

# Ультразвуковой контроль

Часть первая  
Основы контроля

Звуковые волны это колебания частиц в твёрдых или газообразных веществах

Частицы колеблются около положения равновесия

Для колебания им необходима масса и упругость



# Характеристики звуковой волны

- ◆ **Скорость**  
Как быстро проходит звуковая волна
  - ◆ **Частота**  
Сколько колебаний в секунду
  - ◆ **Длина волны** -  
расстояние,  
пробегаемое  
волной за один  
период колебаний
- 

Длина волны

Скорость

$$\lambda = \frac{V}{f}$$

Частота

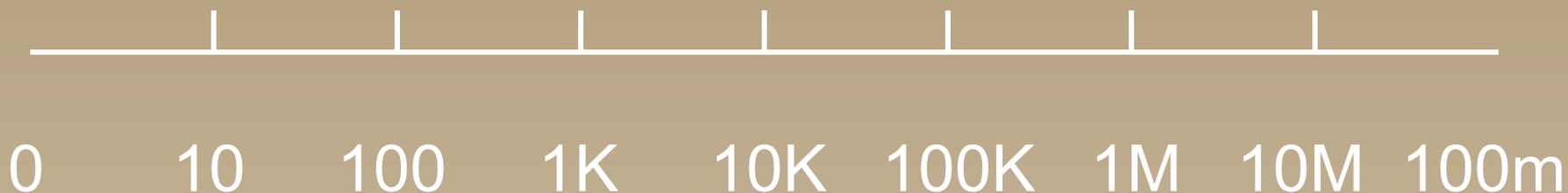
# Высокочастотный звук

$$\lambda = \frac{V}{f}$$

Преобразователь с  
продольными волнами  
частотой 5 МГц в стали

$$\lambda = \frac{5,900,000}{5,000,000} = 1.18 \text{ mm}$$

# Акустический спектр



# Интенсивность звука

Сравнение интенсивности  
двух сигналов

$$\frac{I_0}{I_1} = \frac{P_0}{P_1}$$

Интенсивность ультразвуковой волны  
пропорциональна квадрату амплитуды  
смещения

$$\frac{P_0}{P_1} = \frac{A_0}{A_1}$$

следовательно

$$\frac{I_0}{I_1} = \left( \frac{A_0}{A_1} \right)^2$$

# Интенсивность звука

$$\frac{I_0}{I_1} = \frac{(V_0)^2}{(V_1)^2} = \left( \frac{A_0}{A_1} \right)^2$$

A – амплитуда колебательного  
смещения

$$\text{Log}_{..10} \frac{I_0}{I_1} = \text{Log}_{..10} \frac{(V_0)^2}{(V_1)^2}$$

Это приведёт к  
следующим  
соотношениям

Поэтому

$$\text{Log}_{..10} \frac{I_0}{I_1} = 2 \text{Log}_{..10} \frac{V_0}{V_1} \text{ Белл}$$

$$\text{Log}_{..10} \frac{I_0}{I_1} = 20 \text{Log}_{..10} \frac{V_0}{V_1} \text{ Дб}$$

2 сигнала при 20% и 40% ПВЭ\*.

Какая разница между ними в Дб?

$$dB = 20 \text{Log}_{..10} \frac{H_0}{H_1}$$

$$dB = 20 \text{Log}_{..10} \frac{40}{20} = 20 \text{Log}_{..10} 2$$

$$dB = 20 \times 0.3010$$

$$dB = 6dB$$

\*полная высота экрана

2 сигнала при 10% и 100% ПВЭ.

Какая разница между ними в Дб ?

$$dB = 20 \text{Log}_{..10} \frac{H_0}{H_1}$$

$$dB = 20 \text{Log}_{..10} \frac{100}{10} = 20 \text{Log}_{..10} 10$$

$$dB = 20 \times 1$$

$$dB = 20dB$$

# Соотношение амплитуд в Дб

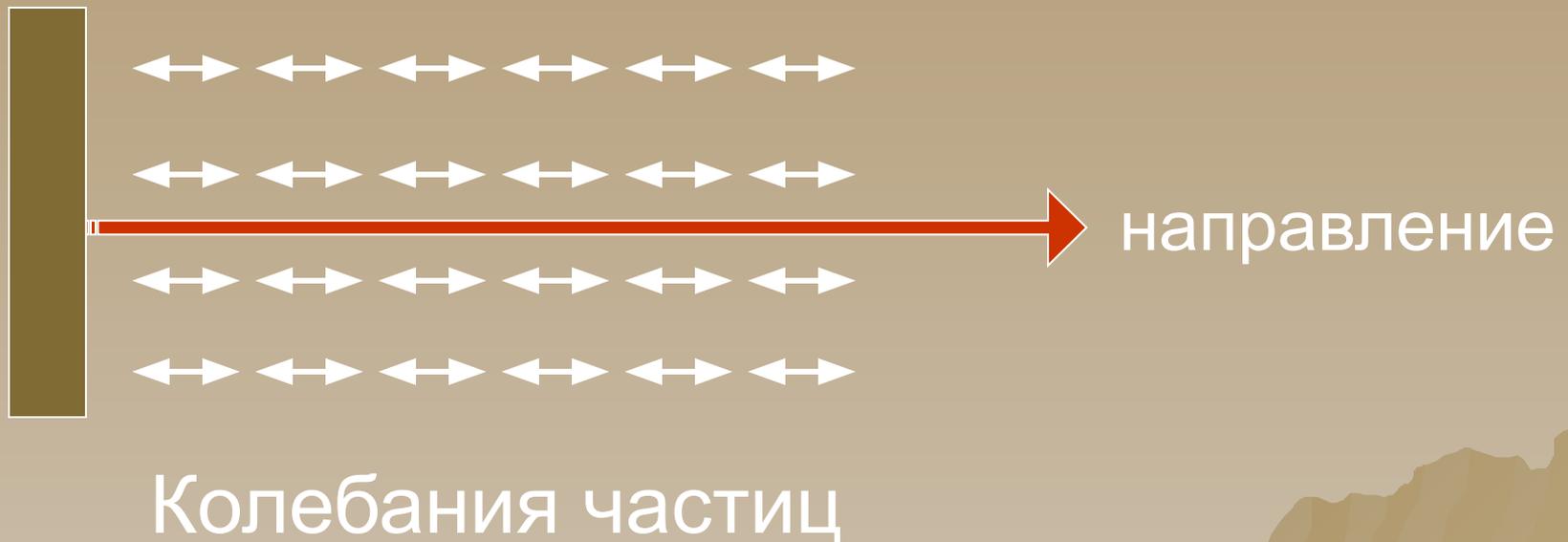
- ◆  $2 : 1 = 6\text{dB}$
- ◆  $4 : 1 = 12\text{dB}$
- ◆  $5 : 1 = 14\text{dB}$
- ◆  $10 : 1 = 20\text{dB}$
- ◆  $100 : 1 = 40\text{dB}$

# Основные 3 типа волн используемые в УЗК

- ◆ Продольные
- ◆ Поперечные
- ◆ Поверхностные

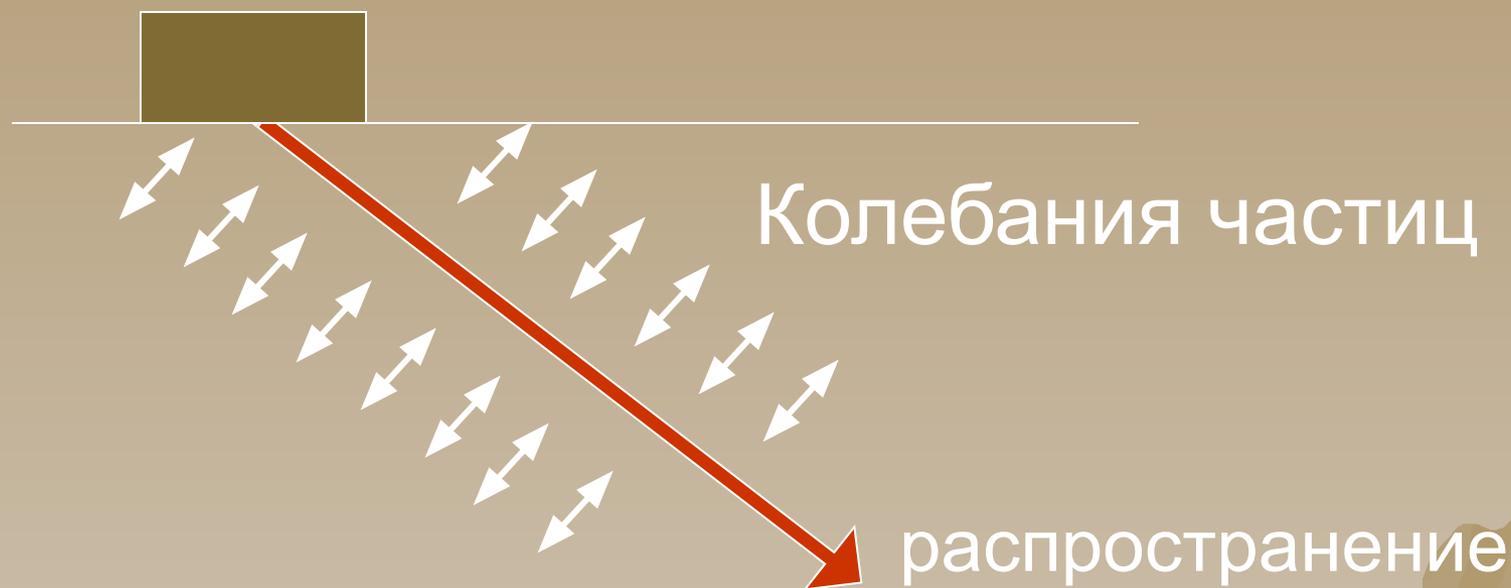
# Продольные волны

- ◆ Колебания частиц совпадают с направлением распространения волн
- ◆ Распространяется в твёрдых, жидких и газообразных веществах



# Поперечные волны

- ◆ Колебание под прямым углом относительно направления распространения
- ◆ Распространяется только в твёрдых веществах
- ◆ Скорость  $\approx 1/2$  продольной (в таком же материале)



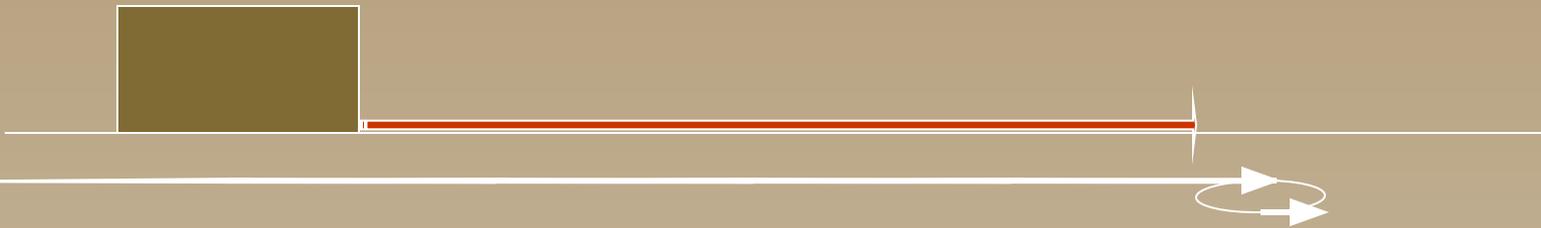
# Продольные и поперечные

Частота	Продольная	Поперечная
0.5MHz	11.8	6.5
1 MHz	5.9	3.2
2MHz	2.95	1.6
4MHz	1.48	0.8
6MHz	0.98	0.54

**Чем меньше длина волны , тем выше чувствительность**

# Поверхностные волны

- ◆ Эллиптические колебания
- ◆ Скорость на 8% меньше чем поперечных
- ◆ Глубина проникновения около длины волны



# Волны Лэмба

- ◆ Распространяется в тонких материалах с толщиной пластины сопоставимой с длиной волны
- ◆ Частицы колеблются по эллиптической траектории
- ◆ Скорость зависит от толщины листа и длины волны

# Распространение звуков в материалах

## ◆ Скорость зависит от материала

### Продольные волны

- Сталь 5960m/sec
- Вода 1490m/sec
- Воздух 344m/sec
- Медь 4700m/sec

### Поперечные волны

- Сталь 3245m/sec
- Вода NA
- Воздух NA
- Медь 2330m/sec

# Проникновение звука в материал

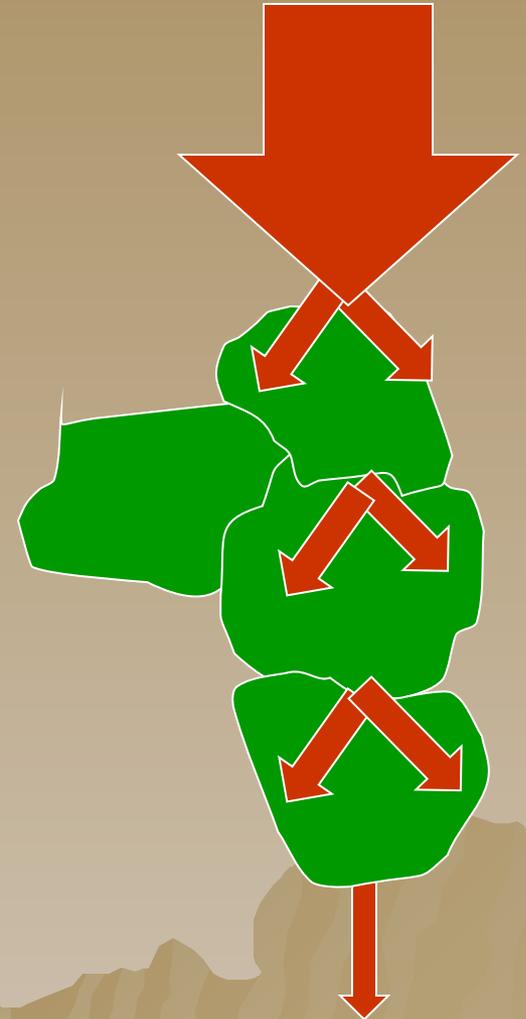
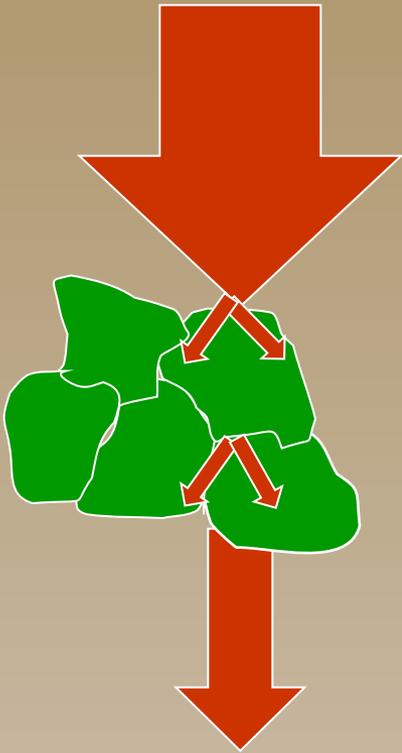
- ◆ Потеря интенсивности вследствие



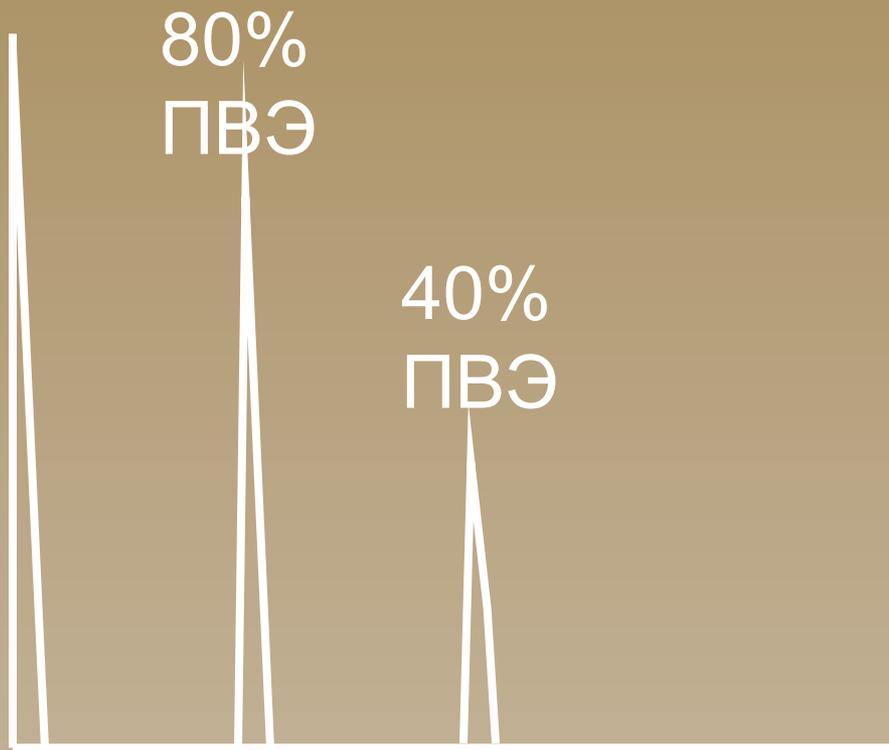
- ◆ Рассеяние пучка
  - Звуковой пучок сопоставим со световым пучком
  - Уменьшение зависит от размера отражателя
- ◆ Затухание
  - Потеря энергии зависит от материала
  - Затухание определяется поглощением и рассеиванием

# Рассеяние

- ◆ Чем больше размер зерна , тем хуже проблема
- ◆ Чем выше частота датчика, тем хуже проблема

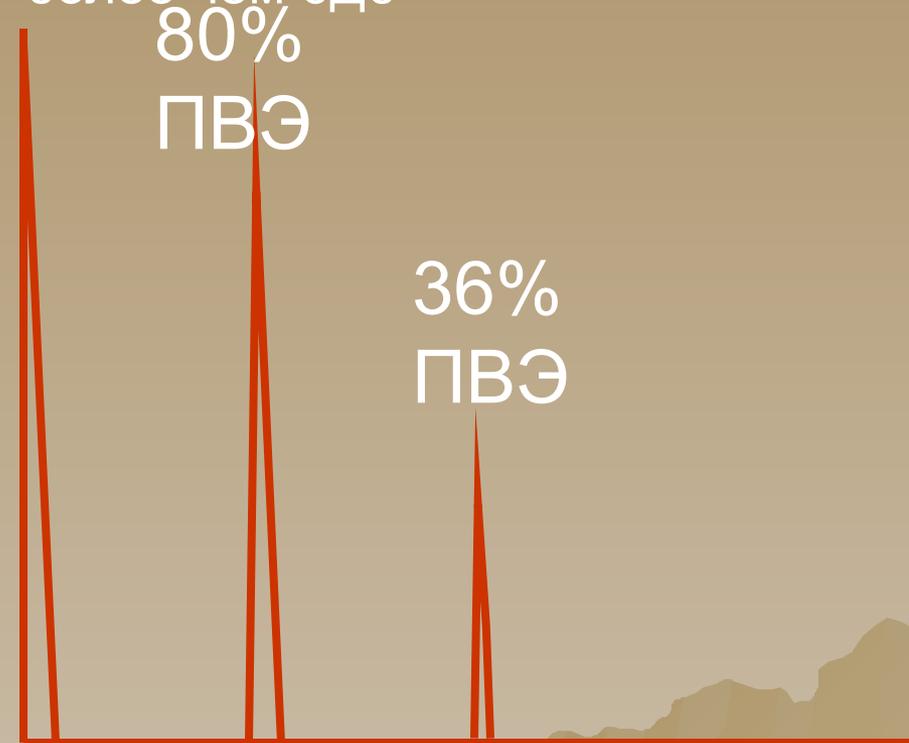


# Уменьшение сигнала вследствие совместного влияния расхождения пучка и затухания



Уменьшение амплитуды колебания на 6 Дб только вследствие расхождения пучка, затухание отсутствует

Уменьшение амплитуды вследствие расхождения и затухания пучка на величину более чем 6Дб



# Звук на границе раздела двух сред

- ◆ Звук либо проникнет через границу раздела в другую среду, либо отразится от неё

Отраженный



Количество отраженных и прошедших волн зависит от относительного **акустического импеданса** двух сред

# Акустическое сопротивление

- ◆ Определяется сопротивлением материала звуковым волнам

- ◆ формула

$$Z = \rho \times V$$

- ◆ Измерено в  $\text{kg} / \text{m}^2 \times \text{sec}$

- ◆ Сталь  $46.7 \times 10^6$
- ◆ Вода  $1.48 \times 10^6$
- ◆ Воздух  $0.0041 \times 10^6$
- ◆ Люцит  $3.2 \times 10^6$

# % звука отраженного от границы раздела

$$\left[ \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right]^2 \times 100 = \% \text{ отраженный}$$

% звука отраженного + % звука прошедшего =  
100%

следовательно

% звука прошедшего = 100% - % звука  
отраженного

Сколько звука отражается о стали при  
водяной границе раздела ?

- ◆  $Z_1$  (сталь) =  $46.7 \times 10^6$
- ◆  $Z_2$  (вода) =  $1.48 \times 10^6$

$$\left[ \frac{46.7 - 1.48}{46.7 + 1.48} \right]^2 \times 100 = \% \text{ отражения}$$

$$\left[ \frac{45.22}{48.18} \right]^2 \times 100 = \% \text{ отражения}$$

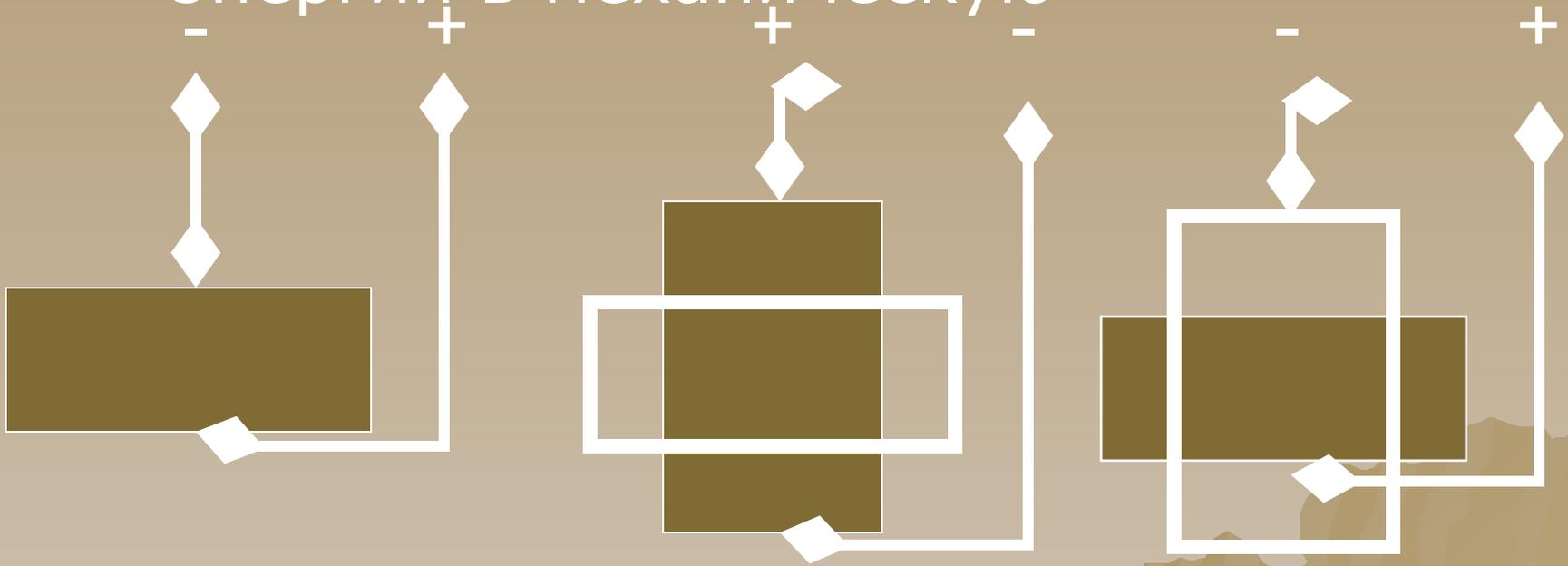
$$0.93856^2 \times 100 = 0.8809\% \text{ отражения}$$

# Образование звука

- ◆ Ударный эффект
- ◆ Магнитострикция
- ◆ Лазерные источники излучения
- ◆ Пьезо-электрический эффект

# Пьезо-электрический эффект

- ◆ Под действием переменного электрического поля, кристалл расширяется или сужается в зависимости от полярности
- ◆ Преобразование электрической энергии в механическую



# Пьезо- электрические материалы

## КВАРЦ

- ◆ Нерастворимый в воде
- ◆ Устойчивость старению
- ◆ Слабое преобразование энергии
- ◆ Необходимость в относительно высоком источнике напряжения

## СУЛЬФАТ ЛИТИЯ

- ◆ Эффективный приёмник
- ◆ Низкий электрический импеданс
- ◆ Работоспособность при низком напряжении
- ◆ Растворимость в воде
- ◆ Низкая механическая прочность
- ◆ Работоспособность только до + 30°C

# Поляризация кристаллов

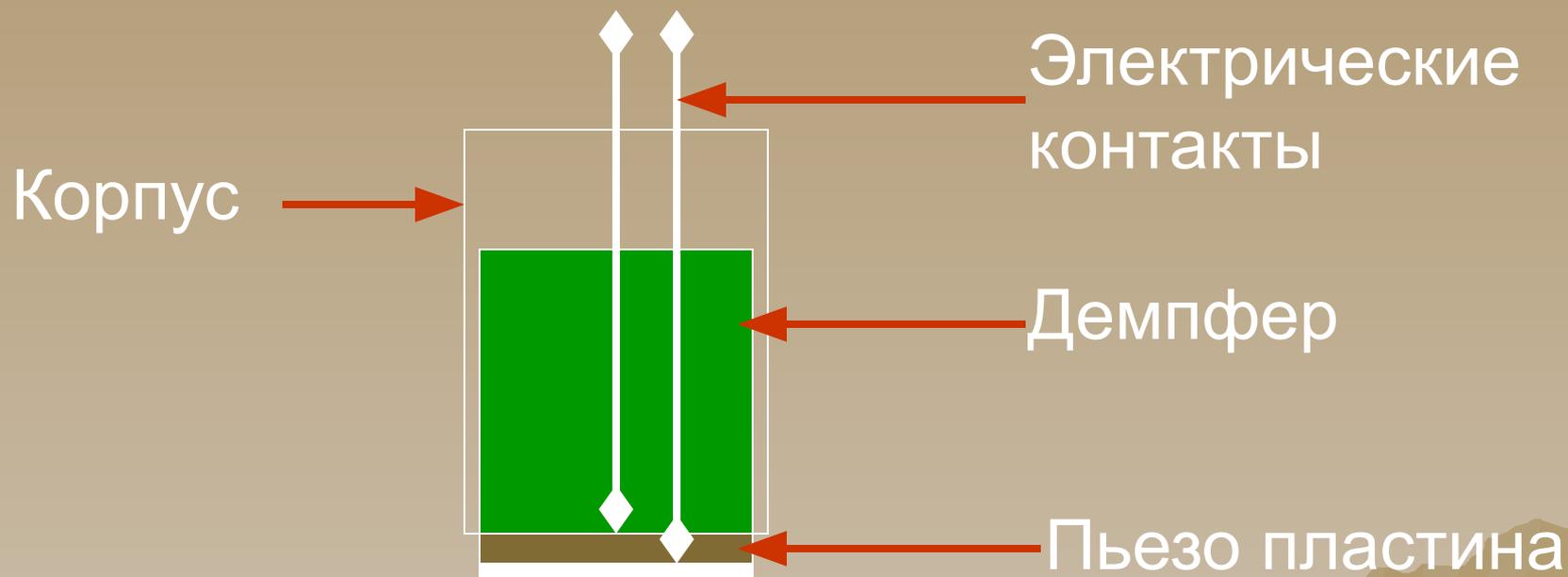
- ◆ Нагревание порошка до высоких температур
- ◆ Прессование в форме
- ◆ Охлаждение в очень сильных электрических полях

## Образцы

- ◆ Титанат бария ( $\text{Ba Ti O}_3$ )
- ◆ Свинцовый сплав ( $\text{Pb Nb O}_6$ )
- ◆ Цирконат титанат свинца ( $\text{Pb Ti O}_3$  or  $\text{Pb Zr O}_3$ )

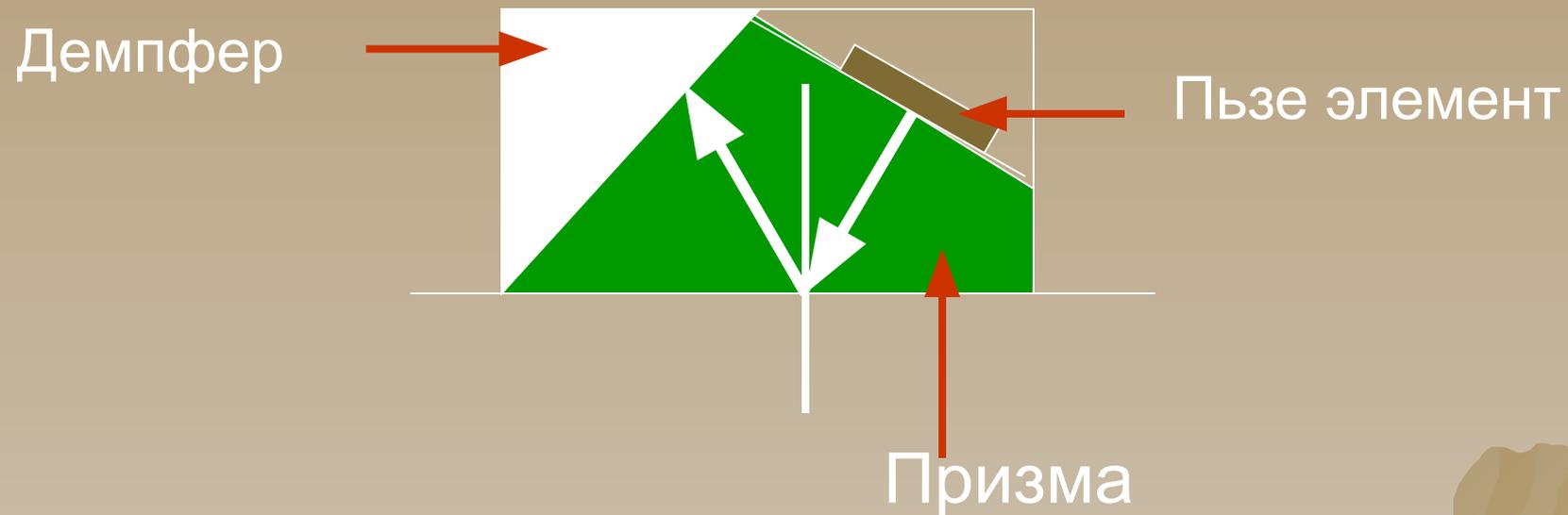
# Конструкция преобразователя

- ◆ Продольная волна



# Конструкция преобразователя

- ◆ Поперечные волны



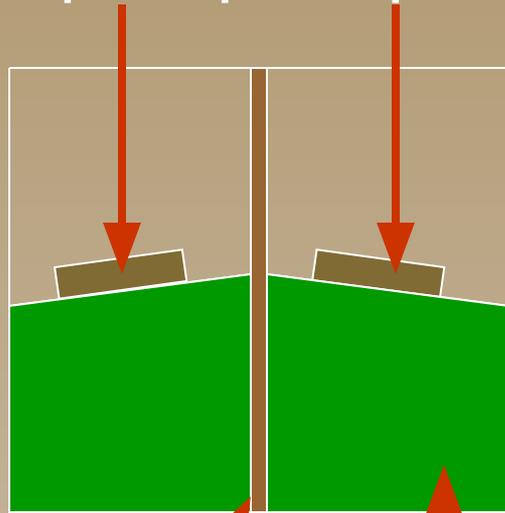
# Конструкция датчика

## ◆ Двойной кристалл

## Преимущества

- ◆ Может быть сфокусирован
- ◆ Измерение тонкой пластины
- ◆ Малая величина мёртвой зоны
- ◆ Определение маленьких дефектов

Генератор      Приёмник



## Недостатки

- ◆ Тяжело использовать на изогнутых поверхностях
- ◆ Амплитуда сигнала/Нестабильное фокусное расстояние

Изолятор

Фокусирующая линза