

# ГЕОФИЗИКА

- Понедельник 13.00 – 14.45
- Среда 10.45 – 12.20

Константин Владиславович Титов

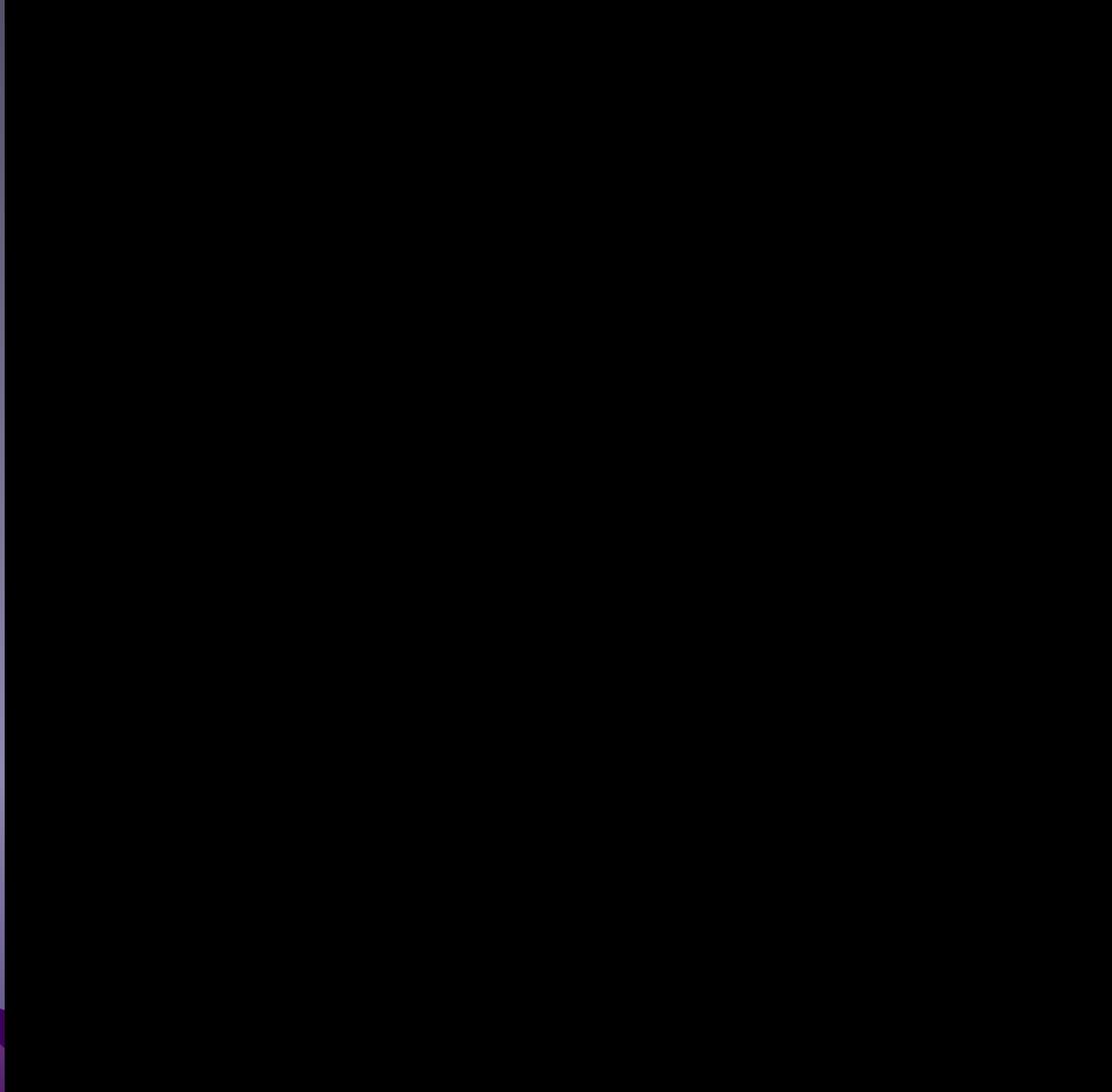
Учебник

С.В. Аплонов, К.В. Титов “Геофизика для геологов” 2012

“Геофизические методы поисков и разведки...”  
(Ред. В.К. Хмелевской, 2007)



# Магнитное поле Земли: Вид из космоса



# От ФИЗИКИ к ГЕОФИЗИКЕ

## Лекция вводная

- “Предмет и метод”, или для чего и как?
- Какую “ФИЗИКУ” использовать для изучения Земли?
- Закономерности физических явлений и изучение Земли. Физические свойства пород



Как “потрогать руками” объекты  
внутри Земли?



Обнажение



Скважина



Карьер



# Обзор физических явлений, что использовать для изучения Земли?

- Гравитация
- Магнетизм
- Упругость
- Электричество
- Теплопередача
- Радиоактивность



# Гравитация и гравиметрия

$$F = k \frac{Mm}{r^2} = mg$$

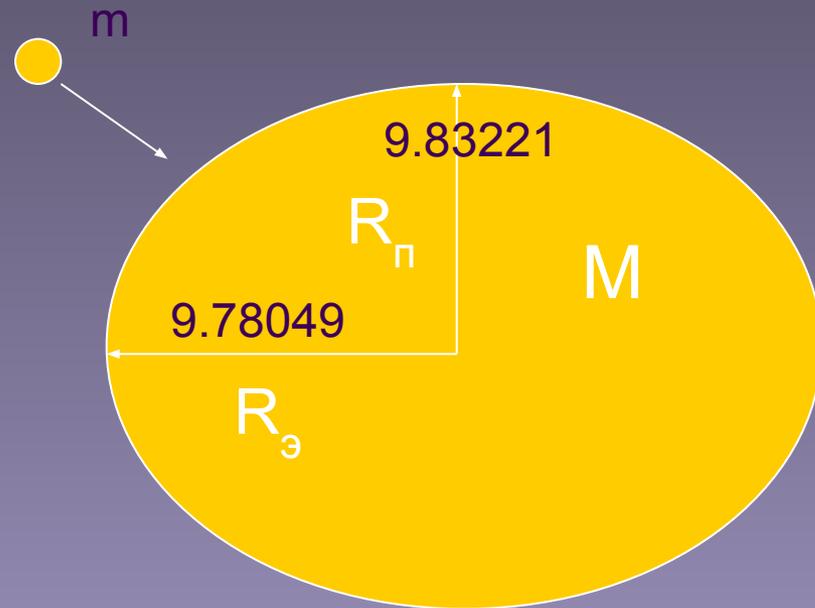
$$g = k \frac{M}{r^2}$$

$$k = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$$

$$M = 5.98 \cdot 10^{24} \text{ кг}$$

$$R_p = 6.378 \text{ км}$$

$$R_n = 6.357 \text{ км}$$



Задача: Чему равна средняя  
плотность Земли?



# Какова плотность минералов?

Минерал	Плотность, Кг/м <sup>3</sup>
Кварц	2600
Ортоклаз	2470
Плагиоклазы	2620(Аb) – 2760(Аn)
Биотит	2800
Амфиболы	2850-3600

Противоречие?



# Задача: Гравитационное влияние сферы

- Какое дополнительное гравитационное влияние окажет геологическое тело в виде сферы радиусом 100 м с центром на глубине 200 м плотностью 3000 кг/м<sup>3</sup>, залегающее среди пород плотностью 2000 кг/м<sup>3</sup>?

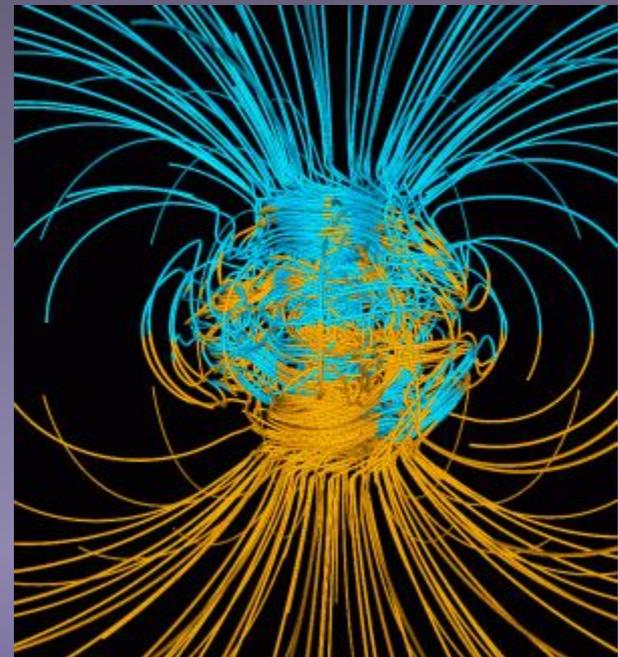
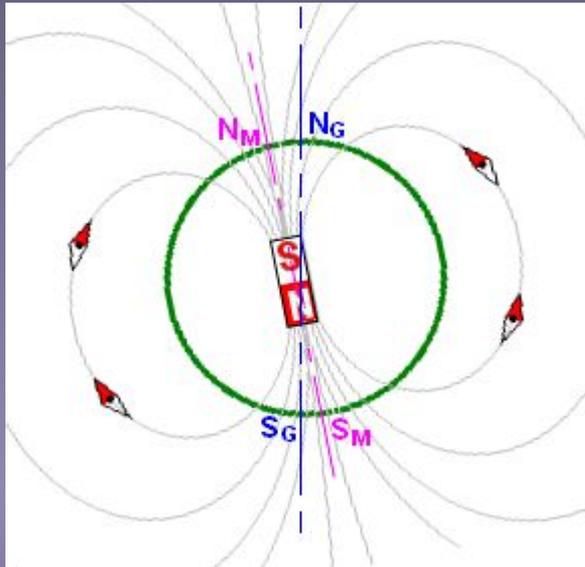
$$1) m = \text{изб.плотность} \times \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 = (3-2)10^3 \cdot \frac{4}{3} 3.14 \cdot (10^2)^3 \approx 4.2 \cdot 10^9 \text{ кг}$$

$$2) g_{\text{дополнительное}} = k \frac{m}{r^2} = 6.67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{4.2 \cdot 10^9}{(2 \cdot 10^2)^2} = 7.0 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}^2$$

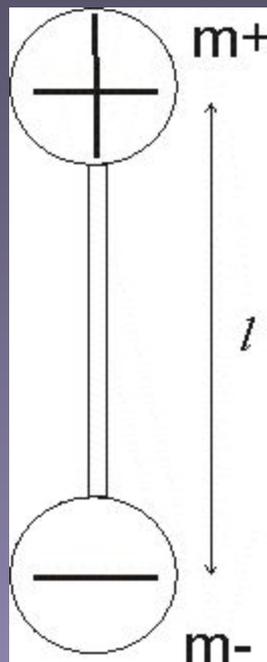
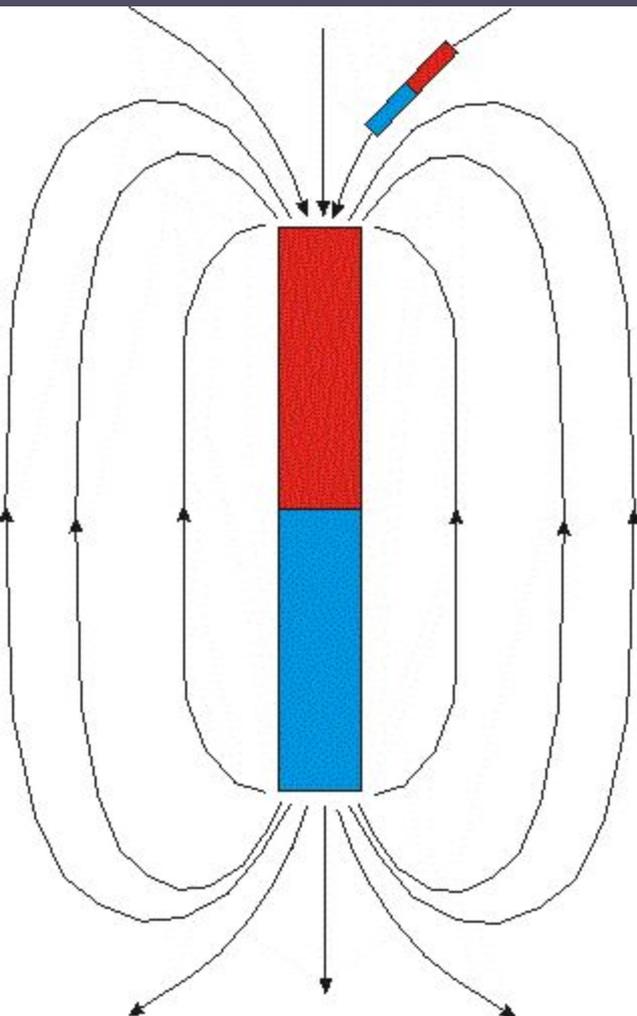
$$g_{\text{дополнительное}} = g - g_0$$

Геофизические поля состоят из различных компонент, выделение компонент, связанных с интересующим нас объектом - задача обработки исходных данных.

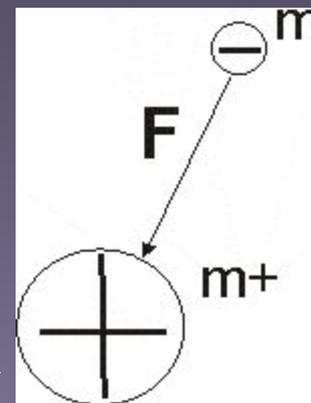
# Магнетизм и магнитометрия



# Магнитное взаимодействие



$$M = m \cdot l$$

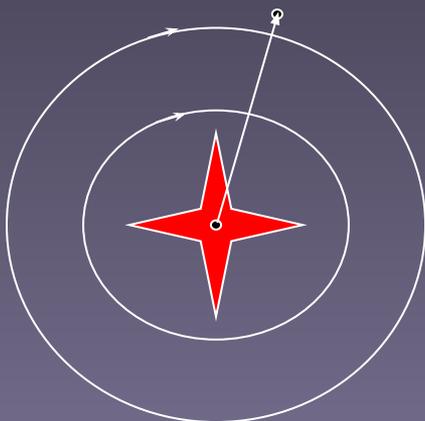


$$F = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m^+ m^-}{r^2},$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ ГН/М}$$

$$H = \frac{F}{m} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m^+}{r^2} \text{ (А/М)}$$

# Магнитное взаимодействие



$H=?$

$H \sim I/R$

$[H]=[A/m]$

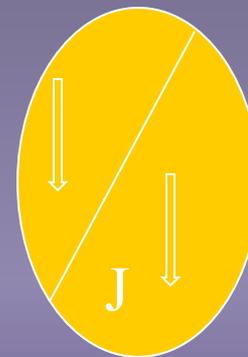
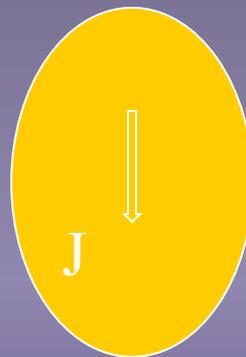
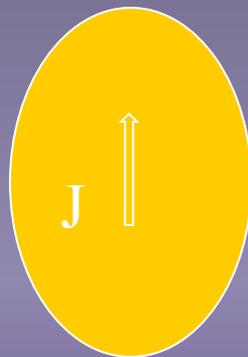
$H$



$$J = \frac{\Sigma M}{V}$$

$$J = kH$$

$k$  - магнитная  
восприимчивость

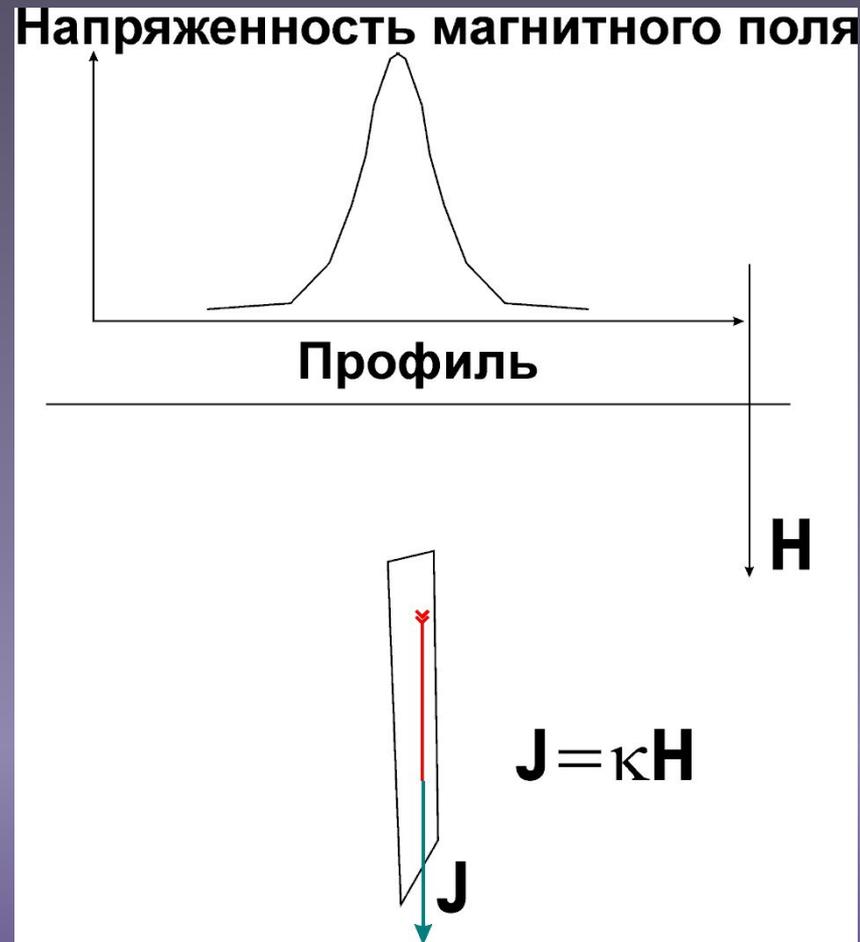


Магнитная восприимчивость - основное свойство пород,  
используемое в магнитометрии!

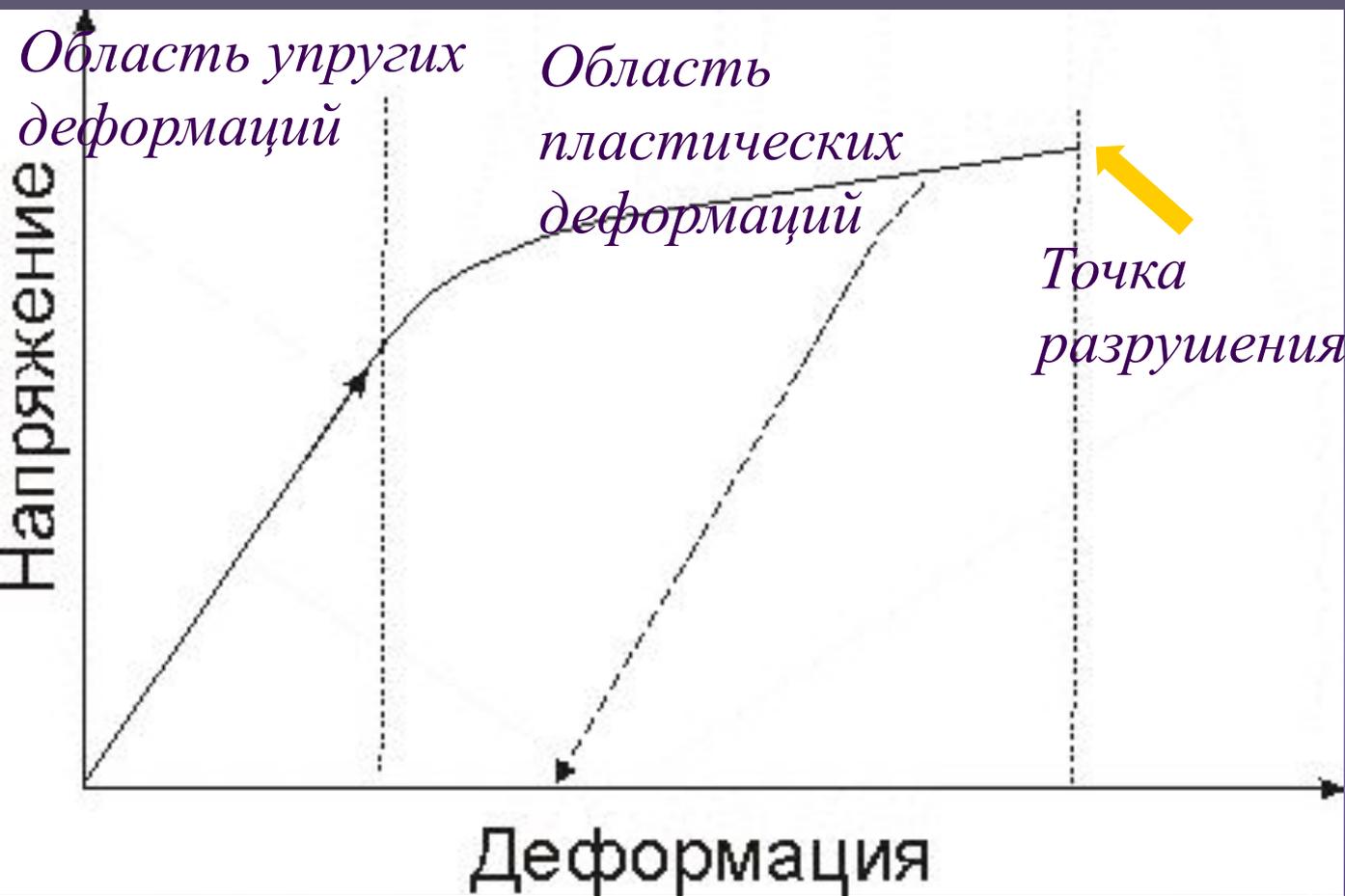
# Магнитные свойства некоторых минералов

Минерал	Магнитная восприимчивость ( $10^{-5}$ )
Кварц	-1,6
Ортоклаз	-0,6
Плагиоклазы	0
Биотит	10-15
Амфиболы	50-75
Магнетит	880000
Маггемит	380000
Гематит	130-1300
Пирротин	13-130
Титаномагнетит	13

# Одно из практических следствий:

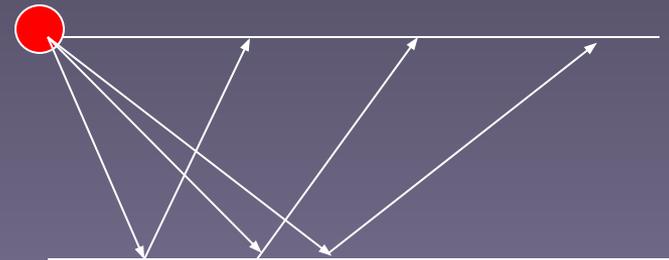
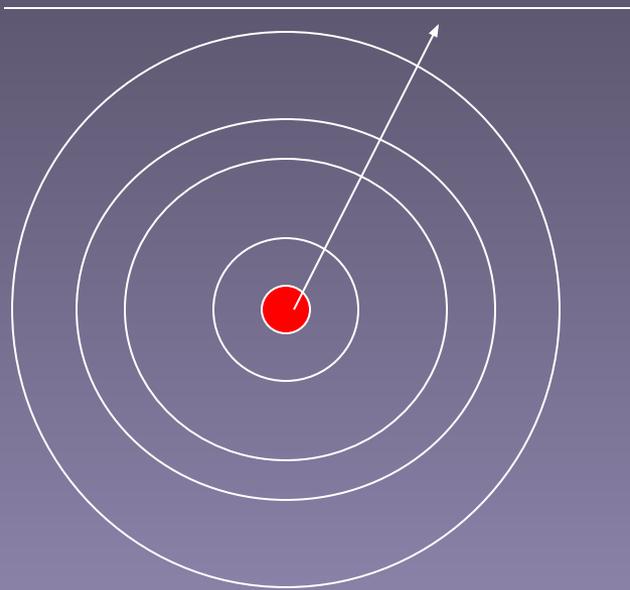


# От упругости к сейсмологии и сейсморазведке



Нортридж, Калифорния, 1994

# Упругие волны



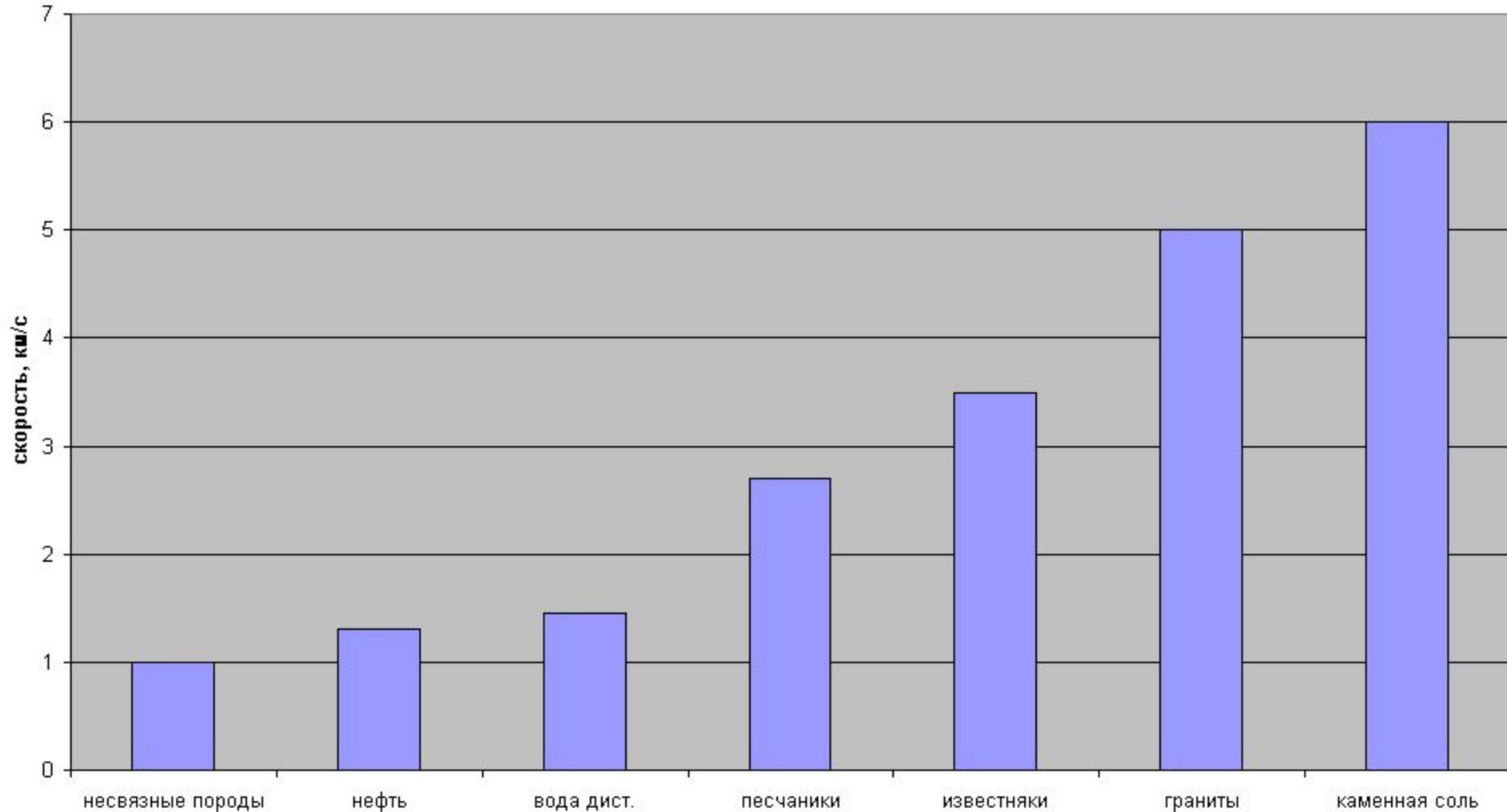
Волны сжатия-растяжения (P)



Волны сдвига (S)

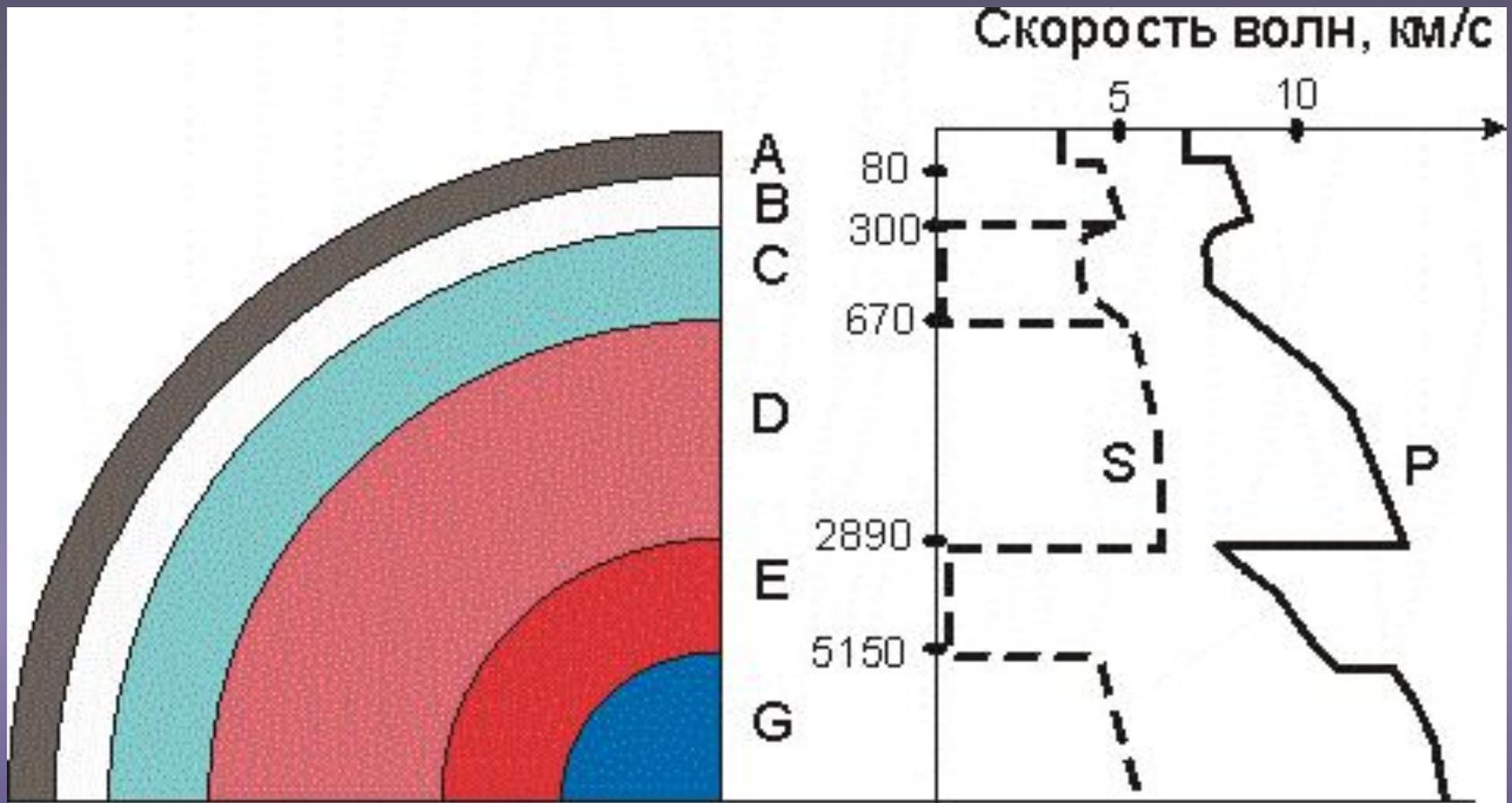


## Скорость распространения Р-волн



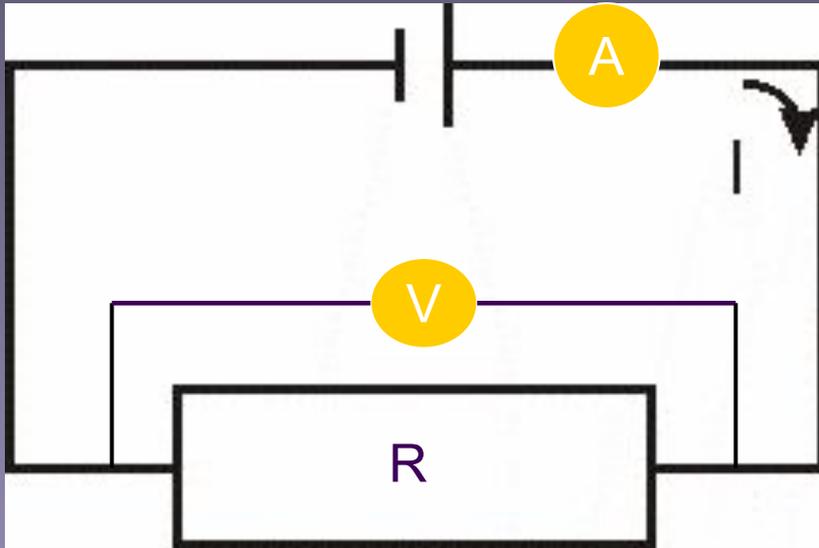
Скорость - одна из основных характеристик породы в сейсморазведке и сейсмологии

# Скорость волн в Земле



А – кора, В – подкоровая мантия, С-астеносфера, D – нижняя мантия, E – внешнее ядро, G – внутреннее ядро

# От теории электричества к геоэлектрике



$$I = \Delta U / R = \Delta U \cdot S$$

R-сопротивление (Ом)

S=1/R-проводимость (См)

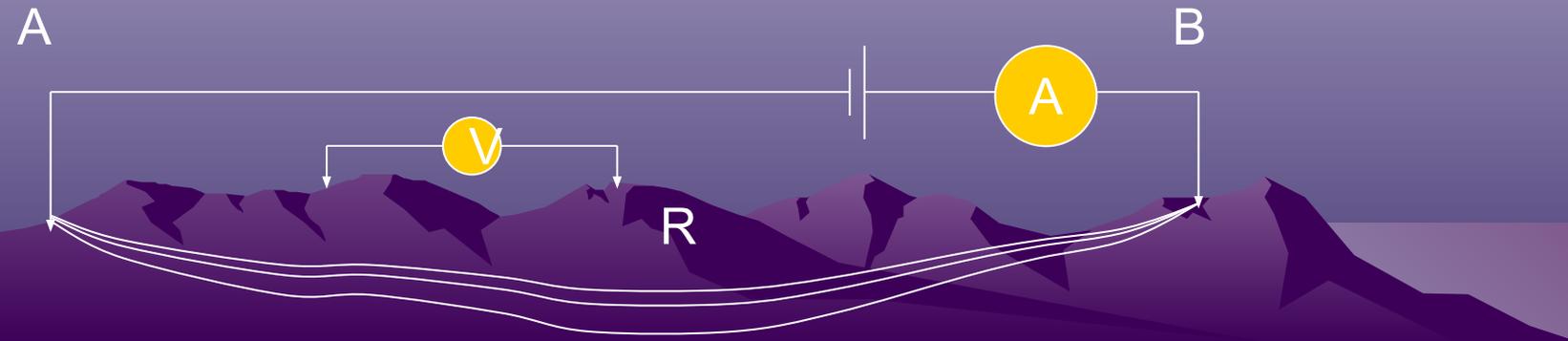
$$j = E / \rho = \sigma E$$

j-плотность тока, А/м<sup>2</sup>

E-напряженность, В/м

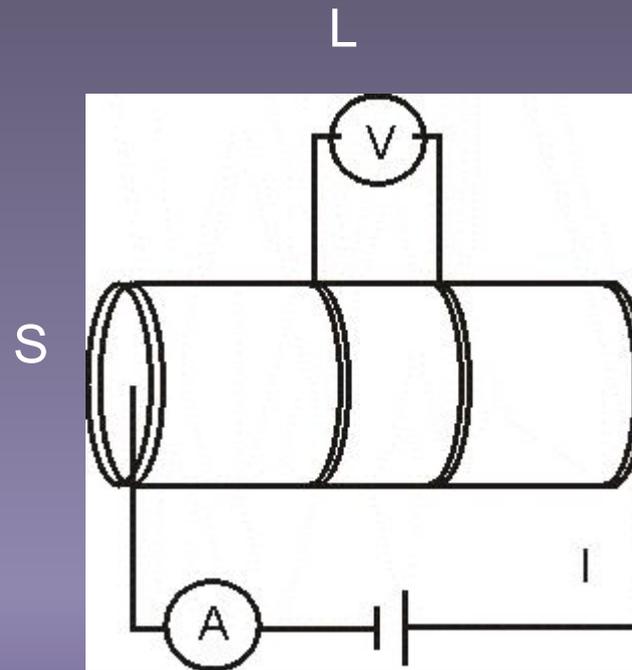
$\sigma$ -электропроводность,

$\rho$ -удельное электрическое сопротивление



# Удельное электрическое сопротивление

$$\rho = \frac{S \Delta U}{L I}$$



# Механизм электропроводности

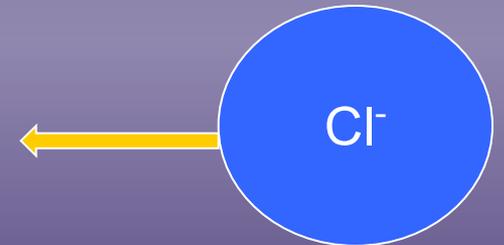
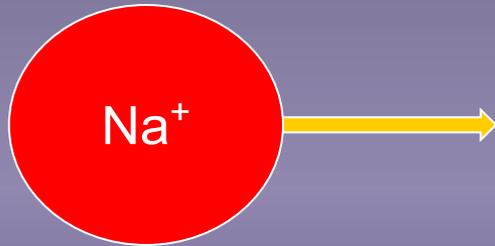
E



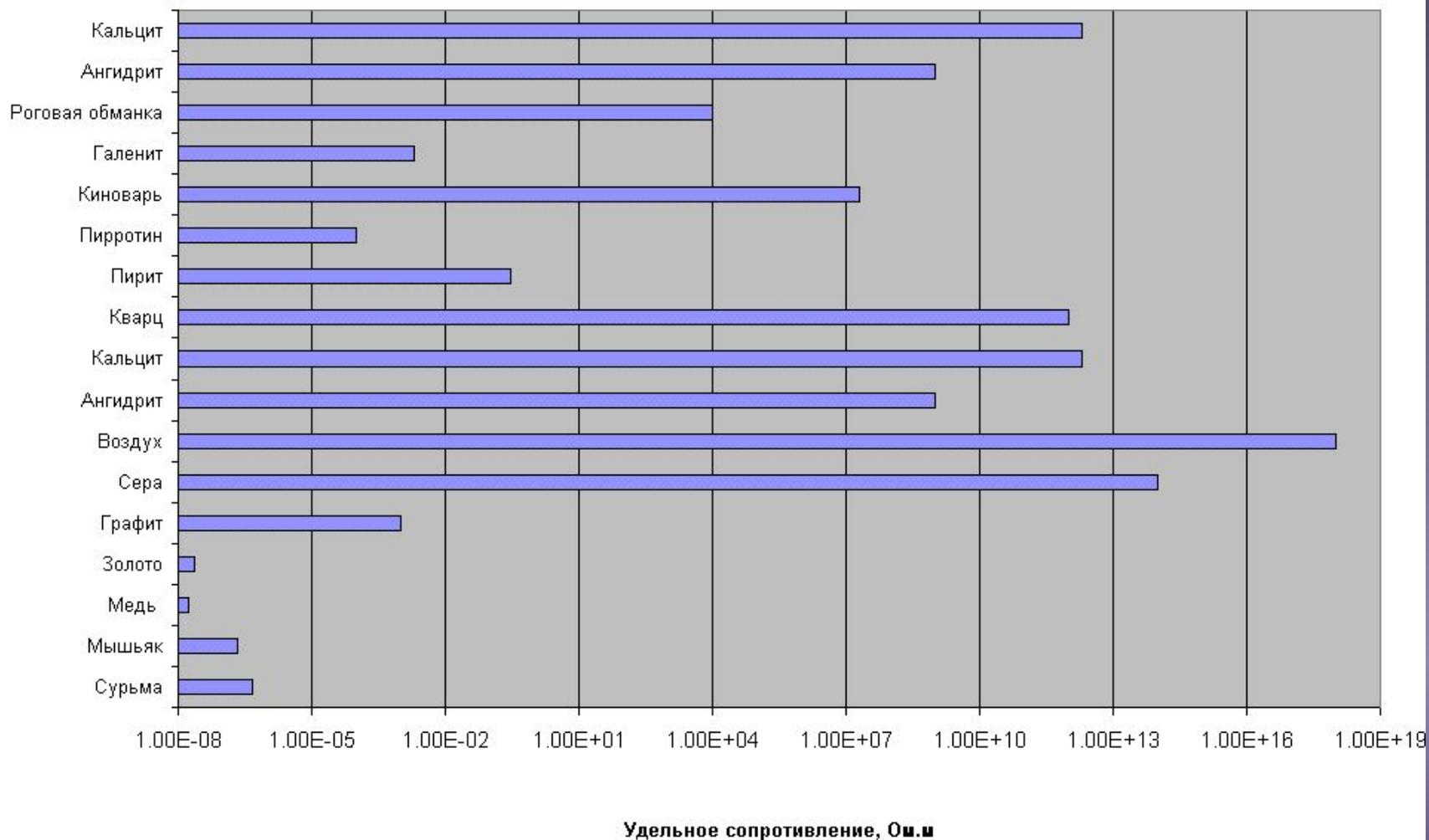
Проводники и полупроводники



Ионы в электролите

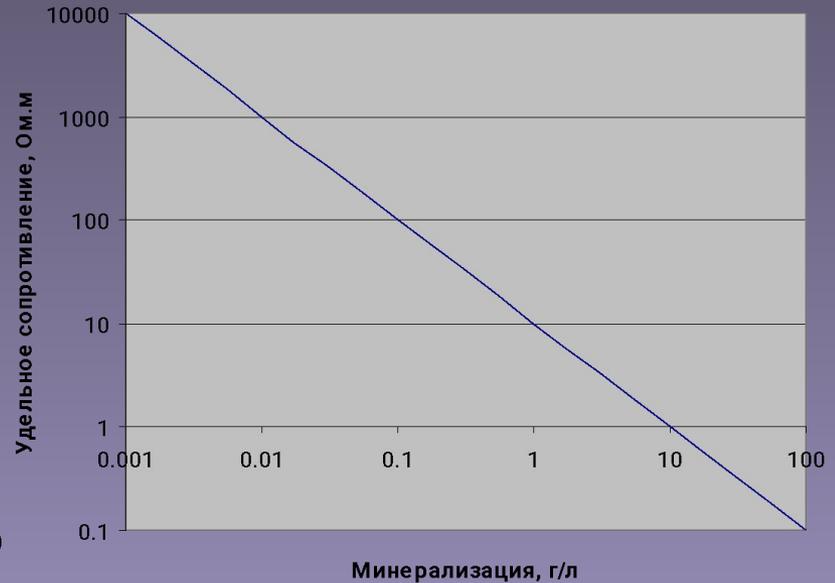
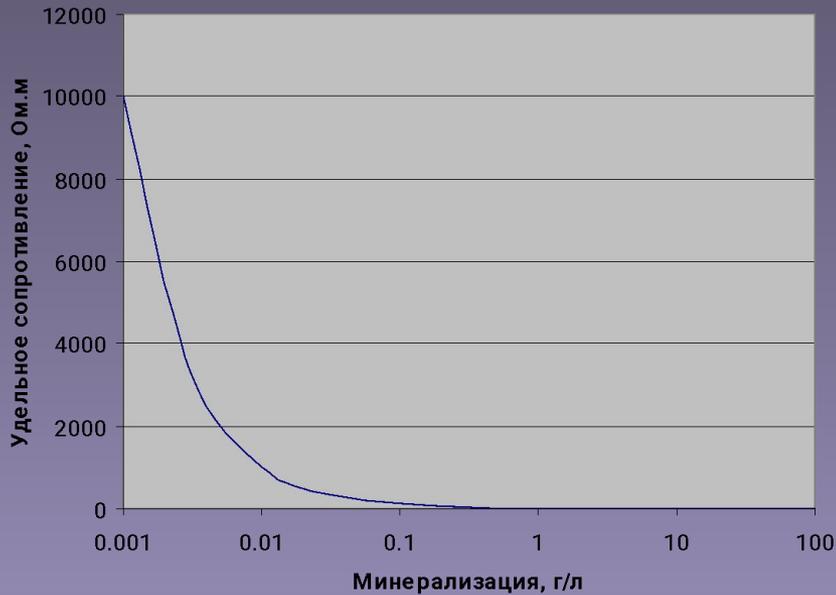


# Удельное сопротивление элементов и минералов

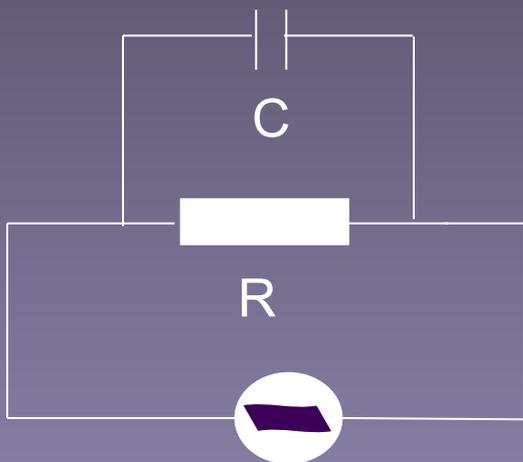


# Электропроводность (и удельное сопротивление) воды

$$\sigma \approx \frac{M(\text{г/л})}{10} \quad \rho \approx \frac{10}{M(\text{г/л})}$$

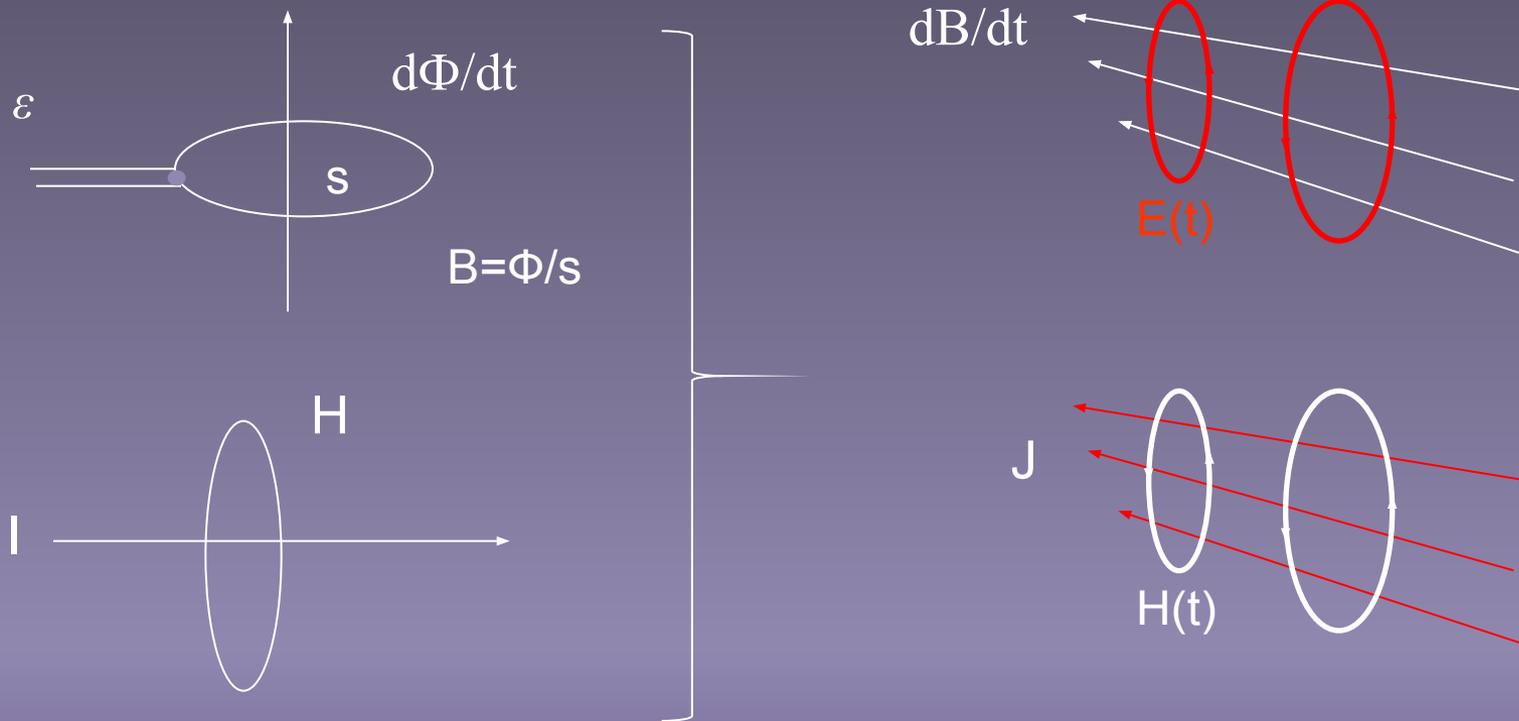


# Явления, связанные с переменным полем

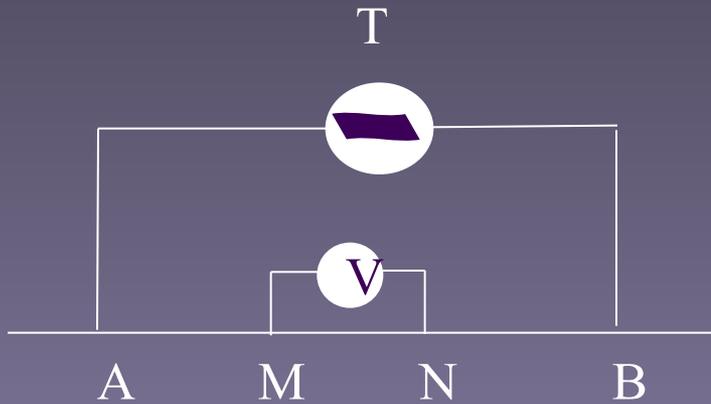


Ёмкость

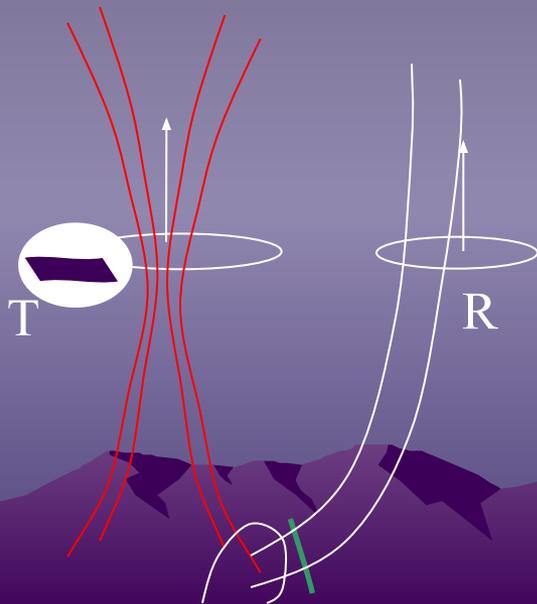
# Электромагнитная индукция



# Искусственные поля

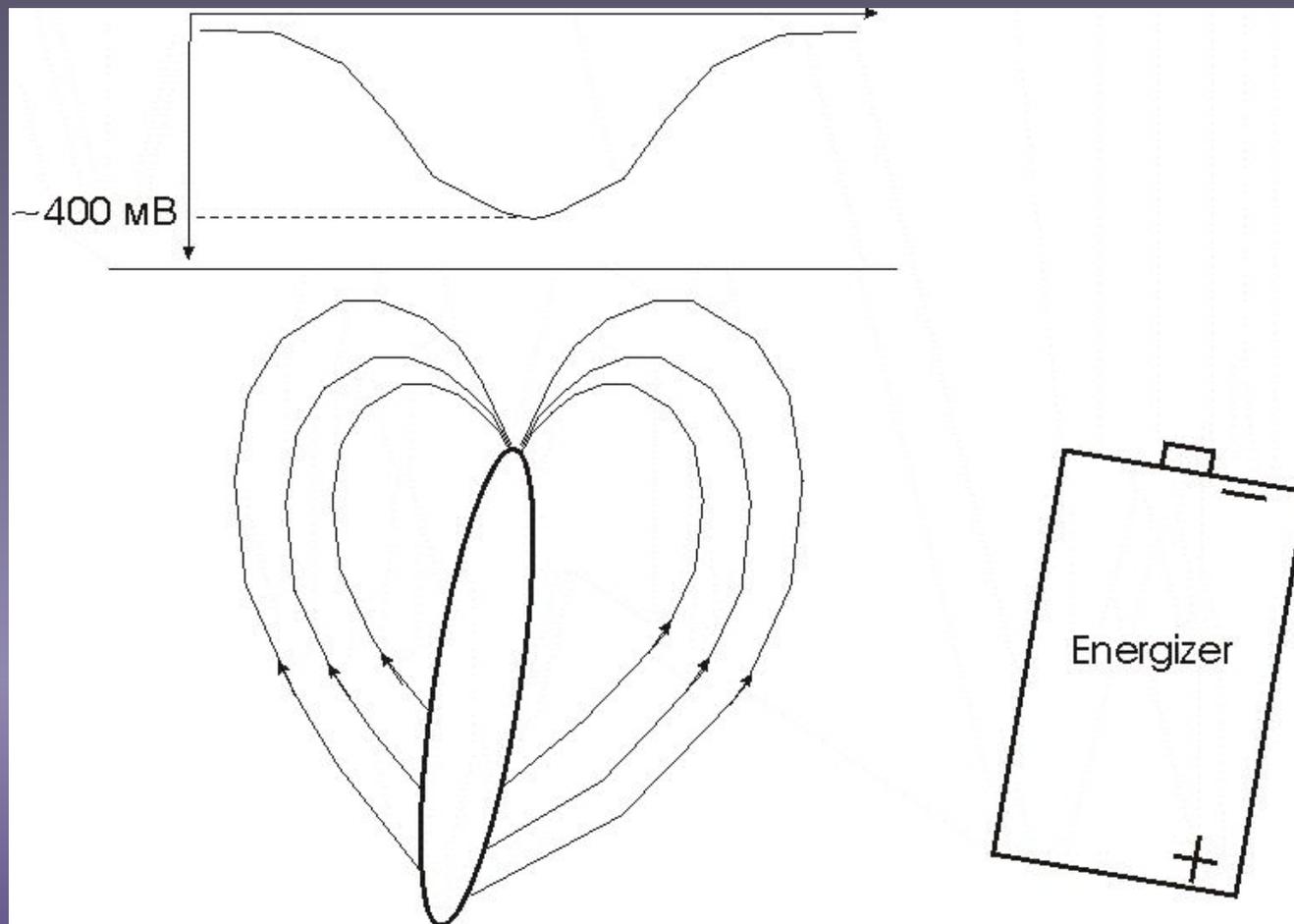


Метод сопротивления



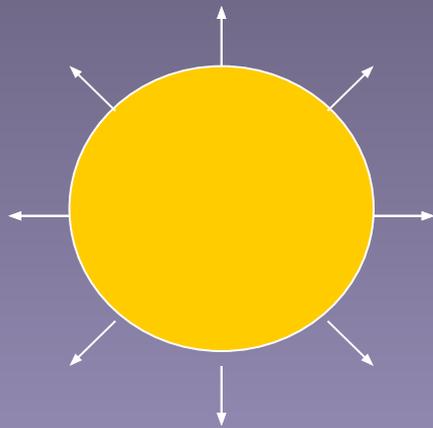
Индуктивные методы

# Постоянные естественные поля – гео-батареи



# Теплофизика и геотермия

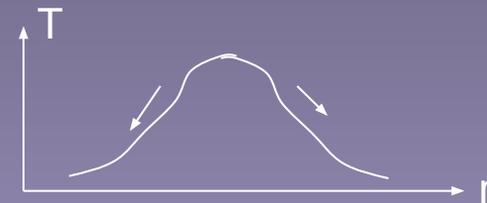
Тепловой поток ( $Q$ ) – тепло, уходящее из недр Земли в космическое пространство  $Q=4 \cdot 10^{13}$ Вт (Дж/с)  $\sim 1.9 \cdot 10^{10}$  т нефти



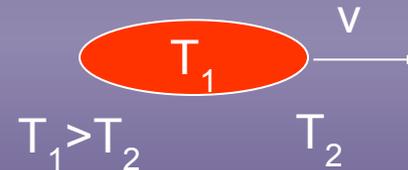
Плотность теплового потока  $q=Q/s$  (Вт/м<sup>2</sup>)

Теплоперенос:

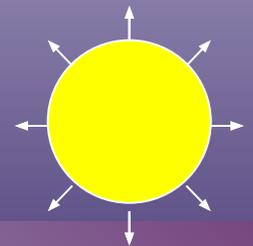
Кондуктивный



Конвективный



Излучение



# Тепловые свойства

Закон Фурье:

$$q = -\lambda \text{grad}T$$

Коэффициент теплопроводности  $\lambda$

Температуропроводность

$$a = \frac{\lambda}{\sigma c} \sim 10^{-7} - 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$$

Где  $\sigma$  – плотность,  $c$  – удельная теплоёмкость (Дж/(кг·К))

# Средние значения теплофизических свойств некоторых пород

Порода	$\lambda$ , Вт/(м·К) Теплопроводность	$a$ , $10^{-7}$ м <sup>2</sup> /с Температуро- проводность
Торф	0.07	1.6
Ил, глина, песок	0.84	4.77
Конгломерат	1.92	7.89
Диабаз	2.50	9.44
Перидотит	4.37	13.26

# Радиоактивность и радиометрия

Закон радиоактивного распада

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda \cdot N \quad N = N_0 e^{-\lambda \cdot t} \quad \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda \tau_{1/2}}$$

$$\tau_{1/2} = \ln 2 / \lambda$$

# Некоторые реакции радиоактивного распада

Реакция распада	Постоянная распада (лет <sup>-1</sup> )	Период полураспада (лет)
$^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb} + 8^4\text{He}$	$1.55 \cdot 10^{-10}$	$4.47 \cdot 10^9$
$^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb} + 7^4\text{He}$	$9.85 \cdot 10^{-10}$	$7.04 \cdot 10^8$
$^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb} + 6^4\text{He}$	$4.95 \cdot 10^{-11}$	$1.40 \cdot 10^{10}$
$^{87}\text{Rb} \rightarrow ^{87}\text{Sr}$	$1.42 \cdot 10^{-11}$	$4.88 \cdot 10^{10}$
$^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ar}, ^{40}\text{Ca}$	$5.54 \cdot 10^{-11}$	$1.25 \cdot 10^9$

# Обзор физических явлений, какие явления использовать для изучения Земли?

- Гравитация
- Магнетизм
- Упругость
- Электричество
- Теплопередача
- Радиоактивность
- Гравиметрия
- Магнитометрия
- Сейсмология и сейсморазведка
- Геоэлектрика
- Геотермия
- Радиометрия и ядерная геофизика

