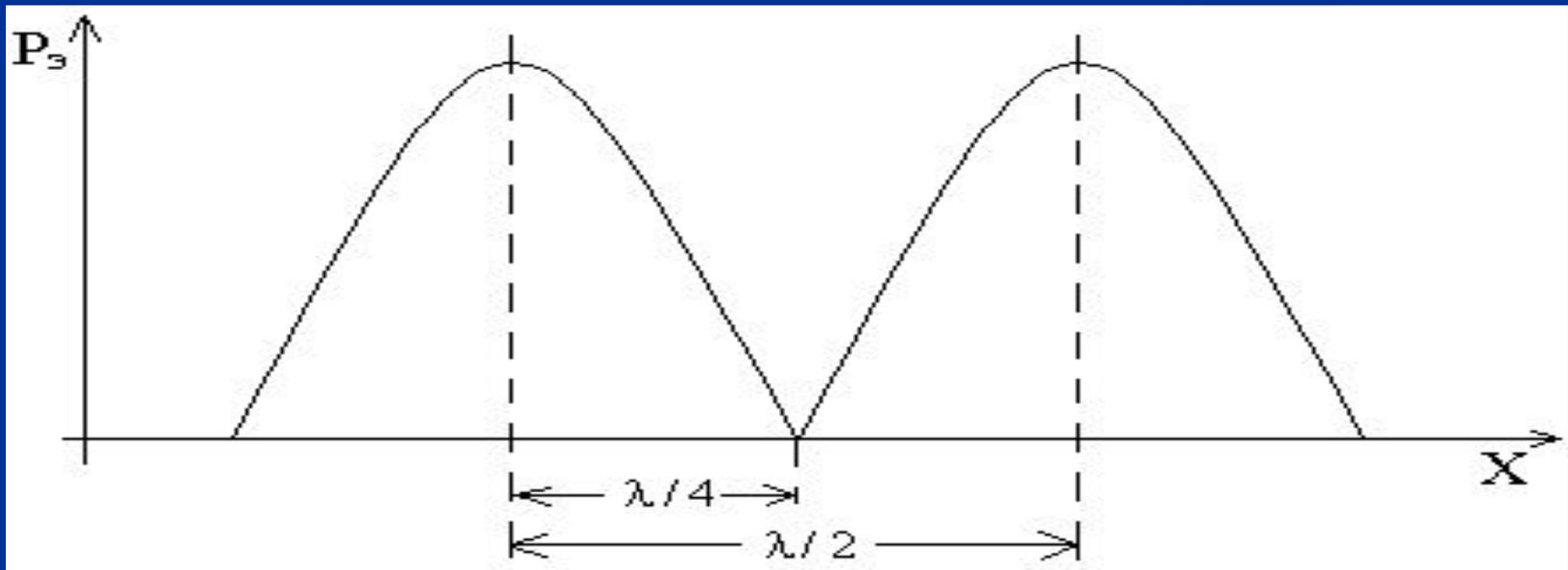


## СВОЙСТВА ЗВУКОВЫХ ВОЛН

- Наложение волн друг на друга называют интерференцией волн.
- При сложении одинаковых по амплитуде прямой и обратной волны образуется стоячая волна.



- В пучностях

$$P_{max} = P_{пр} + P_{обр.}$$

- В узлах

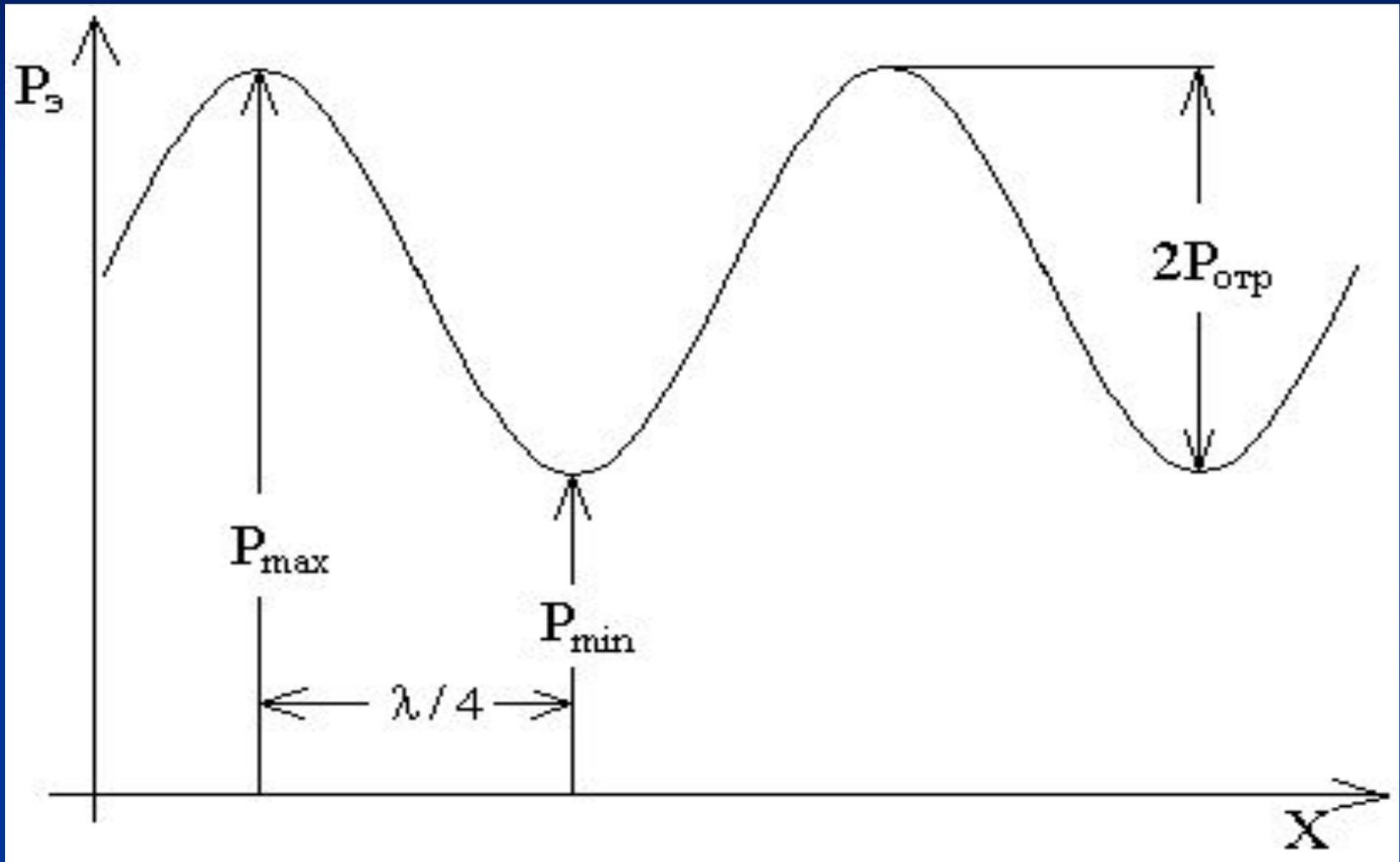
$$P_{min} = P_{пр} - P_{обр.}$$

- Коэффициент

$$K = P_{min} / P_{max}$$

называют коэффициентом бегущей волны.

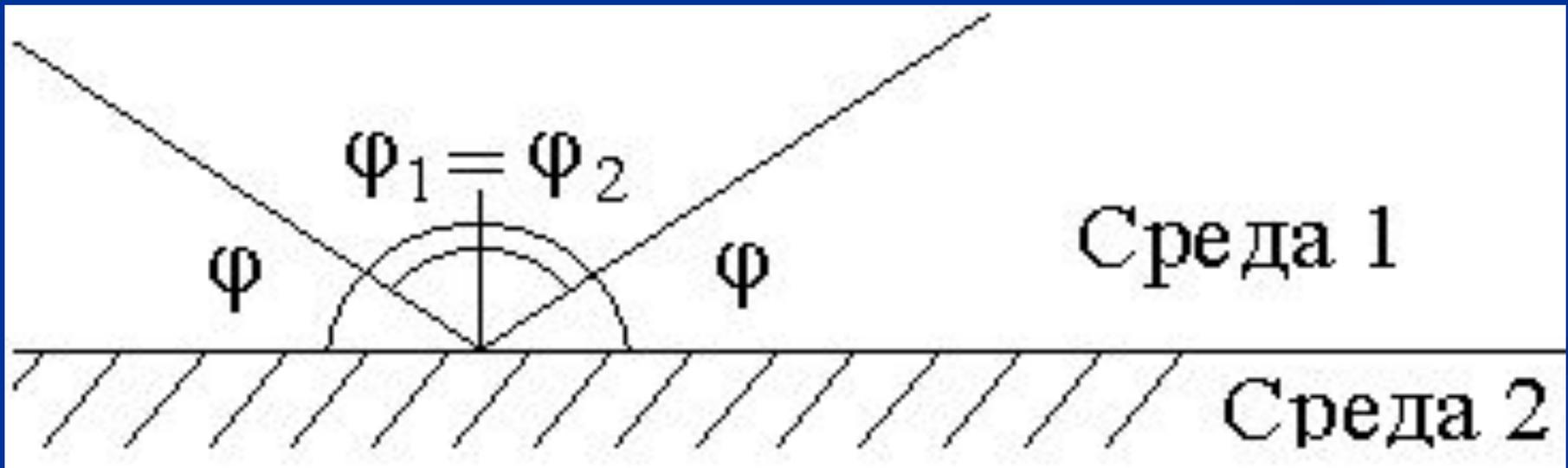
# Звуковая волна с отраженной составляющей



# Отражение волн

На границе двух сред волна претерпевает отражение.

Законы отражения аналогичны световым, т.е. угол падения равен углу отражения



- Эффективность отражения характеризуют коэффициентом отражения, численно равным отношению интенсивности отраженной звуковой волны к интенсивности падающей звуковой волны

$$L_{\text{отр}} = I_{\text{отр}} / I_{\text{пад}}$$

- Коэффициент отражения зависит от акустических сопротивлений сред.

## ■ Звуковое давление в отраженной волне

$$P_{\text{отр}} = P_{\text{пад}} \frac{\delta_{\text{пад}} - \delta_{\text{отр}}}{\delta_{\text{пад}} + \delta_{\text{отр}}} = P_{\text{пад}} \beta e^{j\psi},$$

где  $P_{\text{пад}}$  – звуковое давление падающей волны;

■  $\beta$  – модуль коэффициента отражения по давлению;

■  $\delta_{\text{пад}}, \delta_{\text{отр}}$  – удельные акустические сопротивления среды распространения и среды отражающей;

■  $\psi$  – сдвиг фаз в волнах давления при отражении.

- Если сопротивления обеих сред активны, то при  $\delta_{\text{отр}} > \delta_{\text{пад}}$   $\psi = 0^\circ$ , а при  $\delta_{\text{отр}} < \delta_{\text{пад}}$   $\psi = 180^\circ$ .
- Если хотя бы одно акустическое сопротивление реактивно, то  $0^\circ < \psi < 180^\circ$ .

# ■ Коэффициент отражения по интенсивности звука

$$L = \left| \frac{\delta_{\text{пад}} - \delta_{\text{отр}}}{\delta_{\text{пад}} + \delta_{\text{отр}}} \right|^2 = \left| \frac{P_{\text{отр}}}{P_{\text{пад}}} \right|^2 = \beta^2$$

$$\alpha_{\text{отр воздух-воздух}} = \left| \frac{428 - 413}{428 + 413} \right|^2 = 3 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha_{\text{отр воздух-вода}} = \left| \frac{413 - 1,43 \cdot 10^6}{413 + 1,43 \cdot 10^6} \right|^2 = 0,9994$$

То есть от границ воздушных слоев ничтожно малое отражение звука, а от границ с водой отражается 99,94 % энергии звука.

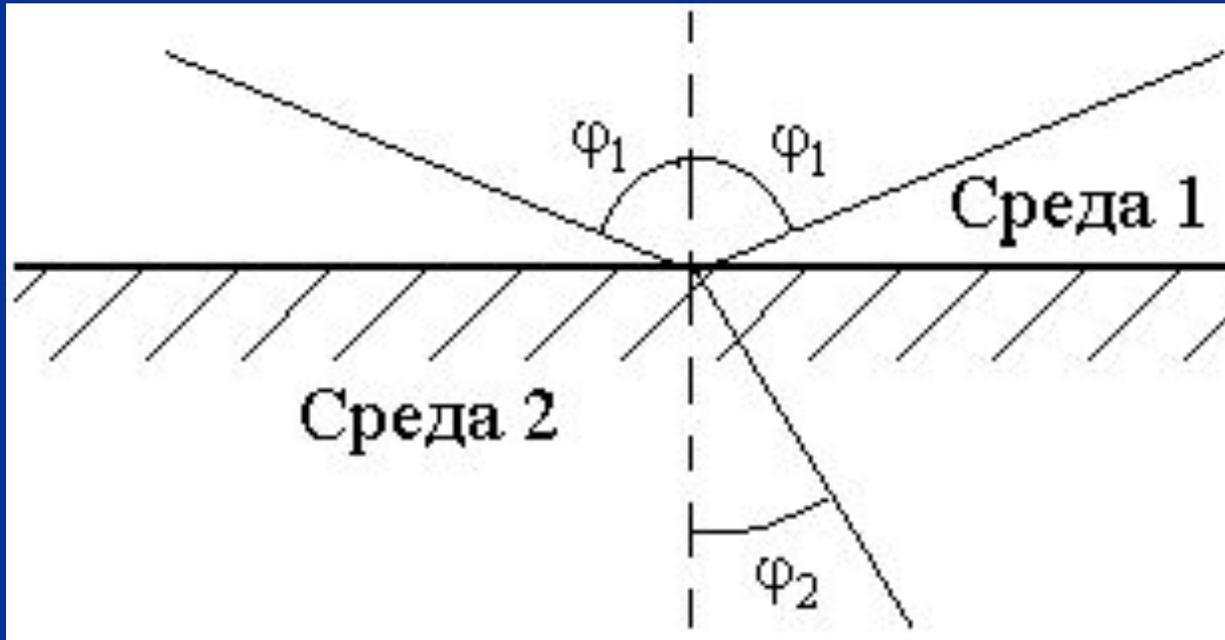
## Мораль

В лодке и на берегу о секретах не говори.

- Коэффициенты отражения зависят от углов падения, поэтому обычно коэффициент отражения измеряют для различных углов падения волн.
- Если акустическое сопротивление  $\delta_{\text{отр}} \gg \delta_{\text{пад}}$ , то у границы раздела пучность давления, а скорость колебаний имеет узел.
- При  $\delta_{\text{отр}} \ll \delta_{\text{пад}}$  все наоборот. Если сдвиг фаз при отражении между  $0^\circ$  и  $180^\circ$ , то узлы и пучности сдвигаются от границы раздела сред.

## Преломление звука

- При падении на границу раздела, часть волны проходит в другую среду. При этом волна преломляется, так как меняется направление движения волны.



Отношение угла падения к углу преломления определяется отношением скоростей звука в средах.  $\sin \varphi_1 / \sin \varphi_2 = C_1 / C_2$ .

Если  $\delta_{\text{пад}} \approx \delta_{\text{отр}}$ , т.е. удельные акустические сопротивления сред близки, то почти вся энергия перейдет из среды 1 в среду 2.

А если среды сделаны из материалов с разной скоростью звука, то возможно построение акустических линз.

- С изменением параметров (атмосферное давление, плотность с ростом высоты) происходит изгиб звуковой волны. С увеличением температуры растет скорость звука и волна изгибается вверх.
- Поэтому на верхних этажах зданий слышны разговоры с улицы так как у поверхности земли температура ниже.
- Если препятствие меньше длины волны, или волна падает близко к краю препятствия, то волна огибает препятствие (дифрагирует).

- Пусть из-за ветра с ростом высоты на 2 метра скорость звука уменьшается на 1 м/с, а угол падения был  $89^\circ$ . При падении на соседний слой под углом  $89^\circ$  произойдет преломление луча и угол с вертикалью будет составлять  $\varphi = \arcsin [(C1 / C2) \sin 89^\circ] = 85,5^\circ$ . На следующем слое уже  $83,7^\circ$  и т.д.

# Изменение траектории звука с ростом высоты

