

## Одностороннее зеркальное стекло

Одностороннее стекло, одностороннее зеркало, полупрозрачное стекло, шпионское стекло (SpyGlass), зеркало Гезела... Во многих фильмах (особенно детективных) можно увидеть "односторонние" зеркала. Находящиеся в комнате не могут видеть, кто за ними наблюдает, они видят лишь свое отражение. В то же время снаружи посетители легко могут рассмотреть подозреваемых. Можно ли создать такое стекло?

### СВОЙСТВА СТЕКЛА

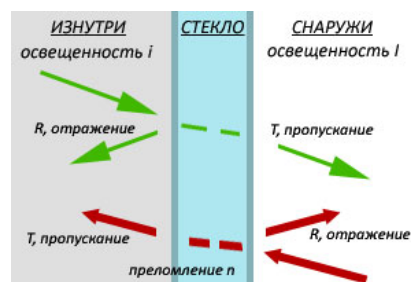
Такие полужеркальные действительно существуют и применяются для скрытного наблюдения за людьми (в целях контроля за поведением или шпионажа), либо для защиты помещения от посторонних взглядов.

Такое стекло должно быть прозрачным - чтобы пропускать свет (так, чтобы зрители могли видеть изображение). В то же время оно должно обладать зеркальными свойствами.



Часть света, падающего на стекло отражается передней и задней поверхностями стекла, часть - проходит через стекло и часть поглощается, нагревая стекло и затем излучаясь в инфракрасном спектре. Количество света, проходящего через стекло определяется коэффициентом пропускания света ( $T$  - доля пропускаемого света), Количество отражаемого света определяется коэффициентом отражения ( $R$  - доля отражаемого света). Причем  $R + T \leq 1$  (т.е. падающий на среду свет либо проходит через стекло, либо отражается, либо поглощается внутри среды и нагревает ее).

Согласно оптическим законам Френеля, коэффициенты отражения зависят только от оптических свойств среды (коэффициента преломления  $n$ ) и от угла падения луча. Так как с обеих сторон стекла находится воздух при условиях, подходящих для жизни человека (а его оптические свойства зависят только от влажности, температуры и давления и меняются очень слабо), то стекло будет обладать одинаковыми свойствами (коэффициентами преломления  $n$ , отражения  $R$ , пропускания  $T$ , поглощения  $K$ ) как для световых лучей попадающих из "скрытого" пространства так и в него.



Тогда за счет чего можно достичь эффекта односторонней видимости?

## РЕШЕНИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Принцип действия зеркального стекла в том, что **затемненный интерьер** не виден на фоне **яркого отражения**.

Полупрозрачных зеркал, которые пропускали бы свет в одну сторону и не пропускали во вторую, не существует (это был бы "демон Максвелла"). Зеркало Гезела в физическом смысле (как конструкция односторонней видимости, которая не зависит ни от освещенности, ни от других условий работы) - противоречит физическим законам. Используется это понятие в основном в психологии для обсуждения морально-этических вопросов.



Пусть освещенность внутри "скрытого" помещения -  $i$ , а снаружи  $I$ .

Тогда внутрь помещения будет попадать  $I \times T$  светового потока извне и  $i \times R$  отраженного изображения.

Световой поток наружу также состоит из двух:  $i \times T$  (изображение помещения) и  $I \times R$  (собственное уличное отражение).

Необходимые нам требования превращаются в простые математические уравнения:

Прозрачность для зрителя внутри помещения означает, что поток снаружи должен быть значительным и превосходить освещенность внутри (хорошая видимость будет при превышении в 5 раз):

$$(I \times T) > i \times 10 \quad 1.1$$

или

$$I/i > 10/T \quad 1.2$$

Отражение для посетителя снаружи означает, что поток, проходящий через стекло из помещения должен быть значительно (желательно, в 10 раз) меньше, чем отраженный собственный отраженный поток (чтобы быть полностью незаметным на его фоне, т.к. глаз человека настраивается на):

$$(i \times T) \times 10 < (I \times R) \quad 2.1$$

или

$$I/i > 10 / (R/T)$$

2.2

Чем больше коэффициент пропускания  $T$  - тем лучше мы будем видеть улицу из помещения.

В то же время для того, чтобы с улицы не видно было интерьер помещения коэффициент отражения  $R$  должен быть в разы больше, чем коэффициент пропускания (нужно не забывать, что они связаны друг с другом:  $R + T \leq 1$ ).

Отношение  $I/i$  в формулах показывает, во сколько раз освещенность снаружи больше, чем освещенность внутри. Чем ярче снаружи и чем темнее внутри, тем лучше выполняются наши требования.

Характерная освещенность для различных условий:

Условия	Освещённость, лк
Солнечными лучами в полдень	100 000
На открытом месте в пасмурный день	1 000
В светлой комнате вблизи окна	100
В комнате при искусственном освещении	50-100
От полной луны	0,2
От ночного неба в безлунную ночь	0,0003

В дневное время отношение  $I/i$  принимает значение  $100 \div 1000$  в зависимости от ясности погоды. В ночное время отношение составляет менее 0,1.

На практике для наиболее зеркальных поверхностей максимальный коэффициент пропускания  $T$  составляет 10%÷15%. Коэффициент отражения  $R$  составляет около 60%÷70% (еще около 20÷30% света поглощается стеклом). Это - оптимальное решение для необходимых требований. Т.е.  $R/T$  в лучшем случае менее 7;

Поэтому зритель в помещении будет **отчетливо видеть улицу** до тех пор пока разница освещенностей  $I/i$  не станет меньше  $10 \div 100$ . Т.е. уже через некоторое время после заката улица будет видна не слишком хорошо. В ночное время зрители в помещении не увидят ничего.

Для того же, чтобы **быть скрытыми от глаз** наблюдателей на улице необходимо, чтобы разница освещенностей  $I/i$  была не менее 2. Поэтому видеть снаружи помещение можно будет поздно в сумерки, когда на улице будет лишь немного светлее, чем внутри.

Для того, чтобы избежать этого, необходимо увеличить освещенность снаружи хотя бы в 2 раза по сравнению с помещением. Это обозначает, что перед стеклом с односторонней прозрачностью следует установить лампы, которые будут создавать в ночное время освещение ярче, чем внутри помещения.

## ПРОИЗВОДСТВО ОДНОСТОРОННЕГО ЗЕРКАЛА

Чем же отличается такое одностороннее зеркало от обычного и как его изготовить?

**Обычные зеркала** - это как правило стекло с нанесенным на его заднюю сторону отражающим покрытием (различными сплавами олова, серебра, меди, титана или алюминия). При этом напыление очень плотное и слой напыления толстый.



Зеркала с **односторонней прозрачностью** изготавливаются аналогично, но слой напыления тонкий и пропускает часть света. Альтернативный вариант - нанесение **полупрозрачной зеркальной пленки**. Ее можно наносить на существующее остекление.

Стоимость обоих методов одинакова, одинаков и принцип работы (см. выше). Устойчивость к механическим воздействиям (царапинам, ударам), температурным условиям и влажности примерно одинакова.

Основное **отличие** - зеркальное напыление делается в цеху, автоматизированно. Поэтому качество продукции не зависит от мастера, выполняющего работы. Но такое стекло изготавливается только в специализированных цехах и в течение некоторого времени (в зависимости от технологии производства).

**Зеркальная пленка** может наноситься по месту, в т.ч. на уже существующее остекление. Однако, нанесение пленки требует хороших навыков и специального инструмента, чтобы не было допущено брака при наклеивании (пузырей, отслоений, различных неровностей, инородных вкраплений или пыли, и т.д.). Также зеркальная пленка может наноситься совместно с укрепляющей защитной пленкой.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несложно создать стекло с односторонней зеркальностью (в т.ч. превратить существующее окно в такую поверхность). Это можно сделать как напылением, так и нанесением зеркальной пленки.



Но при любой реализации такого зеркала его "односторонность" будет зависеть от освещенности снаружи и внутри. Без дополнительного освещения ночью - оно будет работать в "обратном" режиме: можно будет увидеть лишь собственное изображение внутри помещения. С улицы же будет видно все. Не существует способа обойти эти законы физики.

Днем или при дополнительном ночном освещении снаружи такое стекло будет работать как **одностороннее зеркало**.

© **AbavaNet**  
03 Июля 2009,  
г. Москва

### **Внимание!**

*Все права на статью принадлежат **AbavaNet**.technology*

*Коммерческое использование текста или любой его части запрещено и может преследоваться в судебном порядке согласно ГК РФ.*

*При публикации, цитировании или ином некоммерческом использовании данного текста, или любой его части необходима явная и недвусмысленная ссылка на данную статью с указанием правообладателя.*

Онлайн-версия статьи по адресу: <http://abava.net/security-films-spyglass.shtml>