

# САМОИЗОЛЯЦИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕЛ В СРЕДЕ ОТ ИНТЕНСИВНЫХ СВЕТОВЫХ ПОТОКОВ. ИНДУЦИРОВАННЫЙ МИРАЖ

Г.А. Аскаръян

Рассмотрим эффект самоограничения доступа интенсивной световой радиации к поглощающей поверхности, находящейся в прозрачной жидкости, газе или граничащей с прозрачной твердой средой.

Допустим, что мощный световой луч с плотностью потока  $I_0$  падает под углом  $\phi$  к касательной на поглощающую поверхность, погруженную в прозрачную среду. Коэффициент поглощения  $\alpha$  поверхности задан, но он может зависеть от плотности потока света и угла падения.

Плотность потока энергии, поглощаемой на единице площади поверхности:

$$W \approx \alpha I_0 \sin \phi$$

может быть достаточно велика при больших  $I_0$  и  $\alpha$  даже при малых  $\phi$  и поэтому температура поверхности может заметно повыситься. (По порядку величины

$$\Delta T \approx W \sqrt{f} / (\rho_1 C_1 \sqrt{\kappa_1} + \rho_2 C_2 \sqrt{\kappa_2}),$$

где  $\rho C$  и  $\kappa$  — теплоемкость единицы объема и температуропроводность вещества поверхности и среды, граничащей с ней).

Так как показатель преломления среды  $n(\rho, T)$  уменьшается с уменьшением плотности среды, то при нагреве у поглощающей поверхности образуется слой уменьшенного показателя преломления, который может существенно изменить условия взаимодействия света с поверхностью. В частности, при определенных углах падения луч света может рефрагировать на этом слое настолько сильно, что существенно изменится или прекратится подход света к поверхности. Этот эффект мы назовем индуцированным миражем. Рассмотрим отдельно случаи больших и малых изменений свойств среды.

## 1. Случай сильного изменения свойств среды при образовании газовой фазы

Этот случай имеет место, когда поверхность граничит с жидкостью и температура нагрева поверхности превышает температуру кипения жидкой среды, граничащей с ней, или когда происходит гажение или ис-

парение жидкости или поглощающей поверхности. В этом случае у поверхности образуется прослойка газа или пара и изменение  $\Delta n \sim n$ . Все лучи, идущие под углами скольжения, меньшими угла полного внутреннего отражения  $\phi < \phi_{\text{полн}} = \arccos 1/n$ . Например, для воды  $n = 1,33$ ,  $\cos 1/n = 0,75$  и  $\phi = 0,7 \approx 40^\circ$ , т.е. угол достаточно большой.

Образование парогазового слоя начнется, когда

$$aI_0 \sin\phi > W_{\text{кр}} = \rho C \sqrt{\kappa/t} T_{\text{кр}},$$

где  $\rho C$  - теплоемкость единицы объема вещества поверхности,  $\kappa$  - его температуропроводность,  $t$  - длительность импульса света,  $T_{\text{кр}}$  - температура кипения или интенсивного гажения. Например, при  $\rho C \approx 5 \text{ Дж/см}^3$ ,  $\kappa \approx 10^{-1} \text{ см}^2/\text{град}$ ,  $T_{\text{кр}} \approx 100 \text{ град}$ ,  $a \sim 1$ ,  $\sin\phi \approx 0,5$ , получим порог  $I_0 \approx 300/\sqrt{t} \text{ Вт/см}^2 \approx 10 \text{ кВт/см}^2 + 1 \text{ МВт/см}^2$  при  $t \approx 10^{-3} + 10^{-7} \text{ сек}$ . Такие плотности потока обычны для нефокусированных лучей лазеров средней мощности без модуляции и с модуляцией добротности.

Толщина парогазового слоя, достаточного для изоляции, составляет всего несколько световых длин волн, поэтому время образования слоя мало:  $t \approx \ell \rho_0 c_s / P \approx \text{мксек}$  при толщине слоя  $\ell \approx 10^{-4} \text{ см}$ , скорости звука в жидкости  $c_s \approx 10^3 \text{ см/сек}$ , ее плотности  $\rho \approx 1 \text{ г/см}^3$  и давлении паров  $P \sim 10 \text{ атм}$ . Пороговая мощность, необходимая для самоизоляции, может быть существенно понижена растворением газа в жидкости или в поглощающей поверхности.

## 2. Рефракция на среде с малым изменением свойств

Если нагрев поверхности не сопровождается фазовым переходом, а происходит лишь нагрев среды у поверхности, или возникает звуковая волна, то обычно изменение  $\Delta n \ll n$ . Если

$$(\partial n / \partial \rho)_T d\rho / dT \gg (\partial n / \partial T)_\rho,$$

что часто имеет место, то при нагреве

$$\Delta n \approx \frac{\partial n}{\partial \rho} \frac{d\rho}{dT} \Delta T \approx \rho \frac{\partial n}{\partial \rho} \beta \Delta T,$$

где  $\beta$  - коэффициент теплового расширения. Для газоподобных сред

$$\rho \frac{\partial n}{\partial \rho} \approx n - 1 \text{ и } \beta \approx \frac{1}{T},$$

поэтому

$$\Delta n_T \approx (n - 1) \frac{\Delta T}{T} \approx 10^{-6} P_{\text{атм}} \Delta T,$$

где  $P_{\text{атм}}$  — давление газа. Для жидкостей  $\beta \approx 10^{-3} \text{ град}^{-1}$ , а величина  $\rho(\partial n / \partial \rho)$  порядка единицы, поэтому  $\Delta n_{\text{ж}} \approx 10^{-3} \Delta T$ . Например, при нагреве на  $\Delta t \approx 30^\circ$  получим через время  $t \sim \lambda^2 / \kappa$  изменение показателя преломления  $\Delta n_{\text{ж}} \approx 3 \cdot 10^{-2}$  и  $\Delta n_{\text{г}} \approx 3 \cdot 10^{-5}$  для жидкостей и газов, что достаточно для компенсации угла падения  $\phi \lesssim \sqrt{\Delta n} \approx 10^\circ$  для плотных сред и  $\phi \lesssim 5 \cdot 10^{-3} \approx 0,3^\circ$  для газов при нормальном давлении, т.е. самоизоляция будет обеспечиваться лишь при небольших углах. Время создания звукового слоя изменения  $t \sim l / c_s \sim \lambda' / c_s \sim \text{нсек}$  — может быть достаточно мало.

Аналогичные эффекты можно наблюдать на границе соприкосновения поглощающей поверхности с прозрачным твердым телом.

Вследствие неоднородности нагрева и шероховатости поверхности должно наблюдаться сильное рассеяние преломленного и отраженного света.

Образование преломляющих ореолов [1] (из-за локальных нагревов среды и звуковых волн) вокруг малых поглощающих частиц может явиться причиной аномально большого рассеяния интенсивного света на аэро- и гидрозолях, слабо рассеивающих свет малой интенсивности.

Рассмотренные эффекты могут оказаться полезными для предотвращения большого нагрева поверхностей светом, для транспортировки мощных световых потоков и т.п.

Мы не затрагивали тут такие процессы самоизоляции, как образование у поверхности сильно поглощающего слоя (сажа, копоть, плазма), предотвращающего дальнейший нагрев поверхности, так как такие процессы требуют гораздо больших плотностей потока света.

Физический институт  
им. П.Н. Лебедева  
Академии наук СССР

Поступило в редакцию  
5 мая 1968 г.

#### Литература

[1] Г.А. Аскарьян, ЖЭТФ. 45, 810, 1963.