

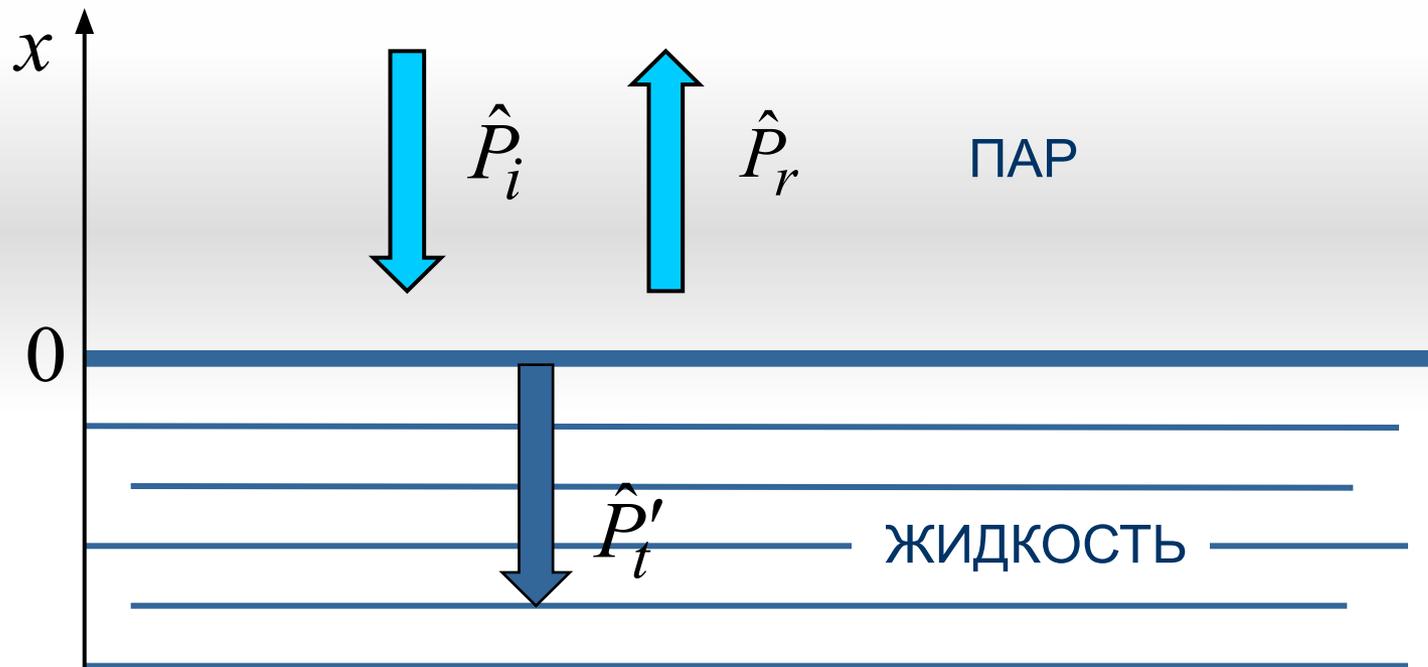
НЕРАВНОВЕСНОСТЬ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА НА ПОВЕРХНОСТИ

*Отражение
звука*

III. Неравновесность процессов переноса на поверхности:

ОТРАЖЕНИЕ ЗВУКА

Отражение звука от свободной поверхности
жидкости: **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**



ОТРАЖЕНИЕ ЗВУКА

Поток массы через поверхность пар-Жидк:

$$\rho(u - c_s) = \rho'(u' - c_s) = j, \quad (1)$$

ρ , u и ρ' , u' – соответственно плотность, скорость движения пара и жидкости, c_s – скорость движения границы раздела фаз, j – плотность потока массы.

Поток импульса:

$$\hat{P} = \hat{P}'_t, \quad (2)$$

\hat{P} , \hat{P}'_t – соответственно пульсации давления в паре и в жидкости.

III. Неравновесность процессов переноса на поверхности

ОТРАЖЕНИЕ ЗВУКА

Для потока энергии:

$$q + rj = q', \quad (3)$$

q, q' – плотности теплового потока в паре и в жидкости,
 r – удельная теплота парообразования

Специальные условия совместности:

$$T'_{x=0} - T_{x=0} = A_1 j + B_1 q$$

$$P_s - P_G = A_2 j + B_2 q$$

ОТРАЖЕНИЕ ЗВУКА

Колебания давления в падающей и отраженной волнах

Падающая волна: $\hat{P}_i e^{i\omega(t+x/a)}$

Отраженная волна: $\hat{P}_r e^{i\omega(t-x/a)}$

Коэффициент отражения звука

$$R = \left(R_r R_r^* \right)^{1/2},$$

где $R_r = \hat{P}_r / \hat{P}_i$

III. Неравновесность процессов переноса на поверхности

ОТРАЖЕНИЕ ЗВУКА

Скорость пара $u = \hat{u}_i e^{i\omega(t+x/a)} + \hat{u}_r e^{i\omega(t-x/a)}$

Скорость жидкости $u' = \hat{u}'_t e^{i\omega(t+x/a')}$

$$\hat{P}_i = -\rho a \hat{u}_i; \quad \hat{P}_r = +\rho a \hat{u}_r; \quad \hat{P}_t = -\rho' a' \hat{u}'_t, \quad (5)$$

ОТРАЖЕНИЕ ЗВУКА

Температура фаз при $x=0$

$$T = T_0 + (\hat{T}_s + \hat{T}_\lambda) e^{i\omega t}$$

$$T' = T_0 + (\hat{T}'_s + \hat{T}'_\lambda) e^{i\omega t}$$

Если

$$\frac{q}{P_0 \sqrt{2RT}} \ll \frac{j}{\rho_0 \sqrt{2RT}}$$

$$jr = q', \quad (3a)$$

$$P_s - P_G = A_2 j$$

ОТРАЖЕНИЕ ЗВУКА

$$j = \frac{\beta}{1 - 0.4\beta} \frac{P_s - P_G}{\sqrt{2\pi RT}}$$

При $\beta = 1$ $j = \frac{5}{3} \frac{P_s - P_G}{\sqrt{2\pi RT}}, \quad (5)$

Давление в паре и в жидкости при $x=0$

$$P_G = P_0 + (\hat{P}_i + \hat{P}_r) e^{i\omega t}$$

$$P_L = P_0 + \hat{P}'_t \cdot e^{i\omega t}$$

$$\hat{P}_i + \hat{P}_r = \hat{P}'_t$$

ОТРАЖЕНИЕ ЗВУКА

$$q' = -\rho' a_2 C'_T T'_\lambda, \quad (6)$$

$$P_s = P_0 + \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_{нас} \left[T'_\lambda + \left(\frac{\partial T'}{\partial P} \right)_s P'_t \right]$$

$$\left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_s = \frac{T}{C} \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \quad T'_\lambda \gg \left(\frac{\partial T'}{\partial P} \right)_s P'_t$$

$$P_s = P_0 + \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_{нас} \hat{T}'_\lambda e^{i\omega t}$$

ОТРАЖЕНИЕ ЗВУКА

$$\hat{j} = \frac{5}{3} \frac{1}{\sqrt{2\pi RT_0}} \left[\left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_{нас} \hat{T}'_{\lambda} - \hat{P}_i - \hat{P}_r \right]$$
$$\hat{j} = \frac{\sqrt{125/54\pi}}{a} \left[\left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_{нас} \hat{T}'_{\lambda} - \hat{P}_i - \hat{P}_r \right], \quad (5a)$$

После исключения C_s

$$j = \frac{\rho' \rho}{(\rho' - \rho)} (u - u'), \quad (7)$$

III. Неравновесность процессов переноса на поверхности

ОТРАЖЕНИЕ ЗВУКА

$$\hat{u} = \hat{u}_i + \hat{u}_r \qquad \hat{u} = -\frac{1}{\rho a} (\hat{P}_i - \hat{P}_r)$$

$$\hat{j} = -\frac{\rho' \rho}{(\rho' - \rho)} \left[\frac{(\hat{P}_i - \hat{P}_r)}{\rho a} - \frac{\hat{P}'_t}{\rho' a'} \right]$$

$$\hat{j} = -\frac{\rho'}{a(\rho' - \rho)} \left[\hat{P}_i - \hat{P}_r - \chi (\hat{P}_i + \hat{P}_r) \right], \quad (7a)$$

$$\chi = \frac{\rho a}{\rho' a'}$$

III. Неравновесность процессов переноса на поверхности

ОТРАЖЕНИЕ ЗВУКА

Для потока энергии $\hat{b} \cdot \hat{j} = -\rho' a_2 C'_T \hat{T}'_\lambda$, (3)

$$\frac{\hat{j}}{\hat{P}_i} = -\frac{0.86}{a} \left[\frac{r \cdot \hat{j}}{\rho' a_2 C'_T \hat{P}_i} \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_{нас} + 1 + R \right]$$
$$\frac{\hat{j}}{\hat{P}_i} = -\frac{(0.86/a)(1+R)}{\left(1 + \frac{0.86}{a} \frac{r}{\rho' a_2 C'_T} \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_{нас} \right)}, \quad (8)$$

III. Неравновесность процессов переноса на поверхности

ОТРАЖЕНИЕ ЗВУКА

$$\frac{\rho'}{(\rho' - \rho)} [1 - R - \chi(1 + R)] = \frac{0.86 \cdot (1 + R)}{1 + \frac{0.86}{a} \frac{r}{\rho' a_2 C_T} \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_{нас}}$$

$$(9) \quad R = \frac{1 - \chi - 0.86 \frac{(\rho' - \rho)}{A \rho'}}{1 + \chi + 0.86 \frac{(\rho' - \rho)}{A \rho'}} \quad A = 1 + \frac{0.86 r}{\rho' a_2 C_T a} \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_{нас}$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_{нас} = \frac{r \rho' \rho}{T_0 (\rho' - \rho)} \quad A = 1 + \frac{0.86 r^2}{a \cdot a_2 C_T T_0} \frac{\rho}{(\rho' - \rho)}$$

ОТРАЖЕНИЕ ЗВУКА

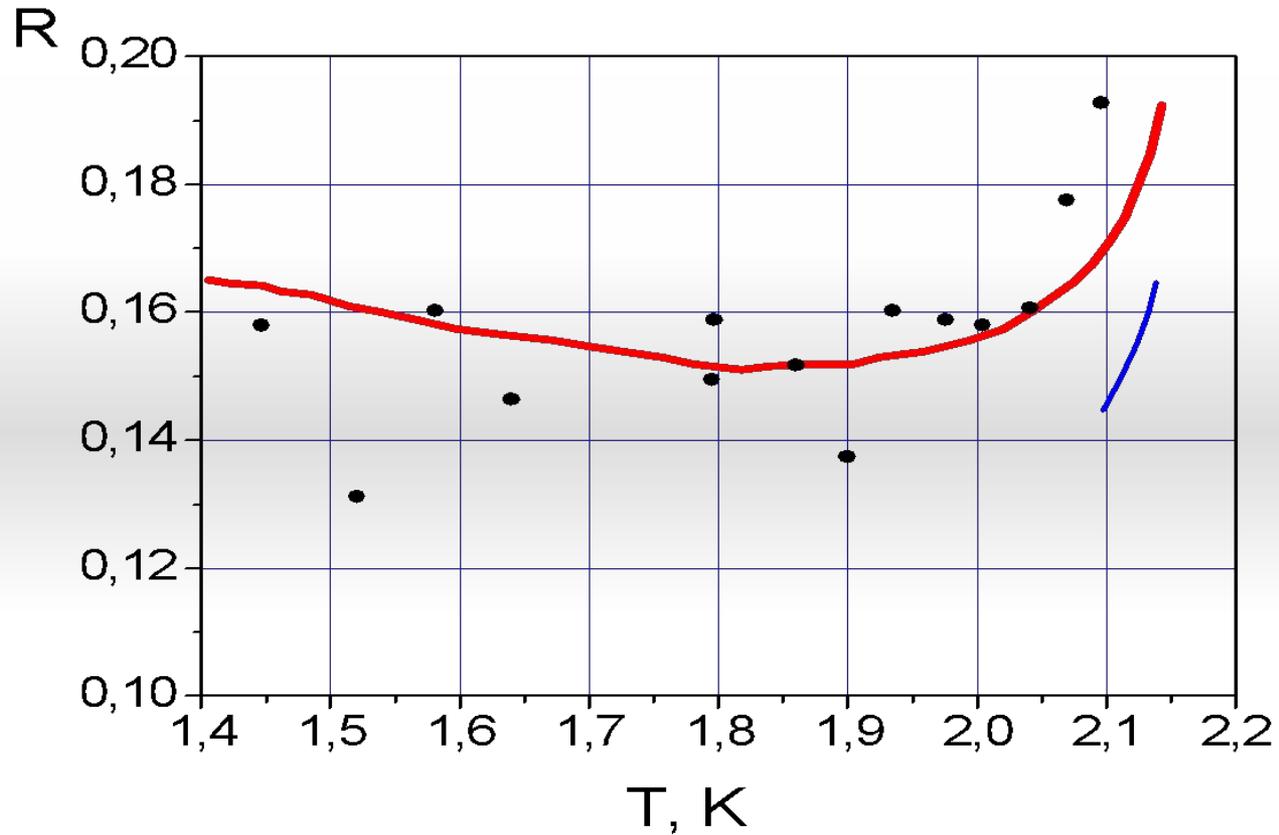
При $a_2 \rightarrow 0$ $A \rightarrow \infty$

$$R = \frac{1 - \chi}{1 + \chi}, \quad (9a)$$

При $A \rightarrow 1$

$$R = \frac{1 - \chi - 0.86 \frac{(\rho' - \rho)}{\rho'}}{1 + \chi + 0.86 \frac{(\rho' - \rho)}{\rho'}}, \quad (9b)$$

ОТРАЖЕНИЕ ЗВУКА



ОТРАЖЕНИЕ ЗВУКА

При произвольном коэффициенте конденсации

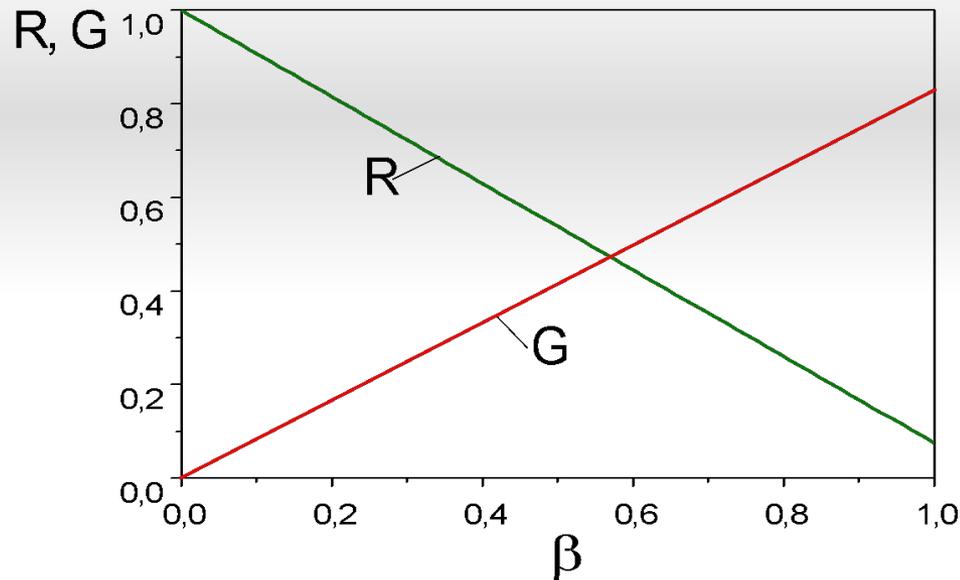
$$\hat{p} = \frac{0,52}{a} \frac{\beta}{1 - 0,40 \cdot \beta} \left[\left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_{нас} \hat{T}'_{\lambda} - \hat{P}_i - \hat{P}_r \right], \quad (5)$$

$$R = \frac{1 - \chi - \frac{0,52 \cdot \beta}{1 - 0,40 \cdot \beta} \frac{(\rho' - \rho)}{A\rho'}}{1 + \chi + \frac{0,52 \cdot \beta}{1 - 0,40 \cdot \beta} \frac{(\rho' - \rho)}{A\rho'}}, \quad (9)$$

ОТРАЖЕНИЕ ЗВУКА

Коэффициент проницаемости границы

$$G = \left| \frac{\hat{j} \cdot a}{\hat{P}_i} \right| = \frac{\rho'}{(\rho' - \rho)} [1 - R - \chi(1 + R)], \quad (10)$$



ОТРАЖЕНИЕ ЗВУКА

