

*Сейсморазведка* – геофизический метод исследования строения Земли и геологической среды, поисков и разведки нефти и газа и других полезных ископаемых.

Сейсморазведка изучает распространение упругих волн, возбуждённых искусственно с помощью тех или иных источников (взрывов, ударов).

При распространении упругих волн на границе слоёв, где скорость меняется, могут образовываться

---

- ✓ Отражённые,
- ✓ Преломленные,
- ✓ Рефрагированные,
- ✓ Дифрагированные и др.

Регистрируя эти волны на земной поверхности можно получить информацию о скоростном разрезе, а по нему судить о геологическом строении.

Методика сейсморазведки основана на изучении кинематики волн (времени пробега различных волн от пункта их возбуждения до сейсмоприёмников), которые улавливают скорость смещения почвы.

В специальных сложных установках (сейсмостанциях) электрические колебания, созданные в сейсмоприёмниках очень слабыми колебаниями почвы, усиливаются и автоматически регистрируются на сейсмограммах, в результате их интерпретации можно определить глубины залегания сейсмогеологических границ, их падение, простирание, скорости волн.

Различают 2 основных метода:

---

- 1)      МОВ – метод отражённых волн  
          МПВ – метод преломлённых волн

По решаемым задачам различают

- глубинную,
- структурную,
- нефтегазовую,
- рудную,
- инженерную сейсморазведки.

По месту проведения сейсморазведка подразделяется на

- наземную (полевую),
- акваториальную (морскую),
- скважинную,
- подземную.

По частотам колебаний:

- высокочастотную ( $>100$  Гц)
- среднечастотную ( $\approx 10$  Гц)
- низкочастотную ( $<10$  Гц)

Чем выше частота упругих волн, тем больше их затухания и меньше глубинность разведки.

# Физико-геологические основы сейсморазведки

## Основы теории распространения упругих волн в геологических средах

- **Теория упругости** – теория распространения упругих волн.
- **Абсолютно упругое тело** – тело, которое после прекращения действия приложенных к нему сил восстанавливает свою форму и объём.
- **Пластичное (неупругое) тело** – тело и среда, в которых развиваются необратимые деформации.
- **Деформация** – изменение формы, объёма и размеров под действием напряжения.

## Модули упругости –

это коэффициенты связи между напряжениями и деформациями среды.

---

По закону Гука деформация растяжения-сжатия в идеально упругих средах прямопропорционально напряжению.

$$\frac{\Delta l}{l} \cdot \frac{F}{S} = \frac{1}{E} ,$$

где  $E$  – модуль Юнга продольного растяжения

$l$  - длина,  $d$  - диаметр,

$S$  –поперечное сечение цилиндрического тела

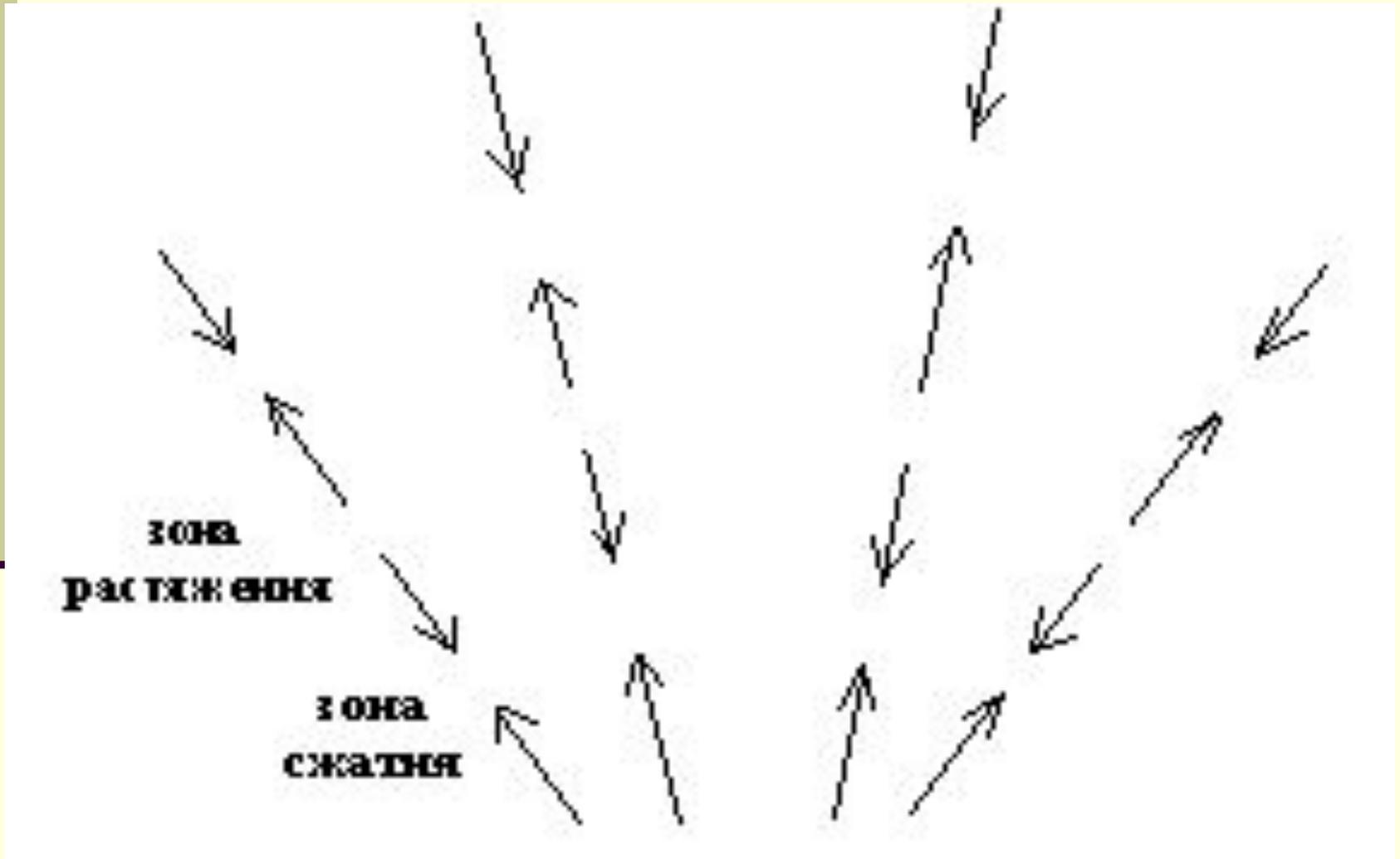
$F$  – приложенная сила

# Упругие волны

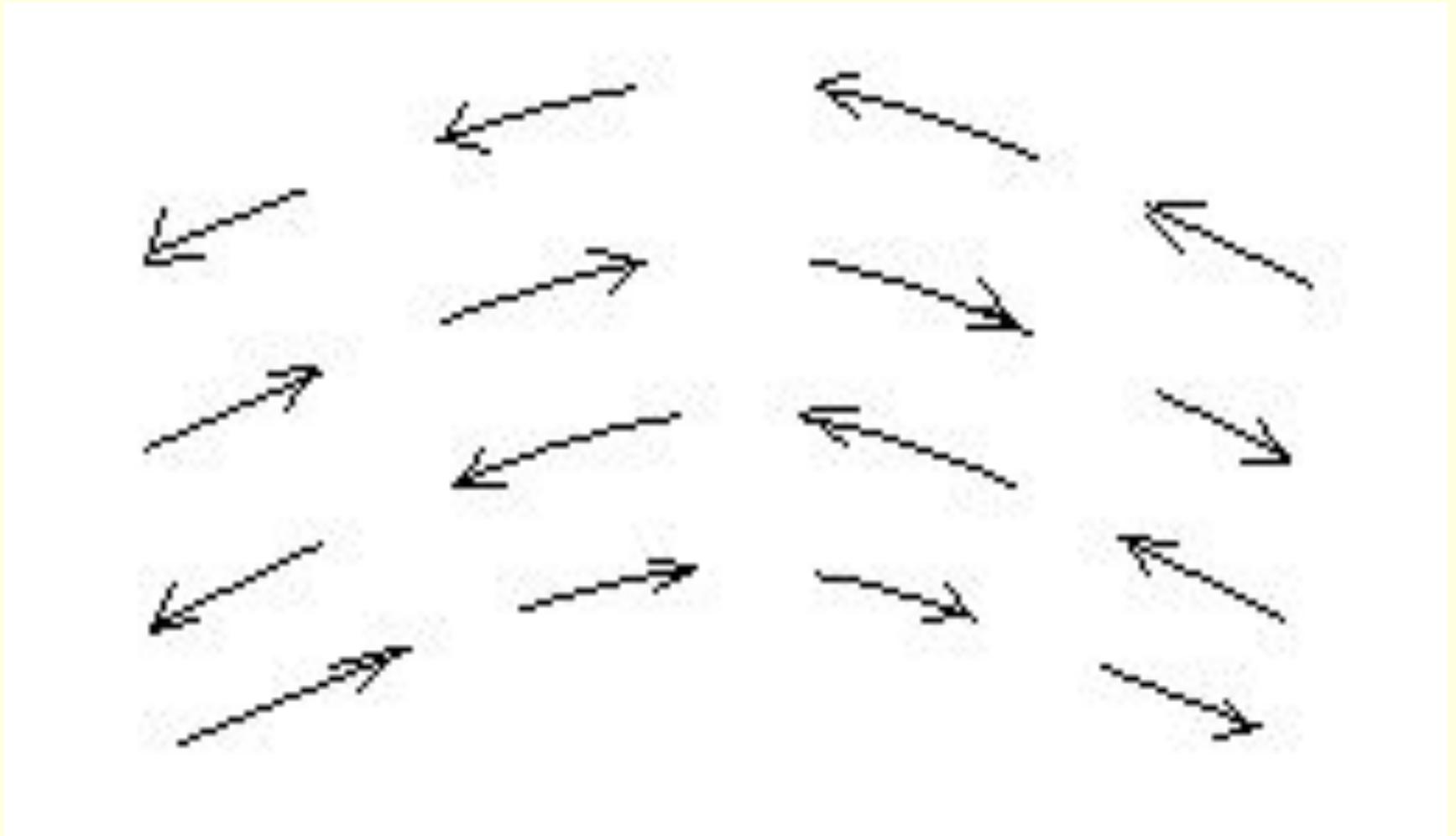
---

После возбуждения упругих волн в среде возникает смещение, возмущение упругих частиц, создаётся волновой процесс. Возникая около источника, он постепенно переходит в другие части среды путём передачи деформации и напряжений за счёт упругих связей между частицами. В результате в среде возникают объёмные и поверхностные упругие волны, не зависящие от источника.

# Рис.1. Распространение продольных волн



## Рис.2. Распространение поперечных волн



- В поперечных волнах частицы колеблются в плоскости перпендикулярной распространению, это вызывает деформации формы.
- В поверхностных волнах частицы колеблются в поверхностном слое горизонтально и перпендикулярно направлению распространения волны.
- В волнах R частицы движутся перпендикулярно направлению распространения по эллиптической траектории вблизи свободных границ раздела сред с разными скоростями.
- В волнах L частицы движутся параллельно земной поверхности.

- $$v_p = \sqrt{\frac{E(1-\delta)}{\sigma(1+\delta) \cdot (1-2\delta)}}$$

- $$v_s = \sqrt{\frac{E}{2\delta(1+\delta)}}$$

- где  $\sigma$  - плотность пород,  $E$  - модуль Юнга,  
 $\delta$  - модуль поперечного сжатия

- $$v_p > v_s ; v_p / v_s = 1,73$$

# Основы геометрической сейсмологии

- Фронт волны – поверхность, отделяющая область, где частицы колеблются под воздействием упругой волны и невозмущённая область, куда волна ещё не пришла.
- Сейсмические лучи – это линии, перпендикулярные фронту волны. Вдоль лучей переносится энергия упругой волны, вблизи источника – фронт сферический, дальше от источника – более плоский.

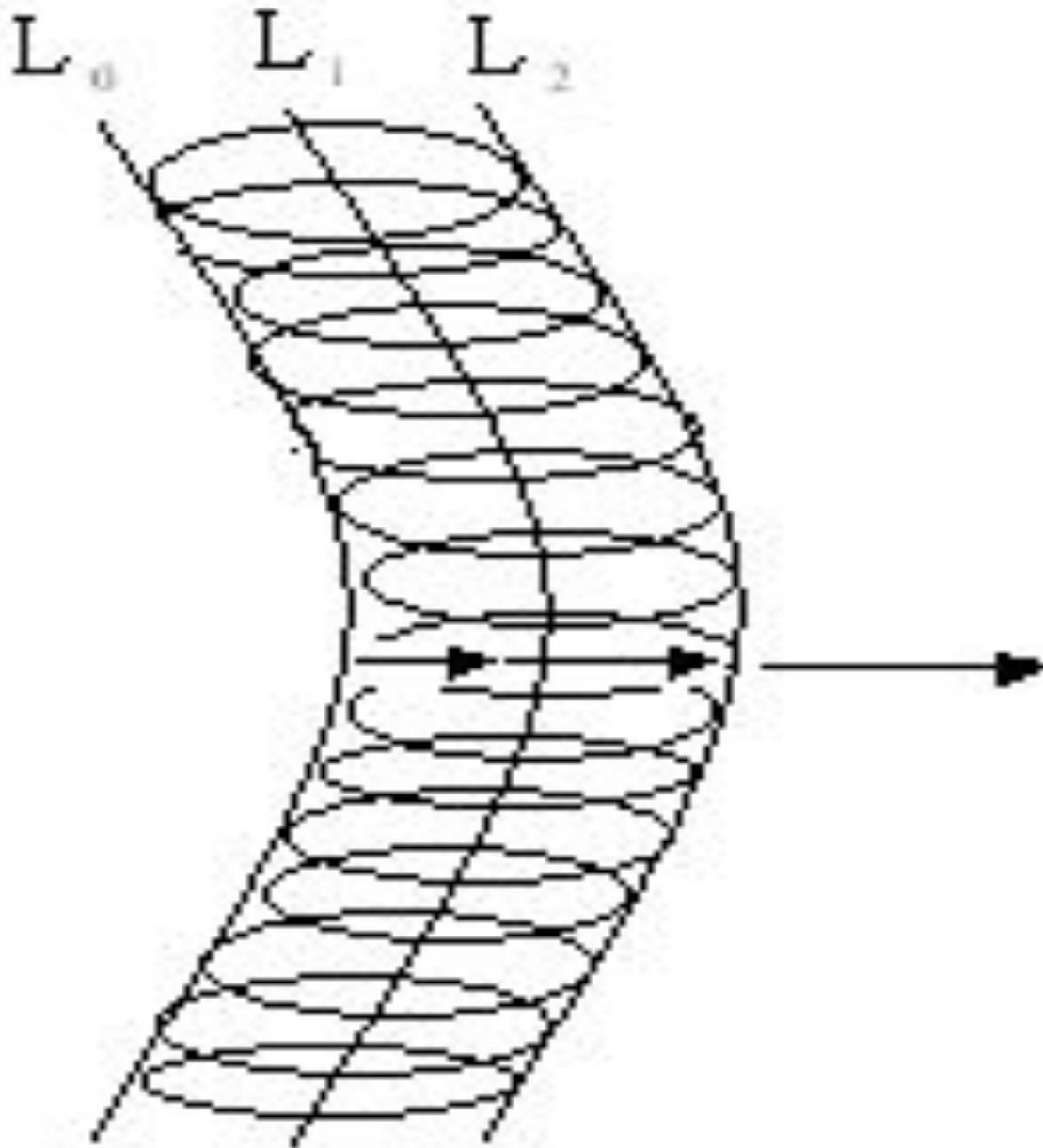
# Характеристики монохроматической волны одной частоты:

---

- $f = \frac{1}{T}$

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

- где  $\lambda$  – длина волны,  $T$  – период,  $f$  – частота колебаний,  $V$  – фазовая скорость



О  
ый  
й, т.е. по  
орый  
ение его в  
дуть  
ческих  
ыми на

# Принцип Ферма

---

- Волна распространяется между двумя точками по такому пути, который требует наименьшего времени для её распространения. Следствие этого принципа: прямолинейность распространения волн в изотропной среде, когда скорость постоянна во всех направлениях.

# Принцип суперпозиции

---

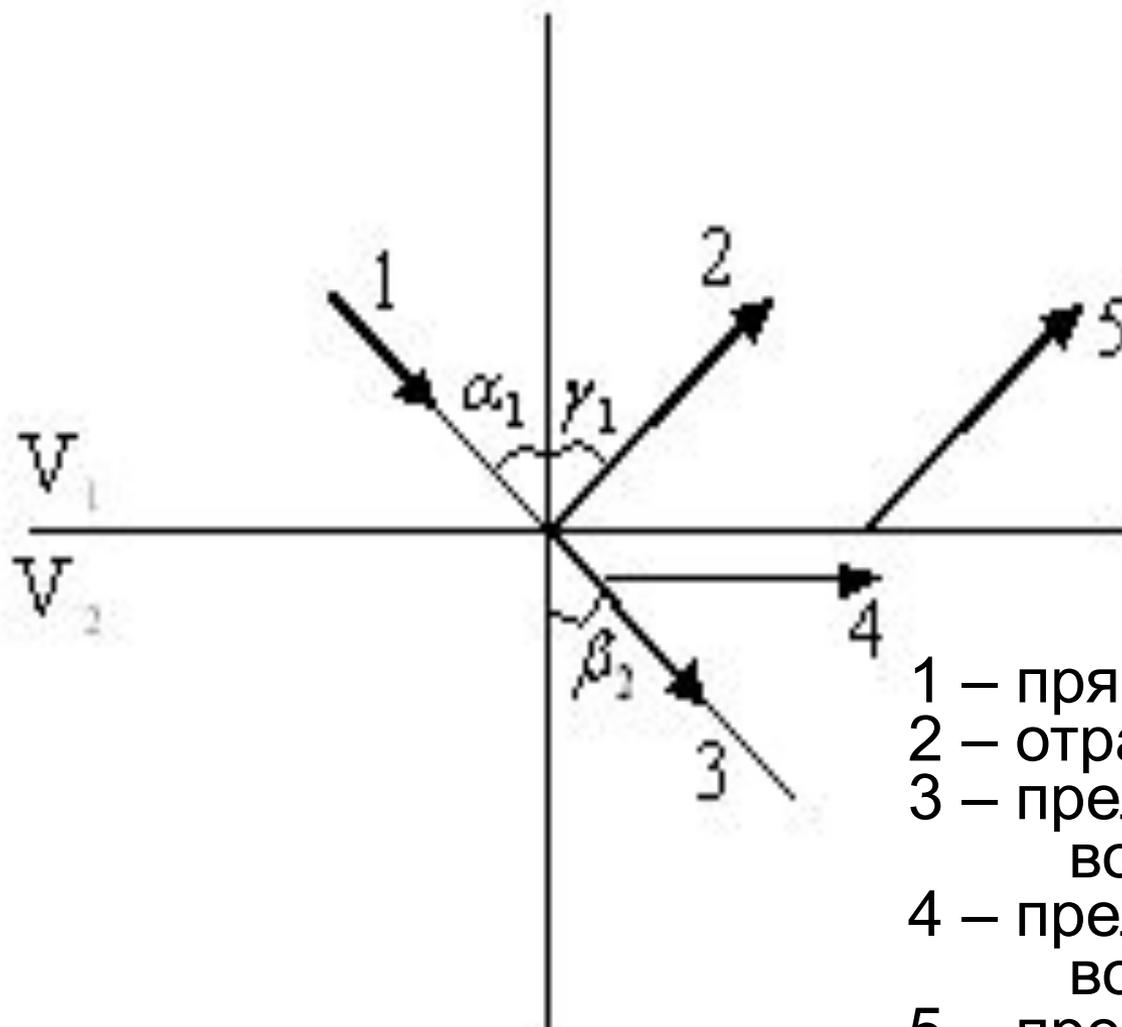
- При наложении (интерференции) нескольких упругих волн их распространение можно изучать по отдельности для каждой волны, пренебрегая влиянием волн друг на друга.

# Основной закон геометрической сейсмоки

Закон преломления - отражения включает в себя следующие положения:

1. Падающие, отражённые и преломлённые лучи лежат в одной плоскости, совпадающей с плоскостью нормальной границы раздела сред с разными скоростями упругих волн.

Рис.3. Основные типы продольных волн



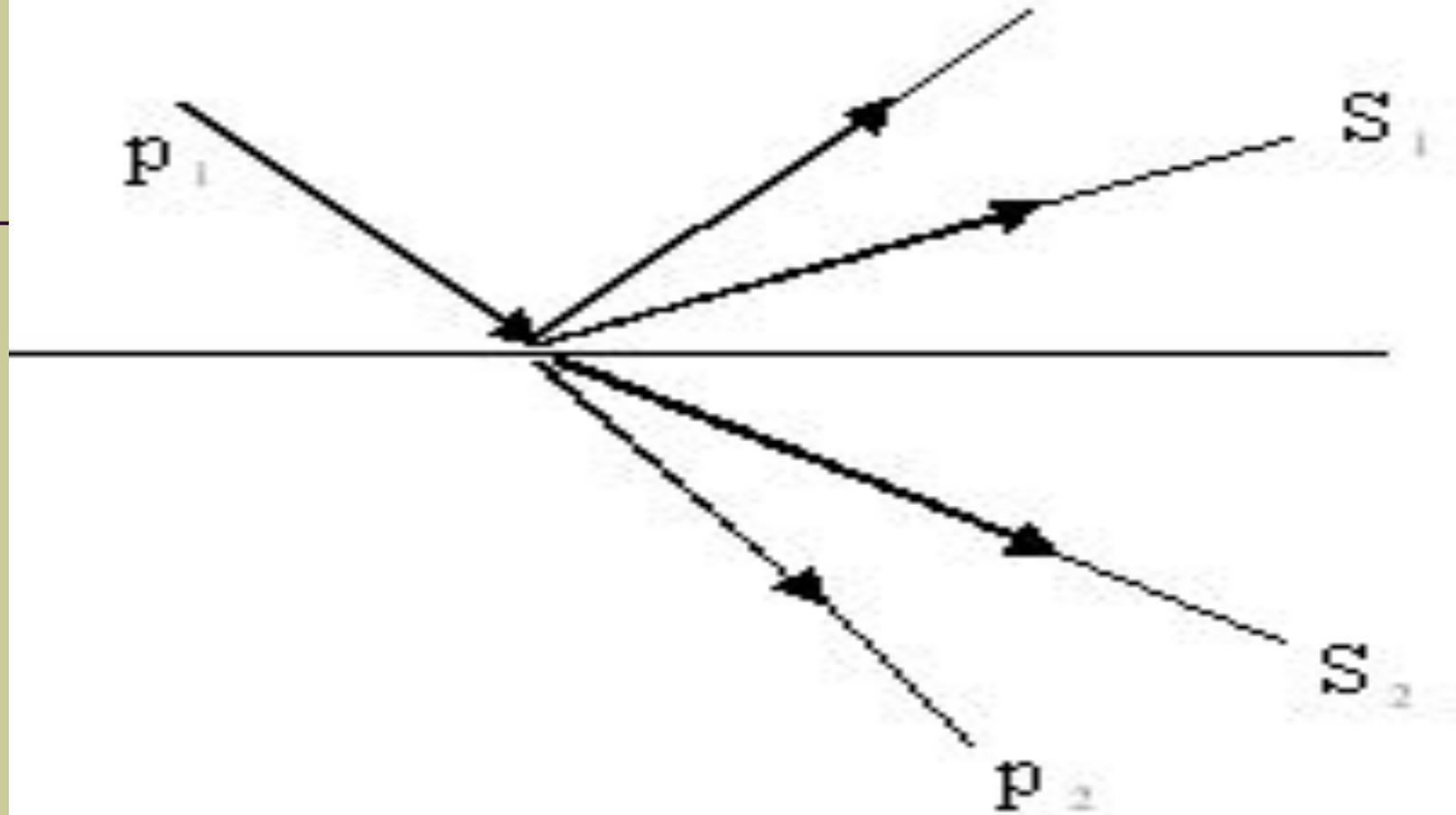
- 1 – прямая волна
- 2 – отражённая волна
- 3 – преломленно-проходящая волна
- 4 – преломленно-скользящая волна
- 5 – преломленно-головная волна

2. Угол падения волны , отсчитываемый от перпендикуляра к границе и её скорость  $v$  в среде  $V$  связаны с углом преломления и  $V$  соотношением

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

3.

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \gamma_1} = \frac{V_\alpha}{V_\gamma}$$



$$\frac{\sin \alpha_{p_1}}{V_{p_1}} = \frac{\sin \gamma_{p_1}}{V_{p_1}} = \frac{\sin \gamma_{S_1}}{V_{S_1}} = \frac{\sin \beta_{p_2}}{V_{p_2}} = \frac{\sin \beta_{S_2}}{V_{S_2}}$$

# Типы сейсмических волн

---

- Головные волны

- Рефрагированные волны

- 
- дифрагированные волны.
  - Волны помехи
  - Индивидуальные волны(однократные)
  - Отражённые волны

# Сейсмические среды и границы

- Однородная изотропная среда – среда, в которой скорость распространения упругой волны в каждой точке не изменяется по величине и по направлению.
- Однородная анизотропная среда – среда, в которой скорость распространения по разным направлениям различна.
- Однородно слоистая - скорость постоянна в каждом слое, скачком меняется на границах.
- Градиентная среда - скорость распространения волн - это непрерывная функция, т.е. скорость постоянно изменяется, чаще с глубиной скорость увеличивается.

- Двухмерно неоднородная среда – скорость меняется как возрастая, так и убывая. На резких границах скорости и акустической жесткости меняются больше, чем на 25%, на нерезких отличия меньше.
- Гладкие неровности – неровности меньше длины волны.
- Шероховатые неровности – неровности сравнимы с длиной волны.

# Скорости распространения упругих волн в различных горных породах

## Малая скорость:

- сухие пески – 0,5-1 км/с, нефть – 1-2 км/с, вода – 1,5 км/с, глины – 1,3-3 км/с, уголь – 1,8-3,5 км/с

## Большая скорость:

- Соль, мрамор, доломит – 3-6 км/с.

## Максимальная скорость:

- Изверженные, метаморфические породы – 4-7 км/с

# Типы скорости в слоистых средах

---

- Истинная скорость – скорость волны в малом объеме породы.
- Пластовая скорость – это средняя скорость распространения упругих волн в каждом пласте изучаемого геологического разреза.
- Интервальная скорость – это частный случай средней скорости для заданного интервала глубин.

- Средняя скорость –
- Эффективная скорость - это некоторая средняя скорость, определяется при интерпретации сейсморазведки МОВ, в предположении, что скорость в толще, которая покрывает отражающую границу, постоянна.
- Граничная скорость – это скорость распространения скользкой преломленной волны вдоль преломленной границы.

- Кажущаяся скорость – это скорость распространения фронта любой волны вдоль профиля наблюдений.

$$V = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

# Аппаратура сейсморазведки

---

- источники возбуждения упругих волн;
- устройство принимающее упругие колебания и преобразующие их в электрический сигнал;
- сейсмостанции, включающие многоканальные усилители и регистраторы;
- вспомогательное оборудование (буровые станки и т.д.).

# Задачи сейсморазведочной аппаратуры

---

- Изучать глубины от нескольких метров до сотен километров.
- Регистрировать смещение почвы с  $\Delta$  от долей метров
- Одновременная фиксация множества волн или в нескольких точках вокруг источника или в сотнях пунктах от него.
- Обработка очень большого количества информации благодаря компьютерам.