл}$ – плазменная частота, зависящая от плотности плазмы), слой прозрачен лишь для частот выше плазменной (

$\omega > \omega_{пл}$). Для частот меньше

$\omega_{пл}$ показатель преломления становится мнимой величиной, и волны с частотой

$\omega < \omega_{пл}$ не проходят через плазму, а полностью отражаются; однако при

соответствующих значениях параметров

d и

D возможно возникновение НПВО. В частности, эффект НПВО приводит к

частичному просачиванию (туннелированию) радиоволн через плотные слои

ионосферной плазмы. Эффект НПВО в микроскопии ближнего поля позволяет

понять, как информация о субволнах передаётся в дальнее поле. Методы НПВО

широко используются при изучении поверхностных электромагнитных волн, структуры

тонких слоёв, абсорбционных явлений и др.

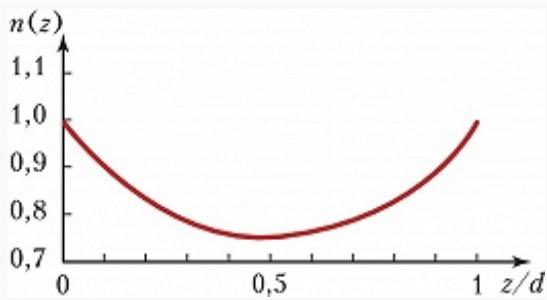


Рис. 2. Профиль показателя преломления $n(z)$ в градиентной плёнке, обеспечивающий возникновение частоты отсечки; z – координата поперёк слоя.

В связи с появлением градиентных наноматериалов интересен особый случай НПВО – безотражательное туннелирование для частот $\omega < \omega_{\text{пл}}$, при котором энергия электромагнитной волны эффективно переносится через плёнку диэлектрика, показатель преломления которой распределён поперёк слоя по определённому закону (рис. 2). Для такой градиентной плёнки, созданной с помощью нанотехнологии, возникает т. н.

частота отсечки

Ω , определяемая толщиной слоя

d и профилем показателя преломления; при толщинах порядка 100 нм частота

Ω лежит в области видимых и ближних ИК-частот. Для некоторых волн с частотой

$\omega < \Omega$, которые формально не могут пройти через плёнку, в результате

интерференции отражённых от границ слоя волн происходит гашение отражённого

сигнала, приводящее к эффекту НПВО с безотражательным переносом до 100%

энергии волны. Такие наноплёнки толщиной в неск. раз меньше длины волны

представляют интерес для создания миниатюрных поляризаторов, частотных

фильтров и безотражательных покрытий.

Эффекты НПВО возможны и для волн др. физич. природы, напр. для звука

в диспергирующих средах.

Литература

Лит.: Эйхенвальд А. А. Избранные работы. М., 1956; Shvartsburg A. B., Kuzmiak V.,

Petite G. Optics of subwavelength gradient nanofilms // Physics Report. 2000. Vol. 452.

№ 2/3; Новотный Л., Хехт Б. Основы нанооптики. М., 2011; Шварцбург А. Б., Ерохин Н.

С. Резонансное туннелирование сверхкоротких электромагнитных импульсов в

градиентных метаматериалах: парадоксы и перспективы // Успехи физических наук.

2011. Т. 181. № 11.

